

**О НЕОБХОДИМОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО  
МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
ПЛОЩАДОК ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И ОТВЕТСТВЕННЫХ  
СООРУЖЕНИЙ В НИЗКО- И ВЫСОКОСЕЙСМИЧЕСКИХ  
РАЙОНАХ УКРАИНЫ**

Кендзера А.В., Егупов В.К., Вербицкая О.С., Семенова Ю.В.,  
Лесовой Ю.В.

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

Егупов К.В.

Одесский национальный морской университет  
г. Одесса, Украина

Марьенков Н.Г., Бабик К. Н.

ГП Научно-исследовательский институт строительных конструкций  
г. Киев, Украина

**АННОТАЦИЯ:** Стаття присвячена питанням необхідності сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків висотних будівель і відповідальних споруд в низько- та високосейсмічних районах. Питання розглядаються на прикладі виробництва таких робіт для проектного будівництва на вул. Велика Арнаутська, 26, 28, 30 в м. Одеса.

**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.

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

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сейсмическое микрорайонирование, строительная площадка, сейсмические волны.

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 большим социальным и экономическим потерям из-за неподготовленности домов и сооружений к их воздействиям [1 - 8].

Среди исторических сейсмических событий, зарегистрированных на платформенной части территории Украины, особое место занимают 6-ти балльные землетрясения, произошедшие 3 марта 1670 г. в Залещиках и Шкло и 17 августа 1875 г. на севере Львовской обл. в районе Великих Мостов и Каменки Бугской. Глубина очага последнего была порядка 19 км. С интенсивностью 3-4 балла это землетрясение ощущалось даже в Варшаве и Черновцах. Очаг землетрясения связывают с зоной Тесейра-Торнквиста, разделяющей Восточноевропейскую и Западноевропейскую платформы. 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 удары и другие эффекты. Например, в районе Кривого Рога в течение последних лет состоялось несколько землетрясений. В зоне, ограниченной Западно-Ингулецким и Криворожско-Кременчугским разломами, 27.01.2006 г. произошло землетрясение с  $M = 2,5$ . В районе Криворожского разлома - 25.12.2007 г. состоялось более мощное землетрясе-

ние с  $M = 3,6$ . 12.06.2010 г. вблизи Кривого Рога произошло землетрясение с  $M = 2,8$ , которое, в отличие от других, имело техногенный (провальный) характер. 14.01.2011 года (местное время 07 г. 03 мин.) имело место еще одно тектоническое землетрясение с  $M = 3,9$ . Современная активизация тектонических разломов в районе Кривого Рога сопровождается развитием подземных пустот, карстовых образований, сдвиговых участков и другими опасными явлениями. 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 Середнеприднепровского 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 440–1300 м, 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  $M = 6,4$ .

Известный российский ученый Айзенберг Я.М. отмечает, что с ростом знаний сейсмологов о сейсмической опасности различных территорий планеты интенсивность почти всех землетрясений, сопровождавшихся значительными жертвами, как правило, оказывалась выше прогнозированной картами ОСР. 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 подкоро-

вых 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.

