

УДК 624.042.8:624.046:624.131.5

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКОГО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ СО СЛОЖНЫМИ  
ОСНОВАНИЯМИ**

*д.т.н., проф. Кулябко В.В. \*, к.т.н., проф. Банах В.А., Ерофеев С.А. \*\**

*\*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», г. Днепрпетровск*

*\*Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье*

Для изучения механизмов передачи динамических воздействий через грунт примем расчетную модель основания в виде сосредоточенных масс, соединенных специальными конечными элементами (КЭ), моделирующими нелинейные односторонние связи, с приложением динамических воздействий за пределами здания или сооружения, для получения динамических характеристик основания методами прямого интегрирования систем дифференциальных уравнений движения.

Такая модель дает возможность учесть подробным образом структуру основания, его инерционные характеристики, смоделировать инженерные сооружения сетей и конструкции, находящиеся в грунте, а также исследовать динамическую реакцию системы «здание (сооружение) – основание» во временной области, и является в определенной степени развитием и реализацией плоской дискретной статико-динамической (инерционной и упруго-диссипативной) модели основания, предложенной в середине 90-х годов В. В. Кулябко [1] (которая, в свою очередь, развивала статическую стержневую модель твердого тела А.Р. Ржаницына – 50-х годов XX в.).

Вид фрагмента – плоского комплекта – предложенной модели приведен на рис. 1. Плоский комплект усовершенствован до пространственного, на основе которого составлена динамическая расчетная модель основания.

В качестве объекта исследования передачи динамических воздействий через грунтовое основание и оценки адекватности расчетной модели взаимодействия с основанием принято девятиэтажное жилое крупнопанельное здание типовой серии, возведенное в 17 микрорайоне Хортицкого жилмассива г. Запорожья, модель которого на грунтовом основании, представленном массивом предложенных комплектов, показана на рис. 2. Работы по подготовке просадочного основания гидровзрывом и наблюдения за существующей застройкой производились Запорожским отделением Государственного предприятия «Государственный НИИ строительных конструкций».

Проверка адекватности модели произведена сопоставлением результатов расчетов с результатами натурных замеров во время проведения гидровзрыва. Затем определялась зависимость динамических параметров конструктивных элементов от расстояния до источника колебаний, расположенного вне здания, при передаче воздействий через грунтовое основание. В результате серии расчетов получены виброграммы амплитуд перемещений, скоростей и ускорений в зоне контактных элементов фундаментов и основания на разных

расстояниях от источника колебаний (рис. 3).

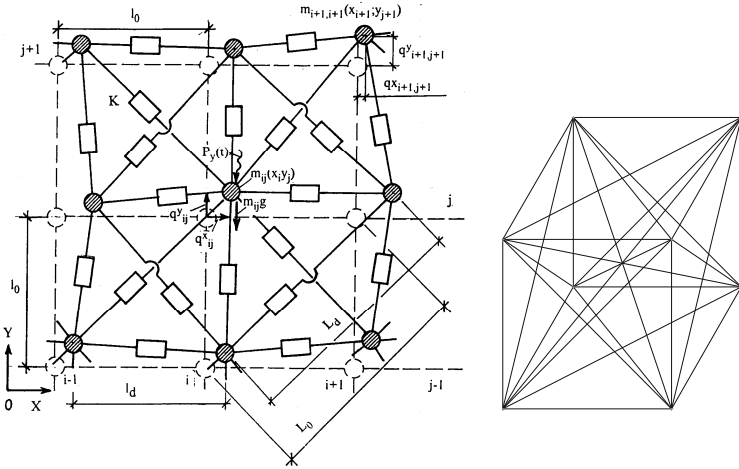


Рис. 1. Фрагменты плоского [1] и пространственного комплектов статико-динамической (инерционной и упруго-диссипативной) модели основания

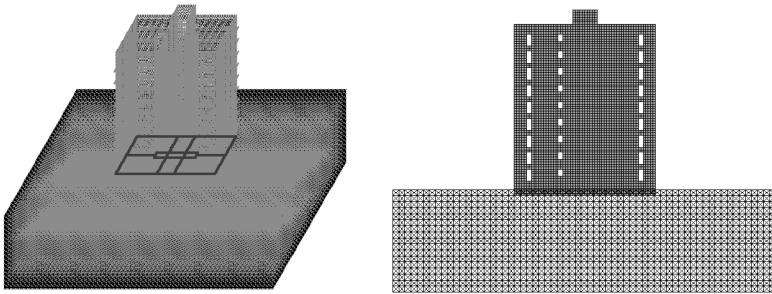


Рис. 2. Расчетная модель системы «здание – основание» с использованием пространственных комплектов

Был проведен анализ изменения амплитуд перемещений контактных элементов модели здания с грунтом при изменении расстояния до источника колебаний и направления распространения колебаний в модели грунтового массива. При этом для сопоставления принята методика, предложенная в [2].

