



СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК ДЛЯ СЕЙСМОСТОЙКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ УКРАИНЫ

УДК 550.34; 699.841:624.04

АВТОРЫ

КЕНДЗЕРА А.В., канд. физ.-мат. наук, член-кор. НАНУ, заместитель директора Института геофизики им. С.И. Субботина НАНУ;

ЕГУПОВ В.К., инженер Института геофизики им. С.И. Субботина НАНУ;

ВЕРБИЦКАЯ О.С., инженер Института геофизики им. С.И. Субботина НАНУ;

СЕМЕНОВА Ю.В., аспирант Института геофизики им. С.И. Субботина НАНУ;

ЛЕСОВОЙ Ю.В., мл. научный сотрудник Института геофизики им. С.И. Субботина НАНУ;

ЕГУПОВ К.В., докт. техн. наук, директор НИИ фундаментальных и прикладных исследований Одесского национального морского университета;

МАРЬЕНКОВ Н.Г., докт. техн. наук, заведующий отделом ГП Научно-исследовательский институт строительных конструкций;

БАБИК К. Н., канд. техн. наук, зав. лабораторией ГП Научно-исследовательский институт строительных конструкций

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам необходимости сейсмического микрорайонирования строительных площадок высотных зданий и ответственных сооружений в низко- и высокосейсмических районах. Вопросы рассматриваются на примере производства таких работ для проектируемого строительства на ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30 в г. Одесса.

The article is devoted to the questions of seismic hazard determination for the builder's sites of height and experimental houses and structures in high- and low seismic regions. Questions are considered by the example of the production of such works for the planned construction at Bolshaya Arnauskaya street, 26, 28, 30 in Odessa.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

сейсмическое микрорайонирование, строительная площадка, сейсмические волны

ВВЕДЕНИЕ

До 70-х годов XX века считалось, что на большей части территории Украины, расположенной на стабильной древней Восточноевропейской тектонической платформе, не могут происходить значительные по величине сейсмические события. В настоящее время известно, что катастрофические землетрясения происходили на всех древних тектонических платформах мира, хотя и намного реже, чем в сейсмоактивных поясах. Сильные внутриплитовые землетрясения могут привести к большому социальному и экономическим потерям из-за неподготовленности домов и сооружений к их воздействиям [1 - 8].

Существуют исторические сведения о семибалльном землетрясении 1873 г. на севере Кировоградской области и о землетрясении 1913 г. с эпицентром вблизи г. Купянск с магнитудой $M = 3,5$ и глубиной очага 8 км, при котором локальная интенсивность сейсмических сотрясений в эпицентральной зоне достигала 5-6 баллов по шкале MSK-64.

За последние годы на платформенной части территории Украины зарегистрированы несколько ощутимых землетрясений: вблизи Тернополя - 3.01.2002 г. с $M = 3,2$; в Луганской области вблизи с. Ново-Дарьевка - 11.05.2004 г. с $M = 3,2$ и 19.04.2006 г. с $M = 3,0$; в Житомирской области - в 12.03.2006 г. с $M = 3,6$. Землетрясение с $M = 2,9$ состоялось вблизи г. Купянск Харьковской области 22.11.2009 г. А 3.02.2015 г. вблизи границы Сумской и Полтавской областей произошло 6-ти балльное землетрясение с магнитудой 4,6.

НЕРЕШЕННЫЕ ЗАДАЧИ

Исследования катастроф в районах интенсивной добычи полезных ископаемых показало, что в них происходят необратимые изменения в напряженно-деформированном состоянии геологической среды, которые приводят к активизации опасных природно-техногенных процессов. В первую очередь, к ним относятся сдвиги, обвалы пород, подтопления, землетрясения, горные уда-



ры и другие эффекты. Например, в районе Кривого Рога в течение последних лет состоялось несколько землетрясений. Самое сильное из криворожских землетрясений состоялось 7.05.2008 г. с $M=4,9$ и $h=10$ км. Последнее из ощутимых - произошло 24.06.2013 г. Его интенсивность в эпицентре достигала 3...4 баллов по шкале MSK-64. Землетрясение было зарегистрировано всеми украинскими станциями и станциями соседних стран, что отражено на сайтах таких сейсмологических центров, как ISC; EMSC-CSEM; NEIS.

