

## **ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ ВИБРО- И СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ БЛОКОВ**

Немчинов Ю. И., Марьенков Н. Г., Жарко Л. А.  
ГП «Государственный научно-исследовательский институт  
строительных конструкций»  
г. Киев, Украина

Булат А. Ф., Дырда В. И., Лисица Н. И.  
Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины  
г. Днепропетровск, Украина

**АНОТАЦІЯ:** В статті розглянуто результати багаторічних експериментально-теоретичних досліджень в Україні щодо проблеми сейсмоізоляції багатоповерхових будівель, а також віброзахисту будівель від потягів метрополітена та автотранспорту.

**АННОТАЦИЯ:** В статье рассмотрены результаты многолетних экспериментально-теоретических исследований в Украине по проблеме сейсмоизоляции многоэтажных зданий, а также по виброзащите зданий от поездов метрополитена и автотранспорта.

**ABSTRACT:** The results of experimental-theoretic investigations in Ukraine on the problem of seismic isolation high-rise buildings, as well as vibration protection of buildings from underground trains and vehicles are presented.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** здание, резинометаллические сейсмоизолирующие блоки, испытания изоляторов, расчет на акселерограммы.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В последние 20-25 лет (после разрушительных землетрясений в Армении, 1988 г. и особенно в Японии, 1995 г.) сейсмоизоляция используется при строительстве многоэтажных зданий и мостов во многих странах. В г. Осака, Япония, построено сейсмоизолированное здание высотой 50 этажей [6, 11, 12].

Сейсмоизоляция – это перспективное направление, которое развивается в последние годы в разных странах. В России, например, на 2010 г. построено уже более 300 сейсмоизолированных зданий и более 70 сейсмоизолированных мостов [7, 8]. В последние годы все большее число сейсмоизолированных зданий, мостов и других сооружений возводятся в различных странах на разных континентах. Наибольшее применение сейсмоизоляция получила в Японии, Китае, США, РФ, Канаде, Армении, Новой Зеландии и Италии. Широкое распространение при реконструкции и возведении новых зданий получили системы сейсмоизоляции на основе резинометаллических сейсмоизолирующих блоков (РСБ).

## **НЕРЕШЕННЫЕ ЗАДАЧИ**

В Украине данное направление развивается пока медленными темпами, что связано как с отсутствием необходимого финансирования, так и с необходимостью экспериментальной проверки систем сейсмоизоляции на натуральных фрагментах зданий.

Согласно ДБН В.1.1-12:2014 [1] и Еврокода 8 [5] при проектировании зданий, оснащённых сейсмоизоляцией, необходимо, помимо спектрального метода расчёта, выполнять прямой динамический расчёт с использованием инструментально зарегистрированных записей ускорений грунта при землетрясениях на площадке строительства или же сгенерированных акселерограмм на основе результатов работ по сейсмомикрорайонированию.

Основное различие между деформированием конструкций неизолированного здания и сейсмоизолированного здания с применением РСБ заключается в существенном различии относительных горизонтальных перемещений междуэтажных перекрытий при землетрясении. Вследствие более высокой горизонтальной жёсткости этажей верхнего строения здания по сравнению с горизонтальной жёсткостью сейсмоизолирующих блоков, относительные горизонтальные перемещения перекрытий этажей, расположенных выше сейсмоопор системы сейсмоизоляции, существенно ниже по сравнению с перемещениями здания без сейсмоизоляции [6 - 8]. Значительные допустимые (равные высоте сейсмоизолирующего блока) горизонтальные перемещения верха РСБ обеспечиваются физическими свойствами резиновых элементов. В настоящее время наибольшее распространение получили сейсмоизолирующие слоистые резинометаллические блоки, которые обеспечивают эффективное гашение энергии при землетрясении.

Относительные горизонтальные перемещения перекрытий смежных этажей в сейсмоизолированных зданиях могут снижаться в несколько раз, в сравнении с перемещениями в неизолированных зданиях.

На основе выполненного анализа нормативных документов и исследований по проблеме сейсмозащиты зданий с помощью устройства систем сейсмоизоляции можно сделать следующие выводы и предложения:

1. Для сейсмоопасных районов Украины применение сейсмоизоляции во вновь проектируемых зданиях различной этажности в сейсмоопасных районах является перспективным направлением, т. к. позволяет повысить сейсмостойкость конструкций и получить экономический эффект от 300 до 700 тысяч грн. на одно здание высотой от 9 до 16 этажей (данные расчётов лаборатории экономических исследований НИИСК на 2006 г.).

2. С целью снижения стоимости строительства зданий (в условиях экономического кризиса в Украине) проектным и исследовательским организациям необходимо внедрять в больших объемах системы сейсмоизоляции и виброзащиты от наземного и подземного транспорта при строительстве многоэтажных зданий.

3. Для более широкого строительства зданий с системами сейсмоизоляции необходимо использовать данные проведенных экспериментальных исследований РСБ запатентованной конструкции [10] (рис. 1). Стоимость выпускаемых в Украине РСБ в 5-7 раз меньше зарубежных аналогов (Китай, Италия, Япония и т. д.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2010 г. Ялтинским филиалом института «КрымНИИпроект» с участием ГП НИИСК был разработан проект 10-этажного крупнопанельного жилого дома с устройством сейсмоизоляции в уровне цокольного этажа. Конструктивное решение зданий с размерами в плане 16,0×18,2 м основано на серии 1-464 АС/ЮБК – сборные железобетонные стеновые панели и монолитные плиты перекрытий для применения при расчётной сейсмичности 8 баллов.