По результатам расчетов построены графики зависимостей коэффициентов к значениям амплитуд (%) от приведенного расстояния до источника колебаний  $r/r_0$  для различных типов грунтовых условий, состава грунтов оснований и частоты колебаний (рис. 4). В качестве частотного диапазона исследовалась полоса 2...25 Гц как наиболее распространенная.

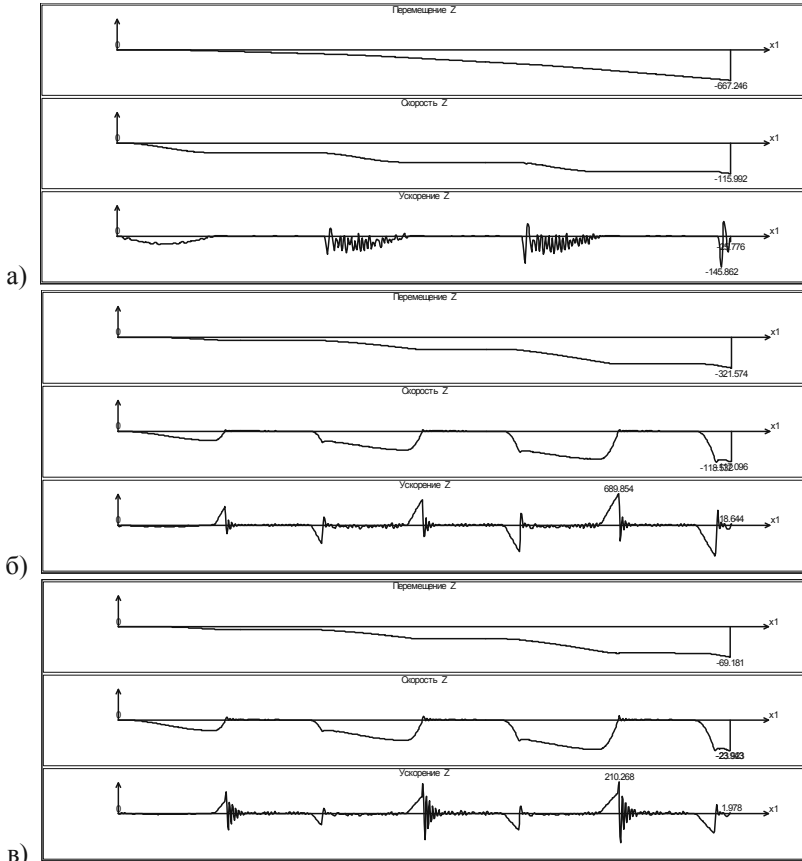


Рис. 3. Виброграммы амплитуд вертикальных перемещений, скоростей и ускорений контактных элементов здания при расстоянии до источника динамического возмущения на поверхности грунта 1,0 м (а), 7,0 м (б) и 30,0 м (в) в интервале 30 с

На графиках (рис. 4) показаны крайние положения кривых зависимостей для различных видов грунтов в состоянии естественной влажности и водонасыщенном состоянии при частотах колебаний источника на поверхности грунта 2 и 25 Гц. Графики, построенные для остальных исследованных частот 5, 10 и 15 Гц, вполне очевидно укладываются между этими крайними кривыми и условно не показаны.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы. Метод моделирования массива грунта как основания зданий и сооружений пространственными комплектами статико-динамической (инерционной и

упруго-диссипативной) модели (см. рис. 1...2) в динамических задачах позволяет наиболее точно учесть структуру и физико-механические характеристики грунтов, односторонний характер связей между элементами, смоделировать процессы, происходящие в основаниях и определить для каждого вида грунтовых условий зависимость уменьшения амплитуд колебаний от расстояния до источника динамических воздействий.

