

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С ГРУНТОВЫМ МАССИВОМ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Кичаева О.В., Раджабзадег Могсен

Харьковский национальный университет
строительства и архитектуры
г. Харьков, Украина

АНОТАЦИЯ: У статті відображено деякі аспекти дослідження динамічної взаємодії залізобетонних каркасних будинків з ґрунтовим масивом при сейсмічних впливах. Запропоновано методику, що дозволяє комплексно розраховувати систему «ґрунтовий масив - споруда» і враховує особливості зовнішніх впливів, властивості матеріалів, специфіку ґрунтових умов майданчиків Ірану, а також особливості сейсмічних впливів, що задаються за методом спектра реакції для майданчика.

АННОТАЦИЯ: В статье отражены некоторые аспекты исследования динамического взаимодействия железобетонных каркасных зданий с грунтовым массивом при сейсмических воздействиях. Предложена методика, позволяющая комплексно рассчитывать систему «грунтовый массив – сооружение», которая учитывает особенности внешних воздействий, свойства материалов, специфику грунтовых условий площадок Ирана, а также особенности сейсмических воздействий, задаваемых по методу спектра реакции для площадки.

ABSTRACT: The article highlights some aspects of the study of the dynamic interaction of reinforced concrete frame building with a soil file at seismic impacts. The technique, which allows to calculate the complex system of " an array of ground - construction", which takes into account the external effects, material properties, ground conditions specifics areas of Iran, as well as features of seismic effects, defined by the method of the response spectrum for the site.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: каркасные здания, напряженно-деформированное состояние, система «грунтовый массив - сооружение», сейсмическое воздействие

ВВЕДЕНИЕ

Более 85% территории Ирана являются сейсмоопасными, около 20% от всех разрушительных землетрясений, зафиксированных в прошлом веке по всему миру, произошли в Иране. Зачастую к этому присоединяются неблагоприятные условия площадки: плохие грунты, близость тектонических разломов, сложный рельеф и т.д., при этом сейсмическая опасность на этой территории постоянно возрастает. Также существует проблема, заключающаяся в непродолжительных сроках эксплуатации зданий по сравнению с мировыми стандартами. Следует отметить, что железобетонные каркасные здания составляют большинство сооружений, которые возводятся и реконструируются в Иране.

Анализ последствий (разрушений) дает информацию для проектирования более сейсмостойких конструкций, нахождения экономических решений, касающихся повышения их безопасности, усиления уже поврежденных зданий и сооружений. В связи с вышеизложенным, безусловно, актуальным является обеспечение сейсмической безопасности зданий, что требует изучения поведения грунтового массива и взаимодействия с ним зданий и сооружений при сейсмическом воздействии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведен анализ исследований, посвященных взаимодействию системы «грунтовой массив – сооружение» при сейсмических воздействиях, рассмотрены теоретические и экспериментальные аспекты изучения, связанные с этой проблематикой. Авторами этих исследований являются такие ученые, как В.А. Баранов, А.Н. Бирбраер, В.К. Егупов, К.В. Егупов, В.А. Ильичев, А.П. Кириллов, В.В. Крылов, С.В. Медведев, Э.Б. Муравский, О.А. Савинов, В.М. Сеймов, О.Я. Шехтер, Ahmadnia, R.N. Arnold, G.N. Yucroft, Hosseinzade, Ghannad, Jahankhah, Johari, Montes, G.B. Warburton, P. Karasudhi, L.M. Keer, S.L. Lee, J.E. Lucu, R.A. Westmann и др. Основные практические приложения при изучении взаимодействия зданий с грунтом при колебаниях были предложены специалистами ГП НИИСК - Ю.И. Немчиновым, Н.Г. Марьенковым, А.Н. Бамбурой и др. Расчетные модели системы «грунтовой массив – сооружение» предложены В.Г. Баженовым, Р. Клаффом, Дж. Пензиеном, Kramer, Carr, Chambers, Zhao, Lysmer, Gazeta, Wolf и др. Исследованием динамики строительных конструкций и грунтовых оснований занимались многие специалисты Украины: А.Е. Антонок, А.С. Городецкий, А.С. Дегтярь, Е.С. Дегтярюк, В.К. Егупов, К.В. Егупов, М.Н. Козакевич, Ю.А. Климов, В.С. Кукунаев, В.В. Кулябко, А.И. Лантух-Лященко, П.Г. Мельник-Мельников, Б.Н. Островерх, Е.Ф. Панюков, А.В. Перельмутер, Н.П. Плахтиенко, О.А. Савицкий, В.М. Сеймов, А.Н. Трофимов, С.Ю. Фиалко, В.С. Шмуклер и др.