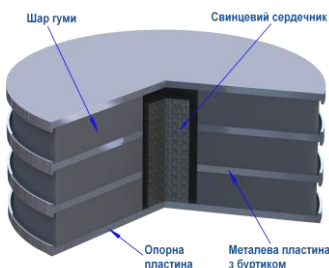


Рис. 1. Общий вид резинометаллической высокодемпфирующей сейсмоизолирующей опоры со свинцовым сердечником

Устройство сейсмоизоляции позволяет снизить деформирование этажей здания при землетрясениях не только в горизонтальном и вертикальном направлениях, но и при крутильных колебаниях.

Для обоснования эффективности сейсмоизоляции здания при интенсивности сейсмических воздействий 9 баллов (г. Ялта) были выполнены численные исследования пространственных моделей зданий по двум вариантам: с применением сейсмоизоляции и при её отсутствии. Расчётные данные подтвердили снижение горизонтальных сейсмических нагрузок до двух раз для варианта расчётной модели с сейсмоизоляцией на основе РСБ в уровне цокольного этажа. При этом расчётное значение периода собственных колебаний здания на РСБ по первой форме равен 1,4 с (при отсутствии сейсмоизоляции расчётное значение периода равно 0,5 с). Максимальные перекосы этажей получены для модели здания без изоляторов при воздействии сейсмических нагрузок по направлению поперечной оси здания, вычисленных по спектральному методу, и равны 1/708, что в 1,8 раза больше расчётных перекосов здания с сейсмоизоляцией (1/1234).

Для практического применения систем сейсмоизоляции зданий Институтом геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины и ГП НИИСК были выполнены экспериментальные исследования для обоснования параметров РСБ, запатентованы их конструкции, разработана конструкторская документация и изготовлены экспериментальные образцы трёх типов резинометаллических сейсмозащитных блоков диаметром 400 мм и 500 мм и общей высотой резинового слоя: 2×120 мм, 2×70 мм и 2×50 мм (рис. 2).

Для экспериментального определения фактических жесткостных и демпфирующих характеристик РСБ были проведены в ГП НИИСК лабораторные испытания трёх типов разработанных конструкций при статических и динамических нагрузках в соответствии с требованиями Еврокода 8 [10], европейского и международного стандартов.

Испытания РСБ проводились в два этапа: сначала динамические – определение частот колебаний и демпфирующих характеристик опор, а затем статические – определение жесткостных характеристик опор на сжатие и сдвиг.

При динамических испытаниях на четырёх одинаковых РСБ устанавливался железобетонный блок массой 5100 кг (рис. 3). Колебания блока в горизонтальной и вертикальной плоскостях задавались специальным устройством и регистрировались восьмиканальной системой сейсмониторинга и двухканальным спектроанализатором марки 2148 фирмы «Брюль и Кьер» (Дания).

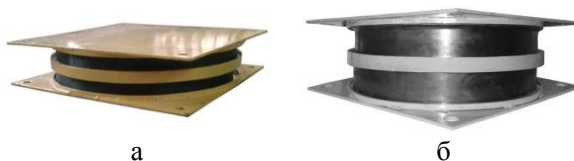


Рис. 2. Общий вид конструкций РСБ на натуральном каучуке, выпускаемых в Украине:  
сейсмозащитный блок 1-го типа (высота резиновых элементов 2×50 мм, диаметр 500 мм)-а; сейсмозащитный блок 2-го типа (высота резиновых элементов 2×70 мм, диаметр 400 мм)-б

На основе инструментальных записей сигналов виброускорений при собственных колебаниях динамической системы «бетонный блок-РСБ» определены динамические вертикальная и горизонтальная (сдвиговая) жёсткости и параметры затухания испытанных РСБ.



Рис. 3. Определение динамических характеристик резинометаллических сейсмоизолирующих опор

При статических испытаниях опор на сжатие нагружение осуществлялось гидравлическими домкратами ступенями по 50-300 кН на специальном стенде (рис. 4) и на прессе ступенями до максимальной нагрузки 9000 кН, в зависимости от типа опоры с выдержкой 5 мин на каждой ступени, после чего снимались показания вертикальных перемещений.

Испытания опор на сдвиг (рис. 5) проводились на специальном стенде, оборудованном гидравлическими домкратами для создания вертикальных и сдвиговых нагрузок. Измерения сдвиговых перемещений верха

сейсмоопоры выполнялись при вертикальных нагрузках 300; 500; 600; 1000 кН. Для возможности горизонтальных перемещений сейсмоопоры на сдвиг при фиксированных вертикальных нагрузках между верхней пластиной опоры и нагрузочной плитой были установлены две фторопластовые пластины. При обработке данных учитывались изменения коэффициента трения между пластинами в зависимости от вертикального давления на опору.

