

ARCHITECTURE

Проектирование многоэтажных зданий на свайных фундаментах с учетом сейсмических воздействий

В. С. Дорофеев, К. В. Егупов, В. К. Егупов

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-157V117-02>

Одесский национальный морской университет, г. Одесса, Украина;
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАНУ, г. Киев, Украина
Corresponding author. E-mail: slava.yegupov@gmail.com

Paper received 17.01.18; Accepted for publication 22.01.18.

Аннотация. Рассмотрены вопросы построения и верификации моделей многоэтажных зданий, сейсмических воздействий при проектировании и эксплуатации ответственных сооружений в Одесском регионе и в Украине. Приведены значения приращения интенсивности и проведены численные эксперименты позволяющие установить влияние волновых процессов в грунтах на реакцию здания (сооружения) как единой пространственной системы при учете влияния грунтовых условий на площадке проектируемого строительства, позволяющих добиться существенного удешевления сейсмостойкого строительства за счет оптимального выбора конструктивных решений.

Ключевые слова: сейсмические воздействия, уязвимость, многоэтажные здания, компьютерное моделирование, поле ускорений, резонанс

Введение. На уровне Евросоюза устанавливаются требования к проектированию строительных конструкций. Требования безопасности и одновременное стремление к удешевлению зданий и сооружений порождают проблему, которая выдвигается на передний план в связи с высокими темпами роста строительства. В современных городах где резко увеличивается техногенная нагрузка на строительные объекты достоверная информация о величине уязвимости сооружений и уровне сейсмической опасности является необходимым условием устойчивого развития.

Вопросы обеспечения безопасности строительных проектов является в настоящее время одними из наиболее актуальных и важнейших задач в области национальной безопасности.

Краткий обзор публикации. Многими исследователями при анализе сильных землетрясений зафиксировали следующие разрушения: обрушения торцовых частей зданий; преимущественно, верхних этажей; сдвиг поперечных стен в вертикальной плоскости относительно друг друга и разрушение перекрытий из своей плоскости; разрушения и повреждения зданий при совпадении периодов внешнего воздействия и периодов собственных колебаний (явление резонанса); опрокидывание зданий при сейсмических воздействиях и другие.

Современные многоэтажные протяженные здания представляют собой динамические системы большой размерности с сотнями тысяч неизвестных в разрешающих уравнениях. При разработке моделей приходится идти на компромисс между достаточно полным и адекватным их описанием и реальными возможностями совместной реализации моделей с использованием современной вычислительной техники. При применении детализированной конечно-элементной аппроксимации трехмерной модели здания, то возникают трудности описания моделей материала, нагружения и разрушения при использовании итерационных методов приведения неупругих задач к упругим [1, с.107-113].

Цель. Создание расчетных моделей многоэтажных

зданий и методы их расчета, уточнение уровня сейсмической опасности в Одесском регионе и влияния местных грунтовых условий на величину сейсмических воздействий.

Материалы и методы. Ассоциация Украинского сейсмостойкого строительства совместно с институтом геофизики им. С.И. Субботина НАНУ с 2008 года создали первую в городе Одессе сейсмостанцию «Одеса-Місто», которая установлена в Одесском Национальном морском университете. Тогда же начаты работы по сейсмическому микрорайонированию. Эти работы позволили уточнить сейсмическую опасность Одесского региона и разработать уточненные модели сейсмических воздействий для проектирования ответственных зданий и сооружений [2].

Результаты и их обсуждения. За последние годы для повышения безопасности эксплуатации ответственных конструкций получило развитие новое направление непрерывного контроля за состоянием наиболее нагруженных элементов, отказ которых способен вызвать негативные последствия. Разрабатываются специальные системы мониторинга состояния конструкций, которые позволяют оценивать, как реальное напряжено-деформированное состояние (например, при землетрясениях), так и деградацию прочности элементов конструкций [3, с.6-21]. Творческим коллективом проведены динамические испытания ряда объектов: 24-х этажное здание в г. Одессе по ул. Глушко, 4; 24-х этажное здание в г. Одессе по ул. Французский Бульвар, 24; грунтовая плотина в пгт Светлое.

Необходимость учета совместной работы здания и основания привело к разработке различных моделей свайного основания. В настоящее время от моделирования свай с помощью одноузловых упругих элементов наблюдается переход к более реалистичному моделированию. На рисунке 1 представлено два примера моделирования свай.

Моделирование сваи стержневыми КЭ; грунта - одноузловыми КЭ (рис. 2а).

Начальные жесткости одноузловых КЭ подбираются по физическим характеристикам грунтов и в процессе расчета уточняются с использованием итерационной процедуры.

Моделирование свай стержневыми КЭ; грунта – объемными КЭ (рис. 2б).

