

УДК 624.042.8:624.046:624.131.5

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ ДЛЯ УЧЕТА ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СО ЗДАНИЯМИ И СООРУЖЕНИЯМИ

В. В. Кулябко*, д. т. н., **В. А. Банах****, д. т. н.

**ГВУЗ «Днепропетровская государственная академия строительства и архитектуры», г. Днепропетровск*

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

В последнее время отечественные и зарубежные исследователи проявляют повышенный интерес к проблеме учета взаимодействия зданий и сооружений с грунтовыми основаниями, в том числе при реконструкции и при динамических воздействиях. К числу динамических воздействий, передаваемых на здания и сооружения через грунтовые основания, относятся:

– сейсмические воздействия, имеющие характеристики продольных волн из-за удаленности эпицентров землетрясений в сейсмических районах;

– динамические воздействия, передаваемые через дорожное покрытие и поверхностные слои грунта: все виды наземного автомобильного, рельсового и электротранспорта, строительной техники, технологического оборудования вне зданий;

– динамические воздействия, передаваемые через грунтовые толщи: от подземного транспорта (метро), строительной техники ударного действия (например, забивка свай в котлованах, уплотнение грунта тяжелыми трамбовками, в том числе при устройстве грунтовых подушек);

– искусственное улучшение свойств грунтов в сложных инженерно-геологических условиях гидровзрывом, взрывные работы в местах добычи полезных ископаемых и другие.

Целью исследований была разработка принципов моделирования динамических воздействий при их передаче через грунт и возможностей обоснованного упрощения моделей взаимодействия зданий и сооружений с грунтовыми основаниями, выявление закономерностей распространения колебаний в моделях грунтовых массивов, особенностей учета динамических воздействий в зависимости от расстояния их источника от рассчитываемого объекта.

Известны дискретные модели сплошного изотропного упругого тела, предложенные для решения статических задач А. Р. Ржаницыным [1] в виде шарнирно-стержневой системы. В этой модели предлагались кубические решетки из шарнирно соединенных по концам стержней (линейно-упругих, с двусторонними закреплениями в узле) с диагоналями граней и без диагоналей кубов, с диагоналями и граней, и кубов, а также применение метода конечных разностей и обычного метода перемещений.

Полученное в вариантах модели А. Р. Ржаницына ограничение в ее использовании только для линейно-упругих материалов со значением коэффициента Пуассона 0,25 автор модели посчитал допустимым из-за незначительности его влияния, а также из-за близости этого коэффициента для большинства материалов к величине 0,25. Заметим, что величина коэффициента Пуассона,

действительно, для железобетона равна примерно 0,17; для стали 0,25-0,30; для крупнообломочных грунтов 0,27, песков и супесей 0,30. Однако, для суглинков (0,35), глин (0,42) и некоторых других материалов его значения уже более заметно отличаются от величины 0,25.

Модернизируя упомянутую стержневую модель для решения более широкого класса нелинейных задач, включая задачи динамики систем с разрывными характеристиками (фрикционное демпфирование, односторонний характер связей, зазоры, переменные параметры и т.п.), заменяем, используя прием

редуцированного моделирования, плоские или пространственные решетки из стержней с двусторонними связями, предложенные А. Р. Ржаницыным для статических моделей, на новые динамические решетки с практически любыми инерционными, упругими и диссипативными свойствами, а также с разрывными характеристиками односторонних связей и фрикционных элементов «связей-комплектов».

В этом случае в узлах решетки, показанных на рис. 1, а, будем располагать сосредоточенные массы, величины которых соответствуют массе грунта ячейки решетки (в плоском или пространственном варианте). Массы соединяются системой расположенных ортогонально и по диагоналям (одно-раскосных, перекрестных и т.п.) продольно-деформируемых стержней-комплектов с нелинейными элементами и свойствами. На рис. 2 приведены примеры таких обобщенных комплектов. Проблемы выбора размеров сетки, количества ярусов и столбцов ячеек, числа

