

**КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ «СООРУЖЕНИЕ – СВАЙНЫЙ
ФУНДАМЕНТ» ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ
МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ**

Дорофеев В.С., Сорока Н.Н.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Егунов К.В.

Одесский национальный морской университет
г. Одесса, Украина

Егунов В.К.

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАНУ
г. Киев, Украина

АНОТАЦІЯ: У статті розглянуті питання створення і верифікації моделей будівель, сейсмічних дій при проектуванні і експлуатації відповідальних споруд.

АННОТАЦИЯ: В статье рассмотрены вопросы создания и верификации моделей зданий, сейсмических воздействий при проектировании и эксплуатации ответственных сооружений.

ABSTRACT: The questions of creation and verification of models of buildings, seismic influences at planning and exploitations of responsible buildings are considered in the article.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модель здания, сейсмические воздействия, сейсмоизоляция.

Анализ сильных землетрясений за последние 20 лет свидетельствует о том, что их география и трагические последствия имеют тенденцию к увеличению с каждым годом.

Особое внимание должно быть уделено объектам, находящимся в сейсмических зонах, а также тем, что возводятся в сложных геологических условиях. Долгие годы не обращается внимание на обеспечение

безопасной эксплуатации предприятий, например, Одесский припортовый завод, в случае сейсмической катастрофы, может своими ядовитыми выбросами погубить миллионный город.

Негативные примеры Бразилии, Индии, Японии, Гаити, России, Турции, Тайваня, Эквадора, а также события в Италии свидетельствуют о необходимости мониторинга и проведения мероприятий по обеспечению сейсмостойкости существующих зданий и сооружений и строгому соблюдению норм проектирования при строительстве новых.

После разрушительного землетрясения 24 августа 2016г. в Италии начались следственные действия в отношении возможных нарушений строительных норм. Сейчас встал вопрос, почему в Алатриче сильно пострадала школа, которую отреставрировали именно в целях сейсмоустойчивости. При этом городская колокольня XIII века осталась стоять. После землетрясения в Аквиле (Италия) в апреле 2009 г., приведшего к смерти более чем 300 человек, члены экспертной группы и один чиновник были привлечены к суду – их обвиняли в том, что они сознательно приуменьшили риски при изучении подземных толчков.

Представление о том, что на Украине невозможны сильные землетрясения опровергается фактами. В юго-восточной части Украины в районе Мариуполя 7 августа 2016 произошло землетрясение с магнитудой около 4,5-4,7. По словам директора румынского Института физики Земли Георге Мэрмуриану, грядущее землетрясение в Румынии, возможно, будет угрожать и югу Украины аналогично тому, как это произошло в 1802 году.

Конфликт между требованиями безопасности и стремлением к удешевлению строительства порождает проблему, которая выдвигается на первый план в связи с высокими темпами роста строительства зданий и сооружений. 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. Сегодня одной из наиболее актуальных и важнейших задач государственной политики в области национальной безопасности является обеспечение сейсмостойкости строительных объектов. Поэтому Межведомственная комиссия, по вопросам научно-технологической безопасности при Совете национальной безопасности и обороны Украины, 3 апреля 2008 г рассмотрела состояние вопроса и приняла решение «О состоянии обеспечения сейсмической безопасности и проблем развития сейсмостойкого строительства в Украине».

Многими исследователями при анализе последствий землетрясений зафиксированы типовые разрушения. Предлагаемые методы проектирования и расчета должны иметь возможность учитывать эти явления. К ним относятся: разрушения торцовых частей зданий; повреждения, преимущественно, верхних этажей при Ташкентском землетрясении 1966 г.; 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. При анализе последствий землетрясений наблюдается разный уровень сейсмостойкости зданий различных конструктивных схем.

Современные многоэтажные протяженные здания представляют собой динамические системы большой размерности с сотнями тысяч неизвестных в разрешающих уравнениях. Поэтому 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. Если применить детализированную конечно-элементную аппроксимацию трехмерной модели здания, то возникают трудности описания моделей материала, нагружения и разрушения при использовании итерационных методов приведения неупругих задач к упругим. Для многовариантного проектирования необходимо выполнить дополнительные требования, налагаемые на простоту и согласованность указанных выше моделей.

Расчетные модели зданий и их методы расчета, созданные авторами в результате многолетних исследований, позволяют решить часть перечисленных выше проблем с использованием персональных компьютеров [5, 7, 12].

Для изучения уровня сейсмической опасности в Одесском регионе и уточнения влияния местных грунтовых условий на величину сейсмических воздействий Академией строительства и архитектуры (ОГАСА) и институтом геофизики им. С.И. Субботина НАНУ в 2008 г. в г. Одессе, создана первая сейсмостанция и начаты работы по сейсмическому микрорайонированию. Эти работы позволили уточнить сейсмическую опасность Одесского региона и разработать уточненные модели сейсмических воздействий для проектирования ответственных сооружений.



Рис. 1. Модели, влияющие на оценку сейсмостойкости конструкций

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. Творческим коллективом проведены динамические испытания ряда объектов: 24-х этажное здание в г. Одессе по ул. Глушко, 4; 9-ти этажный корпус ГС ОГАСА; 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 рис. 2 представлено два примера моделирования свай.

