

## Сейсмоизоляция общественных зданий на основе фторопласта

*Профессор В. Д. Кузнецов;  
магистр В. А. Лядский\**

*ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

Около 30% территории Российской Федерации с населением более 20 млн человек может подвергаться землетрясениям свыше 7 баллов. На территории с сейсмичностью 7-10 баллов расположены крупные культурные и промышленные центры, многочисленные города и населенные пункты. Вся эта сравнительно густонаселенная часть подвержена землетрясениям, которые сопровождаются разрушениями несейсмостойких зданий и сооружений, гибелью людей и уничтожением материальных и культурных ценностей, накопленных трудом многих поколений. В эпицентральных зонах таких землетрясений нередко нарушается функционирование промышленности, транспорта, электро- и водоснабжения и других жизнеобеспечивающих систем, что ведет к значительному материальному ущербу.

Сильные землетрясения с магнитудой от 5 до 9 баллов приводят к большим разрушениям и человеческим жертвам. За всю историю человечества около 80 миллионов человек погибло от землетрясений и их прямых последствий: пожаров, цунами, обвалов и пр.

Согласно нормативной карте ОСП-97 самая высокая сейсмическая опасность свойственна южным и восточным регионам России – Дальний Восток, Северный Кавказ, Сибирь, в том числе Республика Тыва. Территория Тывы, занимая около 11% площади Алтае-Саянской сейсмогенной области, является наиболее сейсмически активной. На нее приходится около 26% от общего количества зарегистрированных сильных землетрясений. В последние годы сейсмическая активность горных районов возрастает как по частоте землетрясений, так и по энергетическому классу.

Современный этап теории сейсмостойкости характеризуется интенсивным развитием всех направлений, расширением проблематики, возникновением новых аспектов и задач. Такое положение объясняется рядом причин: с одной стороны, за последние годы населению различных стран мира пришлось пережить разрушительные землетрясения, усилившие интерес к проблеме сейсмостойкости, с другой, существенно увеличилось количество информации о сейсмических воздействиях (инструментальные акселерограммы) и т.д.

Начиная с 70-80-х годов прошлого века, в строительстве все чаще стали применяться системы защиты от сейсмических воздействий – системы сейсмоизоляции (ССИ). Широкое распространение в мире получили системы сейсмоизоляции на основе резинометаллических опор (РМО) и элементы с повышенной пластической деформацией.

Существует целый ряд зарубежных фирм, которые разрабатывают и изготавливают системы РМО разнообразной номенклатуры и высокого качества. Лидерами являются фирмы «FIP Industriale», «Maurer Söhne», «Robinson Seismic», «Earthquake Protection Systems», «Dynamic Isolation Systems», «Scougal Rubber» и другие. Большинство из них предлагают комбинации резинометаллических опор (РМО) с различными типами металлических демпфирующих элементов. Недостатки таких ССИ заключаются в следующем:

- чувствительность РМО к низким температурам;
- ползучесть резиновых компонентов РМО;
- чувствительность ССИ к частотному составу внешних воздействий из-за наличия в силовых характеристиках существенной упругой составляющей, что может привести к резонансным процессам;
- большая стоимость.

Постоянно идет поиск наиболее эффективных демпфирующих элементов, работающих параллельно с упругими. Принцип их действия основан на пластической деформации специальных металлических элементов.

Альтернативой зарубежным ССИ могут быть отечественные пространственные пластические демпферы (ППД), разработанные КБСМ под руководством Ю.Л. Рутмана. ППД – компактные, надежные, несложные в изготовлении пластические демпферы, обеспечивающие пространственную защиту.

Известны сейсмостойкие здания, в которых сейсмические нагрузки уменьшаются включением железобетонного механизма сейсмоизоляции между фундаментом и зданием, содержащего сферические железобетонные стойки и стаканы на их концах, контактирующих с фундаментом и низом первого этажа здания.

Поставлена задача – разработать конструктивное решение механизма сейсмоизоляции и оценить эффективность его введения в конструкцию фундамента.

Предлагается выполнять механизм сейсмоизоляции следующим образом.

Фундаментная плита устраивается в форме «корытца»: стенки-ограничители смещения выполняются таким образом, чтобы образовался зазор 60 мм между нижней плитой здания и стенками-ограничителями, что дает возможность перемещаться зданию во всех направлениях на величины смещения основания. На поверхности фундаментной плиты укладывается 3 слоя фторопластовой пленки ( $\delta=0,5-1$  мм).