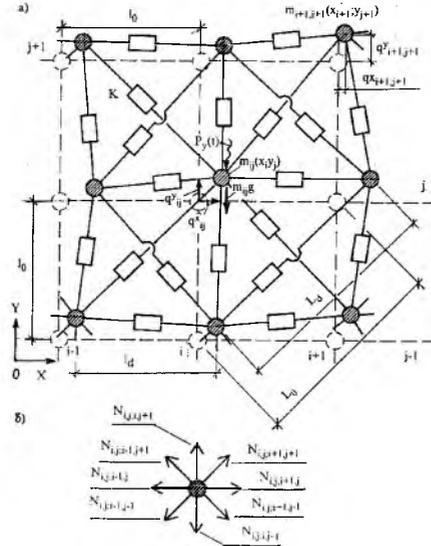


Рис. 1. Фрагмент предлагаемой плоской статико-динамической (инерционной и упруго-диссипативной) модели основания с сосредоточенными массами и условными ортогональными и диагональными «стержнями – нелинейными комплектами K » (а), а также схема (б) продольных сил N , действующих со стороны комплектов на массу m_{ij}

динамических степеней свободы, шага интегрирования, точности и т.п. в данной модели аналогичны таким же проблемам в методе конечных элементов (МКЭ) и многих других методах. Эти проблемы снимаются тщательным тестированием и специальными приемами, связанными с целями и видами конкретных задач.

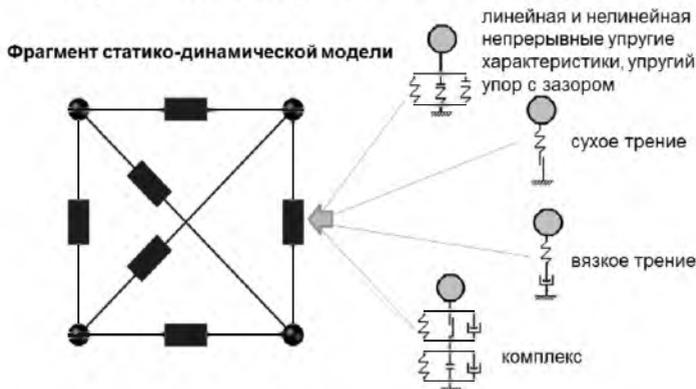


Рис. 2. Варианты комплектов, моделирующих различные свойства элементов упруго-диссипативного основания

Дифференциальные уравнения движения описываемой модели образуются, например, по принципу Даламбера из условия равновесия всех сил на горизонтальные и вертикальные оси. Если выбрать обобщенные координаты q_{ij} для перемещений массы i -го столбца на отметке j -го яруса, то, как видно из рис. 1, б, в сумму проекций на ось OX войдет от шести до восьми проекций сил в связях N , а на ось OY , кроме них еще и сила тяжести ячейки среды $m_j g$, а также возмущающая сила $P_j(t)$, если она приложена именно в этом узле и строго вертикально.

Усилия в комплексах K , связывающих узлы решетки по вертикалям и горизонталям, а также по диагоналям, зависят от разностей текущего и первоначального расстояний между узлами соответственно (см. обозначения на рис. 1, а) равных: $(L_d - l_0)$ и $(L_d - L_0)$, где

$$L_d = \sqrt{[(l_0 - \Delta x_{i,j}) + \Delta x_{i+1,j+1}]^2 + [(l_0 - \Delta y_{i,j}) + \Delta y_{i+1,j+1}]^2}.$$

Основными преимуществами такой модели основания являются:

- возможность проведения расчета одновременно всего сложного комплекса одного или нескольких динамически-взаимодействующих (через грунт и др. среды) сложно-составных сооружений и силовых статических и динамических полей возмущений и нагрузок;
- возможность моделирования различных задач механики зернистых сред, разрыва связей между элементами основания (среды) и между основанием и конструкцией;
- учет неоднородности грунта по глубине и пространству слоев, учет наклона слоев и склонов, учет дискретных свайных, скальных и других включений и т.п.;

– возможность задания любых законов увеличения модуля деформации грунта (среды) с ростом глубины сжимаемых слоев (линейного, параболического и т.д., в зависимости от конкретных условий);

– возможность моделирования таких сочетаний параметров диагональных, вертикальных и горизонтальных связей, которые приводят к необходимой (и соответствующей экспериментам на реальных сооружениях и материалах-аналогах) распределительной способности моделируемого материала;

– возможность корректного моделирования нелинейных фрикционных соединений, а также изменения свойств среды, зависящих от времени, нагрузки, режима вибрации и т.д. [2].

В результате, из-за того, что сложно учесть нелинейность в динамических задачах, был создан пространственный элемент с комплектом свойств для моделирования грунтовых массивов и других сред в развитие статико-динамических расчетных моделей, приведенных выше. Фрагмент такой модели приведен на рис. 3.