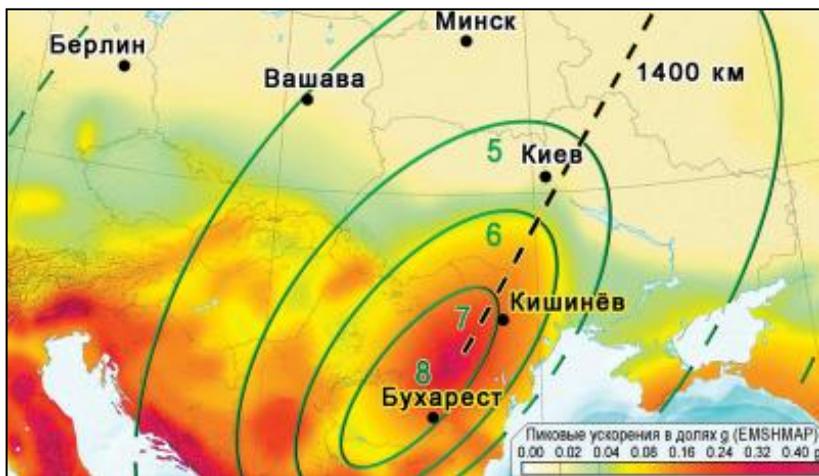


Рис. 1. Сейсмический эффект (цифры – баллы) подкорового землетрясения 4 марта 1977 г. из зоны Вранча на фоне фрагмента карты районирования сейсмической опасности на территории Европы (пиковые ускорения в долях  $g$  с вероятностью 10% их возможного превышения в течение 50 лет). Бежевый цвет примерно 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 подкоровых 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 не большим.

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 позволил составить для неё карты общего сейсмического районирования (ОСР-2004) [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  $\Delta I$  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, спектрально-временных распределений колебаний при землетрясениях, спектров реакции единичных осцилляторов, азимутов и углов подхода сейсмической радиации и др. 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 сейсмическому микрорайонированию, приращение сейсмической интенсивности  $\Delta I$  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. Водоносный горизонт питается, в основном, за счет утечек из водонесущих коммуникаций. Горизонт не выдержан по латерали. 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 **ОСП-2004–А**);

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

$I_0 = 8$  баллов – 1 раз в 5000 лет, сейсмический риск 1% превышения в ближайшие 50 лет (карта **ОСП-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 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  $\Delta I_T$ , 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 MSK-64 и не предусматривает дробных значений сейсмической балльности. То есть расчетная интенсивность площадки составляет  $I_R = 7$  баллов по шкале MSK-64 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.

В зависимости от: положения зоны относительно площадки, её сейсмического режима, величины выделенной в очаге энергии, механизма очага землетрясения, диаграммы направленности излучения сейсмической энергии из опасных для площадки очагов, а также от спектральных особенностей влияния среды на пути распространения сейсмических волн от очага к строительной площадке - изменяются величины пиковых ускорений, длительность колебаний, форма огибающей и спектральный состав расчетных акселерограмм.

Расчетные акселерограммы являются функциями времени, моделирующими компоненты вектора ускорений в сейсмических движениях поверхности грунта на строительной площадке при землетрясениях, которые могут реализоваться на нем с заданной вероятностью. В рассматриваемом случае, это 90%-ная вероятность не превышения в ближайшие 50 лет.

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 полу-эмпирический 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 помощью 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.

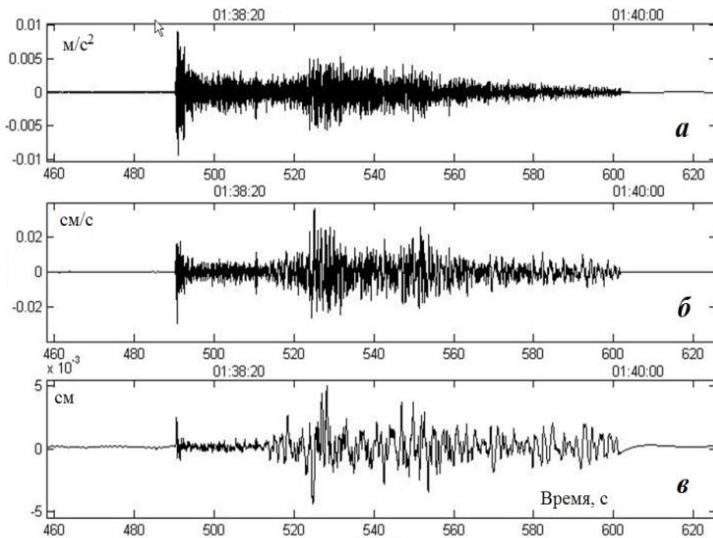


Рис. 2. Вертикальная составляющая колебаний, рассчитанных по записи землетрясения 06.10.2013 г. из зоны Вранча, зарегистрированной сейсмической станцией «Одесса-город»: *a* – ускорение, *b* – скорость, *c* – смещение