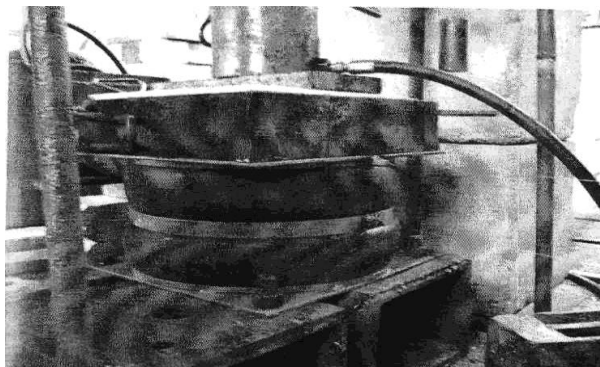


Рис. 4. Испытания РСБ на сжатие на специальном стенде

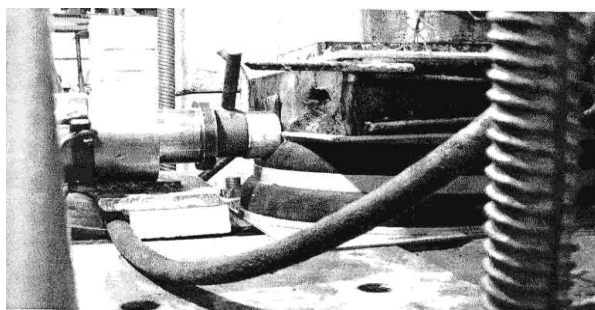


Рис. 5. Испытания РСБ на сдвиг на специальном стенде

С целью определения влияния свинцового сердечника на жесткостные и демпфирующие характеристики РСБ (испытывались резиновые элементы диаметром 500 мм) были проведены циклические испытания на сжатие и на сдвиг двух опор без свинцовых сердечников и двух – со свинцовыми сердечниками. Сердечники были изготовлены в виде

сплошных цилиндров высотой 100 мм и диаметром 70 мм (14% от диаметра резинового элемента опоры).

На рис. 6 приведены опытные зависимости «горизонтальная нагрузка – перемещение» для РСБ (резиновые элементы диаметром 500 мм) со свинцовым сердечником (кривая 1) и без сердечника (кривая 2) при вертикальной нагрузке на опору 1000 кН. Анализ графиков показывает, что наличие свинцового сердечника существенно влияет на жесткостные и диссипативные характеристики РСБ при сдвиге.

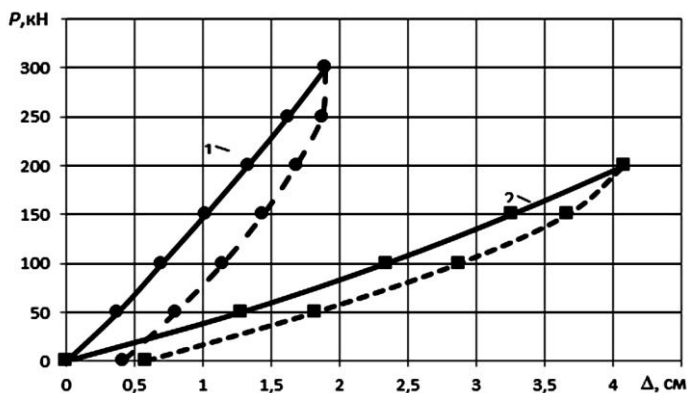


Рис. 6. Зависимости «нагрузка – перемещение» для РСБ диаметром 500 мм

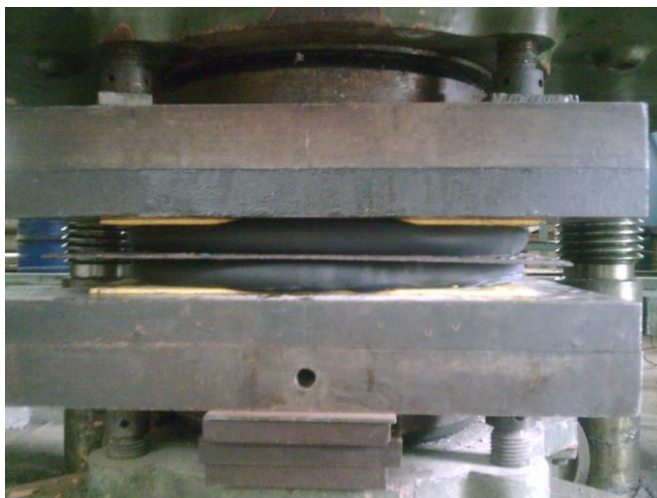


Рис. 7. Общий вид РСБ диаметром 500 мм под нагрузкой 3000 кН (испытания на прессе)

Испытания опор на сжатие (рис. 7) выполнены для трёх типов опор – диаметр 400 мм, высота: 2×70 мм и 2×120 мм; диаметр 500 мм, высота 2×50 мм.

На рис. 7 приведен общий вид опоры при сжимающей нагрузке 3000 кН (троекратное превышение номинальной нагрузки).

Для оценки влияния буртиков металлических пластин на жесткостные и демпфирующие характеристики РСБ были выполнены испытания двух образцов опор: при наличии средней металлической пластины с буртиками и при средней пластине без буртиков (гладкая пластина). На рис. 8 приведены зависимости «вертикальная нагрузка – перемещение» при средней пластине с буртиками (кривая 1) и гладкой и рифленной средней пластине (кривая 2 и 3). Анализ кривых показывает, что наличие буртиков на средней пластине приводит к увеличению вертикальной жёсткости РСБ на 10...12 %.

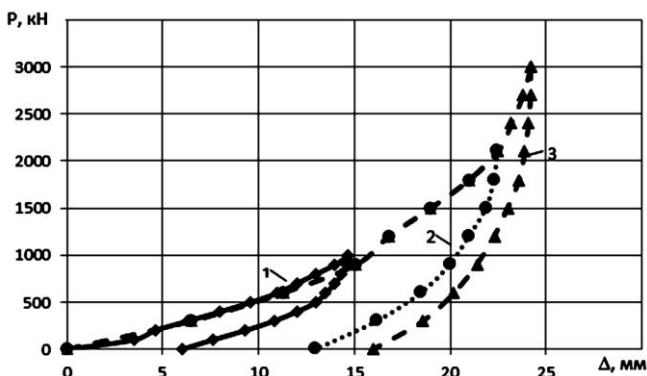


Рис. 8. Зависимости «вертикальная нагрузка – перемещение» при различном исполнении средней пластины РСБ

Кроме того, в соответствии с требованиями стандарта ISO и европейского стандарта для определения состояния конструкции РСБ при вертикальных максимальных нагрузках, превышающих проектные в 4 раза, один образец РСБ (вариант со средней рифлёной пластиной без кольца и без сердечника) был испытан циклическими вертикальными нагрузками на прессе по такой специальной программе: 3 полуцикла «нагрузка-разгрузка» ступенями по 300 кН (выдержка на каждой ступени 5 минут) до 3000 кН; 2 полуцикла «нагрузка-разгрузка» ступенями по 500 кН (выдержка на



каждой ступени 2 минуты) до 5000 кН; 1 полуцикл «нагрузка-разгрузка» ступенями по 1000 кН (выдержка на каждой ступени 5 минут) до 9000 кН.