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

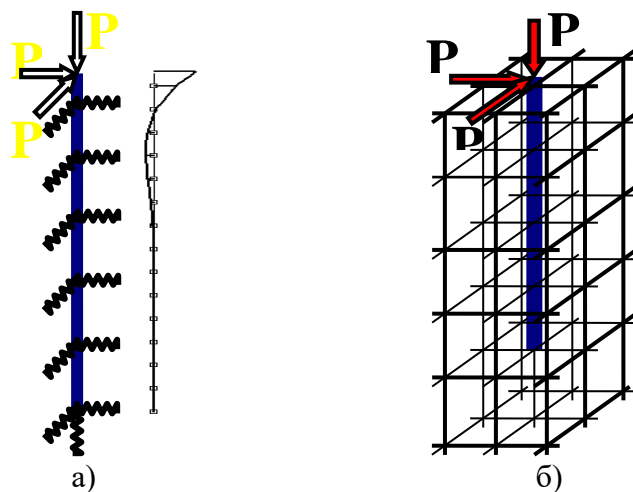


Рис. 2. (а) Моделирование сваи стержневыми КЭ; грунт - одноузловыми КЭ; (б) моделирование сваи стержневыми КЭ; грунт – объемными КЭ

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

Моделирование сваи 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 сваи.

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

Влияние учета свайного фундамента на периоды собственных колебаний здания представлено на рис. 3 и 4.

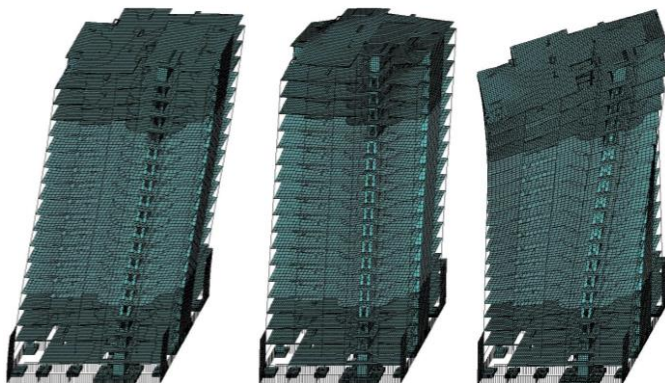


Рис. 3. Собственные формы колебаний жестко защемленного здания.
 $T_1=2,75$ с; $T_2=1,48$ с; $T_3=1,27$ с.

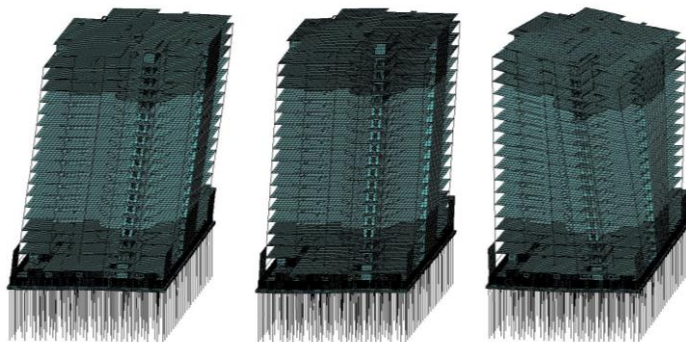


Рис. 4. Собственные формы колебаний здания со сваями. $T_1=3,62$ с;
 $T_2=2,72$ с; $T_3=1,89$ с.

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).

Несмотря на то, что за сравнительно короткий период существования г. Одессы здесь произошло два семибалльных землетрясения, есть отдельные представители заказчиков и строительных фирм, которые без должного внимания относятся к сейсмической опасности. Некоторые общие правила проектирования и размещения многоэтажных зданий в сейсмических районах представлены в докладе.

С вводом в действие ДБН В.1.1-12:2014 [1] изменились требования к проектированию и строительству зданий повышенной этажности по сравнению с ДБН В.1.1-12:2006:

- стало обязательным требование о поступательности первых двух форм собственных колебаний здания;

- разграничено применение карт ОСР для строений различных классов последствий (для сооружений класса последствий СС3 должна использоваться карта С);

- введены понятия (п. 6.1.1) слабое землетрясение (СЗ), проектное землетрясение (ПЗ), максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) и разграничены сейсмические нагрузки, используемые для проектирования сооружений разных классов последствий;

- добавлен новый метод расчета сооружений на сейсмические воздействия – «Нелинейный статический расчет»;

- понижен коэффициент этажности, используемый при расчете сейсмической нагрузки;

- добавлены графики коэффициентов динамичности для зданий с разной величиной коэффициентов податливости, использование которых позволяет снизить величину сейсмической нагрузки;

- впервые введен раздел «Проектирование систем сейсмоизоляции строений»;

- впервые введен раздел «Склоны», где приведены основные требования к расчету склонов.

Одесская лаборатория сейсмостойкости почти 10 лет принимает участие в научно-техническом сопровождении проектирования многоэтажных зданий в Одесском регионе [5]. Примеры отдельных зданий и сооружений представлены в докладе. Отмечены некоторые недостатки, выявленные при создании расчетных моделей силами проектных организаций.