На основе изучения записей местных сейсмических событий в районе г. Кривой Рог, которые произошли в 2006 - 2014 гг., и обобщения геолого-геофизических данных о строении земной коры в исследуемом районе, и в частности, о строении шовной зоны на границах Ингулецкого и Среднеприднепровского мегаблоков Украинского щита были установлены основные параметры очагов криворожских землетрясений и выдвинута гипотеза их природно-техногенного происхождения. Установлено, что при масштабных разработках залежей полезных ископаемых, с применением мощных взрывов в шахтах на глубинах 440...1300м, в районе Криворожской железорудной структуры нельзя исключать возникновение землетрясений с магнитудой 5,0 и выше [13].

Теоретические расчеты, выполненные с использованием данных о размерах тектонических разломов, активизированных на современном этапе геологического развития, позволяют оценить максимальную магнитуду землетрясения, способного реализоваться на платформенной части территории Украины, как $M = 6,4$. Объективная причина повышения сейсмической опасности связана также с техногенной деятельностью человека: заполнение водохранилищ, добыча полезных ископаемых, подтопление вследствие утечки воды в городах и других природоизменяющих процессах [14, 21].

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО МИКРО- И ОБЩЕМУ СЕЙСМОРАЙОНИРОВАНИЮ

Наряду с локальными сейсмическими явлениями, на территории Украины ощущаются также ощутимые и сильные колебания от подкорковых землетрясений, происходящих в зоне Вранча на территории Румынии, под резким изгибом горной дуги, где Восточные Карпаты сочленяются с Южными Карпатами. Последние сильные землетрясения состоялись в 1940, 1977, 1986 и 1990 годах.

На рис. 1 приведена карта изосейст землетрясения 4 марта 1977 г. из зоны Вранча на фоне фрагмента карты районирования сейсмической опасности на территории Европы [16]. Видно, что даже для румынского землетрясения 2007 года, величина которого была далекой от максимально возможной в зоне, интенсивность сейсмических воздействий на территории Украины достигала от 4 до 6 баллов. Интенсивность колебаний отнесена к грунтам II-й категории по сейсмическим свойствам.

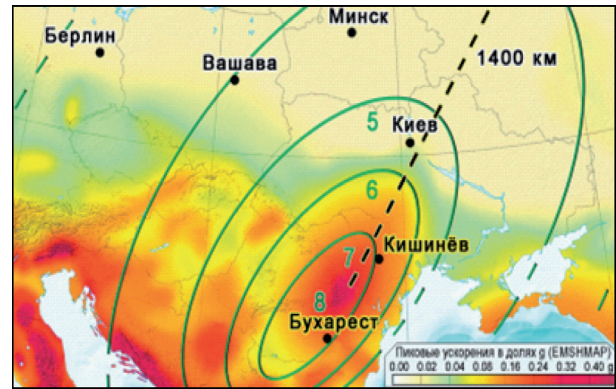


Рис.1. Сейсмический эффект (цифры – баллы) подкорнового землетрясения 4 марта 1977 г. из зоны Вранча на фоне фрагмента карты районирования сейсмической опасности на территории Европы (пиковые ускорения в долях g с вероятностью 10% их возможного превышения в течение 50 лет). Бежевый цвет примерно соответствует интенсивности до 5 баллов, зелёный – 5–6, жёлтый – 6–7, розовый – 7–8, красный – 8–9 и бордовый – 9 баллов и более [16].

Вытянутость изосейст подкорковых землетрясений зоны Вранча в северо-восточном направлении, по одной версии, обусловлена относительно слабым затуханием сейсмических волн в сторону г. Киева, а по другой - особенностью диаграммы направленности излучения из очага. Большие размеры площадей сейсмических сотрясений объясняются огромной энергией очагов землетрясений и значительной глубиной залегания их очагов, на которой затухание сейсмических волн с расстоянием является небольшим.

В целом, до 40% территории Украины могут быть охвачены непосредственным влиянием опасных сейсмических событий и до 70% - общим влиянием землетрясений с подтоплением, сдвигами, просадками и другими инженерно-геологическими процессами, которые негативно влияют на стойкость сооружений [2].

Изучение распределения по территории Украины интенсивности сейсмических проявлений при различных землетрясениях позволило составить для Украины карты общего сейсмического районирования (ОСР-2004) [15, 17], которые являются неотъемлемой составной частью Государственных строительных норм [1].

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 [18, 19].

