

УДК 624.04:69.05:624.131.5

канд. техн. наук, профессор Банах В.А.,
Запорожская государственная инженерная академия

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗДАНИЙ С ГРУНТОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Проанализированы и систематизированы особенности формирования расчетных моделей взаимодействия зданий и сооружений с основаниями в сложных инженерно-геологических условиях при динамических воздействиях. Данна классификация расчетных моделей. Представлена инженерная методика и приведены рекомендации по формированию расчетных моделей.

Ключевые слова: расчетные модели, деформированное состояние здания, сложные инженерно-геологические условия, динамические воздействия

Актуальность проблемы. Проблема корректного моделирования динамических воздействий в расчетных моделях зданий и сооружений всегда возникает при их проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции и усилении. При этом динамические воздействия занимают особое место, так как требуют тщательного анализа конструктивной схемы здания, знания особенностей их распространения и передачи, корректных приемов моделирования и специфического анализа результатов расчета.

Решению проблем, связанных с моделированием динамических воздействий, в том числе и на деформированные здания и сооружения, посвящен ряд исследований В.П. Агапова, А.С. Городецкого, В.В. Кулябко, А.В. Перельмутера, В.И. Сливкера и др. [1...4]. Но единой методики формирования расчетных моделей взаимодействия зданий и сооружений с грунтовыми основаниями и рекомендаций по ее применению для сложных инженерно-геологических условий в настоящее время нет.

Одна из задач исследования – предоставить инженерам, занимающимся расчетами строительных конструкций зданий (сооружений), формализованный набор правил, позволяющий избежать критических ошибок при моделировании взаимодействия верхнего строения с грунтовым основанием в сложных инженерно-геологических условиях при динамических воздействиях для обеспечения требований нормативных документов по прочности, жесткости, устойчивости и комфорtnости.

Целью данного исследования является создание инженерной методики и рекомендаций по формированию динамических моделей зданий (сооружений),

експлуатируемых в сложных инженерно-геологических условиях.

Материалы исследования. Работа выполнялась в рамках Постановления Кабинета Министров Украины № 409 то 05 мая 1997 г. «Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж», а также в рамках госбюджетных исследований Запорожской государственной инженерной академии «Особливості проектування, експлуатації та реконструкції будівель і споруд, методів їх розрахунку та об'ємно-планувальних рішень в складних умовах будівництва».

Область применения методики – здания (сооружения) в сложных инженерно-геологических условиях при динамических воздействиях в стадиях проектирования, возведения, эксплуатации и реконструкции. Методика ориентирована на программные комплексы, реализующие метод конечных элементов для моделирования взаимодействия зданий (сооружений) с основаниями при динамических воздействиях.

Динамические модели зданий (сооружений) в сложных инженерно-геологических условиях в зависимости от вида динамического воздействия и особенностей динамической реакции подразделяются на четыре группы.

Группа 1 – динамические модели при кратковременных или мгновенных динамических воздействиях вне зданий (сооружений), передаваемых через грунтовые основания (сейсмика, искусственное улучшение свойств просадочных грунтов гидровзрывом, взрывные работы в местах добычи полезных ископаемых и др.).

Группа 2 – динамические модели при динамических воздействиях вне зданий (сооружений), передаваемых через дорожное покрытие или поверхностные слои грунтовых оснований (все виды наземного автомобильного, рельсового и электротранспорта, строительной техники, технологического оборудования, расположенного вне зданий и др.).

Группа 3 – динамические модели при динамических воздействиях вне зданий (сооружений), передаваемых через грунтовые толщи (от подземного транспорта, метрополитена, строительной техники ударного действия, работающей в глубоких котлованах, уплотнения грунта тяжелыми трамбовками, в том числе при устройстве грунтовых подушек и др.).

Группа 4 – динамические модели при динамических воздействиях малой интенсивности, действующих непосредственно на конструкции зданий (сооружений) (строительное оборудование и инструменты, используемые при реконструкциях и ремонтах, бытовое и промышленное оборудование в сооружениях при их перепрофилировании, ветровые воздействия и др.).

Для всех групп моделей используется их деформированная схема для учета возможных (при проектировании и возведении) или фактических (при

эксплуатации и реконструкции) деформаций, вызванных неравномерными осадками оснований. Для получения деформированной модели предусмотрено три возможности:

- корректировка геометрической схемы расчетной модели по данным натурного обследования (для эксплуатируемых зданий) или по результатам расчета перекосов и кренов (для проектируемых зданий);
- сохранение деформированной схемы расчетной модели метода конечных элементов, полученной в результате статического расчета системы «здание – основание», как исходных данных для следующего этапа расчета по специальному алгоритму;
- преобразование перемещений узлов модели, полученных при расчете системы «здание – основание», в эквивалентные нагрузки, реализованное в конечноэлементных программных комплексах (например, LIRA-Windows).

