

УДК 624.042.8:69.032.22(043.2)

к.т.н., доц. Барабаш М.С., Овчарова В.,
Национальный авиационный университет, г. Киев,
Ю.В. Гензерский, ООО «ЛИРА САПР», г. Киев,

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕТРОПОЛИТЕНА НА БЛИЗСТОЯЩИЕ ЗДАНИЯ

Рассматривается влияние вибрационных динамических нагрузок метрополитена на несущую способность конструкций элементов близлежащих зданий. Цель теоретических исследований состоит в установлении влияния динамических нагрузок метрополитена на напряженно - деформированное состояние несущих конструкций зданий.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, жизненный цикл, вибрационные нагрузки, несущие конструкции, информационная технология, деформации

Актуальность темы. Нередко из-за недостатка свободных площадей в крупных городах строительство жилых и общественных зданий производится вблизи линий метрополитена. По характеру передачи колебательной энергии на сооружение транспортная вибрация является кинематическим возмущением исследуемого сооружения. Рост всех видов грузопотоков, увеличение скорости и интенсивности движения транспорта обуславливают необходимость получения качественных и количественных оценок влияния транспортной вибрации на сохранность зданий. Как в отечественной, так и в зарубежной литературе периодически появляются сообщения об отрицательных последствиях транспортной вибрации, однако она, как правило, не учитывается ни при новом строительстве, ни при реконструкциях существующих зданий и сооружений. То, что транспортная вибрация не приводит в настоящий момент к чрезвычайным ситуациям, в определенной степени объясняет и практическое отсутствие нормативов, регламентирующих ее интенсивность в численных оценках по критериям прочности и надежности объектов.

Учитывая общее физическое старение существующих зданий, особенно памятников архитектуры, которые не будут сноситься при модернизации исторически сложившихся центров, вопросы обеспечения надежности сооружений, связанные с транспортной вибрацией, могут в ближайшее время стать вполне актуальными. Выдвижение на передний фронт прикладной науки проблем динамики сооружений в значительной степени обусловлено быстрым ростом их энергонасыщенности, внедрением новых конструкционных материалов и нестандартных пространственных решений.

Прямое применение традиционных теоретических методов решения задач динамики и методы классической строительной механики не дают устойчивых решений, пригодных для практического применения.

Численное моделирование воздействия на сложные строительные сооружения случайных волн той или иной природы является актуальной задачей для обеспечения надежности и безопасности строительных объектов на этапе эксплуатации.

Область исследований. В традиционной динамике строительных сооружений в настоящее время принята концепция собственных частот колебаний строительных элементов, совпадения которых с частотой нагружения приводят к резонансным явлениям. Однако все чаще мы сталкиваемся как в нашей стране, так и за рубежом с катастрофическими разрушениями достаточно сложных, пространственно развитых сооружений, яркими примерами которых могут являться здания Трансваальпарка и Басманного рынка. Маловероятно, что причиной этих событий являются статические нагрузки. Скорее всего, такие сложные сооружения находятся в области критической устойчивости. При малом случайном воздействии в нелинейной сложной системе может разыгаться каскад бифуркаций, что приведет к катастрофическому разрушению. Хотелось бы подчеркнуть, что это не резонансные явления и даже не ошибки при проектировании и строительстве – просто здание конструировалось исходя из классических принципов строительной механики, а в результате эксплуатации система оказалась на границе критической устойчивости.

Рассматриваемая проблема имеет следующие основные задачи:

- измерение динамики грунта и вибрации сооружений от различного типа транспортных потоков и их сочетаний;
- получение оценок уровня риска превышения динамикой грунта и исследуемых сооружений нормативно-допустимых значений;
- разработка методики численного моделирования влияния воздействий вибраций на здания и сооружения, находящиеся вблизи метрополитена.

Решение проблемы. В условиях динамического воздействия наиболее устойчивы к вибрациям конструкции из монолитного железобетона. По сравнению со зданиями из сборных железобетонных элементов они позволяют снизить уровни вибраций перекрытий на 5-8 дБ. Такое снижение обусловлено особенностями динамической работы монолитных конструкций, испытывающих не резонансы, а более «мягкие» резонансные явления. Наиболее приемлемой схемой здания в этом случае является колонный каркас, эффективность которого увеличивается с увеличением толщины плит перекрытий и уменьшением сечений колонн. В качестве фундамента всегда

рекомендуется использовать сплошную монолитную железобетонную плиту, сглаживающую влияние неоднородностей грунтового основания и способствующую распределению колебаний по площади фундамента и, следовательно, их снижению. Монолитные здания, построенные для административно-общественных нужд, могут располагаться даже в непосредственной близости от тоннелей метро.