Эти работы призваны не только определить значение приращения ΔI за счет влияния грунтовых условий на площадке, но также получить материалы для более детального представления сейсмической опасности в терминах спектрального состава, длительности сейсмических воздействий



на различных уровнях, максимальных (пиковых) значений прогнозируемых ускорений и т.д. 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).

При проведении работ по СМР, приращение сейсмической интенсивности ΔI на конкретной площадке строительства определяется по отношению к сейсмической интенсивности на эталонной площадке, расчетная сейсмическая интенсивность для которой заранее известна.

Состав методов, привлекаемых для проведения работ по СМР, приводится в документах [1, 18, 19].

При планировании работ по СМР площадки необходимо учитывать особенности геологического строения региона её размещения. Например, при проведении СМР строительных площадок в г. Одессе учитывается, что город расположен на территории Причерноморского лессового плато. Верхняя часть геологического разреза здесь, как правило, сложена четвертичными лессовыми суглинками и супесями, подстилаемыми плиоценовыми суглинками и глинами, которые залегают на скальном грунте известняка понтического яруса неогена. Наличие водоупора, в виде слоя плиоценовых суглинков и глин, способствует образованию неглубокого четвертичного водоносного горизонта. Физико-механические свойства лессов в значительной мере зависят от влажности. Поэтому, прогнозная сейсмическая интенсивность площадок строительства, отражающая физико-механические свойства грунтов, также значительно варьирует даже в пределах одной площадки. Наличие жесткого слоя известняка в разрезе создает условия реверберации сейсмических колебаний между дневной поверхностью и кровлей скального пласта известняка. Соответственно, простое изменение абсолютных отметок площадки, приводит к изменению основного периода и интенсивности колебаний грунта, вызванных внешним воздействием.

В последние годы, в связи с проектированием и строительством в крупных городах Украины высотных зданий и сооружений, возникла необходимость в дополнительной сейсмологической информации, в том числе и о слабых низкочастотных колебаниях, генерируемых далекими очагами сильных землетрясений, систематически возникающих в Восточных Карпатах (зона Вранча). В результате резонансных явлений такие колебания, даже едва различимые на земной поверхности, могут существенно повлиять на поведение строящихся «высоток».

В условиях Одесского региона используется минимальный комплекс работ по СМР строительных площадок, включающий методы инженерно-геологических аналогий, сейсмических жесткостей и регистрации микросейсм. Каждый из этих

методов позволяет получить оценку сейсмической интенсивности площадки в баллах. Для представительного расчета синтетических акселерограмм, моделирующих сейсмическое воздействие на здание, используется информация по всем трем методам.

Продемонстрируем результаты работ по СМР строительной площадки на примере их производства для проектируемого строительства здания на ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30 в г. Одесса.

Согласно Приложений А к ДБН В.1.1-12:2014 [1] и картам общего сейсмического районирования Украины (ОСР-2004) [17], которые входят в его состав, нормативная балльность, отнесённая к средним грунтовым условиям г. Одессы составляет:

$I_0 = 7$ баллов – повторение 1 раз в 500 лет, сейсмический риск 10% превышения в ближайшие 50 лет (карта ОСР-2004–А);

$I_0 = 7$ баллов – 1 раз в 1000 лет, сейсмический риск 5% превышения в ближайшие 50 лет (карта ОСР-2004–В);

$I_0 = 8$ баллов – 1 раз в 5000 лет, сейсмический риск 1% превышения в ближайшие 50 лет (карта ОСР-2004–С).

Для объектов массового гражданского и промышленного строительства, к которым относятся проектируемые строения на ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30, нормативная балльность была принята равной $I_0 = 7$ баллов. В результате уточнения нормативной сейсмичности методами детального сейсморайонирования (ДСР) и СМР было получено значение расчетной интенсивности $I_{RN} = 6,51$ балла на грунтах II-й категории по сейсмическим свойствам.

В результате проведения работ по СМР площадки было установлено, что её локальные грунтовые условия приводят к следующим приращениям сейсмической интенсивности ΔI_T по отношению к фоновой I_{RN} : 1) по методу инженерно-геологических аналогий $\Delta I_T = 1$ балл, так как в границах 10-ти метрового слоя ниже отметки планирования суммарная мощность слоев, относящихся к III-й категории по сейсмическим свойствам, составляет не менее 8,20 м; 2) по методу сейсмических жесткостей $\Delta I_T = 0,54$ балла а по методу регистрации высокочастотных микросейсм $\Delta I_M = 0,82$ балла.

