

DOI: 10.38054/iaeee-709

УДК 624.042,7

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ. УКРАИНСКИЙ ОПЫТ

Ю.И. Немчинов⁽¹⁾, Г.Г. Фаренюк⁽²⁾

⁽¹⁾доктор техн. наук, профессор, первый зам директора по научной работе

⁽²⁾доктор техн. наук, директор института – Государственное Предприятие Научно-Исследовательский Институт Строительных Конструкций (ГП НИИСК Минрегионстроя Украины, г. Киев, Украина)

Аннотация: Представлены результаты исследований, выполненных в ГП НИИСК по вопросам проектирования высотных зданий в сейсмических районах. Проведено обобщение международного опыта проектирования высотных зданий и сооружений. Дано обобщение методов определения сейсмической нагрузки в различных странах и рекомендаций по проектированию высотных зданий. Рассмотрены примеры возведения высотных зданий в Киеве, в сейсмических районах Украины и ряде зарубежных стран. Подробно анализируются современные конструктивные системы, применяемые для строительства высотных зданий.

SEISMIC RESISTANCE OF HIGH-RISE BUILDINGS. UKRAINIAN EXPERIENCE.

I.I. Nemchynov⁽¹⁾, G.G. Farenjuk⁽²⁾

⁽¹⁾Doctor of Engineering Sciences, Professor, First Deputy Director on Scientific Work

⁽²⁾Doctor of Engineering Sciences, Director of Institute – State Enterprise “State Research Institute of Building Constructions” (State Enterprise NIISK, Minregionstroj of Ukraine, Kiev city, Ukraine)

Abstract: The results of the research work carried out at the NIISK on the design of high-rise buildings in seismic regions are presented. A generalization of the international experience in the design of high-rise buildings and constructions was carried out. A generalization of methods for determining the seismic load in different countries and recommendations for the design of high-rise buildings is given. Examples of the construction of high-rise buildings in Kiev, in seismic regions of Ukraine and a number of foreign countries are considered. The modern design systems used for construction of high-rise buildings are analyzed in detail.

БИЙИК ИМАРАТТАРДЫН СЕЙСМОТУРУШТУУЛУГУ. УКРАИН ТАЖРЫЙБАСЫ

Ю.И. Немчинов⁽¹⁾, Г.Г. Фаренюк⁽²⁾

⁽¹⁾техн. илим. доктору, профессор, илимий иштер боюнча директордун биринчи орун басары

⁽²⁾техн. илим. доктору, Мамлекеттик ишкана Курулуш Конструкциялары Илимий-Изилдөөчүлүк Институтунун директору (ГП НИИСК Минрегионстрой Украина, Киев ш., Украина)

Аннотация: Сейсмикалык райондорунда көп кабаттуу имараттарды долбоорлоонун ГП НИИСК жүргүзүлгөн изилдөөлөрдүн натыйжалары берилген. Көп кабаттуу имараттарды долбоорлоодо жана курууда эл аралык тажрыйбасы менен жалпылоо жүргүзүлгөн. Ар кайсы өлкөлөрдөгү сейсмикалык жүктү аныктоо ыкмаларын жалпылоо берилген жана бийик курулуштардын долбоорлоо үчүн сунуштар берилген. Киевде, Украина

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

сейсмикалык райондорунда жана кээ бир чет өлкөлөрдө бийик имараттардын курулушунун мисалы каралган. Бийик имараттарды куруу үчүн колдонулган заманбап конструктивдик системалар майда-чүйдөсүнө чейин талданат.

К сейсмически опасным районам Украины относятся: Одесская и Черновицкая области; Львовская, Ивано-Франковская и Тернопольская области; Кировоградская область; часть Донбасского региона; Крымский сейсмический регион. Последние сильные землетрясения здесь произошли в 1927, 1940, 1977, 1986, 1990 и 1995 годах. В целом, 40% территории Украины может быть охвачено непосредственным влиянием опасных сейсмических событий и до 70% воздействием землетрясений с подтоплением, оползнями, подработкой и другими инженерно-геологическими процессами.