Учет фильтрующих (резонансных) свойств грунтов на площадке проводился с помощью обобщенных теоретических частотных характеристик (ОТЧХ) среды –  $Hk(i\omega)$ . Индекс  $k$  соответствует различным составляющим записей и принимает значения:  $Z$  – для вертикальной,  $R$  – для радиальной горизонтальной и  $T$  – для тангенциальной горизонтальной компонент колебаний. Амплитудные ОТЧХ рассчитывались по данным модели строения верхней части разреза среды под конкретной строительной площадкой. На рис. 3 приведена амплитудная частотная характеристика модели грунтовой толщи под строительной площадкой в г. Одесса по ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30 для случая падения поперечной волны из полупространства.

На рис. 4, для примера приведен график одной реализации (из сгенерированного ансамбля) трехкомпонентной расчетной акселерограммы, моделирующей 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.

Основные динамические параметры расчетных акселерограмм представлены в табл. 1.



Рис. 3. Амплитудная частотная модели грунтовой толщи под строительной площадкой в г. Одесса по ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30

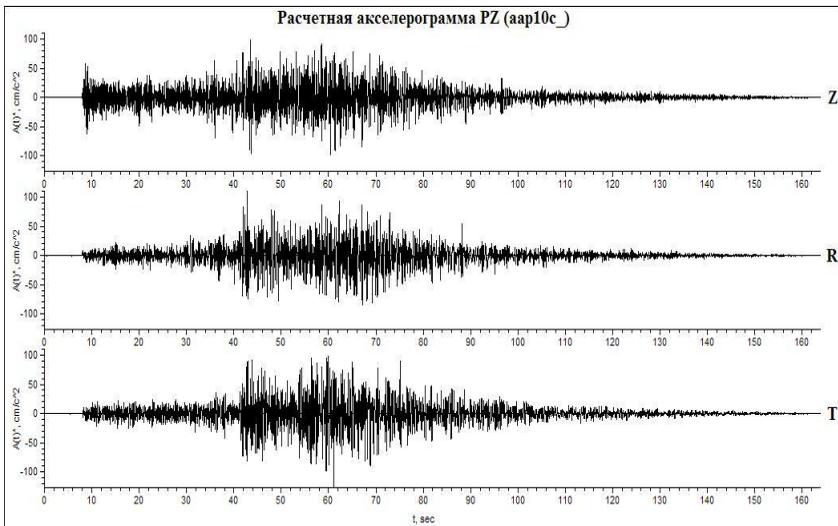


Рис. 4. График трехкомпонентной расчетной акселерограммы, моделирующей с 50%-ой обеспеченностью 7-балльное расчетное землетрясение из зоны Вранча на свободной поверхности грунта строительной площадки в г. Одесса по ул. Большая Арнаутская, 26, 28, 30.

Таблица 1

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

№ п.п.	Компонента	$a_T$ , $\text{см/с}^2$	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 $\Delta t$ 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

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

#### **Объемно-планировочное решение двухсекционного жилого дома**

Проектируемый жилой комплекс состоит из двух 17-этажных секций (рис. 5), разделенных деформационным швом. Указанный шов имеет не прямое очертание и располагается между рядами Д – И. Ширина шва в уровне ростверка 50 мм, в уровне кровли переменная – 200 мм между осями 3 – 8, 300 мм по оси 8 и 150 мм между осями 8 – 10 (лист 10 комплекта чертежей 1-003-01.1; -01.2 АР).

На нижних этажах здания расположены: на отм. -4,2 м – паркинг; на отм. 0,000 м - торговый центр, торговые и офисные помещения, на отм. +4,650 м, +8,850 м, 13,050 м - спортивные и тренажерные помещения.

На этажах 5-16 расположены квартиры для проживания. В квартирах предусмотрены жилые комнаты и подсобные помещения: прихожие, кухни, санузлы, кладовые, гардеробные, летние помещения и др. На 17-м этаже расположены творческие мастерские, и технические помещения.

