

А.В. ВОЛКОВ, директор ООО «Кемопласт», Н.К. КАЛАШНИКОВА, эксперт-физик ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве», С.А. КУРНАВИН, главный специалист экологического фонда развития городской среды «Экогород», И.А. ВЕРЕТИНА, зам. начальника отдела территориального управления Роспотребнадзора (Москва)

## Виброзащита зданий, расположенных вблизи линий метрополитена

Нередко из-за недостатка свободных площадей в крупных городах строительство жилых и общественных зданий производится вблизи линий метрополитена. Такие здания, как правило, испытывают повышенное вибрационное воздействие, и в соответствии с требованиями МГСН 2.04-97 «Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях» и СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» должны быть защищены от вибрации.

Для снижения вибрации имеется несколько возможностей:

- использование конструкций зданий и фундаментов, снижающих уровни проникающей вибрации;
- виброизоляция – применение упругих элементов, устанавливаемых в несущих конструкциях (стенах, колоннах), под фундаментной плитой или в конструкциях пола;
- демпфирование колебаний;
- применение экранирующих устройств (траншей) в грунте.

В условиях динамического воздействия наиболее эффективными конструкциями зданий являются конструкции из монолитного железобетона. По сравнению со зданиями из сборных железобетонных элементов они позволяют снизить уровни вибраций перекрытий на 5–8 дБ. Это снижение обусловлено особенностями динамической работы монолитных конструкций, которые испытывают более «мягкие» резонансные явления, так как пред-

ставляют собой не отдельные элементы, как в сборных зданиях, а сплошные разветвленные массивные тела.

Наиболее приемлемой схемой здания в этом случае является колонный каркас, эффективность которого увеличивается с увеличением толщины плит перекрытий и уменьшением сечения колонн. В качестве фундамента всегда рекомендуется использовать сплошную монолитную железобетонную плиту, сглаживающую влияние неоднородностей грунтового основания и способствующую распределению, а значит снижению колебаний по площади фундамента.

Монолитные здания при размещении в них административно-общественных помещений могут располагаться даже в непосредственной близости от тоннелей метро. В качестве примеров можно привести административные здания, расположенные по улице Красная Пресня д. 26 и Русаковской улице д. 13 в Москве. В первом случае 4-х этажное монолитное здание находится непосредственно над тоннелями мелкого заложения Таганско-Краснопресненской линии, а во втором случае 4-этажная часть монолитного здания – на расстоянии 7 м от тоннелей мелкого заложения Сокольнической линии метрополитена. В обоих зданиях за счет особенности конструкций удалось обеспечить требования санитарных норм для административно-общественных помещений, а начиная с третьего этажа и для жилых помещений в ночное время суток.

В здании по ул. Русаковской также был установлен упругий виброизолирующий слой из материала Sylomer® фирмы Getzner Werkstoffe GmbH (Австрия) между фундаментной плитой и консолями перекрытий подземной части в местах их контакта со стеной в грунте. Внешние стены здания выполнены из легких пенобетонных блоков толщиной 300 мм и средней плотностью не более 600 кг/м<sup>3</sup>. Для более эффективного снижения вибрации так же исключен жесткий контакт внешних стен с вышележащими перекрытиями.

В тех случаях, когда конструктивных мероприятий оказывается недостаточно, может быть использован второй способ – виброизоляция.

Этот способ имеет две разновидности. В первом случае виброизоляторы в виде резиновых и резинометаллических элементов или элементов на основе специальных эластомеров устанавливаются в горизонтальных деформационных швах под несущие стены и (или) колонны. Во втором случае упругий слой из специального эластомера укладывается на бетонную подготовку под фундаментную плиту.

При виброизоляции строительных конструкций для надежного снижения колебаний, в общем случае, должны выполняться условия МГСН 2.04-97 «Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях» и СН 2.2.4/2.1.8.566-96



При строительстве здания на ул. Русаковской маты Sylomer® (черного цвета) укладывались на горизонтальное бетонное основание в два слоя. Стыки матов соединены скотчем



Виброизоляция жилого здания на 1-м Колобовском пер. выполнена на горизонтальных (черный и красный Sylomer®) и вертикальных (синий Sylomer®) поверхностях. На вертикальные поверхности материал приклеен к бетону двухкомпонентным клеем



Конструкция «плавающего пола» включает деревянные лаги, под которые установлены прокладки из материала Sylomer® для жесткости на лагах устроен дощатый настил

«Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

*Первое условие:*

$$f_0 < f_p / (2 \div 3),$$

где  $f_0$  — частота настройки виброизолированной системы;  $f_p$  — первая наиболее низкая собственная частота колебаний перекрытий или других несущих элементов.