Уровни сейсмического воздействия территории Украины определены в Государственных нормах «Строительство в сейсмических районах Украины» [1] и ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 [13] в виде рекомендаций и Карт общего сейсмического районирования ОСР-2004:

- карта ОСР-2004 «А» соответствует 10% - ой вероятности превышения расчетной сейсмической интенсивности в течение 50 лет и средним периодам повторяемости таких интенсивностей 1 раз в 500 лет;

- карта ОСР-2004 «В» соответствует 5%-ой вероятности превышения расчетной сейсмической интенсивности в течение 50 лет и средним периодам повторяемости таких интенсивностей один раз в 1000 лет;

Нормы Украины (редакция 2014 г.), по сравнению с первой редакцией Норм 2006 г, имеют ряд особенностей:

- установлено однозначное соответствие между классом последствий (ответственности) и применяемыми картами ОСР-2004.

- предложены дифференцированные показатели междуэтажных перекосов этажей в зависимости от уровней сейсмических воздействий, соответствующих Слабым (СЗ), Проектным (ПЗ) и Максимально расчётным землетрясениям (МРЗ);

- переработан раздел ДБН «Гидротехнические сооружения».

- введен новый раздел «Откосы»;

- принято обязательное требование к расчёту систем сейсмоизоляции конструкций с применением прямых динамических расчётов и акселерограмм землетрясений.

Специфика высотного строительства учтена в Нормах Казахстана при определении сейсмических нагрузок по спектральному методу введением коэффициента K_3 , по формуле $K_3 = 1,0 + 0,06(p-5)$, где p – количество этажей в здании [4, 10, 11]. Максимальное значение этого коэффициента ограничивается величиной 1,8

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

(для стеновых, каркасно-стеновых и рамно-связевых систем) и величиной 2,0 – для других конструктивных систем.

Изучив опыт строительства небоскрёбов в США, принято решение, что для проектирования высотных зданий необходимо иметь международный сертификат. Российский опыт высотного домостроения обобщен в монографии [5], Московских строительных нормах МГСН 4.19-05 [6], работах Ю.Г. Граника [7], С.В. Николаева [17] и других.

В Санкт-Петербурге применительно к высотным домам разработаны Территориальные строительные нормы ТСН 31-332-2006 [8] и Рекомендации РМД 31-04-2008. В Минске (Республика Беларусь) принят Технический Кодекс по высотным зданиям ТКП 45-3.02-108-2008 [9], в Республике Казахстан – в СНИП РК 2.03-30-2006 [11].

Начиная с 2004-2005 гг., в Украине высокими темпами развивается высотное строительство. Применяются новые конструктивные системы и методы возведения зданий, разрабатываются нормы проектирования высотных зданий [3]. Первоначально применялась преимущественно конструктивная система в виде «безригельного каркаса». Следует отметить, что учёт высотности при определении сейсмических нагрузок в первой редакции Норм Украины по сейсмостойкому строительству аналогичен, принятому в Казахстане.

Международный опыт строительства зданий повышенной этажности свидетельствует, что по экономическим показателям оптимальными являются здания высотой 30-40 этажей. Вместе с тем, строительство зданий высотой 40 и более этажей в Киеве не является уникальным событием. Примером могут служить здание на Кловском спуске, 7А высотой 163 метра (46 этажей) и недостроенное здание Mirax Plaza на ул. Глыбочицкой высотой 46 этажей.

К высотным жилым и общественным зданиям, согласно ДБН В.2.2-24:2009 [2], относятся здания с уловной высотой от 73,5 до 100 м. Коэффициент, учитывающий этажность здания, в украинских Нормах редакции 2014 года определяется по формуле: $k_3 = 1 + 0,04 \cdot (n - 5)$, где n - количество этажей в здании. Максимальное значение k_3 принимается не более 1,6 (в том числе для рамных, рамно-связевых и связевых систем), а для стеновых и каркасно-стеновых конструктивных систем – не более 1,5. Снижение сейсмической нагрузки высотные сооружения достигает 15-20%. В сейсмических районах Украины (АР Крым, Одесса и Одесская область, Карпатский регион и другие) после выхода ДБН В.1.1-12:2006, запроектировано и построено несколько десятков таких объектов. Особенность высотных домов заключалась:

- в оценке сейсмичности площадок строительства;

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

- в проверке конструктивных решений;
- разработке рекомендаций по повышению сейсмостойкости принятых решений

Средний срок строительства составляет 4-5 лет, но существуют много недостроенных объектов, которые относятся к проблемным сооружениям. Разница в цене здания для 25 этажей и для 40 этажей отличается более чем в два раза. Всего в Киеве представлено 142 здания высотой от 25 – ти до 47 этажей.