Методы расчёта, основанные на классических методах, не всегда позволяют полностью обеспечить выполнение данных требований. В связи с этим разрабатываются методы расчёта максимально приближенные к реальным условиям. Поэтому большое значение приобретает создание компьютерных моделей адекватно описывающих работу несущих систем зданий при влиянии динамических нагрузок, вызванными воздействиями метрополитена.

Используемые методы и расчеты. Для изучения поведения работы несущих конструкций многоэтажного здания, расположенного в 10 м от туннеля метрополитена мелкого заложения разработана абстрактная компьютерная модель здания, с фундаментной плитой и моделью грунта, в котором смоделировано движение метрополитена. Поскольку длина поезда метрополитена достигает 140 м, что превосходит длину обычного жилого дома или длину его температурного блока, при проведении численного эксперимента ограничиваемся рассмотрением плоской задачи.

При движении вагонов метрополитена возникает несколько источников колебаний. Это работа двигателя, компрессора, тормозной системы вагона. Колебания с частотой 35-50 Гц вызываются вертикальными колебаниями неподдресоренных масс вагонов. Колесную пару можно рассматривать как систему с одной степенью свободы, упругостью является упругость рельсового основания. Собственная частота такой системы – 40 Гц. Колебания с частотой 50-60 Гц возникают при воздействии горизонтальных колебаний. Движение поездов метрополитена вызывает колебания строительных конструкций зданий с частотой 35-60 Гц и амплитудой от долей микрона до 1-3 мкм. Преобладающими являются горизонтальные колебания. Вертикальные колебания имеют тот же частотный состав вдвое, втрое меньшую амплитуду. Наибольшие амплитуды горизонтальных колебаний наблюдаются в уровне пола подвала здания. Здесь амплитуды колебаний стен в 2-2,5 раза больше амплитуд лестничной площадки первого этажа. Выше первого этажа амплитуды колебаний могут изменяться как в направлении уменьшения, так и в направлении некоторого увеличения.

Первопричиной возникновения колебаний является контактное взаимодействие колес подвижного состава и рельсов. Основной причиной возбуждения вибрации системой колесо-рельс является наличие стыков пути,

что приводит к подскоку колеса на стыке и неравномерности нагрузки при переходе колеса с одного рельсового звена на следующее [5,6].

Компьютерное моделирование произведено с применением программного комплекса ЛИРА-САПР методом интегрирования динамических воздействий. Приведенный в данной работе численный эксперимент дает возможность многократно и в широком диапазоне изменять входные параметры и условия функционирования сложной системы «наземная часть здания – основание – грунт – тоннель метрополитена с движущимся поездом», заменяя, таким образом, экспериментальные исследования вычислительным экспериментом. Такая реализация приводит к экономии времени при решении ряда подобных задач, и позволяет сделать соответствующие выводы по напряженно-деформированному состоянию несущих конструкций, подвергающимся постоянному воздействию динамических нагрузок.

В программном комплексе расчет производился с помощью подсистемы ДИНАМИКА+. Была задана вертикальная динамическая нагрузка вдоль оси Z с амплитудой колебаний $\omega=35$ рад, что соответствует $f=50$ Гц, количество учитываемых форм колебаний – 100. Выполнен расчет с шагом интегрирования 0,1 с, время интегрирования – 30 с.

На рис. 1, а, б приведена расчетная схема и результаты расчета, на котором отображена форма которую принимает расчетная схема при $t = 16$ с.