Для резиновых или резинометаллических виброизоляторов и специальных эластомеров показатель  $f_0$  не ниже 8–10 Гц. При установке здания на виброизоляторы или слой виброизолирующего материала приближенно  $f_0 = (C/M)^{0,5}$ , где  $C$  — общая жесткость виброизоляторов,  $M$  — масса здания, представляющая собой, в общем случае, функцию частоты  $M = M(\omega)$ .

*Второе условие* отражает волновые свойства длинномерных конструкций, например высоких зданий с монолитными несущими стенами:

$$f = C/2H > f_g = 88 \text{ Гц},$$

где  $f_g$  — верхняя граничная частота высшей регламентированной октавной полосы;  $C$  — скорость распространения продольной волны в железобетоне;  $H$  — высота здания.

В высоких зданиях на частотах выше  $f_z$  зоны (строительные конструкции), удаленные от виброизоляторов, за счет изменения фазы колебаний «динамически отключаются» от виброизоляторов, что приводит к нарушению настройки виброизолированной системы и выведению ее в область малоэффективной и даже неэффективной работы. При этом надо учитывать, что на высокие здания оказывают влияние и ветровые нагрузки, которые в конструкциях на податливом виброизолированном основании могут вызвать значительные низкочастотные колебания сооружения.

В качестве примера виброизоляции можно привести 6-ти этажное монолитное жилое здание по 1-му Колобовскому переулку, д. 14/4, расположенное вблизи тоннелей глубокого заложения Серпуховской линии московского метрополитена. Целью виброзащиты являлось обеспечение в жилых помещениях требований МГСН 2.04-97 по критериям высшей категории комфортности «А».

Для снижения вибраций в здании под фундаментную плиту и на боковые поверхности фундаментных стен со стороны грунта уложен специальный полиуретановый

эластомер Sylomer®. Толщина виброизолирующего материала в несжатом состоянии под фундаментной плитой составила 37 мм, а на боковых поверхностях фундаментных стен — 25 мм. Расчет и подбор виброизолирующего материала выполнен Фирмами «АРС», ЗАО «Моспромстрой» и Getzner Werkstoffe GmbH при участии ЭФРГС «Экогород» и ООО «Кемопласт».

Расчетная собственная частота колебаний виброизолированной системы при указанных толщинах составила 11,6 Гц.

Результаты контрольных замеров, выполненных после укладки виброизолирующего материала и возведения несущих конструкций, показали, что уровни вибраций в здании удовлетворяют требованиям МГСН 2.04-97. Средняя эффективность виброизоляции по первому и второму этажам наиболее близкого к линии метро угла здания по сравнению с прогнозируемыми величинами составила: в октаве 31,5 Гц — 5 дБ (1,8 раза), в октаве 63 Гц — 12,1 дБ (4 раза). Несмотря на достаточно высокую расчетную частоту настройки виброизолированной системы, в октаве 16 Гц не обнаружено увеличения колебаний по сравнению с прогнозируемыми величинами. В то же время в связи с недостаточной проработкой отдельных элементов и, как следствие, образованием акустических мостиков, в помещениях над возведенными впоследствии лестничными входами было отмечено некоторое относительное увеличение вибраций.

Одним из способов виброизоляции является также конструкция «плавающего пола», в том числе, на деревянных лагах и железобетонных плитах. Эти конструкции работают по тому же принципу, что и здания на виброизоляторах. Как показывает практика, при частоте настройки 8–10 Гц «плавающий пол» в силу своей более простой схемы, а значит, более точной настройки способен обеспечить более высокую эффективность, чем установка зданий на виброизоляторы. Недостатком «плавающего пола» является малое снижение уровней структурного шума, из-за чего может потребоваться дополнительная акустическая обработка помещений. В то же время установка «плавающего пола» практически единственный способ снижения вибраций в высотных сооружениях и реконструируемых зданиях, где производится замена старых перекрытий на железобетонные с сохранением несущих стен.



Виброизоляция лаги, примыкающей к вертикальной конструкции, выполняется также материалом Sylomer® с двух сторон

Виброзащита с применением «плавающего пола» была применена в реконструируемых жилых домах, расположенных по Русаковской улице на расстоянии 7 м от тоннелей мелкого заложения Сокольнической линии московского метрополитена.

Конструкция пола представляла собой деревянные лаги, под которыми были установлены прокладки из материала Sylomer® толщиной 50 мм. На лаги для увеличения жесткости укладывался дощатый настил толщиной 40 мм и верхнее покрытие в виде древесноволокнистых плит и линолеума. Расчет упругих прокладок выполнялся на нагрузку 190 кгс/м<sup>2</sup> (собственная нагрузка пола — 40 кгс/м<sup>2</sup> и нормативная полезная нагрузка — 150 кгс/м<sup>2</sup>). Расчетная частота настройки виброизолированной системы составила 8–9 Гц. Контрольные замеры вибраций при отсутствии полезной нагрузки в помещениях и при грузе места измерений человеком составила в октаве со среднегеометрической частотой 31,5 Гц около 10 дБ.