В здании предусмотрено три лифта – грузовой и два пассажирских. Все лифты расположены в секции 01.

Высота подземного этажа – 4,2 м, высота первого этажа – 4,65м, высота этажей 2÷4 – 4,2 м, высота этажей 5÷17 – 3,3м.

Следует отметить, что высоты 1÷4 этажей не соответствуют требованию примечания 2 к табл. 3.1 [1], в соответствии с которым высота этажа жилых и общественных зданий должна быть «...принята не более 4 м...».

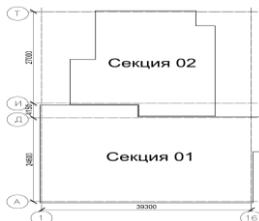


Рис. 5. Схема блокировки секций жилого дома

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 5 м». В частности:

- между рядами А – Б имеется перепад высот с отм. +30,370 м до отм. +36,970 м;
- между рядами Б – В имеется перепад высот с отм. +36,970 м до отм. +50,170 м;
- между рядами В – Г имеется перепад высот с отм. +50,170 м до отм. +60,070 м.

### 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 -4.200м до +17.250 - 400мм;
- от отметки +17.250 до +30.450м – 300мм;
- выше отметки +30.450м – 200мм;
- стены шахт лифтов – 200мм по всей высоте здания;
- *колоннами* прямоугольной формы сечением:
- от отметки -4.200м до отм. +20.550м - 600х600 мм;

- от отметки +20.550м 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, опирающаяся на кусты свай сечением 350х350мм, бетон кл. С20/25, рабочая арматура А400С ДСТУ3760-2006, поперечная А240С ДСТУ3760-2006.

Наружные стены из газобетонных блоков D-400 толщиной 400мм ( $\gamma=400\text{кг/м}^3$ ) с утеплением.

Внутренние перегородки толщиной 100мм, 200мм из газобетонных блоков D-400 В1.5 ( $\gamma=400\text{кг/м}^3$ ). Внутренние перегородки толщиной 120мм из пустотелого керамического кирпича М100 на цементно-песчаном растворе М100 армированные сетками Ø4Вр-I с ячейкой 60х60мм через каждые 5 рядов кладки.

Кровля совмещенная, эксплуатируемая, выполнена по монолитному железобетонному покрытию толщиной 220 мм.

## Результаты нелинейного статического расчета

Значения весов масс и инерционных нагрузок в уровнях перекрытий расчетной модели здания (рис. 6) определены с использованием спектрального метода расчета [1] при сейсмическом воздействии интенсивностью 7 баллов, приложенном под углом 45° к оси X. Кроме того, в соответствии с п. 2.3.12 [1] учтены расчетные сейсмические моменты от крутильных форм колебаний, значения которых определялись в соответствии со следующей зависимостью:

$$M_k^{sp} = P_k (e_k + e),$$

где  $P_k$  - значения горизонтальных инерционных сил на уровне  $k$ -го этажа;  $e_k$  - фактический эксцентриситет между центром масс и центром жесткостей  $k$ -го этажа, но не менее  $0,1B$ , где  $B$  - размер здания в направлении, перпендикулярном к действию силы  $S_{ki}$ ;

$e$  - дополнительный расчетный эксцентриситет от вращательного движения грунта. Значение  $e$  принято равным  $0,05B$  при грунтах II категории по сейсмическим свойствам. Для рассматриваемой секции 01 значение  $B$

принято равным 42 м и 23 м (размеры секции вдоль оси X и оси Y, соответственно).

