

Секція 6

ЗАХИСТ ВІД ВІБРАЦІЙ

УДК 691.841

А.Ф. БУЛАТ, В.И. ДЫРДА, Н.И. ЛИСИЦА,
Н.Г. МАРЬЕНКОВ, Г.Н. АГАЛЬЦОВ

ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск,
НИИСК, г. Киев

ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА ТЯЖЁЛЫХ МАШИН, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ БЛОКОВ

© Булат А.Ф., Дырда В.И., Лисица Н.И., Марьенков Н.Г., Агальцов Г.Н., 2011

*Наведено результати розробки та випробувань експериментальних зразків
сейсмічних опор для захисту багатопверхових житлових будинків.*

*Design and trial results of experimental specimens of seismic bearings for protection of multistory
residential houses are given in the paper.*

Цель доклада – исследование проблем вибросейсмической изоляции машин, зданий и сооружений с помощью высокодиссипативных резинометаллических блоков.

Постановка проблемы. Анализ мировой практики вибросейсмозащиты машин, зданий и сооружений показывает, что наиболее перспективными с точки зрения стоимости и эффективности являются системы с использованием резинометаллических блоков. В докладе рассматривается алгоритм расчёта сейсмоопор: определяются вертикальные и горизонтальные статические и динамические жёсткости с учётом собственных частот колебаний. При этом возникает ряд проблем, решение которых рассматривается в докладе:

расчёт сейсмоопор; излагается новый метод решения нелинейной задачи осадки сплошного цилиндра методом Ритца с учётом особенностей ужесточения на торцах; нелинейность при больших деформациях учитывается оригинальным упругим потенциалом; данные расчёта натуральных сейсмоопор хорошо согласуются с экспериментальными;

диссипация энергии: подробно рассматриваются три механизма образования диссипации – молекулярного, от наполнителей и конструкционного; рассматриваются амплитудные и частотные (особенно в области низких частот – 0,1–0,5 Гц, для которых характерно появление релаксационных пиков) характеристик резин; излагается алгоритм выбора резин с максимальной диссипацией;

старение резин: срок службы сейсмоопор 50–75 лет; в докладе излагается алгоритм расчёта изменений их жесткостных и диссипативных свойств во времени: используя принцип температурно-временной суперпозиции приводится метод расчёта временных параметров реальных сейсмоопор; данные расчёта хорошо согласуются с экспериментальными результатами, полученными для массивных виброизоляторов, эксплуатируемых в режиме динамического нагружения в течение 20–47 лет; отмечается увеличение вертикальной жёсткости на 60–100 % и уменьшение диссипации на 400–500 %.

Рассматривается низко модульная высокодиссипативная резина со специальной защитной группой, жесткостные и диссипативные параметры которой в течение 15 лет непрерывной эксплуатации при интенсивных динамических нагрузениях и воздействии потоков радиации изменялись незначительно (не более 20 %).

По данным ЮНЕСКО на Земном шаре жертвами землетрясений становятся ежегодно от 15 до 30 тыс. человек. Экономический ущерб от катастрофических землетрясений интенсивностью 8 и более баллов составляет сотни миллионов долларов США. Исторический анализ катастроф за последние 100 лет свидетельствует, что их география и количество имеют тенденцию к увеличению с каждым годом, а социальные и материальные потери принимают глобальные масштабы [1].

Землетрясения в Чили, Японии и других странах подтверждают эту тенденцию.

В Украине в сейсмической зоне (землетрясения интенсивностью более 6 баллов) находится более 100 населённых пунктов с территорией свыше 50 тыс. кв. м и населением около 10 млн. человек. К ним относятся: весь Крымский полуостров, юг Одесской области, районы Закарпатья и т.д. Поэтому при строительстве зданий и сооружений в районах, подверженных воздействию землетрясений интенсивностью более 6 баллов, должна быть обеспечена их сейсмостойкость, то есть способность противостоять воздействию землетрясений.

Методы сейсмозащиты зданий и сооружений. Традиционные системы сейсмозащиты обеспечивают сейсмостойкость объектов путём повышения несущей способности конструкций и их соединений, стимулируя создание более прочных, жёстких и монолитных сооружений. При этом стоимость строительства в сейсмических районах по сравнению с несейсмическими увеличивается на 4–12 % в зависимости от бальности. В то же время анализ последствий землетрясений показывает [2–4]: прогноз сейсмической опасности, применяемые меры обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений пока недостаточно надёжны, поскольку не всегда гарантируют требуемую сейсмостойкость.

Считается [2–4], что применение систем виброрейсмозащиты позволяет: обеспечить сохранность зданий и сооружений при землетрясениях и техногенных воздействиях; снизить сметную стоимость строительства на 3–6 %; уменьшить материалоемкость зданий и сооружений на 5–10 %; снизить трудоёмкость строительства на 4–6 %; расширить область применения типовых конструкций путём застройки районов с повышенной сейсмичностью, увеличения высоты здания при использовании тех же конструкций.

