

Булат А.Ф., Дырда В.И., Лисица Н.И., Новикова А.В.,
Лисица Н.Н., Немчинов Ю.И., Хавкин А.К., Марьенков Н.Г.,
Жарко Л.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ РЕЗИНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЕЙСМОЗАЩИТНЫХ БЛОКОВ

У статті наведені результати експериментальних досліджень по визначенню фактичних жорсткісних та дисипативних характеристик гумометалевих сейсмосахисних блоків.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF BUILDINGS SEISMOINSULATION SYSTEM ON THE BASIS OF RUBBER-METAL SEISMOPROTECTING BLOCKS

The results of experimental research on determination of actual stiffness and dissipation characteristics of rubber-metal seismoprotecting blocks are presented.

В последние 17-20 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.

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. 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 РСБ.

В Украине данное направление совершенно не достаточно, что связано как с отсутствием рекомендаций в нормах по сейсмостойкому строительству, так и с необходимостью экспериментальной проверки систем сейсмоизоляции на натуральных фрагментах зданий.

Согласно норм Украины ДБН В.1.1-12:2006 и Еврокода 8 при проектировании зданий, оснащённых сейсмоизоляцией, необходимо, помимо спектрального метода расчёта, выполнять прямой динамический расчёт с использованием инструментально зарегистрированных акселерограмм расчётных землетрясений на площадке строительства.

Основное различие между деформированием конструкций неизолированного здания и сейсмоизолированного здания с применением резинометаллических сейсмоизолирующих блоков (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.

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 5-10 раз и более, 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).

2. Государственное предприятие «НИИСК» Минрегиона Украины совместно с учёными института ИГТМ НАН Украины и со специалистами проектных институтов внедряет при проектировании многоэтажных зданий системы сейсмоизоляции.

3. Для более широкого строительства зданий с системами сейсмоизоляции в Украине необходимо провести экспериментальные исследования РСБ запатентованной конструкции.

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 (рис. 1). 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.

Анализ конструктивных особенностей систем сейсмоизоляции зданий, применяемых в разных странах, показал, что наиболее распространённым является применение резинометаллических сейсмозащитных блоков (РСБ). 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



Рис. 1 – Общий вид крупнопанельного жилого дома серии 1-464 АС/ЮБК

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, европейского и международного стандартов.



а – сейсмозащитный блок 1-го типа (высота резиновых элементов 2×120 мм, диаметр 400 мм); б – сейсмозащитный блок 2-го типа (высота резиновых элементов 2×70 мм, диаметр 400 мм); в – сейсмозащитный блок 3-го типа (высота резиновых элементов 2×50 мм, диаметр 500 мм)

Рис. 2 – Экспериментальные образцы конструкций РСБ

Результаты экспериментальных исследований

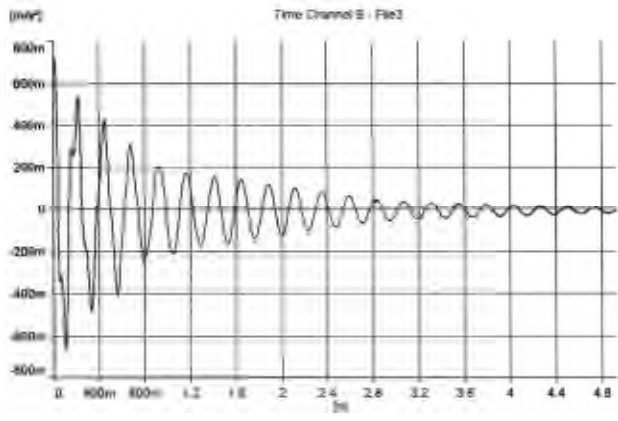
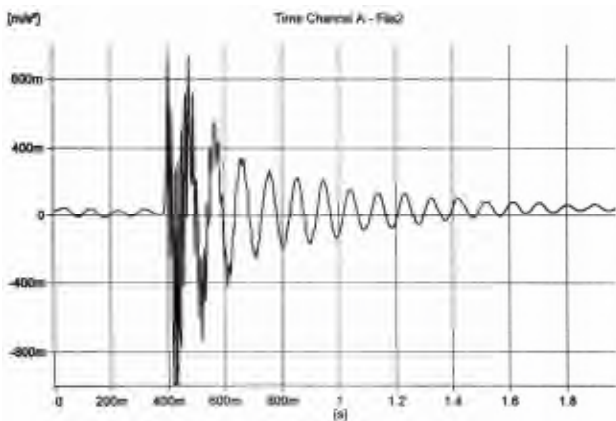
Испытания РСБ проводились в два этапа: сначала динамические – определение демпфирующих характеристик опор, а затем статические – определение жесткостных характеристик опор на сжатие и сдвиг.

