

ПРОГНОЗ ВИБРАЦИИ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ

Канев Н. Г., к. ф.-м. н, ведущий инженер-акустик ООО «Акустические материалы»

Иntenсивное развитие сети рельсового транспорта в городском пространстве, особенно в столичном регионе, приводит к необходимости применения специальных мероприятий для виброзащиты зданий, расположенных вблизи существующих или перспективных железнодорожных путей. Недавно принятые своды правил [1, 2] дают широкие возможности для решения этой проблемы: от специального устройства верхнего строения железнодорожных путей до виброизоляции самих зданий.

Передача вибрации от поезда на конструкции здания является достаточно сложным физическим процессом, для корректного описания которого необходимо учитывать большое количество факторов. При этом изучение проблемы, как правило, разделяется на несколько задач: передача вибрации от поезда на грунт, ее распространение по грунту, передача с грунта на фундамент и трансформация колебаний при прохождении по конструкциям здания.

Принципиальные решения для виброизоляции здания приведены на **рис. 1**. Под фундаментной плитой размещается сплошной слой виброизоляционного материала. Однако в случае свайного фундамента упругий слой является дискретным: материал укладывается только на поверхности ростверков. Для виброизоляции стен используются два подхода. При обратной засыпке материалы закрепляются сплошным слоем на стенах ниже отметки грунта (**рис. 1, а**), при наличии стены в грунте возможно применение как сплошного, так и дискретного слоя, когда материалы располагаются между стеной в грунте и торцом фундаментной плиты или дисками межэтажных перекрытий (**рис. 1, б**). Толщина и упругость слоя подбираются в зависимости от интенсивности вибрации и требуемого эффекта виброизоляции.

Сегодня актуальной задачей проектировщиков является прогноз вибрационного воздействия, создаваемого рельсовым транспортом, со стороны грунта на подземную часть проектируемого здания, в первую очередь на фундамент. Консервативный подход предполагает выбор одинаковой толщины виброизоляционного слоя по всей поверхности контакта подземной части здания с грунтом, что приводит к значительным затратам на специализированные материалы.

Точный прогноз вибрационного воздействия может быть выполнен методами численного моделирования, а его результаты позволяют разработать дифференцированное по толщине решение для разных поверхностей и, вследствие этого, значительно, иногда в несколько раз, снизить объемы виброизоляционных материалов. Несколько примеров такого моделирования приведены в настоящей статье.

На **рис. 2** приведен пример расчета методом конечных элементов колебаний грунта, вызванных поверхностным источником, например трамваем, для частоты 30 Гц, поскольку в районе этой частоты находится максимум спектра вибрации городского рельсового транспорта [3]. Расчетным параметром модели является векторная величина — среднеквадратическое значение виброускорения, но для удобства на **рис. 2** показаны распределения логарифмического уровня модуля этой величины (далее просто уровень виброускорения), характеризующего интенсивность колебаний без уточнения их направления. В однородном слое грунта (**рис. 2, а**) распространение колебаний хорошо изучено: примерно половина колебательной энергии уходит вглубь грунта в виде продольных и сдвиговых волн, другая половина распространяется по поверхности грунта в виде волны Рэлея. Здания являются препятствиями, на которых волны дифрагируют. На **рис. 2, б** рассмотрены два здания на расстоянии 12 м от оси рельсового пути: одно из них расположено непосредственно

на поверхности, другое заглублено на 6 м. Здания почти не влияют на продольные и сдвиговые волны, но существенно изменяют характер распространения поверхностных волн Рэлея.