При сжимающих многоцикловых нагрузках от 3000 кН до 9000 кН после полной разгрузки РСБ в течение 10 минут резиновые элементы полностью принимали первоначальную форму. При этом трещины ни в одном из 12-ти испытанных резиновых элементов, изготовленных на натуральном каучуке, не обнаружены.

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И МОНТАЖ РСБ**

Сейсмоизолирующие блоки изготавливаются на основе стандартных резиновых элементов заданных размеров (в Украине были испытаны РСБ с диаметрами резиновых элементов от 400 мм до 500 мм, которые использовались при устройстве сейсмоизоляции многоэтажных зданий).

По результатам расчёта сейсмоизолированного здания на сейсмические нагрузки определяются геометрические параметры резиновых элементов, жёсткость на сжатие и на сдвиг РСБ. Сейсмоизолирующие блоки устанавливаются между нижней фундаментной плитой (например, на её рёбрах жёсткости) и верхней монолитной железобетонной распределительной плитой здания. Возможны варианты установки РСБ в уровне цокольного этажа, а также на оголовках свай. Нижняя опорная пластина с помощью анкеров крепится к рёбрам жёсткости фундаментной плиты или к оголовку сваи, а верхняя опорная пластина – к верхней распределительной железобетонной плите здания или к монолитным стенам цокольного этажа здания.

## **ПРИМЕР РАСЧЕТА 16-ЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ С СИСТЕМОЙ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ**

В соответствии с требованиями Еврокода 8 [5] и ДБН В.1.1-12:2014 [1] расчеты зданий с системой сейсмоизоляции следует выполнять на воздействия акселерограмм с учетом нелинейного деформирования материалов конструкций. Для решения этой задачи использована методика на основе метода спектра несущей способности (СНС). В соответствии с этой методикой были выполнены расчеты пространственной нелинейной модели сейсмоизолированной секции №2 (вариант с дополнительным цокольным этажом высотой 1,6 м, в котором размещены резинометаллические сейсмоопоры).

## КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ БЛОК-СЕКЦИИ № 2

Конструктивная схема блок-секции №2 здания представляет собой железобетонные рамы с диафрагмами жесткости по осям 1 и 6 (начиная с отметки +3.30 м и до верхнего этажа), а также монолитные стены вдоль остальных продольных и поперечных стен. В проектируемой секции № 2 имеется подвальный этаж и 16 надземных этажей. Планы подвала и типового этажа приведены на рис. 9 и 10. Отметка пола первого этажа секции ( $\pm 0.00$ ) соответствует абсолютной отметке 28.5 м. Высота подвала равна 3.5 м, высота ростерка – 1.5 м. Сваи буронабивные диаметром 1.2 м и длиной 25.9 м. Бетон ростерка и свай класса C20/25, арматура класса А400С.

Блок-секция запроектирована с размерами в плане ростерка 18х27 м и высотой от низа фундаментного ростерка до верха покрытия 61.1 м. Несущие железобетонные стены приняты толщиной 400 мм, стены лифтового блока толщиной 200 мм. Колонны имеют поперечное сечение 40х40 см, ригели двух типов: сечением 40х50 см и 30х40 см. Для обеспечения пространственной жесткости здания стены объединяют монолитные железобетонные перекрытия толщиной 160 мм.