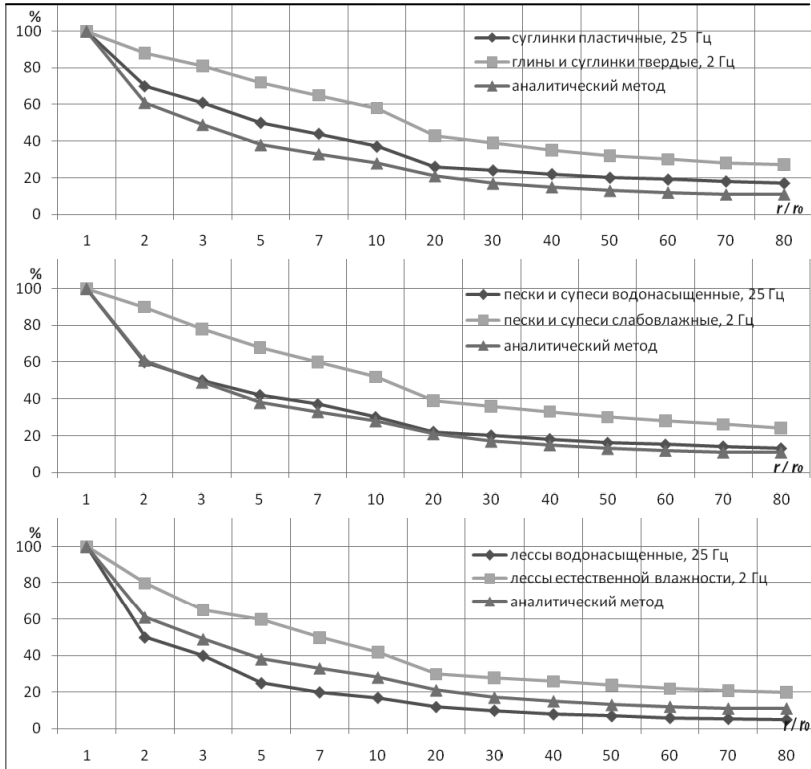


Рис. 4. Зависимость коэффициентов к амплитудам перемещений контактных элементов здания (в %) от приведенного расстояния  $r/r_0$  для различных грунтов оснований при вертикальном воздействии

Последнее обстоятельство позволяет для динамических задач осуществить переход от модели взаимодействия зданий и сооружений с основаниями, моделируемыми пространственными КЭ или предложенными комплектами, к модели основания специальными КЭ и приложением динамических воздействий непосредственно к узлам контакта здания с основанием. Амплитуды этих колебаний могут определяться в зависимости от

грунтовых условий по аналогичным рис. 4 графикам, а частоты в соответствии с общепринятой методикой принимаются равными частотам источника колебаний. Такой подход позволяет в задачах расчета таких сложных многокомпонентных систем, как «здание (сооружение) – грунтовое основание» уйти от проблемы назначения различных логарифмических декрементов колебаний, что на данный момент не реализовано в рамках использования стандартных профессиональных программных комплексов.

Основными преимуществами использования статико-динамической (инерционной и упруго-диссипативной) модели основания, представленной пространственными комплектами, являются возможности проведения расчета одновременно всего сложного комплекса из одного или нескольких взаимодействующих через грунт зданий и сооружений при комплексных динамических воздействиях; моделирования различных задач механики грунтов, разрыва связей между элементами оснований и между грунтовыми основаниями и конструкциями; учета неоднородности грунта по глубине и по слоям, уклона слоев и склонов, дискретных свайных, скальных и других включений, и т.п.; задания любых законов увеличения модуля деформации грунта с ростом глубины сжимаемых слоев (линейного, параболического и т.д., в зависимости от конкретных инженерно-геологических условий); моделирования необходимых сочетаний параметров диагональных, вертикальных и горизонтальных связей, которые приводят к распределительной способности моделируемого основания в соответствии с экспериментальными данными; корректного моделирования нелинейных фрикционных соединений (стыков конструкций), а также изменения свойств среды, зависящих от времени, нагрузки, режима вибрации и т.д.

Таким образом, для моделирования взаимодействия системы «здание (сооружение) – основание» при динамических воздействиях может быть рекомендован предложенный подход, основанный на формировании статико-динамической (инерционной и упруго-диссипативной) модели грунтового основания пространственными комплектами. Это дает возможность выполнения корректных динамических расчетов сложных систем, моделирования любой структуры и состава оснований, выявления закономерностей распространения колебаний в грунте и на его поверхности, а также упрощения расчетных моделей такого взаимодействия.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Куляко В. В. Динамика конструкций, зданий и сооружений. Ч. 1 : Статико-динамические модели для анализа свободных колебаний и взаимодействия сооружений с основаниями и подвижными нагрузками / Куляко В. В. – Запорожье : ЗГИА, 2005. – 232 с.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения : справочник проектировщика / [М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов и др.] ; под ред. Е. А. Сорочана, Ю. Г. Трофименкова. – М. : Стройиздат, 1985. – 480 с.