В первую очередь необходимо отметить эффект экранирования зданиями поверхностных волн: амплитуда волны на поверхности грунта за зданиями (**рис. 2, б**) значительно ниже, чем на свободной поверхности (**рис. 2, а**). Так, например, на расстоянии 50 м от источника уровень виброускорения на свободной поверхности составляет примерно 55 дБ, а на том же расстоянии за зданиями — не более 45 дБ. Таким образом, можно сделать вывод, что ближайшие к путям здания сами по себе являются

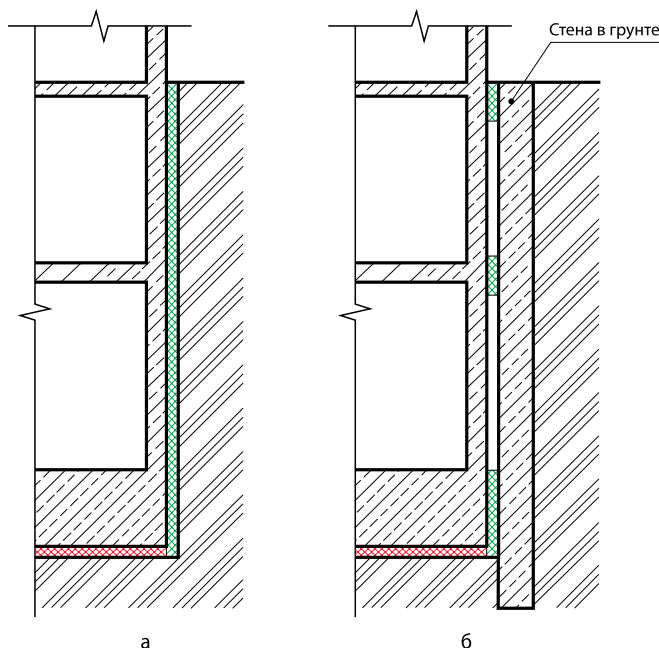


Рис. 1. Принципиальные схемы виброизоляции здания при выполнении обратной засыпки (**а**) и при наличии стены в грунте (**б**). Цветными штриховками показано расположение виброизолирующих слоев

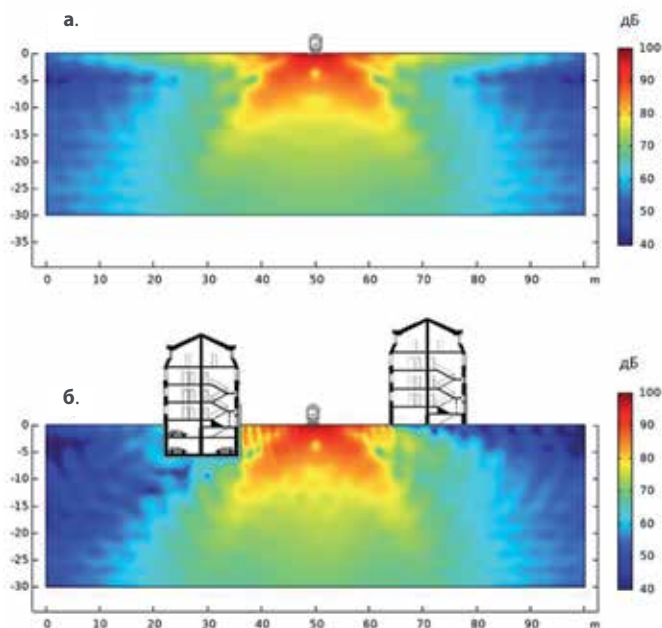


Рис. 2. Уровни виброускорения на частоте 30 Гц в толще грунта от наземного источника

виброзащитным мероприятием для городской застройки, т. е. для строений, находящихся за ними. Его эффективность составляет около 10 дБ для максимума спектра вибрации общественного рельсового транспорта, но она значительно ниже в случае вибрации, создаваемой грузовыми железнодорожными составами, поскольку максимум спектра их вибрации находится на частотах значительно ниже 30 Гц. Интересно заметить, что похожая ситуация имеет место для транспортного шума: первый эшелон зданий, обращенных к транспортной магистрали, часто используется в градостроительстве в качестве экрана, защищающего жилую застройку от шума автомобилей и поездов.