Физические характеристики объемных КЭ подбираются по физическим характеристикам грунта.

Достоинства этих модели:

- возможность учета изменения свойств грунта по глубине;

- возможность получения эпюр M и Q для свай.

Моделировать грунтовое основание можно любым способом, который позволяет выполнить требования действующих нормативных документов.

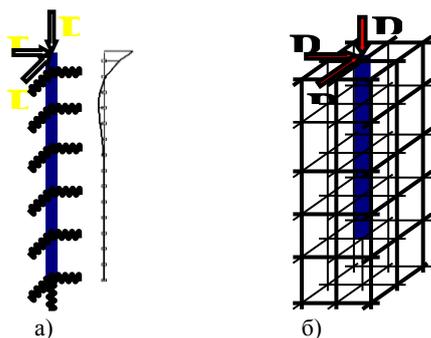


Рисунок 1 (а) Моделирование свай стержневыми КЭ; грунт – одноузловыми КЭ; (б) моделирование свай стержневыми КЭ; грунт – объемными КЭ.

Влияние учета свайного фундамента на периоды собственных колебаний здания представлено на рисунке 2 и 3.

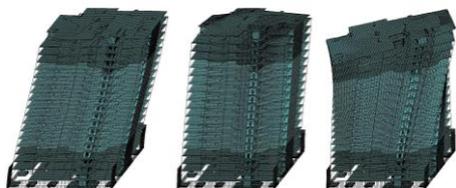


Рисунок 2 Собственные формы колебаний жестко защемленного здания. $T_1=2,75с$; $T_2=1,48с$; $T_3=1,27с$.

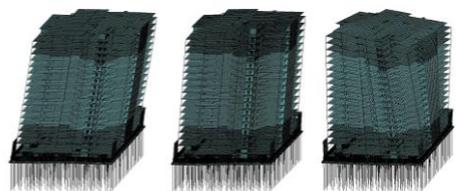


Рисунок 3 Собственные формы колебаний здания со сваями. $T_1=3,62с$; $T_2=2,72с$; $T_3=1,89с$.

Город Одесса является очень привлекательным местом для инвестиций в строительную индустрию, особенно районы, непосредственно прилегающие к морю. С учетом достаточно высокой стоимости земельных участков заказчики строительства стараются максимально их использовать, увеличивая этажность возводимых зданий. Однако здесь имеется ряд факторов, усложняющих проектирование и строительство

зданий повышенной этажности. К таким факторам относятся близко расположенные разломы, сейсмическая опасность, неблагоприятные геологические условия (грунты III – IV категории по сейсмическим свойствам), подземные выработки (катакомбы), оползневые склоны, наличие высокого уровня грунтовых вод (подтопление территории)[5].

Изучение распределения по территории Украины интенсивности сейсмических проявлений при различных землетрясениях позволило составить для неё карты общего сейсмического районирования (ОСР-2004), которые являются неотъемлемой составной частью Государственных строительных норм.

Показанная на картах ОСР интенсивность сейсмических воздействий относится к грунтам II-й категории по сейсмическим свойствам. В то же время, реальные строительные площадки могут подстилаться грунтами других категорий. Локальные грунтовые условия способны существенно ослабить, или усилить расчетную сейсмическую интенсивность строительных площадок. Учет влияния локальных грунтовых условий осуществляется с помощью сейсмического микрорайонирования (СМР) строительных площадок.

В условиях Одесского региона используется комплекс работ по СМР строительных площадок, включающий методы инженерно-геологических аналогий, сейсмических жесткостей и регистрации микросейсм. Для представительного расчета синтетических акселерограмм, моделирующих сейсмическое воздействие на здание, используется информация по всем трем методам.

Эти работы призваны не только определить значение приращения ΔI за счет влияния грунтовых условий на площадке. Важность получения указанных данных определяется возможностью существенного удешевления сейсмостойкого строительства за счет оптимального выбора конструктивных решений, позволяющих избежать совпадения преобладающих частот, соответствующих пиковым ускорениям в сейсмических волнах, резонансных частот подстилающей грунтовой толщи и собственных частот проектируемого здания (сооружения).

Выводы.

1. Сейсмостойкость зданий в значительной мере зависит от их конфигурации, расположения и типа конструктивных элементов. Информация, имеющаяся в этой области исследований, носит эмпирический характер. Учет пространственной работы сооружений и конечной скорости прохождения сейсмических волн под ними в условиях реального сейсмического воздействия требует дополнительных исследований.

2. Выполненное моделирование сейсмических воздействий и проведенные численные эксперименты позволили установить значительное влияние волновых процессов в грунтах на реакцию здания (сооружения) как единой пространственной системы.