В связи с тем, что полученные разными методами СМР значения прироста сейсмической балльности отличаются между собой, воспользуемся положением раздела 7.3.2. Методических рекомендаций [18], согласно которому: «Инструментальные сейсмологические исследования являются основными для уточнения сейсмической интенсивности и составления карты СМР». Примем консервативное решение о величине прироста интенсивности площадки за счет локальных грунтовых условий $\Delta I_M = 0,82$ балла. В результате, рассчитанная с точностью до сотой доли балла уточненная с учетом влияния локальных грунтовых условий сейсмическая интенсивность строительной площадки по адресу: г. Одесса, ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30, составляет:

$$I_R = I_{RN} + \Delta I_M = 6,51 + 0,82 = 7,33 \text{ балла.}$$



Оценка I_R должна округляться к целому числу, так как действующий ДБН В.1.1-12:2014 базируется на шкале сейсмической интенсивности ДСТУ Б В.1.1-2862010 и не предусматривает дробных значений сейсмической балльности. То есть расчетная интенсивность площадки составляет $I_R = 7$ баллов с допустимым сейсмическим риском - 10% (период повторяемости 500 лет).

С использованием разработанных в Институте геофизики НАН Украины вычислительных программ построен ансамбль расчетных акселерограмм, моделирующих расчетные землетрясения из зоны Вранча и местных очаговых зон для строительной площадки в г. Одессе по ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30.

Методика построения расчетных акселерограмм базируется на максимальном использовании информации, содержащейся в зарегистрированных сейсмических событиях из опасных для конкретного объекта сейсмоактивных зон на ближайших к площадке сейсмических станциях. Для генерирования расчетных акселерограмм применялся полупэмпирический подход [20 - 22], базирующийся на использовании эмпирических аналогов функции Грина, в виде записей слабых землетрясений (взрывов), зарегистрированных непосредственно на исследуемой площадке.

Основой для построения расчетных акселерограмм, моделирующих сейсмические колебания на исследуемой строительной площадке, являются записи сильных удаленных и локальных землетрясений, полученные как можно ближе к площадке с помо-

щью широкополосных сейсмических приборов, позволяющих восстановление наблюдаемых ускорений скоростей и смещений из записей. На рис. 2 представлены результаты расчета ускорения, скорости и смещения по вертикальной составляющей колебаний записи подкорового землетрясения 06.10.2013 г. из зоны Вранча, зарегистрированной сейсмической станцией «Одесса-город». Аналогичные результаты получены также для горизонтальных компонент. Эта трёхкомпонентная акселерограмма, наряду с другими акселерограммами, пересчитанными на изучаемую строительную площадку, использовалась для генерации расчетных акселерограмм.

Основные параметры сгенерированного ансамбля трехкомпонентных расчетных акселерограмм, моделирующих с 90%-ой обеспеченностью 7-балльное расчетное землетрясение из зоны Вранча на свободной поверхности грунта строительной площадки в г. Одесса по ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Данные о расчетных акселерограммах, моделирующих землетрясения зоны Вранча на строительной площадке в г. Одесса по ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30.

№ пп.	Компонента	ат, см/с ²	Преобладающие частоты в Гц	Длит., колебаний с $a > 0,9$ a_{max}	Длит. колебаний с $a > 0,5$ a_{max}	Колич. точек в аксел.	Шаг Δt в с
1	3	4	5	6	7	8	9
1	T	126,7	1,4 - 6,1	5,0	24,8	16384	0,01000
	R	110,2	2,1 - 4,8	1,7	26,5	16384	0,01000
	Z	98,8	1,9 - 6,1	1,7	24,8	16384	0,01000
2	T	126,4	2,1 - 5,2	2,1	24,8	16384	0,01250
	R	117,6	2,2 - 4,4	4,1	18,6	16384	0,01250
	Z	83,4	2,4 - 6,7	4,1	24,8	16384	0,01250
3	T	126,9	1,9 - 4,4	2,1	16,5	16384	0,01250
	R	101,5	2,1 - 4,8	2,1	22,8	16384	0,01250
	Z	97,7	1,6 - 5,6	4,1	24,8	16384	0,01250