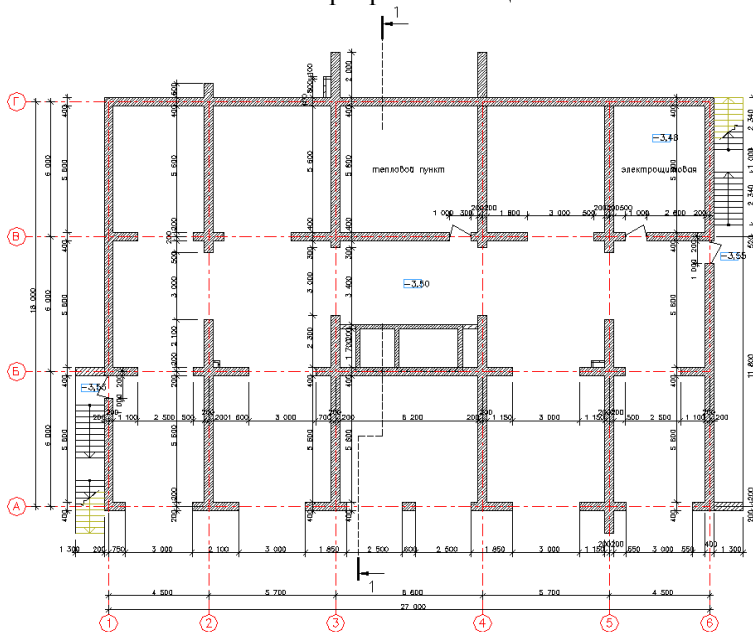


Рис. 9. План подвала секции

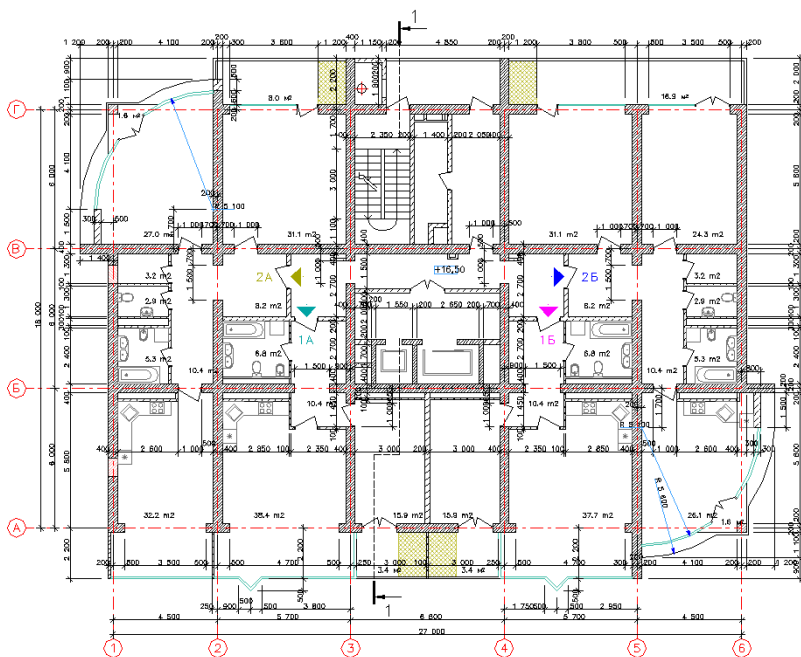


Рис. 10. План типового этажа секции

## ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Нормативная интенсивность сейсмических воздействий для площадки строительства в п.г.т. Гурзуф принята на основе карты «А» и списка населенных пунктов Украины, приведенного в ДБН В.1.1–12:2014, и составляет 8 баллов.

В соответствии с классификацией грунтов по результатам инженерно-геологических изысканий и таблицей 5.1 [1] грунты площадки строительства отнесены ко второй категории по сейсмическим свойствам.

На участке строительства в 2009 г. выполнялись работы по определению сейсмичности площадки строительства. По результатам этих работ установлено, что сейсмичность площадки строительства многоквартирного жилого дома составляет 8 баллов. Результаты работ по сейсмоинженерному районированию учитывались при расчётах динамической модели жилого дома с системой сейсмоизоляции.

## КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ

В варианте расчетной модели жилого дома с сейсмоизоляцией был добавлен дополнительный цокольный этаж высотой 1,6 м, в пределах которого размещаются сейсмоопоры (рис. 11). Расчеты динамических моделей здания выполнены в соответствии с требованиями Еврокода 8 и ДБН В.1.1 -12:2014.

Расчеты проведены при помощи программного комплекса «Лира-Windows». Расчетные схемы, принятые в виде пространственной системы, отражают конструктивное решение рассматриваемой секции.

Расчетные схемы состоят из стержневых элементов, моделирующих работу колонн, свай и перемычек, а также оболочечных элементов, которые моделируют работу перекрытий, диафрагм и фундаментного ростверка. Сопряжение элементов между собой – жесткое. Сейсмоопоры моделировались упругими связями по осям X, Y и Z. Жесткость сейсмоопор были определены по результатам проведенных испытаний.

Графическое отображение элементов расчетной схемы на характерных отметках здания приведено на рис. 12 и 13.

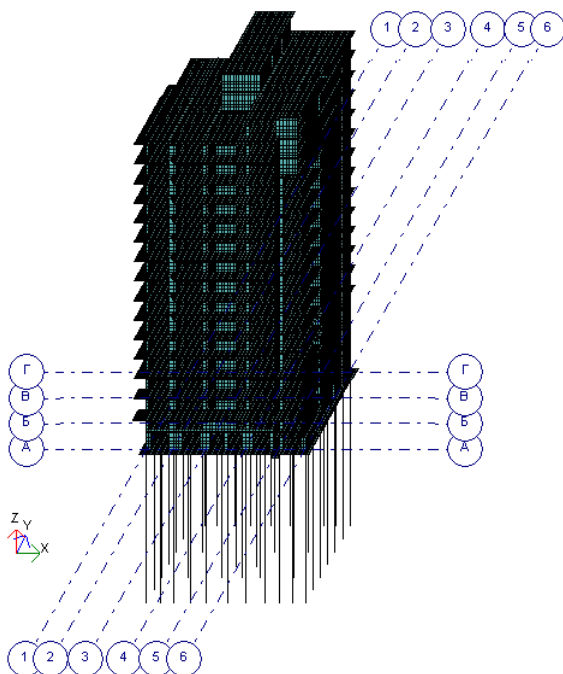


Рис. 11. Компьютерная модель системы  
«основание-свайный фундамент - сейсмоопоры-верхнее строение»

