

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА УПРУГО-ФРИКЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Shcherbin S.A.

IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLE OF ELASTIC-FRICTION JOINTS IN STRUCTURAL SYSTEMS FOR EARTHQUAKE-RESISTANT CONSTRUCTION

Аннотация. Рассматривается использование упруго-фрикционных соединений в качестве средства активной сейсмической защиты зданий и сооружений.

Ключевые слова: сейсмозащита, упруго-фрикционные соединения.

Abstract. The use of elastic-friction joints as a means of active seismic protection of buildings is considered.

Keywords: seismoprotection, resilient-friction base isolator.

В 1991-1997 годах в России были уточнены и дополнены карты общего сейсмического районирования. В результате сейсмическая опасность на территории многих субъектов РФ была увеличена на 1-3 балла и возник «дефицит» сейсмостойкости.

Рассмотрение новых и перспективных подходов к увеличению надежности зданий и сооружений, в том числе их сейсмостойкости, позволяет выделить применение для этих целей упруго-фрикционных соединений в конструктивных системах.

Эффективность таких соединений обусловлена следующими факторами. В упруго-фрикционных системах энергия, сообщенная сооружению, затрачивается не на преодоление сопротивления материала конструкций, а на преодоление сил сухого трения в специально предусмотренных соединениях. Такие системы могут переносить очень большое число циклов колебаний без существенного изменения механических свойств соприкасающихся поверхностей.

Огромная кинетическая энергия, вызванная высокими скоростями движения больших масс частей механизмов, может быть поглощена сухим трением в течение промежутка времени, исчисляемого долями секунды. В этом смысле можно говорить о большой мощности, которую могут развивать силы сухого трения. Благодаря интенсивному рассеянию энергии, вызванному сухим трением в стыках, величины резонансных амплитуд колебаний таких зданий мало отличаются от амплитуд в межрезонансных зонах. Диссипативные свойства упруго-фрикционной системы зависят от соотношений между силой сухого трения и амплитудой внешней нагрузки.

Назначая определенную величину взаимного прижатия элементов упруго-фрикционной системы, можно добиться максимальной диссипации энергии колебаний и, следовательно, наибольшего снижения динамической реакции со-

оружения.

Упруго-фрикционные системы (УФС) могут быть запроектированы таким образом, что проскальзывание элементов будет наступать по зонам постепенно с момента начала нагружения по мере увеличения интенсивности внешнего воздействия. Достоинство такой конструкции состоит в том, что диссипация энергии происходит непрерывно в течение всего колебательного процесса. Снижение сейсмической реакции в такой системе за счет сухого трения в узлах происходит на всем диапазоне интенсивности воздействия.

Сухое трение, в отличие от других видов неупругого сопротивления, не только активно влияет на диссипацию энергии, но и существенно изменяет резонансные частоты. Поведение системы с сухим трением при колебаниях зависит от интенсивности проскальзывания элементов в фрикционной связи.

Сходство по виду квазистатических характеристик упруго-фрикционных и упруго-пластических систем дает основания полагать, что некоторые свойства обеих систем могут быть также сходными. По аналогии с упруго-пластическими системами следует ожидать, что ускорения, возникающие в упруго-фрикционных системах, будут иметь меньшие величины, чем в чисто упругих системах. Отсюда следует, что сейсмическая реакция сооружения, запроектированного как УФС, должна быть ниже, чем сооружения традиционной конструкции. Общим для рассматриваемых систем является их повышенная, по сравнению с упругими системами, энергопоглощающая способность.

Для оценки эффективности конструктивных решений сейсмостойких зданий с УФС определяют их жесткостные и диссипативные характеристики. Для каждой конкретной УФС существует оптимальная величина силы трения, при которой рассеяние энергии будет наибольшим, поэтому необходимо находить рациональное сочетание значений силы сухого трения и жесткости системы для достижения наибольшего снижения инерционной нагрузки.

Такой системе сейсмозащиты, в связи с применением демпферов сухого трения, свойственны некоторые особенности, связанные со значительной нелинейностью, что делает необходимой экспериментальную проверку эффективности технических решений. Выбор данного средства сейсмозащиты и его реализация должны быть обоснованы как расчетно-теоретическими исследованиями, так и натурными испытаниями. Это позволит установить факторы, ответственные за эффективность и надежность выбранного средства сейсмозащиты, обеспечит пространственную жесткость и сейсмостойкость здания при возможных сейсмических воздействиях.

В публикациях [1, 2] изучалась работа системы сейсмоизоляции в виде УФС, использующаяся в каркасе полносборной конструктивной системы [3], в которой предусмотрено обрамление стеновых панелей и плит перекрытия рамками из металлического уголка для реализации УФС. Рамки соединяются между собой с помощью высокопрочных болтов с образованием фрикционно-

подвижного соединения (рисунок 1).

