

А.Ф. Булат, академик НАН Украины (ИГТМ НАН Украины),  
Ю.И. Немчинов, д-р.техн. наук (НИИСК),  
В.И. Дырда, д-р.техн. наук (ИГТМ НАН Украины),  
Н.И. Лисица, канд.техн. наук (ИГТМ НАН Украины),  
Н.Г. Марьенков, канд.техн. наук (НИИСК),  
Н.Н. Лисица, ст. преподаватель (ДНУ)

## **ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА МАШИН И СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РЕЗИНОВЫХ БЛОКОВ**

В статті наведені результати розробки конструкцій гумометалевих вібросейсмозахисних блоків для захисту будівель від дії сейсмічних та динамічних навантажень

## **VIBRO- SEISMOGUARD OF CARS AND BUILDINGS BY MEANS OFRUBBER BLOCKS**

In the article are brought results of development of designs of rubber-metal vibroseismoprotective blocks for protection of buildings against action of seismic and dynamic loadings

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.** Концепция сейсмической изоляции сооружений является весьма актуальной. В Японии, Новой Зеландии, Франции, Греции, Англии, США и ряде других стран она успешно использована для защиты от землетрясений таких важных сооружений как атомные электростанции, школы, мосты, музеи, административные и жилые здания. Наибольшее распространение получили сейсмоизоляционные системы, включающие резиновые блоки и механические предохранители [1-3]. В этих же странах опубликованы и основные научные статьи без приведения аналитических расчетов и технологических особенностей изготовления элементов. В последние годы, несмотря на остроту проблемы, количество публикаций резко сократилось. В Украине (в основном в ИГТМ НАН Украины) концепция развивалась двумя путями: разработка сейсмоизоляционных блоков для защиты от землетрясений жилых зданий; разработка виброизоляционных блоков для защиты от вибраций тяжелого оборудования (вес до 300 т, использовано в России, Украине).

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы.** Система полной сейсмоизоляции сооружений [4] состоит из резинометаллических сейсмоизоляционных блоков (РСБ) и механических предохранителей: упруго-пластичные демпферы, скользящие опоры, нелинейные торсионные элементы и т.д. Она предназначена для защиты от землетрясений чувствительных к колебаниям сооружений, которые имеют большое значение для безопасности людей: больницы, школы, музеи, транспортные средства, электростанции, административные и военные объекты и т.д. РСБ для крупных сооружений изготавливаются путем набора листов специальной резины толщиной 3-20 мм и стальных пластин толщиной 2-5 мм, соединенных с помощью вулканизации. РСБ работают на сжатие, растяжение, сдвиг и кручение; они могут выдерживать кратковременные циклические отклонения в гори-

зонтальном и вертикальном направлениях. РСБ действуют как фильтр: при малой интенсивности землетрясений (0,15-0,20g) сооружение благодаря РСБ колеблется упруго и возвращается в свое первоначальное положение; при землетрясениях большой интенсивности (свыше 0,25g) сооружение колеблется упруго, а затем вступают в действие механические предохранители. РСБ имеют заданные технические характеристики и низкую собственную частоту колебаний; они снижают также высокочастотный спектр колебаний. РСБ выдерживают многократные сейсмические нагрузки без ремонта, легко заменяются; они эксплуатируются при резком перепаде температур, радиации, активном влиянии внешней среды; РСБ обладают высокой надежностью и не имеют внезапного отказа. Технические характеристики и высокая надежность РСБ доказаны результатами промышленных исследований в течение 10 лет системы виброизоляции инерционных дробилок типа КИД весом 155 т, работающих при постоянных циклических нагрузках (амплитуда горизонтальных колебаний 5-8 мм, частота 16 Гц) в условиях свинцово-цинкового комбината (г. Дзержинск, Средняя Азия [5]). На РСБ со свинцовым вкладышем и нелинейной силовой характеристикой институт имеет патент Украины № 93300932 от 29.10.1993 г. Для виброизоляции сооружений могут быть использованы также резиновые блоки; так, например, при виброизоляции административного здания (г. Минск, Белоруссия, вес здания 30000 т, количество опор – 300, несущая способность каждой опоры – 100 т) от вибраций проходящего рядом метрополитена были использованы монолитные резиновые блоки высотой 120 мм, аналогичные блоки были использованы при сейсмоизоляции жилых 9-ти этажных домов.

В последние годы в г. Москве резиновые и резинометаллические блоки успешно используют для виброзащиты зданий, возводимых вблизи трасс метрополитена. Практика показывает высокую эффективность применения таких блоков [6].