Примеры высотных зданий, построенных в сейсмических районах приведены ниже:

- **Гостиничный комплекс (Одесса, Французский бульвар, 60/1).** Гостиничный комплекс представляет 24-х этажное здание высотой 81,70 м (основной габарит) и 85,00 м (совместно с выступающей консолью). Конструктивная схема здания – безригельный монолитный каркас из бетона класса В30, армированный арматурой класса А500С;

- **Жилое 23-х этажное здание в Ялте.** Здание выполнено в плане по форме близкой к окружности, диаметром 19,28 м. Высота жилых этажей 3,0 м. Общая высота надземной части составляет 65,3 м. По результатам микросейсмораионирования сейсмичность площадки строительства – 8 баллов. Дублирующими расчетами установлено, что перекосы этажей не превышали допустимых значений, а коэффициент армирования основных несущих элементов не превышал 3,5%.

- **Жилой комплекс высотой от 22 - 27 этажей, г. Одесса.** Здание состоит из двух 27 – ми этажных секций № 1 и № 2 с подвальным и техническим этажами. Секции в плане – квадратные, отделены друг от друга антисейсмическим швом. Разрез представляет собой регулярную структуру до отметки 82,80 м. Выше расположена котельная, общая высота здания равна 87,30 м. Несущими конструкциями являются монолитные железобетонные пилоны и ядра жесткости. Сваи сечением 350х350 мм, длиной 21,0 м. Результаты динамических исследований показывают, что преобладающие частоты колебаний каркаса здания по первой форме равны: в горизонтальной плоскости по направлению X – 0,5, 2,0 и 3,875 Гц; по направлению Y – 0,625, 1,875, и 3,625 Гц; вертикальных колебаний по направлению Z – 10,0 Гц. Здание включает один подземный и 30 надземных этажей. Со второго до 30-го этажа размещаются жилые помещения, 16-й этаж – технический на отметке +100.50 м.

Класс ответственности (последствий) здания – СС3 согласно ДБН В.1.2-14-2009 [14]. Нормативная интенсивность сейсмических воздействий для г. Одесса по карте «С» ДБН В.1.1-12:2014 составляет 8 баллов по сейсмической шкале ДСТУ Б В.1.1-28:2010 [12]. Грунты на площадке относятся к третьей категории по сейсмическим свойствам. Интенсивность сейсмических сотрясений на площадке 8 баллов с периодом

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

повторяемости 5000 лет. Ветровые нагрузки на высотные здания в Украине определяются по Нормам ДБН В.1.2-2:2006 [15] и приложения «В» ДБН В.2.2-24 [2].

Некоторые сведения о поведении здания «Тайпей 101» (Китайская Республика).

Для оценки воздействия сильного ветра от тайфунов было проведено исследование модели здания в аэродинамической трубе [16]. Изучался характер распределения ветровых потоков по поверхности здания, проверялась величина ветрового давления на конструкции, оценка пульсаций ветрового потока, его влияние на комфорт пребывания людей. Исследования проводились канадской фирмой RWDI [Rowan Williams Davies and Irwin Inc.].

К специальным мерам обеспечения устойчивости здания при ветровых и сейсмических воздействиях относятся:

- применение бетона высокого качества для заливки колонн – прочностью 10 000 psi [70 МПа];
- испытания несущей способности свай;
- применение динамических гасителей и демпфирующих устройств для снижения уровней динамических колебаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ошибки, которые могут возникать при проектировании высотных зданий, приводят к снижению их безопасности при строительстве и эксплуатации в обычных и сейсмических районах. Важным фактором обеспечения безопасности является соблюдение норм и правил, основанных на зарубежном и отечественном опыте проектирования. Действующие во многих странах нормы проектирования по сейсмостойкому строительству основывались на опыте анализа последствий землетрясений для зданий небольшой этажности и, в связи с этим, рекомендации действующих Норм не отражают современное понимание требований применительно к высотным зданиям. Зарубежная практика и общепризнанные нормы США (UBC - 1997; IBC - ICC), Канады (NBCC), Европейского Союза (Eurocode 8: EN 1998-1), не располагают достаточным опытом их применения в высотном строительстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Государственные строительные нормы Украины. ДБН В.1.1-12: 2014 «Строительство в сейсмических районах Украины» / Киев, Минрегион, 2014. – 110 с.*
2. *Государственные строительные нормы Украины. ДБН В.2.2-24:2009 «Проектирование высотных жилых и общественных зданий. / Киев, Минрегион, 2009. –133 с.*

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО
СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

3. **Немчинов Ю.И.** *Сейсмостойкость высотных зданий и сооружений.* – Киев: Гудименко С.В., 2015. – 584 с.
4. **Ашимбаев М.У., Ицков И.Е.** *Проблемы обеспечения надежности зданий повышенной этажности, возводимых в сейсмических районах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, 2005, № 4, с. 50-53.*
5. *Современное высотное строительство. Монография.* – М.: ГУП «ИТЦ Москомархитектуры»/ Николаев С.В., Копбаев С.А., Граник Ю.Г. и др., 2007. – 440 с.
6. **МГСН 4.19-05.** *Московские городские строительные нормы. «Многофункциональные высотные здания и комплексы» (временные). Том I. МГСН 4.19-05 / Правительство Москвы.* – Москва: 2004. – 75 с.
7. **Граник Ю. Г.** *Проектирование и строительство высотных зданий.* Статья на сайте: <http://www.uralstroyinfo.ru/?id=62&doc=221> от 23.07.2007. - 5 с.
8. **ТСН 31-332-2006.** *Санкт-Петербург. Территориальные строительные нормы. «Жилые и общественные высотные здания» / Правительство Санкт-Петербурга.* – Санкт-Петербург: 2006. – 59 с.
9. **ТКП 45-3.02-108-2008 (02250).** *Технический Кодекс Установившейся Практики. Высотные Здания. Строительные нормы проектирования / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь.* – Минск: 2008. – 89 с.
10. **Ашимбаев М.У., Ицков И.Е.** *Современные подходы к проектированию сейсмостойких зданий повышенной этажности. В кн.: «Будівельні конструкції». Міжвідомчий наук.–технічний збірник. «Будівництво в сейсмічних районах України», вип.73.– Київ, НДІБК, 2010, с. 714–723.*
11. **СНиП РК 2.03-30-2006.** *Строительство в сейсмических районах. / Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства торговли республики Казахстан.* – Алматы: ТОО «Издательство LEM», 2006. – 80 с.
12. **ДСТУ-Б-В.1.1-28:2010.** *Національний стандарт України. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. «Шкала сейсмічної інтенсивності»/ Мінрегіонбуд України.* – Київ, 2011. – 47 с.
13. **ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013.** *Національний стандарт України. «Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва» (із змінами від 1.07.2014) / Мінрегіонбуд України.* – ДП «Укрархбудінформ». – Київ: 2013. – 26 с.
14. **ДБН В.1.2-14-2009.** *Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.–К.: Мінрегіонбуд України, 2009.– 37 с.*

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО
СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

15 *Государственные строительные нормы Украины. ДБН В.1.2-2:02006 «Нагрузки воздействия» /Киев, Минстрой Украины, 2006. – 110 с.*

16 **Leonard M. Joseph, Dennis Poon and Shaw-song Shieh.** *Ingredient of High-Rise Design Taipei 101 the World's Tallest Building: <http://www.structuremag.org/archives/2006/June-2006/F-Taipei-101-June-06.pdf>. March 2004 • Modern Steel Construction. - 4 p.*

17. **Николаев С.В.** *Безопасность и надёжность высотных зданий – это комплекс высокопрофессиональных решений. – В кн.: Інформаційний зб. «ПРОЕКТАНТ»/ АБ України// Асоціація «Українське об'єднання проектних організацій», жовтень 2011, с. 27-38.*