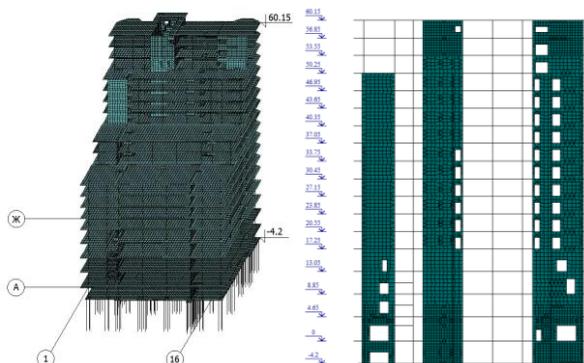


Рис. 6. Общий вид трехмерной компьютерной модели секции 01 жилого комплекса

Нелинейный статический расчет пространственной модели секции 01 (рис. 6) 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 выполнена корректировка расчетной схемы здания, заключающаяся в смене типа конечных элементов (КЭ), соответствующем изменении параметров жесткости элементов, а также моделировании нелинейных загрузений. 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 основного и армирующего материалов – 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 вер-

тикальные 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.

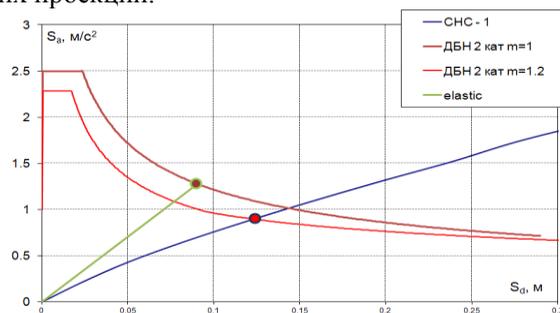


Рис. 7. Спектр несущей способности, соответствующий первой форме колебаний, нормативный спектр реакции ( $\mu=1$ ) согласно [1] и нелинейный спектр реакции ( $\mu=1.2$ ), соответствующие сейсмическому воздействию интенсивностью 7 баллов и 2-й категории грунта по сейсмическим свойствам

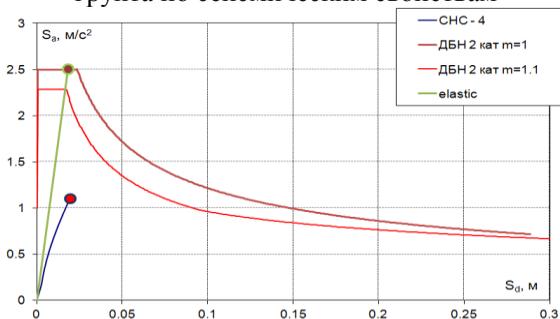


Рис. 8. Спектр несущей способности, соответствующий четвертой форме колебаний, нормативный спектр реакции ( $\mu=1$ ) согласно [1] и нелинейный спектр реакции ( $\mu=1.1$ ), соответствующие сейсмическому воздействию интенсивностью 7 баллов и 2-й категории грунта по сейсмическим свойствам

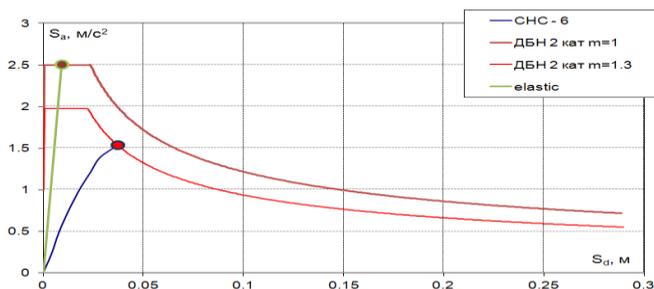


Рис. 9. Спектр несущей способности здания, соответствующий шестой форме колебаний, нормативный спектр реакции ( $\mu=1$ ) согласно [1] и нелинейный спектр реакции ( $\mu=1.3$ ), соответствующие сейсмическому воздействию интенсивностью 7 баллов и 2-й категории грунта по сейсмическим свойствам

На рис. 7 - 9 представлены графики спектров несущей способности расчетной модели здания, построенные в координатах «спектральное ускорение  $S_a$  - спектральное перемещение  $S_d$ » по результатам нелинейного статического расчета.

Значения коэффициентов податливости  $\mu$  определялись согласно [1] по результатам билинейной аппроксимации спектров несущей способности, полученных по первой, 4-й и 6-й формам колебаний (рис.10).