Такой способ задания деформированной схемы здания (сооружения) позволяет учесть предысторию его нагружения, когда динамическая реакция конструкций здания (сооружения) накладывается на его напряженное состояние, возникающее в результате действия неравномерных деформаций грунтового основания.

При формировании динамических моделей для расчета на любые виды динамических воздействий обязателен учет всех конструктивных элементов, имеющих существенные инерционные характеристики.

Учет физической и геометрической нелинейности компонентов динамических моделей повышает достоверность результатов расчета, особенно в случаях передачи динамических воздействий через грунт.

Для динамических моделей группы 1:

- при необходимости оценки только динамической реакции здания (сооружения) его взаимодействие с основанием допускается учитывать специальными конечными элементами на границе контакта фундамента с основанием, реализующими упругую одностороннюю связь и моделирующими деформационные и демпфирующие свойства основания;
- при необходимости определения динамической реакции системы «здание (сооружение) – основание» их взаимодействие учитывается моделированием ограниченного массива грунта с учетом упругих односторонних связей на границе контакта фундамента с основанием;
- размеры фрагмента массива грунта, вводимого в расчетную модель, должны соответствовать рекомендованным расстояниям до источников динамических возмущений в каждую сторону от наружных граней объекта, а также от самого источника колебаний до границ массива, для исключения вторичных волн от внешних связей (ориентировочно для зданий по граням вне

прямого влияния источника колебаний – не менее 1,5 высоты здания в плане), а по мощности – не менее глубины сжимаемой толщи грунта под подошвой фундамента;

– задание одинаковых диссипативных характеристик для материала конструкций здания (сооружения) и грунта основания при мгновенных или близких к ним кратковременных воздействиях допустимо, так как реакция системы в этом случае близка к упругой и различные диссипативные свойства здания (сооружения) и основания не успевают проявиться.

Для динамических моделей группы 2:

– при необходимости определения динамической реакции здания (сооружения) достаточно упрощенной модели грунтового массива без учета физической и геометрической нелинейности объемных конечных элементов, моделирующих основание, однако с учетом односторонних упругих связей между элементами фундамента и грунта;

– моделирование основания, которое учитывается введением односторонних упругих связей в узлы контакта модели здания с основанием, рекомендуется при наличии данных прямых замеров параметров динамической реакции. При этом необходимо проведение оперативной корректировки расчетной модели с целью приведения в соответствие ее динамических характеристик и фактически замеренных показателей;

– размеры фрагмента массива грунта, вводимого в расчетную модель, должны соответствовать рекомендованным расстояниям до источников динамических возмущений в каждую сторону от наружных граней объекта, а также от самого источника колебаний до границ массива, для исключения вторичных волн от внешних связей (ориентировочно для зданий по граням вне прямого влияния источника колебаний – не менее 1,5 высоты здания в плане), а по мощности – не менее глубины сжимаемой толщи грунта под подошвой фундамента;

– задание одинаковых диссипативных характеристик для материала конструкций здания (сооружения) и грунта основания при динамических воздействиях допустимо, так как их передача осуществляется поверхностным слоем грунта или дорожным покрытием, и различные диссипативные характеристики не играют определяющей роли в достоверности результатов, хотя и искажают картину динамической реакции здания.

Для динамических моделей группы 3:

– при определении динамической реакции здания (сооружения) необходима подробная пространственная модель грунтового массива с учетом физической и геометрической нелинейности объемных конечных элементов, моделирующих основание, односторонних упругих связей между элементами

фундамента и грунта, природных и техногенных неоднородностей в грунтовом массиве, подземных сооружений и инженерных сетей;

- для получения достоверных результатов расчета необходимо проведение оперативной корректировки расчетной модели с целью приведения в соответствие ее динамических характеристик и фактически замеренных показателей в случае наличия таких данных;

- размеры фрагмента массива грунта, вводимого в расчетную модель, должны соответствовать рекомендованным расстояниям до источников динамических возмущений в каждую сторону от наружных граней объекта, а также от самого источника колебаний до границ массива, для исключения вторичных волн от внешних связей (ориентировочно для зданий по граням вне прямого влияния источника колебаний – не менее 1,5 высоты здания в плане), а по мощности – не менее рекомендованных расстояний от источника колебаний в грунтовой толще до объекта и до границ массива, но не менее глубины сжимаемой толщи грунта под подошвой фундамента;

- задание одинаковых диссипативных характеристик для материала конструкций здания (сооружения) и грунта основания при динамических воздействиях приводит к существенному искажению картины динамической реакции здания даже с учетом односторонних связей и физической нелинейности в элементах, так как в работу включается весь массив, что приводит к резкому уменьшению значений динамических реакций, при этом искусственное ограничение грунтового массива в пространстве увеличивает время его активной реакции на возмущение;

- наилучшим вариантом учета основания в динамических моделях данной группы является его представление в виде статико-динамической (инерционной и упруго-диссипативной) модели.