3. Проведенные исследования позволили установить, что применяемая в нормативных документах гипотеза о бесконечно большой скорости прохождения сейсмических волн (равномерность сейсмического воздействия по длине сооружения) не согласуется с результатами последствий землетрясений. Учет в рас-

четах неравномерности поля колебаний грунта, фильтрации сейсмических волн и резонансных колебаний сооружений при длиннопериодных землетрясениях приводит к увеличению сейсмических нагрузок в 2-3 раза в сравнении с нормами, что объясняет разрушение таких зданий при землетрясениях.

4. Сейсмические нагрузки для пространственных форм колебаний (кручение, деформирование в плане)

могут превышать нагрузки для плоской рамы. Этот эффект зависит от длины здания и скорости распространения сейсмических волн. Определены длины зданий, соответствующие минимуму сейсмических нагрузок. Установлено, что для некоторых длин сейсмических волн в определенные моменты времени проявляются резонансные эффекты, обусловленные влиянием местных грунтово-геологических условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егупов К.В., Сорока Н.Н. Научно-техническое сопровождение объектов строительства в Одесском регионе в условиях повышения сейсмичности // Будівельні конструкції : зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2010. – вип. 73. – с. 107-113.
2. Кендзера А.В. Реализация требований ДБН В.1.1-12:2006 относительно параметров сейсмических воздействий для сейсмостойкого проектирования в г. Одессе / А.В. Кендзера, С.Т. Вербицкий, Ю.Т. Вербицкий, О.Т. Вербицкая, В.К. Егупов, К.В. Егупов, С.П. Ковальчук, Р.И. Прокопец // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Будівельні конструкції». - К.:НДІБК.- 2008.- вип.69.-С. 45-55
3. Немчинов Ю.І., Хавкін О.К., Мар'єнков М.Г., Жарко Л.О., Дунін В.А., Бабік К.М., Єгупов К.В., Кендзера О.В., Єгупов В.К., Булат А.Ф., Дирда В.І., Лисиця М.І. Практичні питання динаміки будівель // Науково-виробничий журнал Будівництво України. - №6. - 2013. – С.6-21.
4. Yegupov V., Yegupov K., Starodub V., Mazur P., Kostrijskiy A., Simulation and Automation of Calculations of Buildings (Structures) on Seismic Effects. An International Journal Computers & Structures, Pergamon, Oxford, 1997, Vol. 63, No. 6, pp. 1065-1083.
5. Alexandr Kendzera, Konstantin Yegupov, Vyacheslav Yegupov Seismic monitoring of the southwestern areas of the Ukraine and adjacent areas. Second european conference on earthquake engineering and seismology, Istanbul aug. 25-29, 2014

REFERENCES

1. K.Yegupov, Soroka N. N. Scientific and technical support of construction projects in the Odessa region in the context of increased seismicity // buildings and structures :- K.: NDIBK, 2010. – vol. 73. – p. 107-113.
2. A.Kendzera, S. Verbytskyu, Ju. Verbytskyu, O. Verbytska, K.Yegupov, V.Yegupov, S. Kovalchuk, R. Prokopec “ Implementation of requirements of DBN B.1.1-12:2006 concerning parameters of seismic influences for aseismic design in Odessa” - Construction designs.- .- 2008.- vol.69.-pp. 45-55.
3. Nemchinov Y., Havkin D. Marenkov M., Dunin V. Babik K., Ygupov K. Kendzera A. Ygupov V., Practical aspects of the dynamics of buildings // Scientific and production magazine Building Ukraine. - №6. - 2013. – С.6-21.
4. Yegupov V., Yegupov K., Starodub V., Mazur P., Kostrijskiy A., Simulation and Automation of Calculations of Buildings (Structures) on Seismic Effects. An International Journal Computers & Structures, Pergamon, Oxford, 1997, Vol. 63, No. 6, pp. 1065-1083.
5. Alexandr Kendzera, Konstantin Yegupov, Vyacheslav Yegupov Seismic monitoring of the southwestern areas of the Ukraine and adjacent areas. Second european conference on earthquake engineering and seismology, Istanbul aug. 25-29, 2014

Design of multi-storey buildings on pile foundations with consideration of seismic impacts

V. Dorofeev, K. Iegupov, V. Iegupov

Abstract. The issues of construction and verification of models of multi-storey buildings, seismic influences in the design and operation of critical structures in the Odessa region and in Ukraine are considered. The values of the intensity increment are given and numerical experiments allowing to determine the influence of wave processes in the soils on the reaction of the building as a single spatial system are taken into account, taking into account the influence of ground conditions on the site of the proposed construction, which allows to achieve a significant reduction in the cost of earthquake-proof construction due to the optimal choice of design solutions.

Keywords: seismic impacts, vulnerability, multi-storey buildings, computer simulation, acceleration field, resonance.