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).

На основании вышеизложенного можно сформулировать ряд выводов.

1. Анализ отечественных и зарубежных источников показал, что существующие практически реализуемые модели и методы расчета каркасных зданий и сооружений не в полной мере объясняют характерные повреждения, при сейсмических воздействиях.

2. 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.

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

4. 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 расчетах 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.

5. 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.

6. При проектировании ответственных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях необходимо учитывать целый ряд факторов и требований, соблюдение которых позволит обеспечить эффективную работу, надежность и долговечность конструкций.

7. На основании анализа результатов изысканий и требований действующих нормативных документов следует назначить расчетные параметры природных, в том числе сейсмических воздействий на проектируемые сооружения с учетом их срока службы.

8. Применение новых конструктивных решений требует проведения соответствующих экспериментальных исследований, в том числе в натуральных и лабораторных условиях.

9. Требуется дальнейших исследований и такое перспективное направление как применение сейсмоизоляции для возведения сейсмостойких зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1 – 14 : 2014. - [Чинні від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. - VI, – 110 с. – (Будівельні норми України).

2. Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А. 2. 1-1-2014. – [Чинні від 2008-07-01]. - К.: Мінрегіонбуд, 2014. – II, 72 с. - (Будівельні норми України).
3. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва: ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013. - [Чинний від 2013-09-01]. - К.: Мінрегіонбуд, 2014. – III, 26 с. – (Державний стандарт України).
4. 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 и др.] // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - К.: ДПНДІБК, 2008. - Вып.69.- С. 45-55.
5. Егунов К.В. Научно-техническое сопровождение объектов строительства в Одесском регионе в условиях повышения сейсмичности / Егунов К.В., Сорока Н.Н. // Будівельні конструкції : зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2010. – Вып. 73. – С. 107-113.
6. Егунов К.В. Особенности учета сейсмических воздействий при проектировании берегозащитных сооружений / Егунов К.В., Рогачко С.И., Бааджи В.Г.// Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - К.: ДПНДІБК, 2015. - Вып. 82. - С. 85-91.
7. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений / Немчинов Ю.И. // В двух частях. - Киев., 2008. – 480 с.
8. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / [Ю.И. Немчинов, Н.Г. Марьенков, А.К. Хавкин, К.Н. Бабик. Под ред. Немчинова Ю.И.]. –К.: 2012.-384 с.
9. Практичні питання динаміки будівель / [Немчинов Ю.І., Хавкін О.К., Мар'єнков М.Г. та ін.] // Будівництво України. - №6. - 2013. – С. 6-21.
10. Philippe Gueguen, Maria Rosaria Gallipoli, Manuel Navarro etc. TESTING BUILDINGS USING AMBIENT VIBRATIONS FOR EARTHQUAKE ENGINEERING: A EUROPEAN REVIEW. Second european conference on earthquake engineering and seismology, istanbul aug. 25-29, 2014.
11. Yegupov V., Yegupov K., Starodub V., Mazur P., Kostrijtskiy 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.
12. 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. DBN B.1.1-12:2014. Construction in seismic regions oa Ukraine. The official version . – The Ministry of regional development, construction and housing of Ukraine, 2014. – 107 p.
2. DBN A.2.1-1-2014. Engineerings researches for building The Ministry of regional development, construction and housing of Ukraine, 2014.
3. DSTU-H Б B.1.2-16:2013 Determination of class of consequences (To responsibility) and category of complication of building objects The Ministry of regional development, construction and housing of Ukraine, 2013.
4. A.Kendzera, S. Verbytskyy, Ju. Verbytskyy, 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.
5. 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.
6. K.Yegupov, Rogachko S.I., Baadji V.G., Features of the account of seismic influences in the design of bank protection structures // «Construction designs.- K.:NDIBK.- 2015.- vol.82.-p. 85-91.
7. Ju.Nemchynov Seismic buildings and structures / Ju. Nemchynov // In two parts. - Kiev.: 2008. – 480p.
8. Ju.Nemchynov Design of structures with a given level of seismic resistance / [Ju.Nemchynov, N.G. Maryenko, A.K. Khavkin, K.N. Babik. –K.: 2012.- 384 p.
9. 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. – P.6-21.
10. Philippe Gueguen, Maria Rosaria Gallipoli, Manuel Navarro etc. TESTING BUILDINGS USING AMBIENT VIBRATIONS FOR EARTHQUAKE ENGINEERING: A EUROPEAN REVIEW. Second european conference on eartquake engineering and seismology, istanbul aug. 25-29, 2014.
11. Yegupov V., Yegupov K., Starodub V.,Mazur P., Kostrijtskiy 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.
12. Alexandr Kendzera, Konstantin Yegupov, Vyacheslav Yegupov Seismic monitoring of the southwestern areas of the Ukraine and adjacent areas. Second european conference on eartquake engineering and seismology, Istanbul aug. 25-29, 2014.

Статья поступила в редакцию 12.09.2016 г.