Системы с упругими виброизоляторами и подвесками. Системы с упругими виброизоляторами и подвесками для сейсмоизоляции зданий разработаны в большинстве случаев по аналогии с устройствами по виброизоляции машин и механизмов [4].

Анализ конструктивных особенностей сейсмоизоляции зданий показывает, что наиболее перспективным считается применение виброрейсмоизоляторов на основе резинометаллических конструкций. Это позволяет защитить машины и здания при сейсмических воздействиях не только в горизонтальной и вертикальной плоскостях, но и от кручения. Считается [4], что именно кручение в сочетании с неблагоприятными факторами, в частности с вертикальной составляющей толчков, является основной причиной катастрофических разрушений при землетрясениях. Кроме того, применение резинометаллических слоистых виброизоляторов позволяет защитить здания и находящихся в них людей от воздействий метрополитена, автомобильного и железнодорожного транспорта.

Формулировка целей статьи. Целью настоящих исследований является обоснование параметров, разработка и испытания конструкции виброрейсмоизолирующих опор.

Основная часть. Институтом геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины и Государственным научно-исследовательским институтом строительных конструкций обоснованы параметры и разработаны конструкции упругих опор для сейсмозащиты многоэтажных жилых домов.

Алгоритм расчёта сейсмоопор. 1. Для заданной собственной частоты горизонтальных колебаний w_0 строительной конструкции и её массы M определяется горизонтальная жёсткость системы сейсмозащиты:

$$C_{0r} = Mw_0^2.$$

2. Вертикальная жёсткость системы:

$$C_{0в} = 6C_{0r}.$$

3. Вертикальная статическая жёсткость системы:

$$C_{ст.в} = \frac{C_{0в}}{K},$$

где K – коэффициент динамичности, который зависит от принимаемой марки резины.

4. Статическая вертикальная жёсткость одной опоры:

$$C_{ст.в} = \frac{C_{ст.в}}{n},$$

где n – количество опор.

5. Вертикальная деформация всей системы:

$$\Delta = \frac{Mg}{C_{ст.в}},$$

где g – ускорение свободного падения.

6. Высота H резинового слоя одной опоры:

$$H = \Delta / [g],$$

где $[g]$ – допустимая относительная деформация резины в опоре.

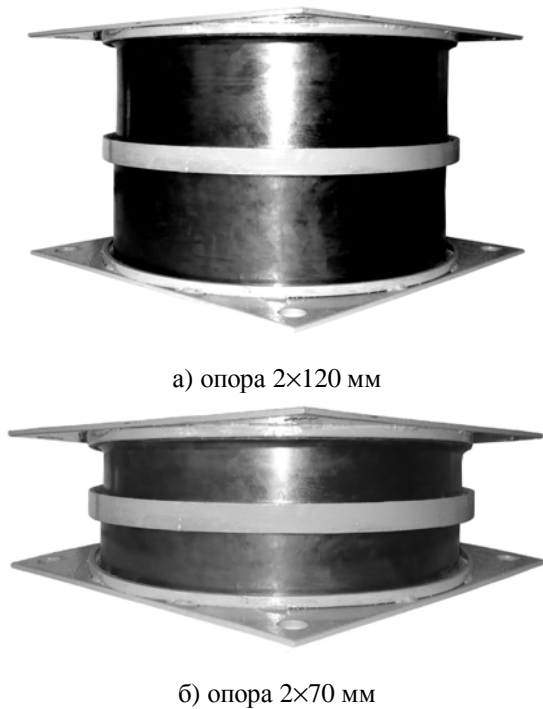
7. Вертикальная жёсткость одного виброизолятора в опоре:

$$C_1 = b \frac{pR^2E}{h},$$

где b – коэффициент увеличения жёсткости виброизолятора, который зависит от его геометрических размеров и условий закрепления на торцах; R – радиус виброизолятора; h – высота виброизолятора; E – условно-равновесный модуль резины на сжатие.

В результате расчёта для сейсмоизоляции девятиэтажного жилого дома ($M = 6000$ т; $w_0 = (1,0-1,1)$ Гц; $n = 120-160$ опор) разработаны конструкции двухслойных сейсмоопор (рис. 1) диаметром 400 мм и общей высотой резинового слоя: 2×120 мм и 2×70 мм.

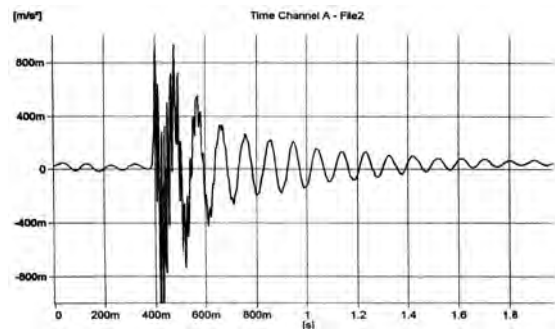
Экспериментальные образцы сейсмоопор были изготовлены в ИГТМ НАН Украины и испытаны в отделе исследований конструкций зданий и сооружений НИИСКА. Колебания блока задавались специальным устройством в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Колебания блока регистрировались анализатором 2148 фирмы “Брюль и Кьер” (Дания). Примеры записей колебаний железобетонного блока приведены на рис. 2, а в табл. 1 – результаты измерений.