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья.** Анализ конструктивных особенностей сейсмоизоляции зданий и сооружений показывает, что наиболее перспективным считается применение сейсмоизоляторов на основе резинометаллических конструкций. Но отсутствие аналитических расчетов параметров сейсмоизоляторов и сложность конструкции изолирующих опор, высокая трудоемкость изготовления сдерживают широкое применение РСБ для защиты зданий, сооружений и машин от действия сейсмических и динамических нагрузок.

**Цель статьи** – расчет основных параметров и разработка простых конструкций резинометаллических сейсмоизоляционных блоков для защиты строений и машин от действия сейсмических и динамических нагрузок.

**Методы расчета.** Рассмотрим расчет сплошных цилиндрических виброизоляторов, в которых плоские слои резины чередуются с плоскими слоями металла и резина привулканизована к металлу по всей поверхности соприкосновения [7].

Такие элементы обладают специфическими анизотропными свойствами: жесткости на сдвиг и на сжатие могут различаться на несколько порядков. Их

использование очень выгодно для виброизоляции некоторых тяжелых машин, а также для защиты зданий и сооружений, находящихся в сейсмоопасных районах.

В результате расчета слоистого резинометаллического виброизолятора должны быть найдены его геометрические размеры: диаметр резинового слоя  $D$ , толщина резинового слоя  $h_p$ , толщина слоя металла  $h_m$ , количество слоев резины  $n$ . При этом имеется в виду, что диаметр металлического слоя практически равен или превосходит  $D$ , а количество слоев металла  $n+1$ . Крайние, нижний и верхний слои металла обычно выполняются утолщенными и имеют форму, удобную для крепления виброизолятора. При расчете последнее обстоятельство, естественно, не будет учитываться.

Исходными данными для расчета являются грузонесущие, жесткостные и деформационные характеристики, которыми должен обладать рассчитываемый виброизолятор, а также упругие характеристики резины. В качестве исходных данных можно выбрать следующие шесть величин: грузонесущую способность  $Q$ , вертикальную деформацию под нагрузкой  $\varepsilon$ , вертикальную жесткость на сжатие  $C_6$ , горизонтальную жесткость или жесткость на сдвиг  $C_2$ , модуль сдвига резины  $G$  и коэффициент Пуассона  $\nu$ . В ряде случаев вместо жесткостей  $C_6$  и  $C_2$  удобно использовать условные собственные частоты  $\omega_6$  и  $\omega_2$  вертикальных и горизонтальных колебаний, соответственно:

$$\omega_6 = \sqrt{\frac{g \cdot C_6}{Q}}; \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{g \cdot C_2}{Q}}, \quad (1)$$

где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;

$Q$  – вертикальная сила (вес груза), действующая на виброизолятор.

Основные соотношения, определяющие жесткости виброизолятора, имеют вид:

$$C_6 = E_k \frac{\pi \cdot D^2}{4n \cdot h_p}; \quad C_2 = G_k \frac{\pi \cdot D^2}{4n \cdot h_p} \quad (2)$$

где  $E_k$  и  $G_k$  – так называемые кажущиеся модули растяжения и сдвига соответственно.

Величины  $E_k$  и  $G_k$  отличаются от истинных модуля растяжения  $E$  и модуля сдвига  $G$  и являются функциями упругих характеристик резины и размеров резинового слоя:

$$E_k = E_k(G, B, D, h_p); \quad G_k = G_k(G, B, D, h_p)$$

Знание этих функций позволяет на основании формул (1) и (2) произвести расчет всех необходимых величин.

В ИГТМ НАН Украины имеется полная методика расчета эластомерных блоков, включающая в себя выбор параметров и прогнозирование срока службы с учетом старения резины. Ресурс работы сейсмоизоляторов по предварительной оценке составляет не менее 50 лет.