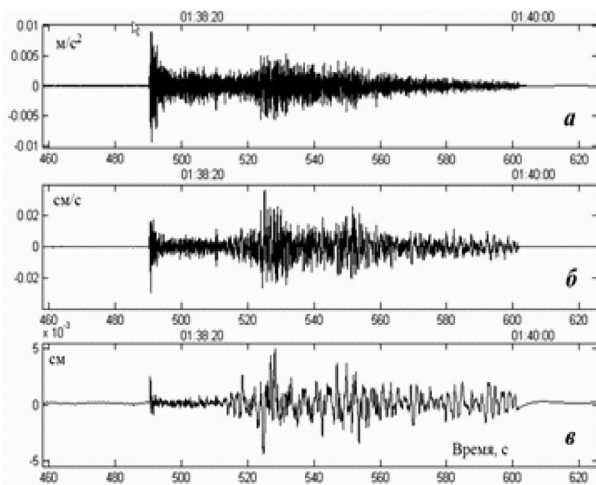


Рис.2. Вертикальная составляющая колебаний, рассчитанных по записи землетрясения 06.10.2013 г. из зоны Вранча, зарегистрированной сейсмической станцией «Одесса-город»: а – ускорение, б – скорость, в – смещение.

ПРИМЕР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ В Г. ОДЕССА С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ДБН [1] О НЕОБХОДИМОСТИ СМР СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

Проектируемый жилой комплекс состоит из двух 17-этажных секций, разделенных антисейсмическим швом. На нижних этажах здания расположены: на отм. - 4,2 м – паркинг; на отм. 0,000м – торговый центр, торговые и офисные помещения, на отм. +4,650м, +8,850м, 13,050м – спортивные и тренажерные помещения. На этажах 5-16 расположены квартиры для проживания. На 17-м этаже расположены творческие мастерские и технические помещения.

Высота подземного этажа – 4,2 м, высота первого этажа – 4,65 м, высота этажей 2÷4 – 4,2 м, высота этажей 5÷17 – 3,3 м. Следует отметить, что высоты 1÷4 этажей не соответствуют требованию примечания 2 к табл. 3.1 [1], в соответствии с ко-



торым высота этажа жилых и общественных зданий должна быть «...принята не более 4 м...».

Кроме уже указанных отступлений, секция 01 имеет по высоте перепады, превышающие требование п. 3.1.4 [1] в соответствии с которым «смежные участки здания выше или ниже планировочной отметки не должны иметь перепады более 5м».

Конструктивное решение здания

Здание решено в монолитном железобетонном каркасе по связевой схеме с несущими элементами:

- диафрагмами жесткости - монолитные железобетонные; бетон кл. С20/25, рабочая арматура А400С ДСТУ3760-2006, поперечная А240С ДСТУ3760-2006. Толщины диафрагм жесткости следующие:
 - от отметки -4,200 м до +17,250 – 400 мм;
 - от отметки +17,250 до +30,450 м – 300 мм;
 - выше отметки +30,450 м – 200 мм;
- стены шахт лифтов – 200 мм по всей высоте здания;
- колоннами прямоугольной формы сечением:
 - от отметки -4,200 м до отм. +20,550 м – 600х600 мм;
 - от отметки +20,550 м до отм. +40,350 м – 500х500 мм;
 - от отметки +40,350 м до отм. +60,150 м, а также на этажах с общественными помещениями - 400х400 мм;
- безригельными междуэтажными перекрытиями - толщиной 220 мм, бетон кл. С20/25, рабочая арматура А400С ДСТУ3760-2006, поперечная А240С ДСТУ3760-2006.

Соединения перекрытий с вертикальными несущими элементами – жесткое.

Лестницы - сборные железобетонные, бетон кл. С20/25, рабочая арматура А400С ДСТУ3760-2006, поперечная А240С ДСТУ3760-2006.

Фундаменты – железобетонная плита толщиной 1100мм, опирающиеся на кусты свай сечением 350х350мм, бетон кл. С20/25, рабочая арматура А400С ДСТУ3760-2006, поперечная А240С ДСТУ3760-2006.

Результаты нелинейного статического расчета

Значения весов масс и инерционных нагрузок в уровнях перекрытий расчетной модели здания (рис. 3) определены с использованием спектрального метода расчета [1] при сейсмическом воздействии интенсивностью 7 баллов. Кроме того, в соответствии с п. 2.3.12 [1] учтены расчетные сейсмические моменты от крутильных форм колебаний.