На этом слое бетонируется нижняя железобетонная плита здания, а на ней возводится само здание.

Во время землетрясения фундаментная плита с ограничителями смещения и нижним слоем фторопластовой пленки будет повторять колебания основания. Верхний слой фторопластовой пленки взаимодействует с промежуточным слоем фторопластовой пленки, вследствие малого коэффициента трения в контактах «фторопласт-фторопласт ( $K_{тр}=0,13$ )», а также вследствие силы инерции здания конструкция будет находиться в состоянии относительного покоя. Описанное устройство, обладая коэффициентом трения  $K_{тр}=0,13$ , способно уменьшить интенсивность сейсмической нагрузки на 2,5–3 балла, особенно в начале процесса, когда наблюдаются высокочастотные колебания основания с наибольшей интенсивностью.

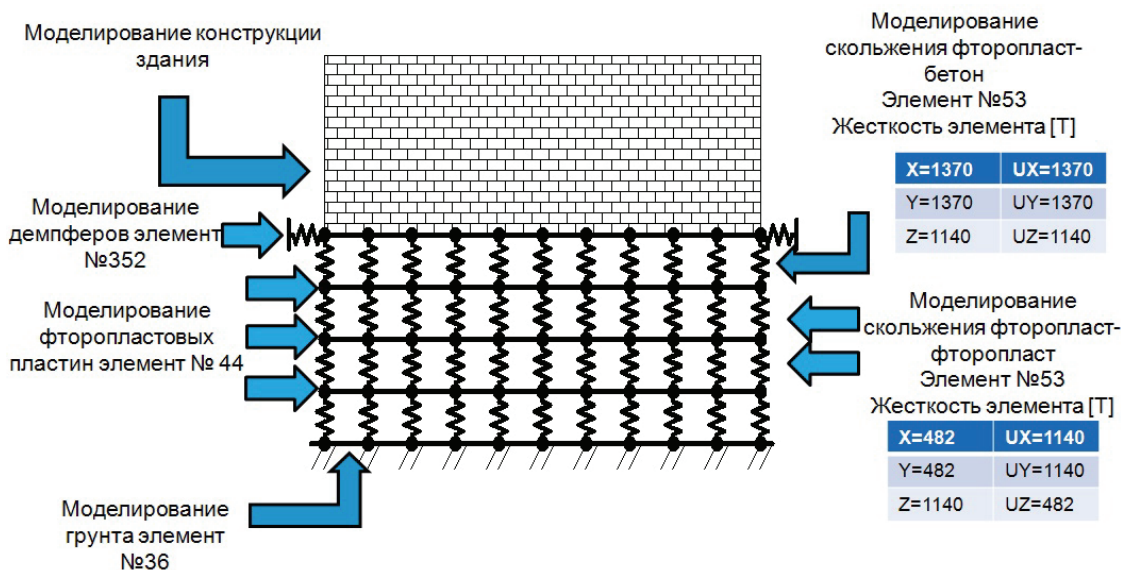


Рисунок 1. Расчетная схема конструкции

Сейсмоизолирующая система конструктивно выполнена в виде верхнего и нижнего опорных элементов, между которыми размещен изолирующий слой фрикционных материалов. Для обеспечения возврата конструкции, сместившейся в результате сейсмического толчка, в начальное положение устойчивого равновесия опорные элементы следует выполнять в виде выпуклых и вогнутых пирамидальных плоскостей для возникновения гравитационной восстанавливающей силы (рис. 2).