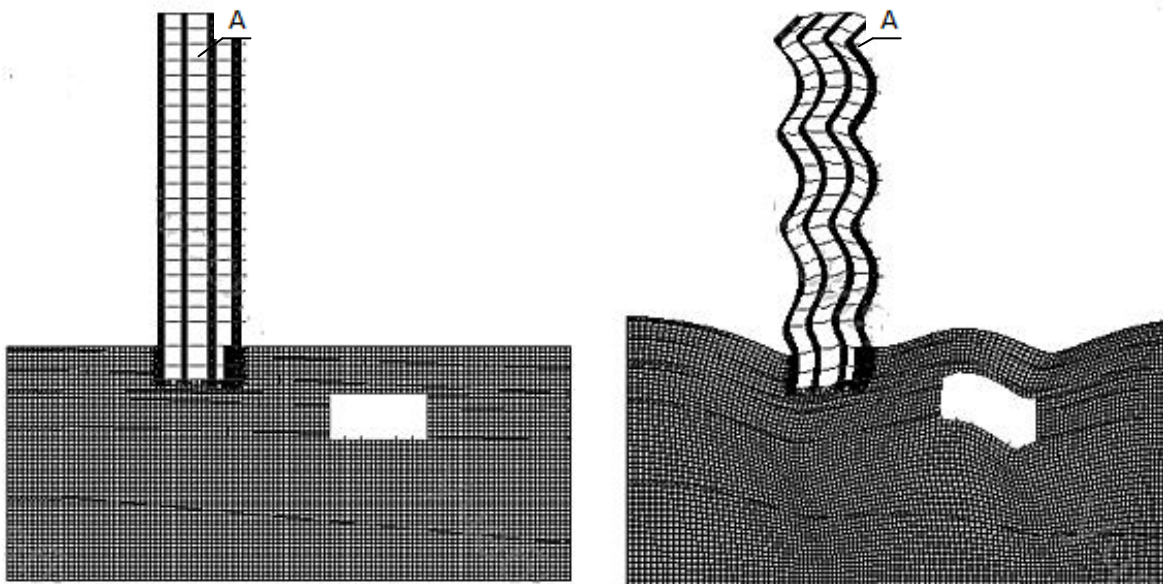


Рис. 1 - Расчетная схема, а – до динамического воздействия; б – после динамического воздействия

На рис.2 приведены графики ускорений в контрольной точке А.



Рис. 2. а - ускорение вдоль оси X в точке А



Рис. 2. б - ускорение вдоль оси Z в точке А

В таблице 1 дан сравнительный анализ допустимых виброускорений согласно Санитарных норм [1,2], норм ISO [3,4], и полученных в численном эксперименте результатов.

Таблица 1 Допустимые средние квадратичные значения виброускорения по оси Z

Обозначение нормативного документа	$\mu \cdot 10^{-3}$, м/с ² , в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц	
	31,5	56
СН2.2.4/2.1.8.566	7,0	12,75
ISO 2631-2	27,6	49,06
Результаты эксперимента	66,25	138,62

Выводы. При контроле вибрации в жилье от движения поездов метрополитена в качестве нормируемого параметра используется виброускорение, опираясь при установлении допустимого значения на порог чувствительности человеческого организма. Это позволяет перейти к

двухметрической оценке воздействия вибрации: по максимальному и эквивалентному значениям нормируемого параметра. В результате проведения численного эксперимента получены данные, из которых видно, что движение вагона метро создает ускорение на верхнем этаже вдвое превышающее допустимое. Поэтому рекомендуется при строительстве использовать демфирующие устройства и принимать конструктивные меры по снижению уровня проникающей вибрации.

В каждом конкретном случае требуется тщательный подбор параметров виброзащитных мероприятий с учетом физических моделей применяемых систем, конкретных технических и геологических условий.

Список использованной литературы

1. Санитарные нормы вибрации рабочих мест. №3044-84. М., Минздрав СССР, 1984.
2. Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки. №3077-84. . М., Минздрав СССР, 1984.
3. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1.General requirements. International standard ISO 2631/1. International Organization for Standardization, Geneva, Switzeland, 1985.
4. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2.Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz). International standard ISO 2631/2. International Organization for Standardization, Geneva, Switzeland, 1989.
5. Remington P.J., et al., Wheel Rail Noise and Vibration. U.S. Department of Transportation Report UMTA-MA-06-0025-75-10 and 11, in two volumes, 1975.
6. Transportation Noise Reference Book. Ed. by P.M.Nelson. London, Butterrworths, 1987,427 p.

Анотація

У статті розглядається вплив вібраційних динамічних навантажень метрополітену на несучу здатність конструкцій елементів прилеглих будівель. Мета теоретичних досліджень полягає у встановленні впливу динамічних навантажень метрополітену на напружено-деформований стан несучих конструкцій будівель.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, життєвий цикл, вібраційні навантаження, несучі конструкції, інформаційна технологія, деформації

Annotation

In this article considered the impact of vibration dynamic loads of subway on the bearing capacity of the underground structures of elements nearby buildings. The goal of theoretical research is to establish the effect of the dynamic loads of subway on the strain-stressed state of bearing structures of buildings.

Key words: computer modeling, life cycle, vibration load, bearing structures, Information Technology, deformation