Вторым важным результатом, следующим из расчета на рис. 2, б, является сложная структура вибрационного поля в окрестности фундамента здания. Для заглубленного здания основное воздействие вибрации приходится на подземную часть стен, обращенную к источнику вибрации. Уровень виброускорения под фундаментной плитой на 10–15 дБ ниже, чем у этой стены. В связи с этим при достаточном заглублении здания для его эффективной виброзащиты от наземного рельсового транспорта достаточно использовать сплошной или дискретный слой специализированного упругого материала между подземной частью стены и грунтом.

На рис. 3 представлен аналогичный расчет поля вибрации от подземного источника — линии метрополитена, тоннель которой проходит на глубине 20 м. Основным отличием от поля наземного источника является отсутствие поверхностных волн (рис. 3, а). Кроме этого, интенсивность вибрации от метрополитена на поверхности несколько ниже, что связано, во-первых, с большей удаленностью источника, а, во-вторых, с тем, что большая часть энергии колебаний излучается вглубь грунта, а не к поверхности. Тем не менее практика показывает, что движение поездов метро часто оказывается причиной повышенной вибрации в зданиях.

Вибрационное воздействие от подземного источника на подземную часть здания (рис. 3, б) оказывается более равномерным: уровни ускорения грунта у подземной части стен и у фундамента примерно одинаковые, поэтому при необходимости виброзащиты здания упругие слои должны размещаться как под фундаментом здания, так и между стенами и грунтом.

Таким образом, современные методы численного моделирования дают возможность точно спрогнозировать вибрационное воздействие от различных видов рельсового транспорта на про-

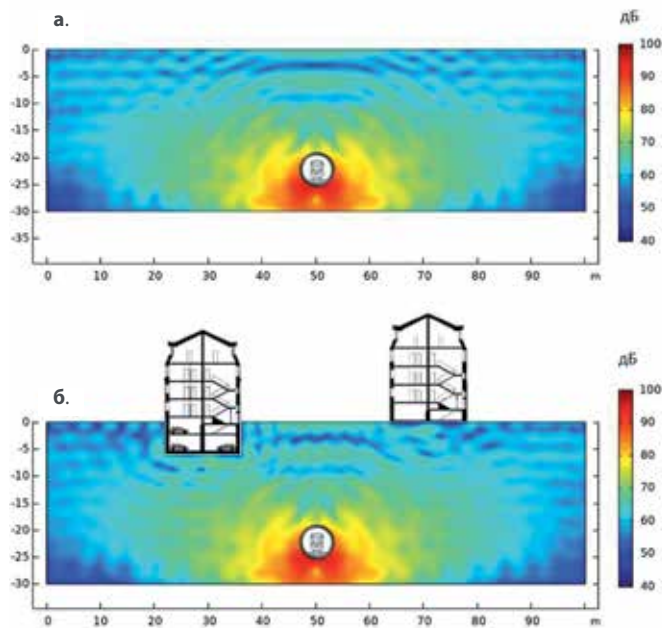


Рис. 3. Уровни виброускорения на частоте 30 Гц в толще грунта от подземного источника

ектируемое здание, что, в свою очередь, позволяет разработать оптимальное решение для виброзащиты, как по количеству специализированных материалов, так и по его стоимости [4]. ■

Литература

1. СП 441.1325800.2019 Защита зданий от вибрации, создаваемой железнодорожным транспортом. Правила проектирования.
2. СП 465.1325800.2019 Здания и сооружения. Защита от вибрации метрополитена. Правила проектирования.
3. Канев Н. Г. Вибрационное воздействие на человека в жилых домах от движения рельсового транспорта и особенности его нормирования // Безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 64. № 11. С. 16–20.
4. Канев Н. Г. Оптимизация решений по защите зданий от вибрации метрополитена // Подземные горизонты. 2019. № 22. С. 33–35.



Компания Acoustic Group
г. Москва, ул. Новокузнецкая, д. 33/2, оф. 21
8 (800) 222-08-77
consulting@acoustic.ru