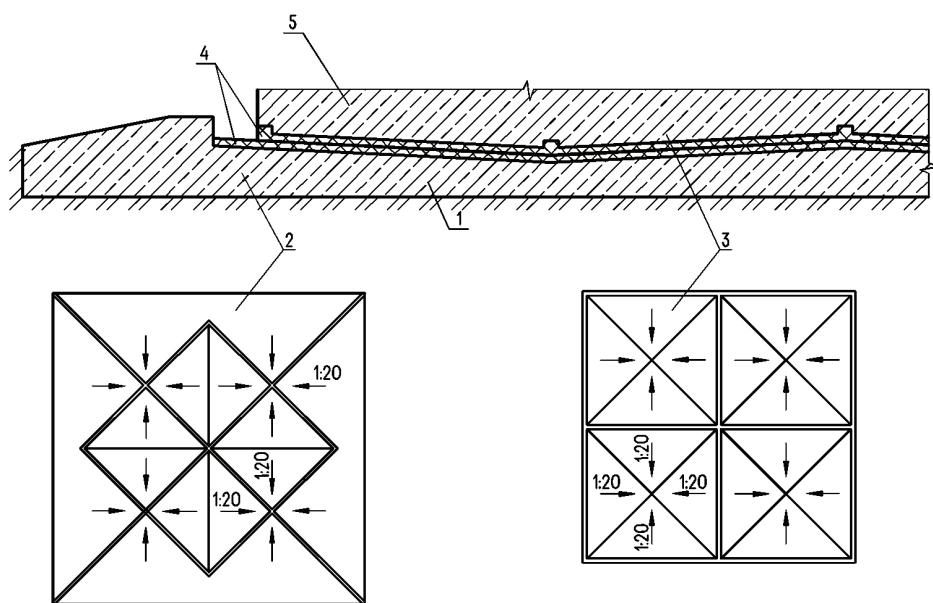
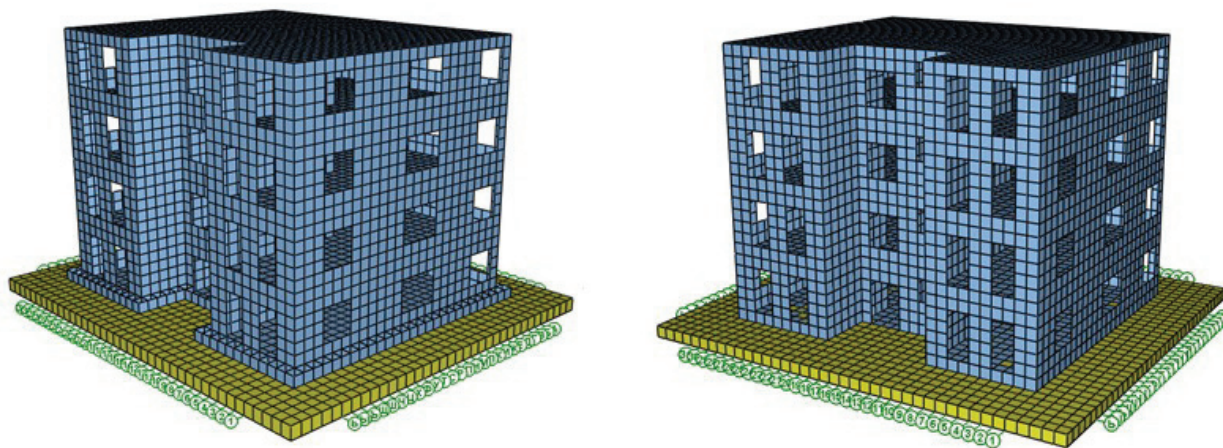


Рисунок 2. Схема механизма сейсмоизоляции здания: 1 – фундамент; 2 – схематичное изображение уклонов фундамента; 3 – схематичное изображение уклонов нижней плиты здания; 4 – фторопластовые пластины; 5 – здание

На основании выбранной конструктивной схемы механизма сейсмоизоляции были созданы две КЭМ здания: одна, включающая в себя механизм сейсмоизоляции, и аналогичная без него, в ПК SCAD.



