УДК 69.04, 69.07

DOI 10.37153/2687-0045-2021-14-107-110

**РАБОТА ЗДАНИЯ С КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ
СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ НА ВЕТРОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ**

**THE PERFORMANCE OF A BUILDING
WITH A KINEMATIC SEISMIC ISOLATION SYSTEM TO WIND**

Сухарев Федор Игоревич, инженер-конструктор, ООО «ЮАК»

Иваненко Николай Алексеевич, к.т.н., доцент кафедры строительства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сочинский государственный университет» (СГУ)

Семенов Станислав Юрьевич, доцент кафедры строительства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сочинский государственный университет» (СГУ)

Sukharev Fyodor Igorevich, structural engineer, LLC “UAK”

Ivanenko N.A., is a Cand.Tech.Sci., the associate professor Stroitelstva of Federal state-funded educational institution of the higher education Sochi State University (SSU)

Semenov Stanislav Yuryevich, the associate professor Stroitelstva of Federal state-funded educational institution of the higher education Sochi State University (SSU)

Аннотация: В докладе проанализирована работа кинематической системы сейсмоизоляции на основе опоры Курзанова – Семенова, освещены ее преимущества и недостатки. В программном комплексе Лира-САПР создана расчетная схема эксплуатируемого жилого здания с системой кинематических опор и без них. По результатам прямого динамического расчета во временной области проведен сравнительный анализ поведения надземной части под воздействием ветра в трех расчетных направлениях.

Abstract: The article analyzes the work of the kinematic system of seismic isolation based on the Kurzanov-Semenov support, highlights its advantages and disadvantages. In the Lira-CAD software package, a design scheme of an operated residential building with and without a system of kinematic supports has been created. Based on the results of direct dynamic calculation in the time domain, a comparative analysis of the behavior of the aboveground part under the influence of wind in three calculated directions was carried out.

Ключевые слова: кинематическая опора (КО), сейсмоизоляция, сейсмозащита, ветер, ветровое воздействие, ЛИРА-САПР, метод конечных элементов, сдвиг, модальный анализ

Keywords: kinematic support (KS), seismic isolation, seismic protection, wind, wind load, Lira-SAPR, finite element method, shift, modal analysis

Введение

Недостатком практически всех систем сейсмоизоляции является реакция системы на даже незначительные горизонтальные воздействия, не связанные с сейсмическим, например, нагрузка от ветра. Для многих систем требуется устройство дополнительных конструкций в виде демпферов или связей, которые воспринимают горизонтальные несейсмические воздействия. Неоспоримым преимуществом кинематических опор [1] является наличие у них порогового включения в работу, благодаря чему они не требуют дополнительной установки включающихся/выключающихся связей против незначительного внешнего воздействия, имеющего нецелевой, несейсмический характер. Подобные дополнительные связи при их срабатывании требуют вмешательства человека для приведения их в эксплуатационное состояние, тем самым нарушая статус здания как долговечного сооружения с заданной и неизменной надежностью на весь срок проектного жизненного цикла [2, 3, 4].

На базе Сочинского государственного университета проведено большое количество статических и динамических испытаний возведенных зданий и макетов с кинематической системой сейсмоизоляции. По результатам всех проведенных испытаний и математических выкладок, связанных с данным типом сейсмоизоляции, можно однозначно заявить, что кинематическая система эффективно гасит сейсмическое воздействие наряду с прочими типами, а ее экономическая эффективность на фоне прочих в разы выше из-за простоты изготовления. В данный момент эмпирически выведены зависимости «сейсмическая активность региона / исполнение опоры», что позволяет их использовать в единичном или экспериментальном строительстве как средство понижения реакции здания на землетрясения, но для массового строительства требуется достоверное моделирование поведения здания с кинематическими опорами – оно позволит тщательно проанализировать экономический эффект от их использования, предсказывать граничные условия их использования при ветровом воздействии.

В данный момент в СГУ готовится стенд для многоразовых испытаний опор с целью вывести диаграмму отклика опор во времени после множественных однородных испытаний. В Лира-САПР присутствуют инструменты для прямого динамического анализа расчетной схемы с нелинейными конечными элементами, и имея обработанный набор велоси- и акселерограмм отклика кинематических опор, станет доступной симуляция здания с сейсмоизоляцией, с достаточной точностью предсказывающая поведение проектируемого здания при сейсмических случаях.

Также параллельно этому исследуется модифицируемость рабочих площадок (основного элемента кинематической опоры – стальных пластин в пяте и оголовке, поглощающих инерцию здания от внешнего воздействия работой деформации металла), как-то: поиск и проверка целевых сплавов с интересующими пластичностью/экономичностью и потенциальной энергией деформирования, такой, чтобы проектное ветровое воздействие не оказывало пагубного влияния на эксплуатационную пригодность. Лира-САПР позволяет смоделировать контактную задачу отдельной опоры с односторонними связями и сравнить смятие теоретическое, полученное численными методами, и практическое, полученное при испытаниях, и впоследствии откорректировать приемы моделирования, подход к построению расчетной схемы для соответствия реальных перемещений расчетным.

Оба этих пути исследований, при должном развитии, утвердят положение кинематической системы сейсмоизоляции как надежного и экономически эффективного решения проблемы сейсмостойкости.