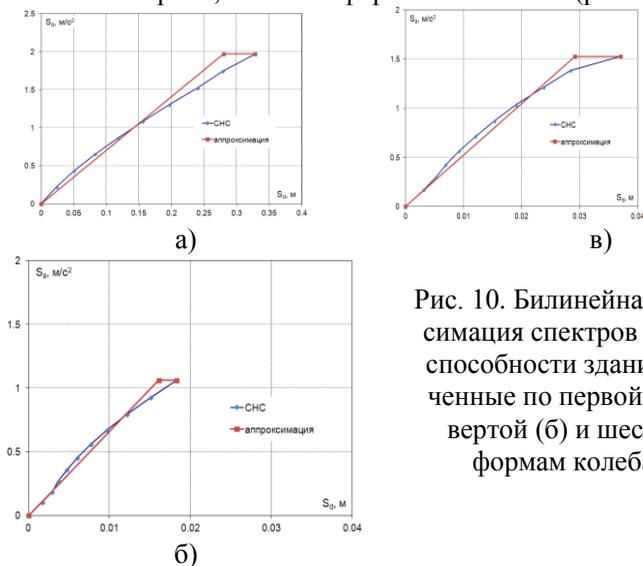


Рис. 10. Билинейная аппроксимация спектров несущей способности здания, полученные по первой (а), четвертой (б) и шестой (в) формам колебаний

Таким образом, при воздействии, заданном в виде нелинейного спектра реакции с соответствующими значениями коэффициента податли-

ности  $\mu$ , 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:

Sat Oct 04 11:35:39 2014		Б_АРНАУТСКАЯ	
Элем.	СВЕДЕНИЯ О СОСТОЯНИИ МАТЕРИАЛА		
	Загружение 1, Локальное нагружение 12, шаг 4, KF=0.400.0		
-----			
18.	15% ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА РАЗРУШЕНО ПРИ РАСТЯЖЕНИИ		□
	18212 25137 31979		
-----			

Указанные КЭ моделируют диафрагмы жесткости секции 01 на отм. 0.00 (КЭ 18212), 4.65 (КЭ 25137) и 13.05 (КЭ 31979).

### Результаты численных исследований динамической модели здания при воздействиях, заданных акселерограммами

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

- набора акселерограмм *aap10c\_loc*, *aap11c\_loc* и *aap12c\_loc*, моделирующих колебания грунта из локальной зоны площадки строительства;
- набора акселерограмм *aap10c\_vrn*, *aap11c\_vrn*, *aap12c\_vrn*, моделирующих колебания грунта площадки строительства при землетрясении из зоны Вранча.

На рис. 11 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.

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  $\eta_{ki}$ , 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.

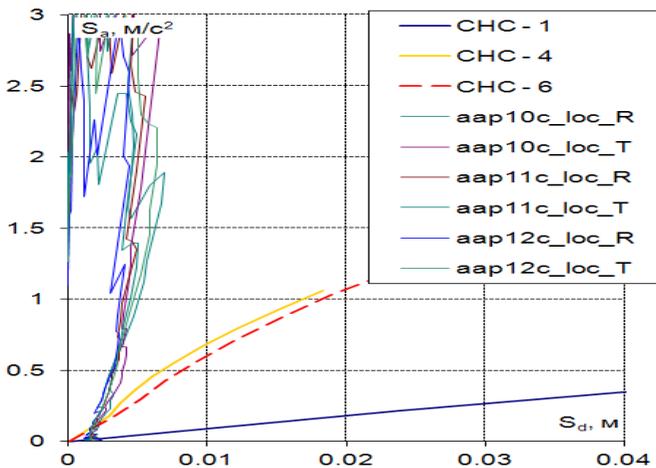


Рис. 11. Спектры несущей способности здания и спектры реакции эквивалентной одномассовой системы на сейсмическое воздействие, заданное акселерограммами при землетрясении в локальной зоне

## ВЫВОДЫ

1. Наличие на территории платформенной части территории Украины существенной сейсмической опасности от местных землетрясений и сильных подкоровых землетрясений зоны Вранча подтверждают необходимость сейсмического микрорайонирования строительных площадок высотных зданий и ответственных сооружений на этой территории.