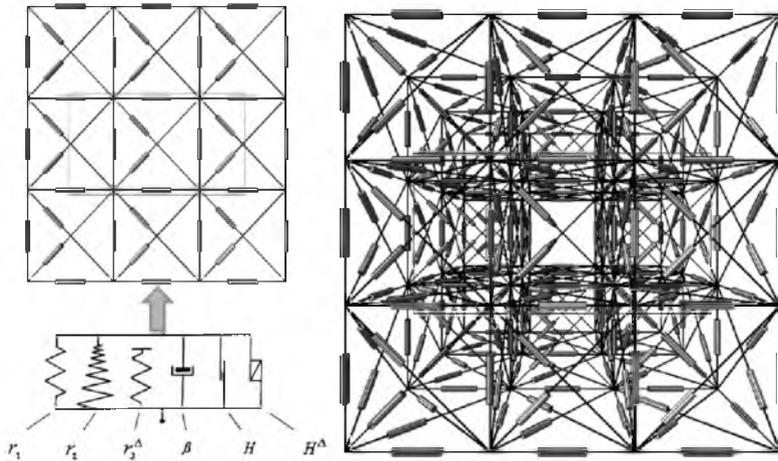


Рис. 3. Фрагмент пространственной статико-динамической (инерционной и упруго-диссипативной) модели основания с реализацией различных типов нелинейности (с диагоналями граней без диагоналей кубов)

В результате появилась возможность в каждом из этих элементов учесть полный необходимый набор свойств, который реализует нелинейные процессы, в том числе односторонние связи, вязкое и сухое трение, переменную жесткость и т. д. Выполняя расчеты таких систем, можно получать необходимые достоверные результаты [3]. Для апробации данной модели был использован известный натурный эксперимент при устранении просадочных свойств грунтов гидровзрывом с замерами динамических характеристик воздействий непосредственно на конструкциях зданий существующей застройки

(рис. 4). Данные натурных замеров и результатов расчетов разработанной модели дают хорошую сходимость, и таким образом появилась возможность анализа динамических процессов во времени.

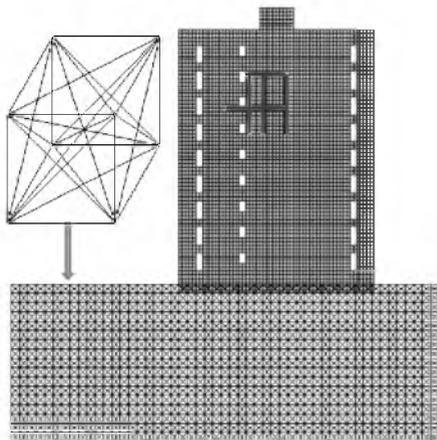


Рис. 4. Фрагмент пространственной модели взаимодействия здания с основанием с использованием предлагаемых стержней-комплектов

Кроме того, поскольку сложно реализовать в расчетах нелинейные процессы в основаниях, возникла необходимость обоснования переноса динамических воздействий, приложенных за пределами здания с использованием основания как механизма их передачи, на здание. В результате, по общепринятой методике были выполнены расчеты коэффициентов к амplitудам колебаний в зависимости от расстояния до здания от источника колебаний. Комплекс исследований характера распространения колебаний в грунте позволил количественно оценить основание как механизм передачи и влияние расстояния от источника до здания.

Выводы: Предложена пространственная статико-динамическая (инерционная и упруго-диссипативная) модель основания, позволяющая исследовать и анализировать закономерности распространения колебаний в моделях грунтовых массивов, особенности учета динамических воздействий в зависимости от расстояния их источника от рассчитываемого объекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ржаницын А. Р. Представление сплошного изотропного упругого тела в виде шарнирно-стержневой системы / А. Р. Ржаницын // Исследования по вопросам строительной механики и теории пластичности / Под. ред. А. Р. Ржаницына. – М.: Стройиздат, 1956. – С. 84-96.
- 2 Кулябко В. В. Динамика конструкций, зданий и сооружений. Ч. 1 : Статико-динамические модели для анализа свободных колебаний и взаимодействия сооружений с основаниями и подвижными нагрузками / Кулябко В. В. – Запорожье: ЗГИА, 2005. – 232 с.
- 3 Банах В. А. Статико-динамические расчетные модели зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях : монография / В. А. Банах. – Запорожье: Издательство ЗГИА, 2012. – 334 с.