Нелинейный статический расчет пространственной модели секции 01 (рис. 3) выполнен при действии инерционных сейсмических нагрузок, соответствующих первой, четвертой и шестой формам колебаний, статически приложенных в уровнях перекрытий в направлении оси X и Y.

Нелинейный расчет на статически приложенные инерционные нагрузки выполнен с помощью процессора «ЛИРА-СТЕП» ПК «ЛИРА САПР» [9] простым шаговым методом. Для проведения расчетов по методу спектра несущей способности вы-

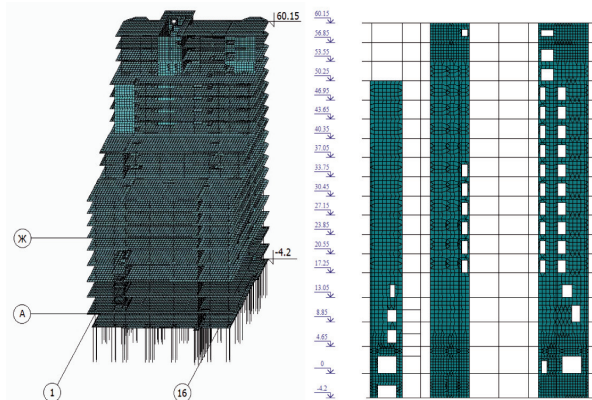


Рис.3. Общий вид трехмерной компьютерной модели секции 01 жилого комплекса.

полнена корректировка расчетной схемы здания, заключающаяся в смене типа конечных элементов (КЭ), соответствующем изменении параметров жесткости элементов, а также моделировании нелинейных нагружений. Для элементов, моделирующих колонны, использован тип КЭ 210 (физически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ), а для элементов, моделирующих диафрагмы жесткости – КЭ 242 и 244 (физически нелинейный треугольный и четырехугольный элемент оболочки, соответственно). Закон нелинейного деформирования бетона и арматуры – 15 и 11, соответственно [9, 11, 12].

Армирование элементов расчетной схемы принято по результатам линейного расчета на основные и особые сочетания усилий при сейсмических воздействиях по направлениям X, Y, 45° и 135°, вычисленным по спектральному методу. После определения армирования несущих конструкций выполнена смена типов конечных элементов на нелинейные, с учетом физической нелинейности бетона и арматуры.

Нелинейные расчеты выполнены простым шаговым методом с шагом увеличения нагрузки 0,1. В расчетах последовательно приложены вертикальные нагрузки (загружения 1 - 4), расчетный сейсмический момент и инерционные сейсмические нагрузки, соответствующие одной из учитываемых форм.

В результате каждого расчета получены значения сдвиговых сил и перемещений в каждом из i уровней здания на каждом шаге нагружения. Следует отметить, что нелинейный статический расчет на инерционные нагрузки, соответствующие первой форме колебаний, был автоматически завершен ПК «ЛИРА САПР» на 10 шаге нагружения.

Для дальнейшего использования при построении спектров несущей способности секции 01 перемещения, полученные по направлениям X и Y, были просуммированы по правилу корень квадратный из суммы квадратов соответствующих проекций.

На рис. 4 представлены графики спектров несущей способности расчетной модели здания, построенные в координатах «спектральное ускорение S_a - спектральное перемещение S_d » по резуль-

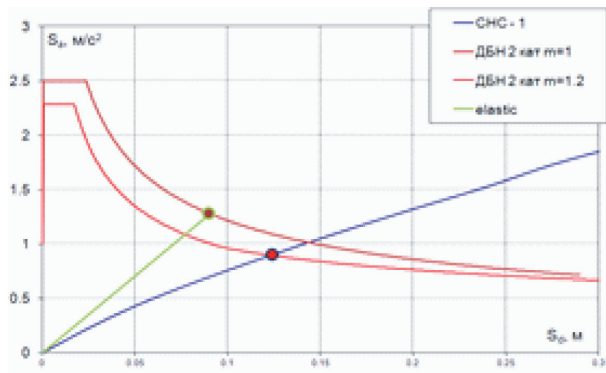


Рис.4. Спектр несущей способности, соответствующий первой форме колебаний (СНС-1), нормативный спектр реакции ($\mu=1$) согласно [1] и нелинейный спектр реакции ($\mu=1,2$), соответствующие сейсмическому воздействию интенсивностью 7 баллов и 2-й категории грунта по сейсмическим свойствам.

