

## Применение метода стоячих волн для исследования сейсмоизолированных зданий

А.Ф. Еманов<sup>1,2,3</sup>, А.А. Красников<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

**Аннотация.** Обосновано применение метода стоячих волн для изучения зданий с сейсмоизоляцией. Для двух проблемных зданий с разными типами сейсмозащиты («гибкий» этаж и резинометаллические опоры) детально изучается полное поле стоячих волн. Обнаружены эффекты, позволяющие усомниться в надежности сейсмозащиты. Оценка роли нелинейных колебаний в стоячих волнах позволила установить, что на высокочастотных модах при малых амплитудах колебаний фиксируется слабая нелинейность за счет рассогласования колебаний элементов конструкции здания. Рекомендуется использовать данные, полученные с помощью метода стоячих волн, для верификации моделей, заложенных в основу расчетов сейсмоизоляции зданий.

**Ключевые слова:** инженерная сейсмология, сейсмостойкость, сейсмоизоляция, стоячие волны, нелинейность, когерентность.

### Литература

- Айзенберг Я.М.* Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат, 1976. 229 с.
- Айзенберг Я.М.* Некоторые проблемы обеспечения сейсмической надежности современных ответственных и сложных конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005. № 4. С. 23–25.
- Байнатов Ж.Б., Мурзалина Г.Б., Донаев А.Е.* Сейсмобезопасность зданий в предельном состоянии с учетом фактора риска // Вестн. КазНТУ. 2014. № 2. С. 181–186.
- Бендат Дж., Пирсол А.* Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1971. 408 с.
- Гордеев Б.А., Горсков В.П., Ковригин Д.А., Никитенкова С.П.* Математические модели виброзащитных систем высотных зданий. Нижн. Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2012. 122 с.
- Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В., Заалишвили В.Б., Годустов И.С.* Перспективы развития систем сейсмоизоляции современных зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2009. № 6. С. 27–31.
- Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Бах А.А., Данилов И.А., Кузьменко А.П., Сабуров В., Татков Г.И.* Пересчет стоячих волн при детальных инженерно-сейсмологических исследованиях // Геология и геофизика. 2002. № 2. С. 192–206.

- Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Бах А.А.* Когерентное восстановление полей стоячих волн как основа детального сейсмологического обследования инженерных сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. № 3. С. 20–24.
- Еманов А.Ф., Еманов А.А., Красников А.А., Дураченко А.В.* Сейсмический мониторинг зданий и важных промышленных объектов // 50 лет сейсмологического мониторинга Сибири: Тез. докл. Всерос. конф. с междунар. участием. Новосибирск, 2013. С. 141–149.
- Красников А.А., Еманов А.Ф.* Поле стоячих волн сейсмоизолированных зданий // 50 лет сейсмологического мониторинга Сибири: Тез. докл. Всерос. конф. с междунар. участием. Новосибирск, 2013. С. 154–156.
- Мкртычев О.В., Бунов А.А.* Оценка сейсмостойкости здания с сейсмозащитой в виде резинометаллических опор // Вестн. МГСУ. 2013. № 8. С. 21–28.
- Мкртычев О.В., Джинчвелашивили Г.А.* Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). М.: МГСУ, 2012. 192 с.
- Пановко Я.Г., Губанова И.И.* Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, парадоксы и ошибки. М.: Комкнига, 2007. 352 с.
- Пейн Г.* Физика колебаний и волн. М.: Мир, 1979. 389 с.
- Рутман Ю.Л.* Маятниковые сейсмоизолирующие опоры: Конструкция, расчет, эксперимент // Инж.-строит. журн. 2012. № 1. С. 31–36.
- Смирнов В.И.* Сейсмоизоляция – современная антисейсмическая защита зданий в России // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 4. С. 41–54.
- Смирнов В.И., Бубис А.А.* Обсуждение проекта свода правил «Здания сейсмостойкие и сейсмоизолированные. Правила проектирования» // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. № 3. С. 22–33.
- Смирнов В.И., Бубис А.А., Семенов И.М., Сутырин Ю.А., Безделев Ю.А.* Испытание системы сейсмозащиты в виде нижнего «гибкого» этажа многоэтажного жилого дома в г. Иркутске // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2009. № 3. С. 49–54.
- Уздин А.М., Сандович Т.А., Аль-Насер-Мохомад Самих Амин.* Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений. СПб.: Изд-во ВНИИГ, 1993. 176 с.
- Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н.* Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и строительных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 155с.