На основании анализа работ, посвященных динамическому взаимодействию каркасных зданий с грунтовым массивом в условиях сейсмического воздействия, были сформулированы цель и задачи настоящего исследования.

Цель статьи – установление степени взаимодействия системы «грунтовой массив – сооружение» при сейсмических воздействиях путем численных и экспериментальных исследований. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. анализ записей землетрясений на территории Ирана для построения результирующих спектров реакции грунта с учетом сейсмических и инженерно-геологических условий (ИГУ) площадок ИРИ;

2. построение математической модели для разработки методики оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) каркасных зданий при сейсмических воздействиях, позволяющей учесть грунтовой массив и пространственную работу здания;

3. выполнение количественной оценки влияния ИГУ на взаимодействие основания с железобетонными каркасными зданиями (численно и экспериментально).

Прежде всего был выполнен статистический анализ более 9500 землетрясений на территории Ирана за период с 1900 по 2012 год по магнитудам землетрясений M_L , m_b , M_S , M_W и определено их распределение по территории страны [1].

Далее была предложена методика оценки НДС каркасных зданий при сейсмическом воздействии, базирующаяся на предлагаемой модели системы «грунтовой массив – сооружение» и учитывающая специфику ИГУ площадок Ирана. Так как деформированию системы «грунтовой массив – сооружение» присущ пространственный характер, принято, что методика учитывает совместную работу всей системы и особенности внешних воздействий. Также возможен учет грунтового массива со всеми характеристиками грунтов, слоистости, глубины заложения фундамента; в качестве модели основания выбрана упругопластическая модель.

Для определения НДС в элементах здания используется метод конечных элементов, который учитывает сложность схемы и совместность работы всей системы при воздействии сейсмических нагрузок. Основные конструктивные элементы здания представлены стержневыми пространственными элементами и оболочечными конечными элементами прямоугольной или треугольной формы, имеющими в каждом узле по шесть степеней свободы. Основание дискредитируется объемными элементами; на стыке КЭ фундамента и грунта вводятся коэффициенты, учитывающие фактор трения на контакте «фундамент – грунт». По границе грунтового массива для адекватного моделирования используются элементы, имитирующие пружину, которые присоединяются к узлам элементов в направлении землетрясения (гори-

зонтальное направление). Таким образом, расчетная схема здания представляет собой пространственную систему, состоящую из конечных элементов различного вида, жестко или упруго соединенных в углах и опирающуюся на фундаментную плиту в объеме грунта, моделируемого объемными элементами (рис. 1) [2].

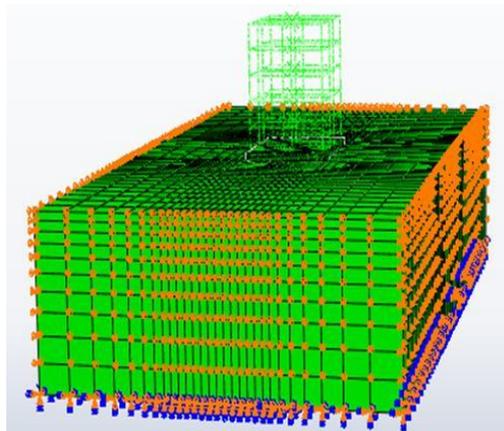


Рис. 1. Конечно-элементная модель системы «грунтовый массив – сооружение»

Для реализации расчетной модели на ЭВМ были выбраны программные комплексы ABAQUS и SAP2000.

Сейсмические воздействия на здания приняты в результате использования метода спектра реакции для площадки, с помощью которого получены спектры реакции грунта с учетом сейсмических и ИГУ Ирана. Была предложена методология для реализации этого способа для площадок, находящихся в условиях Ирана [3].

Набор данных масштабировался таким образом, чтобы среднее значение полученного спектра было ниже расчетного спектра землетрясения при 5%-ном затухании не более, чем в 1,4 раза (рис. 2).

Анализ влияния взаимодействия основания и сооружения на период колебаний здания заключался в сравнении периодов свободных колебаний первых 12 форм моделей 5-этажных зданий, рассчитанных с учетом основания – $T_{(i)}'$ и без учёта основания – T , и в определении соотношения периодов свободных колебаний $T_{(i)}'/T$, где i – тип грунтов по нормам Ирана.