Нужно пояснить, что Sylomer® — это современный полиуретановый материал, разработанный и выпускаемый фирмой Getzner Werkstoffe GmbH, используемый для виброизоляции зданий, железнодорожных путей, машин и оборудования. Фирма имеет 30-летний опыт виброизоляции зданий и железнодорожных линий и выпускает несколько различных видов материалов, имеющих высокие показатели коэффициента потерь и способных воспринимать высокие динамические и статические нагрузки при продолжительном сроке эксплуатации. Этими материалами в настоящее время виброизолировано более 300 зданий в различных странах мира.

Поскольку основной вклад в вибрации перекрытий вносят собственные колебания, и особенно, колебания на первой собственной частоте, одним из направлений их снижения является **демпфирование**. Так как резонанс представляет собой процесс, при котором упругие силы компенсируются инерционными силами, размах колебаний перекрытий на собственных частотах определяется исключительно показателями внутреннего трения. Для снижения резонансных колебаний могут использоваться конструкционные материалы с высокими коэффициентами потерь. Замечено, что резонансные колебания перекрытий с уложенной на них цементной стяжкой и полом из керамической плитки, в монолитных зданиях снижаются до 5 дБ, а в панельных

домах — до 7 дБ. Также отмечено, что уложенные на перекрытие мешки с порошкообразным материалом (панельный дом серии П44), практически полностью демпфируют резонансные колебания.

Поскольку демпфирование колебаний строительных конструкций и демпфирующие свойства строительных материалов мало изучены, в настоящее время трудно рекомендовать какое либо надежное средство снижения вибраций. Возможно, в случае цементной стяжки важную роль играет поверхностное трение, которое возникает в так называемом «холодном» шве.

Суть **экранирующего устройства в грунте** заключается во введении в грунтовый массив существенной неоднородности, обеспечивающей отражение волн, в том числе Рэлеевских, распространяющихся от поверхностного или мелко заглубленного транспортного источника. Для эффективного снижения колебаний глубина траншеи должна быть приблизительно равна длине Рэлеевской волны, а внутренне пространство между стенками траншеи должно быть пустым или заполненным низкоомодульным материалом. Основание траншеи не должно иметь жесткого передаточного звена, так называемого акустического мостика.

В отечественной практике имеется лишь частично положительный опыт использования экранирующих устройств, реализованный в конце 70-х гг. XX в. при защите жилого здания, расположенного по ул. Маршала Бирюзова в Москве. После заполнения пространства траншеи частицами грунта и сточными водами ее эффективность оказалась практически нулевой. Второй и последний отечественный опыт экранирования волн при защите жилого дома, расположенного в Новопесковском пер., от наземного участка Филевской линии метрополитена оказался отрицательным. Траншея, расположенная непосредственно перед фундаментной стеной здания, грунт в которой по всему контуру удерживается бетонной стеной, не обеспечила значимой эффективности.

Расчеты экранирующих траншей, выполненные в институте транспортного строительства (ныне ОАО «ЦНИИС») при разработке технического задания по виброзащите жилых зданий, расположенных вблизи тоннеля мелкого заложения на одном из участках Московского метрополитена показали, что максимальная эффективность траншеи, заполненной вспененным полистиролом для скорости продольной волны 600 м/с, составляет в октаве 31,5 Гц около 6 дБ (2 раза). Учитывая высокую стоимость сооружения экрана, а также необходимость в большинстве случаев перекладки подземных коммуникаций, этот способ в современных условиях городского строительства не находит применения.

#### Компания «Кемопласт» поставляет на российский рынок

- высокоэффективные виброгасящие пенополиуретановые материалы **Sylomer®**, **Syloodyn®**, **Sylo damp®** для виброзащиты мостов, тоннелей и других сооружений от вибрации, вызванной движущимся транспортом;
- нетканый геотестиль **Typar®** (Du Pont);
- виброшумоизоляцию на основе вспененного полипропилена **ПЕНОТЕРМ®**;
- ветрозащитный материал **Tyvek®** (Du Pont);
- экструдированный пенополистирол **Styrodur®** C (BASF);
- геосетку для армирования асфальтобетона **HaTelit-C®** (Huesker);
- тканые геотекстилы **Stabilenka®** (Huesker);
- геосетки для армирования грунтов **Fortrac®** (Huesker).