татам нелинейного статического расчета.

Значения коэффициентов податливости μ определялись согласно [1] по результатам билинейной аппроксимации спектров несущей способности, полученных по 1-й, 4-й и 6-й формам колебаний.

Таким образом, при воздействии, заданном в виде нелинейного спектра реакции с соответствующими значениями коэффициента податливости μ , максимальное значение перекосов этажей при учете первой, четвертой и шестой форм колебаний составляет 0,0036 высоты этажа, что не превышает допустимое значение по [1], равное 0,017. Максимальные нелинейные перемещения верха секции 01 составляют 119,6 мм.

Полученное деформированное состояние конструкций секции 01 соответствует четвертому шагу нагружения инерционными силами, соответствующими первой форме колебаний, и десятым шагам нагружения инерционными силами, соответствующими четвертой и шестой формам колебаний.

В программном комплексе «ЛИРА САПР» [9] формируются данные о состоянии материалов конструкций по шагам нагружения нелинейного статического расчета – документ 13 «Сведения о состоянии материала». В соответствии с указанными данными для четвертого шага нагружения получены следующие результаты: 15 % основного материала (бетона) разрушено при растяжении в отдельных конечных элементах диафрагм жесткости секции 01 на отм. 0.00, 4.65 и 13.05.

Результаты численных исследований динамической модели здания при воздействиях, заданных акселерограммами

Динамический расчет эквивалентной одномассовой системы выполнен при воздействии следующих синтезированных акселерограмм площадки строительства:

- набора акселерограмм aap10c_loc, aap11c_loc и aap12c_loc, моделирующих колебания грунта из локальной зоны площадки строительства;
- набора акселерограмм aap10c_vgn, aap11c_

vgn, aap12c_vgn, моделирующих колебания грунта площадки строительства при землетрясении из зоны Вранча.

На рис. 5 представлены графики спектров несущей способности (СНС) расчетной модели здания, соответствующие 1-й, 4-й и 6-й формам колебаний. В этих же координатах построены спектры реакции эквивалентной одномассовой системы при воздействии расчетных акселерограмм землетрясений с эпицентрами в локальной зоне.

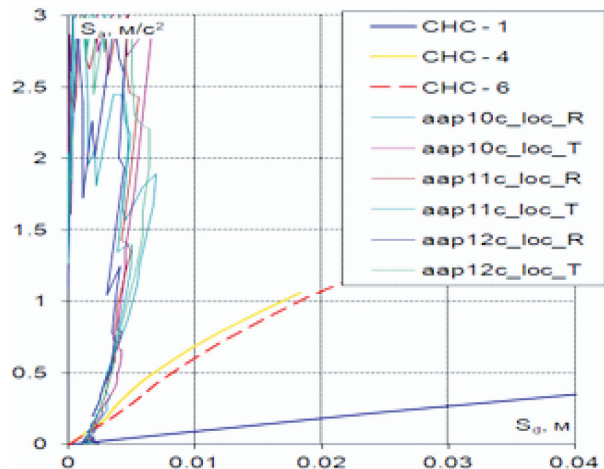


Рис.5. Спектры несущей способности здания и спектры реакции эквивалентной одномассовой системы на сейсмическое воздействие, заданное акселерограммами при землетрясении в локальной зоне.

Точки пересечения графиков спектра несущей способности и спектров реакции эквивалентной одномассовой системы соответствуют нелинейной динамической реакции (в виде перемещений) модели здания при соответствующих сейсмических воздействиях в уровне перекрытия на отм. 40,35 м.

Получены также максимальные горизонтальные перемещения и перекосы этажей, полученные по результатам нелинейного расчета на сейсмические воздействия, заданные акселерограммами. Значения максимальных горизонтальных перемещений для каждого этажа получены умножением значения нелинейной динамической реакции эквивалентной одномассовой системы на коэффициенты η_{ki} , зависящие от формы собственных колебаний здания или сооружения и от места расположения нагрузки [1, 2]. Суммарные значения перемещений получены как корень квадратный из суммы квадратов перемещений по отдельным формам.