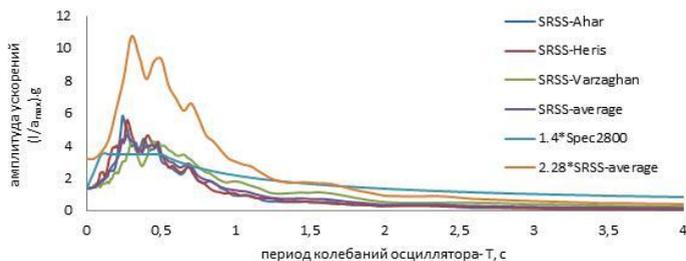


Рис. 2. Результирующие упругие спектры реакции грунта при 5%-ном затухании, построенные посредством метода SRSS для района Азербайджана

Исследование влияния грунтовых условий на взаимодействие основания с каркасными зданиями реализовано в виде численного эксперимента, состоящего из серии расчетов зданий с различным соотношением Н/В (Н – высота здания, В - ширина подошвы фундамента). Изучаемые здания представляют собой 5, 10, 15, 20-этажные железобетонные каркасные здания, расположенные на грунтах четырех типов, а также без задания основания. Инерционные и деформационные характеристики грунтовых оснований приняты реальными согласно нормативным документам Ирана.

Для сопоставления значений основных периодов конструкции с учетом и без учета основания для представленных каркасных зданий выполнялся модальный анализ. Таким образом, установлена связь динамических свойств различных грунтов (скорость поперечной волны v_s) с изменением периода колебаний зданий, выраженного через соотношение $\bar{T}_{(i)}/T$ (рис. 3).

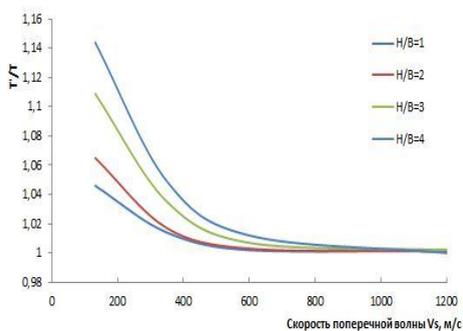


Рис. 3. Сравнение безразмерных соотношений периодов $\bar{T}_{(i)}/T$ для различных грунтов с различной скоростью поперечной волны V_s

Приведенные результаты исследования модального анализа, представленные четырьмя зданиями с учетом и без учета грунта, показывают, что с

уменьшением жесткости грунта и увеличением высоты здания (снижением жесткости здания), период колебаний зданий увеличивается (рис. 4).

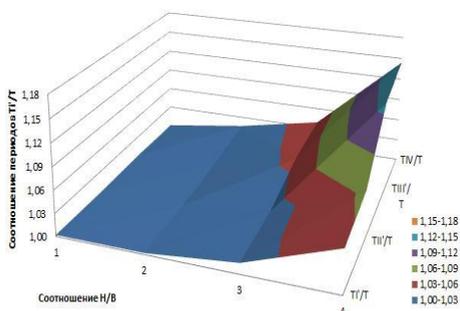


Рис. 4. Изменение соотношений периодов \bar{T}_i/T для зданий в зависимости от соотношения H/B и типа грунтов

Также были выполнены экспериментальные исследования взаимодействия системы «грунтовый массив – сооружение» при динамических воздействиях [4]. Для экспериментальных исследований взаимодействия системы «грунтовый массив – сооружение» выполнено четыре модели высотой 5, 10, 15, 20 этажей ($H/B = 1$, $H/B = 2$, $H/B = 3$, $H/B = 4$), имитирующие здания. При построении моделей использовано теорию подобия, коэффициент масштабирования составляет $\lambda = 100$. При подготовке экспериментов был изготовлен цилиндрический контейнер с гибкой стенкой, в который поочередно помещались образцы грунтов различного типа. Конструктивные модели зданий были созданы в виде металлического каркаса на резьбовых соединениях; стальные листы на уровне пола формировали собственный вес конструкций. Высота этажа – 3 см, вес этажа – 0,4 кг, размер фундамента 20×20 см. Программа проведения экспериментов состояла из следующих этапов:

- 1-й этап – испытания моделей зданий с жестким основанием;
- 2-й этап – определение отклика поверхности грунта без моделей;
- 3-й этап – испытания моделей зданий на грунтовом основании.