При динамических испытаниях на четырёх одинаковых РСБ устанавливался железобетонный блок массой от 5100 кг (рис. 3). Колебания блока в горизонтальной и вертикальной плоскостях задавались специальным устройством и регистрировались двухканальным спектроанализатором марки 2148 фирмы «Брюль и Кьер» (Дания). На основе инструментальных записей сигналов виброускорений при собственных колебаниях динамической системы «бетонный блок-РСБ» (рис. 4) определены динамические вертикальная и горизонтальная (сдвиговая) жесткости и параметры затухания испытанных РСБ (табл. 1).

Статические испытания РСБ выполнялись на специальном стенде (рис. 5 и рис. 6).



Рис. 3 – Лабораторные динамические испытания РСБ



а – колебания в вертикальной плоскости;

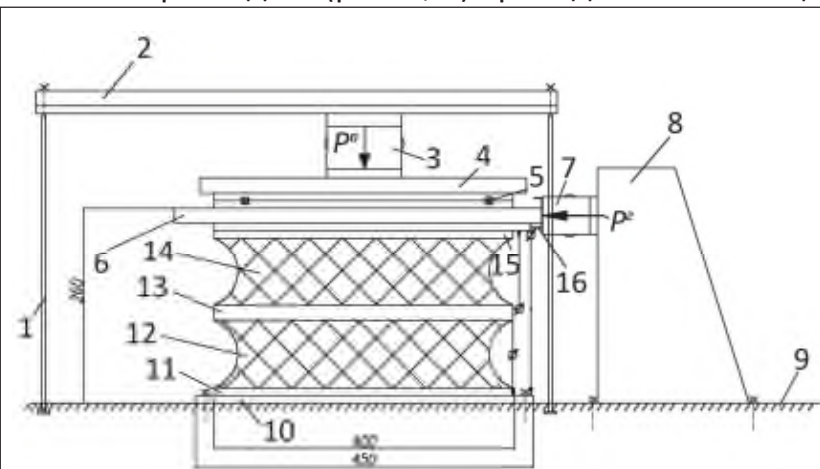
б – колебания в горизонтальной плоскости

Рис. 4 – Примеры записи колебаний железобетонного блока на четырёх РСБ

Таблица 1 – Результаты динамических испытаний РСБ

Динамические характеристики РСБ	Высота резинового элемента (количество)	
	120 мм (два)	70 мм (два)
Собственная частота бетонного блока в вертикальной плоскости, Гц	10,44	14,13
Собственная частота бетонного блока в горизонтальной плоскости, Гц	4,25	5,38
Динамическая жёсткость четырёх РСБ на сжатие, МН/м	22,37	40,9
Динамическая жёсткость на сжатие одного РСБ, МН/м	5,59	13,6
Динамическая жёсткость четырёх РСБ на сдвиг, МН/м	3,64	5,82
Динамическая жёсткость одного РСБ на сдвиг, МН/м	0,91	1,9
Логарифмический декремент колебаний бетонного блока на четырёх РСБ	0,42	0,38

Нагружение осуществлялось гидравлическими домкратами по 50-300 кН в зависимости от типа опоры с выдержкой 5 мин на каждой ступени, после чего снимались показания вертикальных перемещений. Максимальная вертикальная нагрузка доводилась до 5000 кН. Испытания опор на сдвиг (рис. 6, б) 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 об-



1 – тяга; 2 – траверса; 3, 7 – гидродомкраты; 4 – распределительная пластина; 5 - пластины фторопластовые; 6, 10 – верхняя и нижняя опорные пластины с направляющими кольцами (11 и 15); 8 – контрфорс; 9 – пол силовой; 10, 15 –; 12, 14 – резиновые элементы; 13 – пластина стальная с направляющим кольцом; 16 – швеллер распределительный; P^v и P^r – нагрузка вертикальная и горизонтальная от гидродомкратов; δ – прогибомеры
Рис. 5 – Схема стенда для статических испытаний сейсмоизолирующих опор на вертикальные и горизонтальные нагрузки