2. Для повышения надежности прогнозирования 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 сейсомикрорайонированию 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. Балков-

- ская, 139 – угол ул. Средней Фонтанской методом регистрации микро-сейсм; 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. 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. - 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.
  11. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування: ДБН В.2.6-98:2009.- [Чинні від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 70 с. – (Будівельні норми України).
  12. Пособие к ДБН бетонные и железобетонные конструкции из тяжёлого бетона: ДСТУ Б В.2.6-1562010. - К.: - Мінрегіон України. - 2011.
  13. Новодарьевское землетрясение 11 мая 2004 г. с  $M_w=3,8$ ,  $I_0=5-6$  (Украина) / [Габсагарова И.П., Кендзера А.В., Свидлова В.А. и др.] // Землетрясения Северной Евразии 2004 г. - Обнинск: ГС РАН. - 2010. – С. 289-296.
  14. Практичні питання динаміки будівель / [Немчинов Ю.І., Хавкін О.К., Мар'єнков М.Г. та ін.] // Будівництво України. - №6. - 2013. – С.6-21.

15. Національний атлас України / ред. Руденко Л.Г. и др. – К.: ДНВП "Картографія". - 2007. – 640 с.
16. Уломов В.И. О сейсмических воздействиях на высотные здания и сооружения г. Москвы / Уломов В.И. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.- №2.- 2008. - С.24-65.
17. Пустовитенко Б.Г. Новые карты сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели сейсмической опасности / Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. // Геофиз. журн. – 2006. – 28, № 3. – С. 54 – 77.
18. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию / Отв. ред. О.В. Павлов - М: Наука, 1988. - 223 с.
19. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ: РСН 60-86.– М: Госстрой РСФСР, 1986. – 17 с.
20. Ohsaki Y. On the significance of phase content in earthquake ground motions/ Ohsaki Y. // International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics. - V.7. - 1979. – P.427-439.
21. О некоторых аспектах сейсмического районирования слабоактивных территорий / [Кендзера А.В., Стародуб Г.Р., Скляр А.М., Роман А.А.] // Изучение сейсмических колебаний грунтов и сооружений. – М.: Изд-во МГК при Презид. АН СССР. - 1989. – С.76-82. (Сейсмические исследования №11).
22. Кендзера А.В. Моделирование расчетных акселерограмм вранчевских землетрясений для промышленной площадки ЧАЭС / Кендзера А.В. // Проблеми Чорнобильської зони відчуження. – Київ: Наукова думка. – Вип.3. – 1996. – С. 29-38.

## REFERENCES

1. Construction in seismic regions of Ukraine: State building codes B. 1.1–14: 2014 / scientific chief Yu.I. Nemchinov. - [Valid from 2014-10-01]. – К.: Minregion of Ukraine, 2014. - VI, – 110 p. – (Building norms of Ukraine).
2. Design of structures with a given level of seismic resistance / [Ju.Nemchynov, N.G. Maryenkov, A.K. Khavkin, K.N. Babik]. –К.: 2012. - 384 p.
3. Report on "Clarification of the parameters of seismic hazard area of the projected construction of retail and office center at the address: Odessa, st. Balkovskaya 139 - street corner. Central Fontanskoy- method of registration of micro-seismic; generating calculated accelerograms and response spectra definition made the Institute of Geophysics. S.I. Subbotin NAS Ukraine and DP "Seysmobud"», Odessa, 2008. – 79 p.
4. Tamrazan A. Influence of external pressure of constructions on extent of transfer of seismic influences / A.Tamrazan, R.Atabekjan // Researches and experience. Housing construction. - № 6/2003.