Были получены значения амплитуд, преобладающих частотных характеристик колебаний и частотный спектр колебаний моделей здания при заданном землетрясении для верха, низа моделей зданий и на платформе. Экспериментальным путем установлена зависимость безразмерных соотношений периодов колебаний $T_{(i)}/T$ от скорости поперечной волны V_s для различных видов грунтов при основной форме колебаний при низкой и высокой амплитуде и выполнено сравнение с аналитическими данными.

ВЫВОДЫ

1. Для оценки НДС железобетонных каркасных зданий предложена модель, основанная на МКЭ. На основании этой модели создана методика, позволяющая комплексно рассчитывать систему «грунтовый массив – сооружение». Предложенная методика учитывает особенности внешних воздействий, свойства материалов, специфику ИГУ площадок Ирана, а также особенности сейсмических воздействий, задаваемых по методу спектра реакции для площадки.

2. С помощью предложенной методики определена степень взаимодействия системы «грунтовый массив – сооружение» при сейсмических воздействиях путем установления связи между динамическими свойствами грунтов различных типов (скоростью поперечной волны V_s) с изменением соотношения $T_{(i)}/T$ периодов колебаний каркасных зданий в зависимости от Н/В. Соотношение $T_{(i)}/T$ меняется следующим образом: увеличивается в диапазоне от 2 до 6,5% при Н/В = 1 и Н/В = 2 с уменьшением V_s (ухудшение грунтовых условий); при Н/В = 3, Н/В = 4 увеличивается в диапазоне от 1,1 до 14,4% (при тех же условиях).

3. Для подтверждения достоверности предложенной методики оценки НДС каркасных зданий при сейсмических воздействиях были выполнены экспериментальные исследования на масштабных моделях. Определено, что соотношение $T_{(i)}/T$ моделей зданий увеличивается в диапазоне от 3 до 13,5% (для низкой амплитуды) и от 7,6 до 16,7% (для высокой амплитуды) при увеличении этажности моделей зданий и ухудшении грунтовых условий. Показано, что результаты экспериментальных и аналитических исследований имеют небольшое расхождение, которое составляет не более 15,7%, что можно отнести к допущениям лабораторных исследований и численного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кичаева О.В. Статистические параметры землетрясений на территории Ирана / О.В. Кичаева, Могсен Раджабзадег // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 74. – С. 189-194.
2. Раджабзадег Могсен. Влияние грунтовых условий на взаимодействие основания с малоэтажными зданиями / Могсен Раджабзадег, О.В. Кичаева // 36. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УДАЗТ, 2014, Вип. 148, ч. 2. – С. 62-69.
3. Некоторые методологические аспекты построения спектров реакции грунта (в условиях Ирана) / О.В. Кичаева, Могсен Раджабзадег // Ресурсоекономні ма-

теріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2014. – Вип. 29. – С. 532-539.

4. Экспериментальные исследования взаимодействия системы «основание – фундамент – сооружение» при динамических воздействиях / О.В. Кічаєва, Могсен Раджабзадег // Світ геотехніки. – Запоріжжя, 2014. - С. 33-37, 39

REFERENCES

1. Kichaeva O.V. Statisticheskie parametry zemletryaseniy na territorii Irana / O.V. Kichaeva, Mohsen Radjabzadeh // Naukoviy visnyk budivnictva. - Kharkiv: HNUBA, HOTV ABU, 2013. - Vol. 74. – P. 189 – 194.
2. Radjabzadeh Mohsen. Vliyanie gruntovyh usloviy na vzaimodeystvie osnovaniya s maloetazhnymy zdaniyami / Mohsen Radjabzadeh, O.V. Kichaeva // Col. Scient. Works of Ukrainian State Academy of railway transport. - Kharkiv: UDAZT, 2014, Vol. 148, P. 2. – P. 62 – 69.
3. Some methodological aspects of construction of spectrums of reaction of soil (in the conditions of Iran) / O.V. Kichaeva, Mohsen Radjabzadeh // Resources economymaterials, constructions and buildings: Col. Scient. Works- Rivne: NUVGP, 2014. – Vol. 29. – P. 532 – 539.
4. Experimental researches cooperation system “basis – fundament – building” on dynamic influence / O.V. Kichaeva, Mohsen Radjabzadeh // Svit geotekhniki. – Z., 2014. - P. 33-37, 39.

Статья поступила в редакцию 25.07.2015 г.