Для динамических моделей группы 4:

- при необходимости определения динамической реакции здания (сооружения) достаточно упрощенной модели грунтового массива без учета физической и геометрической нелинейности объемных конечных элементов, моделирующих основание, однако с учетом односторонних упругих связей между элементами фундамента и грунта;

- моделирование основания введением односторонних упругих связей в узлы контакта модели здания с основанием рекомендуется для деформированных эксплуатируемых зданий при динамических воздействиях малой интенсивности, что позволяет получить характеристики, влияющие не только на прочность конструкций, но и на показатели комфортности, и прогнозировать негативные последствия при локальной или полной реконструкции зданий и сооружений;

– задание одинаковых диссипативных характеристик для материала конструкций здания (сооружения) и грунта основания при динамических воздействиях допустимо, так как их передача осуществляется поверхностным слоем грунта или дорожным покрытием, и различные диссипативные характеристики не играют определяющей роли в достоверности результатов, хотя и искажают картину динамической реакции здания;

– недопустимо использовать для динамических расчетов в расчетных моделях зданий и сооружений сложной структуры упрощения, связанные с игнорированием самонесущих элементов, имеющих существенные инерционные характеристики.

Критерием адекватности расчетной модели при динамических воздействиях является соответствие собственных динамических характеристик, полученных в результате расчета модели, с характеристиками, замеренными приборами непосредственно в здании (сооружении) при обследовании или динамической паспортизации.

В случае неадекватности расчетной модели необходима корректировка для достижения соответствия ее поведения поведению реального объекта при динамических воздействиях. Такая корректировка может быть многоступенчатой и заканчивается тогда, когда основные динамические характеристики модели и реального объекта достигают соответствия с учетом допустимых погрешностей.

Выводы. Положения предлагаемой методики подтверждены численными экспериментами, сопоставленными с результатами натурных наблюдений и обследований. Разработанная методика формирования динамических моделей зданий, эксплуатируемых в сложных инженерно-геологических условиях, принята к использованию:

– Запорожским отделением Государственного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций» – для проверки адекватности применяемых расчетных моделей и контроля напряженно-деформированного состояния конструкций крупнопанельных зданий при их выравнивании;

– Инженерно-строительным предприятием «ФОРТ» – для минимизации сечений несущих железобетонных элементов жилых 23-этажных монолитных каркасных зданий при условии обеспечения необходимой пространственной жесткости и устойчивости, а также требований санитарных норм и условий комфортности при действии динамической составляющей ветровой нагрузки;

– Научно-производственной фирмой «Мой Дом» – для анализа динамической реакции 16-этажного жилого здания из монолитного железобетона на динамическую составляющую ветровой нагрузки с точки

зрения соблюдения требуемых условий прочности и комфортности, а также действующих санитарных норм;

– ОАО «Запорожский производственный алюминиевый комбинат» – для определения пригодности к дальнейшей эксплуатации и анализа особенностей работы на внешние воздействия деформированной вследствие просадочных деформаций стальной трубы высотой 72 м, имеющей дефекты несущих конструкций.

Література

1. Агапов В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций / В. П. Агапов. – М.: Издательство АСВ, 2000. – 152 с.
2. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Издательство «Факт», 2005. – 344 с.
3. 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 / В. В. Кулябко. – Запорожье: ЗГІА, 2005. – 232 с.
4. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – М.: Изд-во ДМК Пресс, 2007. – 595 с.

Анотація

Проаналізовані та систематизовані особливості формування розрахункових моделей взаємодії будівель і споруд з основами в складних інженерно-геологічних умовах при динамічних діях. Дано класифікація розрахункових моделей. Представлена інженерна методика та приведені рекомендації з формування розрахункових моделей.

Ключові слова: розрахункові моделі, деформований стан будівлі, складні інженерно-геологічні умови, динамічні дії

Annotation

The features of forming of calculation models of co-operation of buildings with grounds in difficult engineer-geological conditions under dynamic influences are analyzed and systematized. Classification of calculation models is given. Engineering methods are presented, recommendations of forming of calculation models are brought.

Keywords: calculation models, deformed state of building, difficult engineer-geological conditions, dynamic influences