Преимуществами кинематической системы являются:

1. Возвращение в исходное положение после возмущения и стабильность характеристик системы после повторных землетрясений в процессе длительной эксплуатации.
2. Долговечность на уровне долговечности здания.
3. Неизменность несущей способности во всем интервале проектных смещений.
4. Подавление резонансных явлений.
5. Порог срабатывания при внешних ускорениях более $0,25 - 0,50 \text{ м/с}^2$.
6. Относительная экономичность и простота изготовления.
7. Компактность.

В докладе приведены результаты расчета дома с кинематической системой сейсмоизоляции и без нее, а также анализ реакции двух вариантов дома на ветровое воздействие [5]. Поведение здания во временной области со стандартными общепринятыми коэффициентами демпфирования железобетонного каркаса и с коэффициентами демпфирования, соответствующими системе изоляции, полученными на основании результатов проведенных испытаний в натуре. Так, по результатам установка кинематической системы сейсмоизоляции качественно изменила реакцию здания на ветровое воздействие, добавив кручение и снизив этим внутренние усилия в надземной части. Приrost перемещения верхних этажей составил в среднем 60%. Динамическая комфортность пребывания людей при этом была сохранена – ускорения узлов схемы на последнем этаже максимально достигают $0,075 \text{ м/с}^2$.

При любом направлении ветра горизонтальная нагрузка на систему кинематических опор не превышает порогового отношения 1,80% от вертикальной нагрузки, при котором в рабочих пластинах опоры наступают критические 2% пластические деформации, снижающие эксплуатационные характеристики сейсмоизоляции. При повышении этажности это отношение будет стремиться к значению 1,571%. Для исследуемого здания превысить пороговое отношение возможно только в ветровых районах VI или VII ($w_0=0,73 \text{ кПа}$) и $0,83 \text{ кПа}$ (по условию задачи $w_0=0,38 \text{ кПа}$).

В докладе проиллюстрированы инструменты МКЭ, потенциально позволяющие предсказывать степень потери эксплуатационной пригодности кинематических опор при обмятии рабочих пластин массой здания, стронутой из состояния покоя ветровым воздействием. В данный момент контактная задача смятия находится на стадии верификации используемых приемов моделирования, сравниваются теоретически рассчитанные объемные деформации с фактическими, известными деформациями в результате натурных испытаний [6]. Инструментарий для работы с МКЭ – Лира-САПР.

Заключение

В результате расчета было определено, что ветровое воздействие не оказывает пагубного влияния на эксплуатационные характеристики системы кинематических опор – перемещения оголовков опор при критических порывах ветра составили 2,84 мм – в диапазоне упругой работы металла пластин опоры. Преодолеть граничные 2% смятия пластин системы кинематических опор было бы возможно при возведении моделируемого здания в VI и VII ветровых районах. Так как в принципе работы кинематических опор заложено реагирование не на некоторую номинальную горизонтальную нагрузку, а на долю от прикладываемой вертикальной (1,8% в нашем случае), то повышение этажности при этой же конструктивной схеме не вызовет сдвига системы кинематических опор до критического уровня, при котором наступает пластическая деформация рабочих пластин, так как отдельный этаж, даже с учетом использования керамзитобетона в его несущих конструкциях, слишком тяжел в сравнении с тем приращением ветрового воздействия, которое обеспечивают его обдуваемые поверхности.

Итак, в настоящее время активно совершенствуются методики численного моделирования кинематических изоляторов гравитационного типа, позволяющие разрешить те расчетные ограничения, которые возникают из-за наличия геометрической изменяемости у этого типа сейсмоизоляции, а также аналитические и статистические методы оценки сейсмической реакции изоляторов с подобной механикой работы. Особое внимание уделяется исследованию стабильности эксплуатационных характеристик кинематических опор, так как они благодаря своему основному качеству – ненулевому порогу срабатывания – не требуют дополнительных дорогостоящих в ремонте, включающихся/выключающихся связей, а значит, в одиночку реагируют на все несейсмические воздействия. Подобные воздействия (как пример, от ветра) могут снизить демпфирующие качества кинематической сейсмоизоляции при многократном интенсивном повторении, и только запланированный учет этого неблагоприятного фактора на стадии проектирования может гарантировать надежность системы на всем протяжении ее срока работы в составе здания.

Список литературы

1. Патент РФ No201112641503, 27.06.2011 Трубобетонная сейсмоизолирующая опора // Патент России No2477353. 2013. Бюл. No7. Курзанов А.М., Семенов С.Ю.
2. Выскребенцева М.А., Ву Ле Куен. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств // Инженерный вестник Дона. – 2019. – No1. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5656
3. Мажиева А.Х. Регулирование сейсмических и ветровых воздействий на многоэтажные здания / А.Х. Мажиева, К.Х. Мажиев // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сборник трудов XVII Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (23–25 апреля 2014 г., Москва) / М.: МГСУ, 2014. – С. 555–560.
4. Мажиева А.Х. Совершенствование методов расчета, сейсмоизолирующих конструкций и специальных мелкозернистых бетонов сейсмостойких зданий и сооружений. Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону, 2020 г.
5. Сухарев Ф.И., Иваненко Н.А., Семенов С.Ю. Реакция здания с кинематической системой сейсмоизоляции на ветровое воздействие и ее анализ средствами Лира-САПР // Инженерный вестник Дона. – 2019. – No1. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6794
6. Тяпин А.Г., Курзанова А.М. Плоские колебания жесткого сооружения на кинематических опорах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2020. – No 6. – С. 27–38.