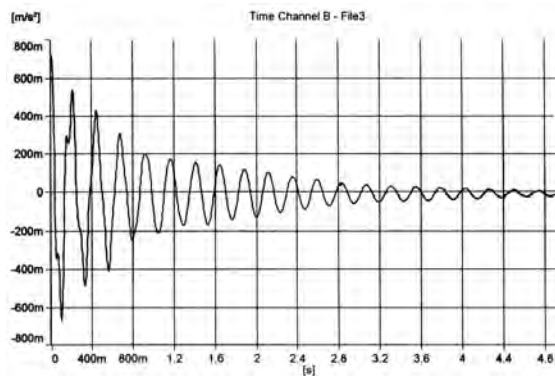
а) опора 2×120 мм

б) опора 2×70 мм

Рис. 1. Конструкции сейсмоопор



а) в вертикальной плоскости



б) в горизонтальной плоскости

Рис. 2. Примеры записи колебаний блока

Таблица 1

Результаты динамических испытаний

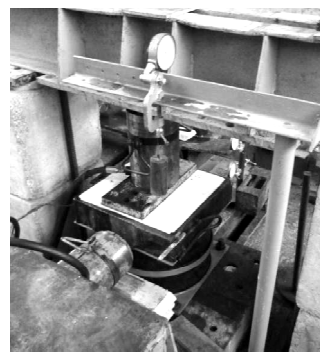
Показатели	Опора	
	2×120 мм	2×70 мм
Динамическая жёсткость на сжатие, МН/м	5,59	13,6
Динамическая жёсткость на сдвиг, МН/м	0,91	1,9
Частота собственных колебаний в вертикальной плоскости, Гц	10,44	14,13
Частота собственных колебаний в горизонтальной плоскости, Гц	4,25	5,38
Логарифмический декремент затухания колебаний	0,28÷0,4	0,18÷0,34

Анализ табл. 1 показывает, что отношение жёсткости на сдвиг к жёсткости на сжатие составляет 1:6 для опоры 2×120 мм и 1:7 для опоры 2×70 мм.

Статические испытания сейсмоопор выполнялись на специальном стенде (рис. 3). Нагрузка на опоры осуществлялась ступенчато по 5 МН (на сжатие) и по 1,25 МН (на сдвиг) гидравлическими домкратами с выдержкой 5 мин на каждой ступени, после чего снимались показания перемещений.



а) испытания на сжатие



б) испытания на сдвиг

Рис. 3. Статические испытания сейсмоопоры 2×120 мм

В табл. 2 приведены результаты статических испытаний сейсмоопор.

Таблица 2

Результаты статических испытаний

Показатель	Опора	
	2×120 мм	2×70 мм
Жёсткость на сжатие (МН/м) при нагрузке (МН):		
5	3,92	13,20
10	4,28	14,30
15	4,60	14,70
20	4,90	15,08
25	–	15,41
30	–	15,84
Жёсткость на сдвиг ¹ (МН/м) при нагрузке (МН):		
1,25	1,0024	1,65
2,50	1,0097	1,50
3,75	1,08	1,24
5,00	–	1,36

Выводы:

1. Анализ мировой практики вибросейсмозащиты машин, зданий и сооружений показывает, что наиболее перспективными с точки зрения стоимости и эффективности являются системы с использованием резинометаллических конструкций.

2. Разработанные и испытанные конструкции сейсмоопор могут быть использованы для сейсмозащиты жилых домов и обеспечить собственную частоту строения в горизонтальной плоскости порядка 1 Гц. При этом жёсткость в вертикальной плоскости достаточна для гашения вертикальных колебаний.

3. Данные сейсмоопоры с большой эффективностью могут быть использованы для защиты зданий и сооружений от воздействий железнодорожного транспорта, метро неглубокого залегания, а также для виброизоляции тяжёлых машин различного технологического назначения.

1. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений: в двух частях [Текст] / Ю.И. Немчинов. – К., 2008. – 480 с. 2. Поляков, С.В. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений [Текст] / С.В. Поляков, Л.Ш. Килимник, А.В. Черкашин. – М.: Стройиздат, 1989. – 320 с. 3. Дашевский М.А. Виброзащита многоэтажных крупнопанельных зданий [Текст] / М.А. Дашевский, В.В. Моторни, Е.М. Миронов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2001. – №4. – С. 47–50. 4. Булат А.Ф. Анализ риска и система сейсмоизоляции сооружений при чрезвычайных ситуациях природно-техногенного характера [Текст] / А.Ф. Булат, В.И. Дырда // Материалы научно-практической конференции “Проблемы прогнозирования та попередження надзвичайних ситуацій природного, природно-техногенного та техногенного походження”. – Одесса, 2008. – С. 47–48.

¹ Измерена при вертикальной нагрузке на опору 2×120 мм – 20 МН, на опору 2×70 мм – 30 МН.