НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОБЗОР / REVIEW 16.11.2026

ОБЗОР СЕЙСМОИЗОЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ S-ВОЛН

С.В. Кузнецов [a,b]

a Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва
b Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), Москва

Объединённый семинар МГСУ и ИПМех РАН «Актуальные проблемы динамики многомассовых систем»

Аннотация. В докладе представлен сравнительный обзор современных систем сейсмической защиты зданий от воздействия поперечных сейсмических волн (S-волн). Цель обзора - сопоставить физические механизмы уменьшения динамического отклика сооружений, области практического применения, особенности математического моделирования и эксплуатационные ограничения различных конструктивных решений. Рассмотрены резинометаллические сейсмоизоляторы на основе натуральной резины (NRB), высокодемпфирующей резины (HDRB) и устройств со свинцовым сердечником (LRB). Для каждого типа анализируются соотношение вертикальной несущей способности и горизонтальной податливости, механизмы восстановления положения и рассеивания энергии, а также характер гистерезисных зависимостей «сила - перемещение». Отмечается принципиальная нелинейность работы эластомерных опор, обусловленная эффектами Пейна и Маллинза, геометрическими эффектами при сдвиге и упрочнением материала в области больших деформаций. Эти особенности определяют необходимость использования нелинейных расчетных моделей при оценке перемещений, ускорений и устойчивости изолированного сооружения.

В качестве альтернативных и комбинированных решений рассмотрены фрикционно-маятниковые опоры, системы «скользящего пояса» с контактными поверхностями из политетрафторэтилена и стали, а также геотехническая сейсмоизоляция на основе резино-песчаных смесей. Отдельное внимание уделено гибридным опорам с элементами из сплавов с памятью формы, в которых демпфирование и восстанавливающая способность обеспечиваются совместной работой различных материалов. Сопоставляются ограничения, связанные с допустимыми перемещениями, вертикальными нагрузками, остаточными деформациями, долговечностью и стоимостью устройств.

Для зданий повышенной этажности рассмотрены дополнительные средства управления колебаниями: настроенные массовые демпферы (TMD), вязкие демпферы, аутригерные системы и гибридные схемы с изоляцией основания. На примерах высотных сооружений обсуждаются различия между задачами снижения ветровых колебаний и сейсмического отклика, в том числе ограничения эффективности узкополосно настроенных устройств при широкополосном возбуждении. Приведено сопоставление нормативных подходов к нелинейному динамическому анализу и испытаниям сейсмоизолирующих устройств, применяемых в разных странах. В заключение выделены перспективные направления исследований: учет термомеханических процессов и деградации свойств материалов при длительных воздействиях, а также нелинейная оптимизация параметров объединенной системы «сооружение - сейсмоизолятор». Сделан вывод о необходимости выбора системы защиты с учетом этажности здания, характеристик сейсмического воздействия и совместной работы несущих конструкций и изолирующих элементов.

Ключевые слова: *сейсмоизоляция; S-волны; резинометаллические сейсмоизоляторы; нелинейная динамика; гистерезис; скользящий пояс; сплавы с памятью формы; демпфирование колебаний; высотные здания.*

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

REVIEW 16.11.2026

REVIEW OF SEISMIC ISOLATION SYSTEMS FOR PROTECTING BUILDINGS AGAINST S-WAVES

S.V. Kuznetsov [a,b]

a Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Moscow, Russia
b Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Joint MGSU–IPMech RAS Seminar “Current Problems in the Dynamics of Multi-Mass Systems”

Abstract. The seminar presents a comparative review of contemporary systems for protecting buildings against the effects of shear seismic waves (S-waves). The aim is to compare the physical mechanisms responsible for reducing structural dynamic response, the practical application ranges, the mathematical modelling requirements, and the operational limitations of different protective solutions. Particular attention is paid to laminated elastomeric bearings made of natural rubber (NRB), high-damping rubber (HDRB), and lead-rubber bearings (LRB). Their vertical load-bearing capacity, horizontal flexibility, restoring mechanisms, energy dissipation, and force–displacement hysteresis are discussed. The fundamentally nonlinear behaviour of elastomeric bearings is emphasized, including the Payne and Mullins effects, geometric effects under shear deformation, and strain hardening at large deformations. These phenomena motivate the use of nonlinear models when predicting displacements, accelerations, and stability of seismically isolated structures.

Alternative and combined solutions are also reviewed, including friction-pendulum systems, sliding-belt isolation with polytetrafluoroethylene and steel contact surfaces, and geotechnical isolation using rubber–sand mixtures. Special attention is given to hybrid bearings incorporating shape-memory alloys, in which energy dissipation and restoring forces result from the combined response of different materials. The comparative discussion addresses allowable displacements, vertical loads, residual deformation, service life, and approximate cost.

For high-rise buildings, the review covers additional vibration-control strategies, such as tuned mass dampers (TMDs), viscous dampers, outrigger systems, and hybrid configurations combining base isolation with damping devices. Examples of tall structures illustrate the difference between mitigating wind-induced motion and reducing earthquake response, including the limitations of narrowly tuned devices under broadband seismic excitation. Approaches to nonlinear time-history analysis and qualification testing of seismic isolation devices adopted in different national codes are compared. Finally, two promising research directions are identified: thermomechanical modelling of isolation elements, including changes in material properties and degradation under prolonged seismic actions, and nonlinear optimization of the coupled “structure–isolator” system. The principal conclusion is that no single technology is universally preferable: an appropriate protection strategy must account for building height, seismic input characteristics, the required performance criteria, and the interaction between the superstructure and the isolation system.

Keywords: *seismic isolation; S-waves; laminated elastomeric bearings; nonlinear dynamics; hysteresis; sliding-belt isolation; shape-memory alloys; vibration damping; high-rise buildings.*