В ИГТМ НАН Украины и НИИСК разработан параметрический ряд РСБ для защиты жилых зданий и сооружений при сейсмических и динамических воздействиях [8, 9]. Характеристики РСБ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики ряда РСБ

Диаметр элемента по резине, мм	Высота одного элемента, мм	Динамическая жесткость на сжатие одного элемента, МН/м	Количество элементов в опоре, шт.	Жесткость опоры на сжатие, МН/м	Толщина резины в опоре, мм	Жесткость опоры на сдвиг, МН/м
400	20	1560	8	195,0	160	1,33
			10	156,0	200	1,07
	30	484	6	80,6	180	1,2
	35	310	4	77,5	140	1,5
	40	210	4	52,5	160	1,33
			5	42,0	200	1,07
	45	150	4	37,5	180	1,2
	50	112	3	37,5	150	1,4
			4	28,0	200	1,07
70	39	2	18,0	140	1,5	
120	17	2	8,5	240	0,9	
430	20	2100	8	262,5	160	1,52
			10	210,0	200	1,22
	30	645	6	107,5	180	1,35
			7	92,1	210	1,16
	35	410	5	82,0	175	1,4
	40	278	4	69,5	160	1,52
			5	55,6	200	1,22
	45	200	4	50,0	180	1,35
	50	138	3	46,0	150	1,6
4			34,5	200	1,22	

На рисунке приведены натурные образцы РСБ диаметром 400 мм и высотой 2×120 мм и 2×70 мм. РСБ состоит из двух резиновых элементов, которые с зазором установлены в металлических стаканах. Конструкция стаканов предусматривает невозможность повреждения боковой поверхности резиновых элементов при вертикальных и горизонтальных нагрузках. Крепления РСБ к конструкции зданий осуществляется с помощью анкеров, для которых в верхней и нижней пластинах выполнены отверстия.

Если в процессе эксплуатации резиновый элемент требует замены, то домкратами около опоры осуществляется подъем стены на величину осадки плюс 20 мм. Таким образом резиновый элемент освобождается от нагрузки, что дает возможность вытащить один за другим каждый виброизолятор и произвести их замену.

Статические и динамические испытания РСБ подтвердили соответствие их расчетных характеристик полученным в ходе испытаний.



Рис.1 – Примеры использования РСБ

**Выводы.** Институты располагают возможностью осуществлять аналитические расчеты по выбору параметров РСБ с допускаемой нагрузкой 300-3000 кН и собственной частотой горизонтальных колебаний 0,35- 1,6 Гц для вибро- и сейсмоизоляции реальных машин и сооружений.

Внедрение РСБ существенно снизит влияние землетрясений на сооружения, и поэтому мы ожидаем следующее:

1. Значительно расширится выбор строительных площадок;
2. Снизится стоимость строительных работ;
3. Станет возможным унифицировать проектируемые сооружения;
4. Улучшатся технологические характеристики сооружений;
5. Повысятся безопасность и надежность сооружений;
6. Будут созданы предпосылки для использования новых технологий.

В научном смысле позволит более глубоко понять природу влияния землетрясений на сооружения и разработать новые способы их защиты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. В двух частях. – Киев, 2008. – 480 с.
2. Fujita T. Progress in application of seismic isolation in Japan / 8-th World Seminar on Seismic isolation. – Yerevan, Armenia, 2006.
3. Eiginger J.M., Kelly J.M. Seismic isolation for nuclear power plants: technical and non technical aspects in decision making / Nuclear Engineering and Design 84. 1985. – P. 383-409.
4. Яременко В.Г. Современные системы защиты зданий и сооружений от землетрясений. – Киев: Общество «Знание», 1990. – 19 с.
5. Лисица Н.И. Опыт применения эластомерных конструкций для виброизоляции дробилок // Геотехническая механика: Межвед. н.-техн. сб. – Днепропетровск: Авантаж. – 2007. – Вып. 70. – С. 149-155.
6. Дашевский М.А., Виброзащита многоэтажных крупногабаритных зданий / Дашевский М.А., Моторин В.В., Миронов Е.М. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2001. – № 4. – С. 47-50.
7. Дырда В.И. Исследование закономерностей деформирования и разрушения ЭЭК при статическом разрушении / Дырда В.И., Кобец А.С., Твердохлеб Т.Е. // Геотехническая механика. – Днепропетровск: Авантаж. – 2006. – Вып. 63. – С. 111-118.
8. Булат А.Ф. Анализ риска и система сейсмоизоляции сооружений при чрезвычайных ситуациях природно-техногенного характера / Булат А.Ф., Дырда В.И. // Материалы научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования та попередження надзвичайних ситуацій природного, природно-техногенного та техногенного походження» – Одесса, 2008. – С. 47-48.
9. Немчинов Ю.И. Экономическая целесообразность научно-технического сопровождения объектов экспериментального строительства / Немчинов Ю.И., Хавкин А.К., Марьенков Н.Г., Ивлева Н.П., Дырда В.И., Лисица Н.И. // Будівельні конструкції. Будівництво в сейсмічних районах України. – Київ: ПП «ППНВ». – 2008. – Вип. 69. – С. 143-149.