Сейсмоизолированное здание

Несейсмоизолированное здание

Рисунок 3. Расчетные модели

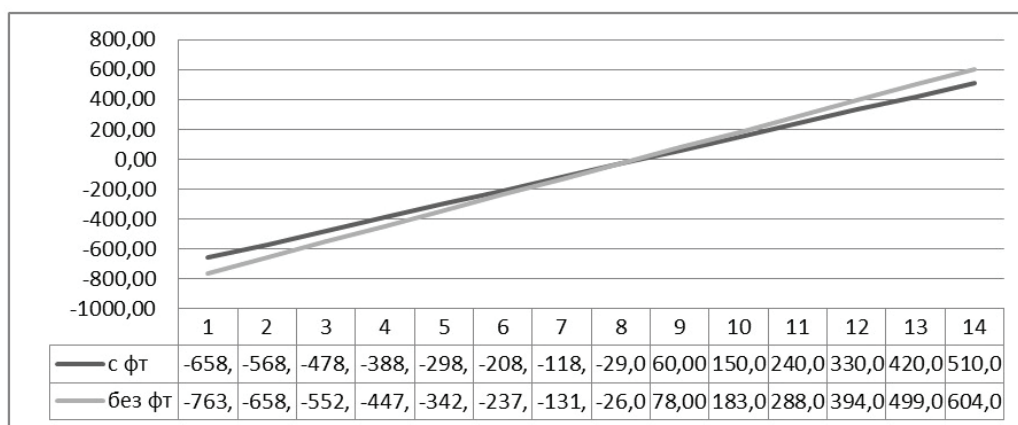


Рисунок 4. График распределения напряжений NX в конструкциях сейсмоизолированного здания и здания без изоляции [Т/м<sup>2</sup>]

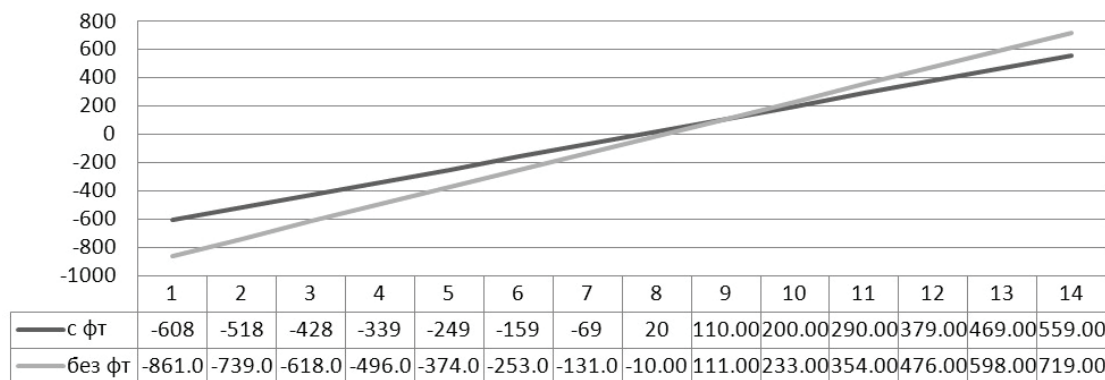


Рисунок 5. График распределения напряжений NY в конструкциях сейсмоизолированного здания и здания без изоляции [Т/м<sup>2</sup>]

Сравнение результатов расчета сейсмоизолированного здания и здания без ССИ подтверждает эффективность сейсмоизоляции здания, т.к. при установке под фундаментом здания ССИ нормальные напряжения в вертикальных элементах конструкции снижаются в среднем на 80%.

В результате анализа полученных напряжений выявлен участок стены с наибольшими напряжениями. Для оценки разрушения несейсмоизолированной конструкции делаем допущение, что простенок с максимальными концентрациями напряжений разрушается. Поскольку при тех же нагрузках напряжения в элементах сейсмоизолированного здания в несколько раз ниже, то конструкции сейсмоизолированного здания разрушению не подвергнутся.