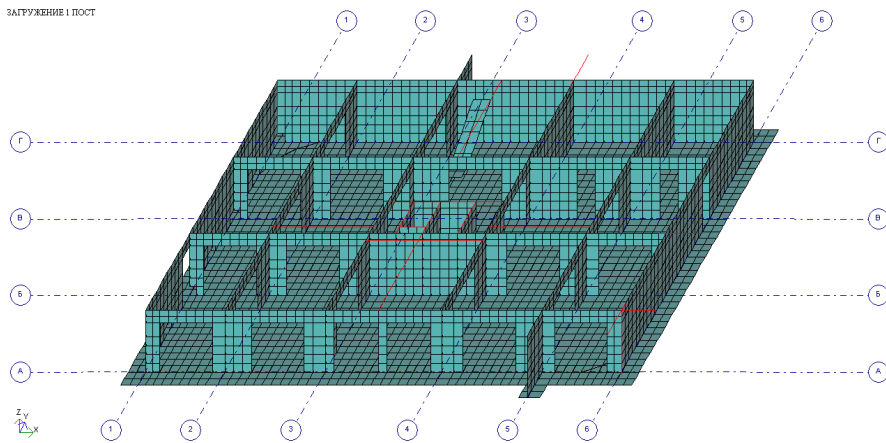


Рис. 12. Компьютерная модель секции №2. Подвальный этаж

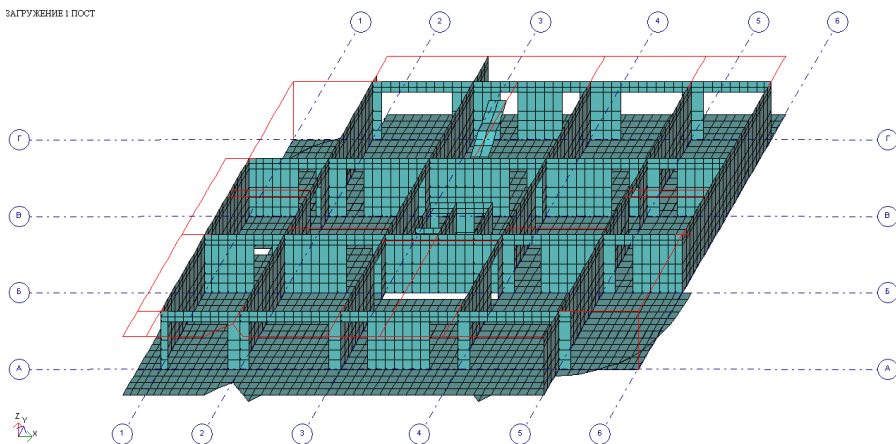


Рис. 13. Компьютерная модель секции №2. Типовой этаж

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ СЕЙСМОИЗОЛИРОВАННОЙ СЕКЦИИ №2 НА АКСЕЛЕРОГРАММЫ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

При нелинейных расчетах сейсмоизолированной секции учитывалась физическая нелинейность бетона и арматуры. Процент армирования несущих стен был принят равным: 1,5 %-вертикальное и 0,6 %-горизонтальное. Расчеты проведены с помощью ПК ЛИРА при ступенчатом увеличении горизонтальных сейсмических нагрузок (по

направлению цифровых осей), принятых по первой форме по результатам расчета сейсмоизолированного здания по спектральному методу. В результате расчетов определены нелинейные диаграммы деформирования всех этажей здания и построен спектр несущей способности - СНС (рис. 14), который аппроксимирован билинейной диаграммой в соответствии с рекомендациями Приложения В Еврокода 8 [10].

На основе полученного графика СНС и неупругих спектров ускорений, определено максимальное нелинейное перемещение верха сейсмоизолированной секции №2 (рис. 15), которое равно 200 мм.

Выполнен также расчет эквивалентной одномассовой системы на воздействие акселерограммы vb6g (интенсивностью 8 баллов) из набора, рекомендуемого ДБН [1]. Диапазон преобладающих периодов данной акселерограммы составляет 0,9-1,5 с, т.е. такие воздействия вызывают максимальные колебания секции №2 на сейсмоопорах, так как период собственных колебаний изолированного здания вдоль цифровых осей (по оси Y в расчетной модели) получен равным 1,6 с. Расчетное значение горизонтального перемещения сейсмоизолированного здания получено равным 170 мм (рис. 16), что отличается от перемещения, полученного по методу СНС (200 мм), на 15%.

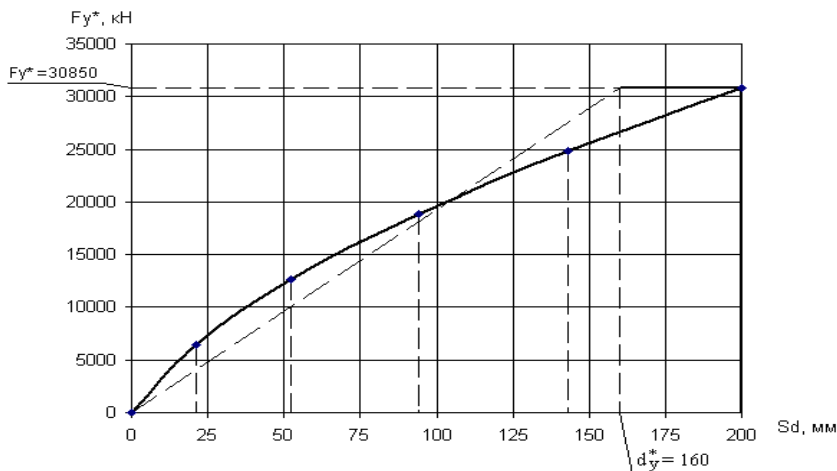


Рис. 14. Спектр несущей способности (сплошная линия) секции при действии горизонтальных сейсмических нагрузок и идеализированная диаграмма (пунктирная линия) для определения предела текучести и соответствующего ему перемещения