5. Yegupov K. Instrumental records for an assessment of seismic danger of the Odessa region / K.Yegupov, A. Bondarenko, V.Yegupov // Bulletin of OSACA. – Odessa 2013. - Vol.49.- P. 143-149.
6. Implementation of requirements of DBN B.1.1-12:2006 concerning parameters of seismic influences for aseismic design in Odessa / [A.Kendzera, S. Verbytskyy, Ju. Verbytskyy et al.] // Construction designs: col. scient. works – K.: NDIBK, 2008. - Vol.69. - P. 45-55.
7. A.Kendzera Monitoring seismicity Southwest regions of Ukraine and adjacent territories / A.Kendzera, V. Yegupov, K. Yegupov / News Odesa national university. – Odessa 2013.- vol. 18. (17).- P. 70-83.
8. Report on the theme "Defining the seismic hazard of the construction site of residential complex with built-attached sports and wellness facilities, and underground parking at Odessa, st. Most Arnautskaya, 26, 28, 30 - according to the seismic zoning and gene-settlement-integration accelerograms», ООО «Научно-практический центр динамических исследований», Institute of Geophysics. S.I. Subbotin NAS Ukraine, Kiev-Odessa, 2014.
9. The software Lira-CAD 2013. Textbook ed. academician of AES of Ukraine Alexander Gorodetsky. – Kiev – M.: 2013. – 376 p.
10. Report on the theme "Defining the seismic hazard of the construction site of a residential complex at the address: Odessa region., Ovidiopol rn, s. Mizikevicha,, the array number 1, section №31 - According to seismic zoning and generating calculated accelerograms», Institute of Geophysics. S.I. Subbotin NAS Ukraine, Kiev-Odessa, 2014.
11. DBN B.2.6-98:2009. Concrete and reinforce-concrete constructions. Substantive provisions of planning. - Kiev: The Ministry of regional development, construction and housing of Ukraine. - 2009 p. – 97с.
12. DSTU B.2.6-1562010. The benefit to the DBN concrete and reinforced concrete structures of heavy concrete. -K.- The Ministry of regional development, construction and housing of Ukraine. - 2011.
13. Novodarevskoe earthquake May 11, 2004 г. с Mw=3.8, Io=5-6 (Ukraine) / [Gabsatarova I., Kendzera A. Svidlova V. et al.] // Earthquakes of Northern Eurasia 2004 г. - Obninsk: - 2010. – P. 289-296.
14. Practical aspects of the dynamics of buildings / [Nemchinov Y., Havkin D. Marenkov M. et al] // Scientific and production magazine Building Ukraine. - №6. - 2013. – P. 6-21.
15. National Atlas of Ukraine. – K.: DNVP "Kartografiya". - 2007. – 640 p.
16. Ulamov V. On the seismic effects on tall buildings and facilities Moscow / Ulamov V. // Building materials, equipment, technologies of XXI century. - №2. - 2008. - P. 24-65.
17. Pustovitenko B. New data on seismic danger of the city of Odessa and Odessa region / B. Pustovitenko, V. Kulchitsky, A. Pustovitenko // Construction designs:col. Scient works. K.: NDIBK, 2004 - Vol. 61. – P. 388-397
18. Assessing the impact of soil conditions on seismic hazard. Toolkit for seismic zoning. – M., 1988. - 223 p.

19. Engineering survey for construction. Seismic micro zoning. Standards of works: RCN 60-86. – M., 1986. – 17 p.
20. Ohsaki Y. On the significance of phase content in earthquake ground motions/ Ohsaki Y. // International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics. - V.7. - 1979. – P.427-439.
21. Some aspects of the seismic zoning of low activity areas / [Kendzera A., Starodub G., Sklar A., Roman A.] // The study of seismic ground motion and structures. – M., 1989. – P. 76-82. (Seismic studies №11).
22. Kendzera A. Simulation calculation of earthquake accelerograms vranchevskih for Chernobyl industrial site / Kendzera A. // Problems of Chernobyl exclusion zone. – Kiev: – Vol.3. – 1996. – P. 29-38.

Статья поступила в редакцию 10.08.2015 г.