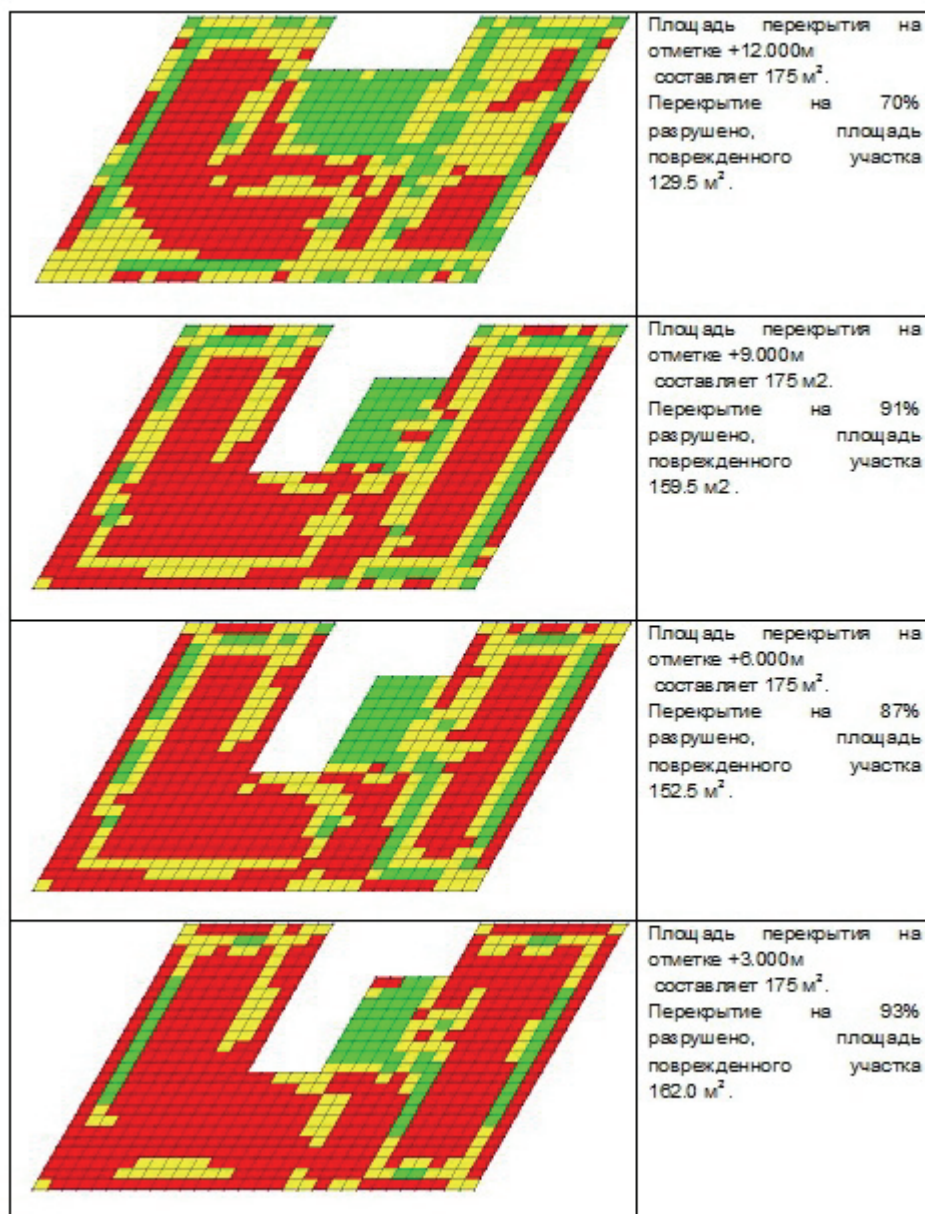


Рисунок 6. Расчет несейсмоизолированного здания на прогрессирующее обрушение

Для оценки повреждения конструкции после разрушения наиболее нагруженного простенка был произведен расчет на прогрессирующее обрушение конструкции без сейсмоизоляции, результатом расчета являются изополя разделения по прочности.

Площадь разрушенных горизонтальных конструкций 603.5м<sup>2</sup> что составляет 95% от площади всех горизонтальных конструкций здания.

Площадь разрушенных вертикальных конструкций 51.5м<sup>2</sup> что составляет 20% от площади всех горизонтальных конструкций здания.

По результатам приведенного в статье исследования можно отметить следующее. Введение в конструкцию фундамента механизма сейсмоизоляции позволяет снижать напряжения в конструкции и, как следствие, уменьшает вероятность обрушения конструкции, что обеспечивает сохранность человеческих жизней и ценного оборудования.

### Литература

1. Айзенберг Я.М. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. М.: Наука, 1978. 246 с.
2. Ержанов С. Е. Расчет сейсмоизолирующей системы с демпфером сухого трения // Сейсмостойкое строительство. Серия XIV, 1980, вып. 6.
3. Жунусов Т. Ж. Основы сейсмостойкости сооружений. Алма-Ата: Рауан, 1990. 270 с.
4. Рекомендации по проектированию зданий с сейсмоизолирующим кинематическим фундаментом. Алма-Ата: Рауан, 1986. 29 с.
5. Чылбак А. А. Расчет и рациональное проектирование сейсмоизоляции существующих и строящихся зданий в условиях Республики Тыва. Автореферат дисс. ... канд.техн.наук. Спб, 2009.
6. Забродин С. М. Разработка эффективных решений для сейсмоизоляции и защиты сооружений. Дисс. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2010.

\* Василий Андреевич Лядский, Санкт-Петербург  
 Тел. моб.: +7(921)636-73-83; эл. почта: Vasily598@mail.ru