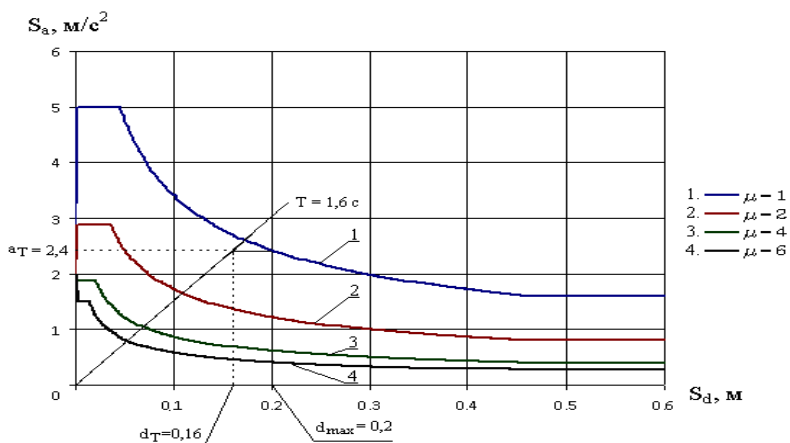


Рис. 15. К определению перемещения верха секции на основе метода ЧНС и графиков неупругих спектров ускорений ( $a_T=2,4 \text{ м/с}^2$  –предел текучести;  $\mu=1$  – коэффициент податливости сейсмоизолированного здания секции № 2)

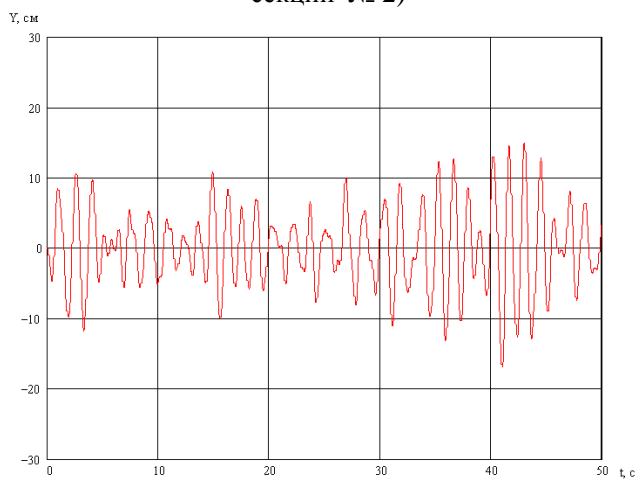


Рис. 16. Изменения во времени горизонтальных колебаний верха секции № 2

По результатам численных исследований секции № 2 жилого 16-этажного дома с системой сейсмоизоляции можно сделать следующие выводы:

1. Процент армирования несущих стен секции № 2 следует принять: 1,5 %-вертикальное и 0,6 %-горизонтальное. Следует отметить, что при отсутствии сейсмоизоляции процент армирования несущих стен на нижних этажах достигает 3,2%.

2. Расчетная ширина антисейсмического шва (в уровне верха) между секциями № 1 и № 2 16-этажного жилого дома, определенная с учетом устройства системы сейсмоизоляции в уровне цокольного этажа, должна быть принята не менее 400 мм (из условия исключения соударений смежных секций при землетрясении интенсивностью 8 баллов).

## ВЫВОДЫ

На основании выполненных динамических и статических испытаний высокодемпфирующих сейсмоопор (РСБ), численных исследований динамических пространственных моделей (с сейсмоизоляцией и при её отсутствии) 10-этажных крупнопанельных зданий и 16-этажного жилого дома с монолитными несущими стенами при интенсивности сейсмических воздействий 9 и 8 баллов можно сделать следующие выводы.

1. Разработанные в Украине системы сейсмоизоляции зданий на основе запатентованных высокодемпфирующих сейсмоизолирующих блоков обеспечивают снижение сейсмической реакции конструкций (нагрузок и амплитуд относительных колебаний этажей зданий, т.е. перекосов), что позволяет проектировать экономичные здания с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости в соответствии с требованиями отечественных и Европейских норм по сейсмостойкому строительству. Расчётный экономический эффект составляет на одно здание высотой от 9 до 16 этажей от 300 до 700 тысяч грн. (данные расчётов лаборатории экономических исследований НИИСК на 2006 г.).

2. Суммарные горизонтальные сейсмические нагрузки в уровне перекрытий крупнопанельных 10-этажных зданий с сейсмоизоляцией меньше до 2-х раз по сравнению с типовым решением (при отсутствии изоляции). Устойчивость здания против опрокидывания с учётом сейсмических нагрузок обеспечена (удерживающий момент больше опрокидывающего в 2,2 раза).

3. Процент армирования несущих стен зданий на нижних этажах с сейсмоизоляцией уменьшается в 1,5..2,0 раза по сравнению с вариантом отсутствия сейсмоизоляции. Эти данные подтверждают эффективность применения сейсмоизоляции для рассмотренных объектов проектирования – жилых домов высотой от 9 до 16 этажей.



4. Для реализации строительства крупнопанельного здания без сейсмоизоляции требуется корректировка армирования стеновых панелей, так как расчётный процент армирования составляет от 0,8% до 3%. По проекту серии 1-464 АС/ЮБК процент вертикального армирования внутренних стеновых панелей равен 0,6%.

5. Анализ результатов экспериментальных исследований показывает:

а) отношение жёсткости на сжатие к жёсткости на сдвиг РСБ увеличивается с уменьшением толщины резинового слоя и увеличением диаметра резиновых элементов;

б) жёсткость РСБ на сдвиг увеличивается с ростом вертикальной нагрузки;

в) обобщённые коэффициенты диссипации РСБ (с учётом конструкционного демпфирования) составляют 0,39-0,74 в зависимости от типа опор и условий нагружения;

г) наличие свинцового сердечника в конструкции существенно влияет на жесткостные и демпфирующие характеристики РСБ.