Отверстия под высокопрочные болты в обрамлении элементов каркаса выполняются овальной формы, что дает возможность относительного смещения колонн и ригелей относительно друга при превышении предельного сдвигающего усилия, зависящего от усилия затяжки в резьбовом соединении, а также от фрикционных свойств материала прокладок, применяемых в УФС. При определенной величине деформации каркаса силы трения покоя в швах преодолеваются, и происходит взаимное проскальзывание элементов.

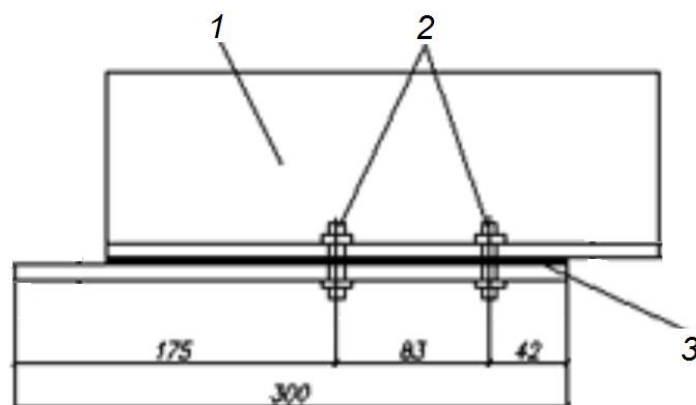


Рисунок 1 – Элемент упруго-фрикционной системы:

1 – уголок 100×100×8 мм; 2 – высокопрочные болты М16; 3 – прокладка из фрикционного материала (резина, паронит, фторопласт-4) 170×100 мм.

Металлический каркас воспринимает в основном вертикальные нагрузки и обеспечивает пространственную неизменяемость здания, а заполнение каркаса активно участвует в работе на горизонтальные сейсмические нагрузки. Таким образом, обеспечивается высокий уровень надежности системы.

Тепловую защиту здания можно реализовать за счет использования навесных фасадов – наружных стен, выполненных из нескольких слоев, состоящих из несущей внутренней плиты, утеплителя, воздушной прослойки и наружной стеновой панели.

Требования к материалу, заполняющему несущие панели, сводятся к правильному сочетанию теплотехнических и прочностных характеристик, таких как коэффициент теплопроводности λ , плотность ρ , модуль упругости E и пределы прочности при сжатии $R_{сж}$ и изгибе $R_{изг}$.

Требованиям удовлетворяют, например, ячеистые бетоны, обладающие малыми коэффициентами теплопроводности и низкой плотностью при достаточных прочностных характеристиках. Поэтому в качестве материалов для заполнения плит рассматриваемой УФС использовались пено- и полистиролбетон, а в качестве армирования – стальная либо пластмассовая сетка.

Некоторые физико-механические характеристики применяемых материа-

лов согласно ГОСТ 18105-2010, ГОСТ 10180-90, ГОСТ 24452-80 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики применяемых материалов

Наименование образцов	ρ , кг/м ³	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	E , МПа	λ , Вт/(м·К)
Пенобетон	894	3,27	0,52	1060	0,225
Пенобетон с полипропиленовой фиброй	913	3,7	0,575	1446	0,289
Пенобетон с базальтовой фиброй	915	3,85	0,57	1401	0,281
Пенобетон со стальной фиброй	1046	4,82	0,81	1757	0,371
Полистиролбетон	493	1,83	0,39	639	0,092

Соответственно, по результатам сравнения наиболее предпочтительным материалом является пенобетон с добавлением полипропиленовой или базальтовой фибры.

В работе [2] экспериментально и с помощью методов численного моделирования показана работоспособность стеновых панелей и плит перекрытия из пенобетона, обрамленных металлическим профилем для реализации УФС при проектировании и строительстве сейсмостойких зданий.

Использование УФС представляется научно и экономически обоснованным способом повышения устойчивости зданий и сооружений. Однако, такие соединения мало применяются в строительной практике по причине недостаточной изученности работы конструктивных элементов подобных систем, в том числе под воздействием динамических нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Щербин, С.А.** Повышение надежности и сейсмостойкости зданий за счет применения упруго-фрикционных соединений / С.А. Щербин, Л.С. Чигринская // Сборник научных трудов АГТА. – 2013. – Т. 1. – № 1. – С. 202–212.
2. **Чигринская, Л.С.** Использование обрамленных металлическим профилем панелей при строительстве сейсмостойких зданий / Л.С. Чигринская, С.А. Щербин // Вестник ТГАСУ. – 2013. – № 3 (40). – С. 140–149.
3. **Патент № 2340751 Российская Федерация, МПК Е04Н009/02.** Сейсмостойкое здание : № 2007130758/03 : заявл. 13.08.2007 : опубл. 10.12.2008 / Бержинский Ю.А., Иванькина Л.И., Саландаева О.И., Чигринская Л.С. ; заявитель ООО "Спецпроект". – 4 с. : ил. – Текст : непосредственный.