ВЫВОДЫ

1. Наличие на территории платформенной части территории Украины существенной сейсмической опасности от местных землетрясений и сильных подкорковых землетрясений зоны Вранча подтверждает необходимость сейсмического микрорайонирования строительных площадок высотных зданий и ответственных сооружений на этой территории.
2. Для повышения надежности прогнозирова-



ния количественных параметров сейсмических воздействий на высотные здания и сооружения на территории Украины необходимо усовершенствовать систему инструментального мониторинга сейсмических колебаний при местных землетрясениях, землетрясениях зоны Вранча, сильных мировых землетрясениях, взрывах и микросейсмических вибрациях в различных районах страны, в различных грунтовых условиях и на разных отметках существующих зданий и сооружений.

3. Создание сетей сейсмологических и инженерно-сейсмометрических станций, конечно, потребует определенных капитальных вложений, но они многократно окупятся в будущем за счет удешевления сейсмостойкого строительства, предотвратят гибель людей и экономические потери, вызванные катастрофическими землетрясениями.
4. Полученные данные работ по сейсмомикрорайонированию и численным исследованиям нелинейной модели жилого дома с учетом требований [1] позволили разработать рекомендации по обеспечению сейсмостойкости (при сейсмичности 7 баллов) двух 17-этажных секций жилого дома по ул. Б. Арнаутская в г. Одесса.
5. При воздействии, заданном акселерограммами при землетрясении в зоне Вранча, максимальные значения перекосов этажей составили 0,0023, что не превышает допустимое значение, равное 0,017 [1].
6. Максимальные значения перекосов этажей жилого дома, полученные при использовании нелинейного статического расчета и расчетных графиков спектров несущей способности (СНС), составляют 0,0036, что в 1,6 раза больше данных расчета на сгенерированные акселерограммы площадки строительства (0,0023).
7. Максимальные нелинейные перемещения верха секции 01, полученные при расчете по методу СНС, составили 119,6 мм, что позволило рекомендовать принять ширину антисейсмического шва между смежными секциями 01 и 02 жилого дома не менее 400 мм (по проекту первоначально было принято от 150 мм до 300 мм).

ЛИТЕРАТУРА

1. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1 – 14:2014 / науковий керівник Ю.І. Немчинов. - [Чинні від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. - VI, – 110 с. – (Будівельні норми України).
2. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / [Ю.И. Немчинов, Н.Г. Марьенков, А.К. Хавкин, К.Н. Бабик; ред. Немчинова Ю.И.]. – К., 2012. - 384 с.
3. Уточнение параметров сейсмической опасности площадки проектируемого строительства торгово-офисного центра по адресу: г. Одесса, ул. Балковская, 139 – угол ул. Сред-

ней Фонтанской методом регистрации микросейсм; генерирование расчетных акселерограмм и определение спектров реакции: отчет института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины и ДП «Сейсмобуд», Одесса, 2008. – 79 с.

4. Тамразян А.Г. О влиянии внешнего давления сооружений на степень передачи сейсмических воздействий / А.Г. Тамразян, Р.А. Атабекян // Исследования и опыт. Жилищное строительство. - № 6/2003.
5. Егупов К.В. Инструментальные записи для оценки сейсмической опасности Одесского региона / Егупов К.В., Бондаренко А.С., Егупов В.К. // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2013.- Вип. 49. - С. 143-149.
6. 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 и др.] / Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - К.: ДП НДІБК, 2008. - Вип. 69. - С. 45-55.
7. Кендзера А.В. Мониторинг сейсмичности Юго-Западных областей Украины и сопредельных территорий / [А.В. Кендзера, В.К. Егупов, К.В. Егупов] / Вісник Одеського національного університету. – Одеса, 2013. - Том 18, Вип. 1 (17). - С. 70-83.
8. Определение сейсмической опасности площадки строительства жилого комплекса со встроенно-пристроенными спортивно-оздоровительными помещениями и подземным паркингом по адресу: г. Одесса, ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30 - по данным сейсмического районирования и генерирования расчетных акселерограмм: научно-технический отчет / ООО «Научно-практический центр динамических исследований», Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев-Одесса, 2014.
9. Программный комплекс Лира-Сапр 2013: учебное пособие под ред. академика АИН Украины А.С. Городецкого. – К. – М., 2013. – 376 с.
10. Определение сейсмической опасности площадки строительства жилого комплекса по адресу: Одесская обл., Овидиопольский р-н, с. Мизикевича, ж/м «Дружный», массив № 1, участок №31 - по данным сейсмического районирования и генерирования расчетных акселерограмм: научно-технический отчет / ООО «Научно-практический центр динамических исследований», Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев-Одесса, 2014.