6. Разработанные и испытанные конструкции РСБ были использованы в 2014-2015 гг. для сейсмозащиты и виброзащиты (от поездов метрополитена и автотранспорта) жилых домов в г. Киеве: 10-секционного 10-этажного жилого дома по ул. Киквидзе и двухсекционного 26-этажного жилого дома по Оболонскому проспекту.

7. Сейсмоизоляция на основе РСБ обеспечивает собственную частоту колебаний здания в горизонтальной плоскости 1 Гц и менее, что соответствует требованиям ДБН и Еврокода 8. Следует отметить, что разработанные конструкции РСБ могут быть также использованы для защиты зданий и сооружений от воздействий наземного (железнодорожного и автомобильного транспорта), подземного (метрополитена), а также для виброизоляции тяжёлых машин различного технологического назначения для обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.1-12: 2014. «Будівництво у сейсмічних районах України» / Мінрегіон України. – Київ: 2014. – 110 с.
2. ПК “Лира”, версия 9.4. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие под ред. академика АИН Украины А. С. Городецкого. – Киев – М.: 2003. – 464 с.
3. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия . – Киев: Минстрой Украины.- 2006. – 60 с.

4. ДБН В.1.2-14:2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. -Київ. Мінрегіон України. – 2009.
5. Comité Européen de Normalisation: “Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings”. EN 1998-1, CEN, Brussels, 2004.
6. 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.
7. Эффективные системы сейсмоизоляции. Исследования, проектирование, строительство / [Я.М. Айзенберг, В.И. Смирнов, С.И. Бычков, Ю.А. Сутырин] // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2002. – № 1. – С. 31-37.
8. Смирнов В.И. Испытания высокодемпфирующих резинометаллических опор для применения в сейсмоизолированном здании «Гостинично-туристического комплекса «Sea Plaza» в г. Сочи / В.И. Смирнов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2009. – № 4. – С. 40-48.
9. ДБН В.1.1-12:2014. Строительство в сейсмических районах Украины.- Киев: Минрегионстрой, 2014. – 107 с.
10. Патент № 58418 на корисну модель. Антисейсмічна опора / [В. І. Дирда, Ю.І. Немчинов, М. І. Лисиця, М. Г. Мар'єнков та ін.] (Україна). - №\_58418; заявл. 30.09.2010; дата публ. 11.04.2011, бюл. № 7.
11. Булат А.Ф. Резинометаллические блоки для вибросейсмозащиты машин и сооружений / А.Ф. Булат, Ю.И. Немчинов, В.И. Дырда [и др.] // Галузеве машинобудування, будівництво: Зб. наук. праць. – Полтава: Полтавський національний технічний університет, 2009. – Вип. 3(25). – Т. 1. – С. 30-35.
12. Вибросейсмозащита тяжелых машин, зданий и сооружений с помощью резинометаллических блоков / [А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Н.И. Лисица и др.] // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Український міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів: Львівська політехніка, 2011. – Вип. 45. – С. 460-464.

## REFERENCES

1. Building in the seismic districts of Ukraine: DBN B.1.1-12:2014 / Minregion Ukraine. Kyiv: 2014. – P. 110.
2. The personal COMPUTER is "Lyre", version 9.4. Programmatic complex for a calculation and planning of constructions. Certificate-theoretical manual under red. of academician АИН Ukraine of A. S. Gorodeckogo. Kyiv - М.: 2003. – P. 464.
3. Loading of of and influences: DBN B.1.2-2: 2006.. Kyiv: Minstoj Ukraine.- 2006. - P. 60.

4. General principles of providing of reliability and structural safety of buildings, structur, building constructions and bases: DBN B.1.2-14-2009. - Kyiv. Minregion of Ukraine. - 2009.
5. Comité Européen de Normalisation: "Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings". EN 1998-1, CEN, Brussels, 2004.
6. Planning of building with the set level of providing of aseismic / [J.I. Nemchinov, N.G. Marjenkov, A.K. Khavkin, K.N. Babik. Under red. Nemchinov J. I.]. - K: 2012. - P. 384.
7. Effective systems of сейсмоизоляции. Researches, planning, building / [J.M. Ajzenberg, V.I. Smirnov, S.I. Bychkov, J.A. Sutyryn] // Aseismic building. Safety of building. - 2002. - № 1. - P. 31-37.
8. Smirnov V.I. Tests of high-antivibration rubbermetallicblocks supports for application in the aseismic building of "Hotel-tourist complex "Sea Plaza" in Sochi / V.I. Smirnov// Aseismic building. Safety of building. - 2009. - № 4. - P.40-48.
9. DBN B.1.1-12: 2014. Building in the seismic districts of Ukraine. - Kyiv: Minregionstroj, 2014. – P. 107.
10. Patent № 58418 on an useful model. Aseismic support. / [V.I. Dirda, J.I. Nemchinov, M. I. Fox, M. G. Marjenkov and other] (Ukraine). - № 58418; declared 30.09.2010; date of publ. 11.04.2011, bul. № 7.
11. Bulat A.F. Rubbermetallic blocks for vibroseismicprotection of machines and buildings / of A.F. Bulat , J.I. Nemchinov, V.I. Dyrda [and other] // Branch engineer, building: 36 sciences pablics. Poltava: Poltava Nacional Technical University, 2009. – Vol. 3 (25). - T. 1. - P. 30-35.
12. Vibroseismicprotection of heavy machines, buildings and constructions by means of rubbermetallicblocks / [Bulat A.F., Dyrda, N.I. Fox and other] // Automation of productive processes at engineer that instrument-making: Ukrainian interdepartmental science-technical collection. - Lviv: Lviv Politechnik, 2011. - Vol. 45. - P. 460-464.

Статья поступила в редакцию 05.08.2015 г.