

УДК 624.04

ЭФФЕКТИВНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ЛЕНТОЧНО-ТРОСОВОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ

Шеин Александр Иванович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика».

Чуманов Александр Васильевич,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

старший преподаватель кафедры «Механика».

Аннотация

В статье описываются способы определения рационального направления лент (тросов) крепления ленточного-тросового гасителя колебаний сооружений на примере купольной конструкции, основанные на различных подходах к выявлению направлений максимальных перемещений узлов. Приведены результаты численных исследований для конструкции открытого купола. На основе результатов динамических расчетов колебаний купола (сравнений перемещений наиболее податливого узла открытого купола с разными вариантами крепления гасителя) проведен анализ вариантов расположения гасителя колебаний. По результатам численных экспериментов установлен наиболее эффективный способ определения наклона ленты гасителя к защищаемой конструкции.

Ключевые слова: купольные сооружения, сейсмическая защита, гаситель колебаний.

EFFECTIVE ARRANGEMENT OF THE BAND-ROPE VIBRATION DAMPENER

Shein Alexander Ivanovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Doctor of Sciences, Professor, Head of the department “Mechanics”.

Chumanov Alexander Vasilyevich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Senior Lecturer of the department “Mechanics”.

Abstract

The article describes the methods of determining the rational direction of the tapes (cables) of fastening a tape-cable vibration dampener of structures on the example of a dome structure, based on various approaches to identifying the directions of maximum movements of nodes. The results of numerical studies for the construction of an open dome are presented. Based on the results of dynamic calculations of dome vibrations (comparisons of the movements of the most malleable node of the open dome with different options for mounting the damper), an analysis of the options for the location of the vibration damper is carried out. Based on the results of numerical experiments, the most effective method for determining the inclination of the extinguisher tape to the protected structure has been established.

Keywords: dome structures, seismic protection, vibration dampener.

Введение. В работах [1, 2, 3] описаны принципы работы ленточного-тросового гасителя колебаний купольных зданий и сооружений. Принцип работы данного гасителя колебаний основан на установке в узлы конструкции односторонних связей. В статьях [2, 3] опубликованы результаты численных экспериментов с различными вариантами крепления, выбор которых был основан на определении наиболее податливых к перемещению узлов, выбранных по результатам сравнительного анализа. При этом вектор направления гашения не оптимизировался, а место установки катушки ленточного гасителя всегда выбиралось у одного из опорных узлов купольной

конструкции, для того, чтобы гаситель занимал как можно меньше полезного подкупольного пространства.

Два способа выбора направления и точки приложения односторонней связи. Предположим, что пространство купола позволяет установить гаситель в любой точке. Тогда для определения рационального направления воздействия односторонней связи гасителя необходимо найти вектор наиболее податливого направления перемещения защищаемого узла. Можно выделить два способа определения направления перемещения узла: из анализа откликов конструкции на единичные разнонаправленные воздействия на узел или из анализа стоячих волн собственных колебаний. Ниже приведены алгоритмы этих двух способов.

1. Выбор направления по результатам оценки перемещений от единичных воздействий в трех взаимно-перпендикулярных плоскостях. Для этого в узел поочередно в каждой из взаимно-перпендикулярных плоскостей прикладываем сосредоточенную нагрузку под переменным углом к одной из координатных осей, изменяя данный угол с заданным шагом (рис. 1).

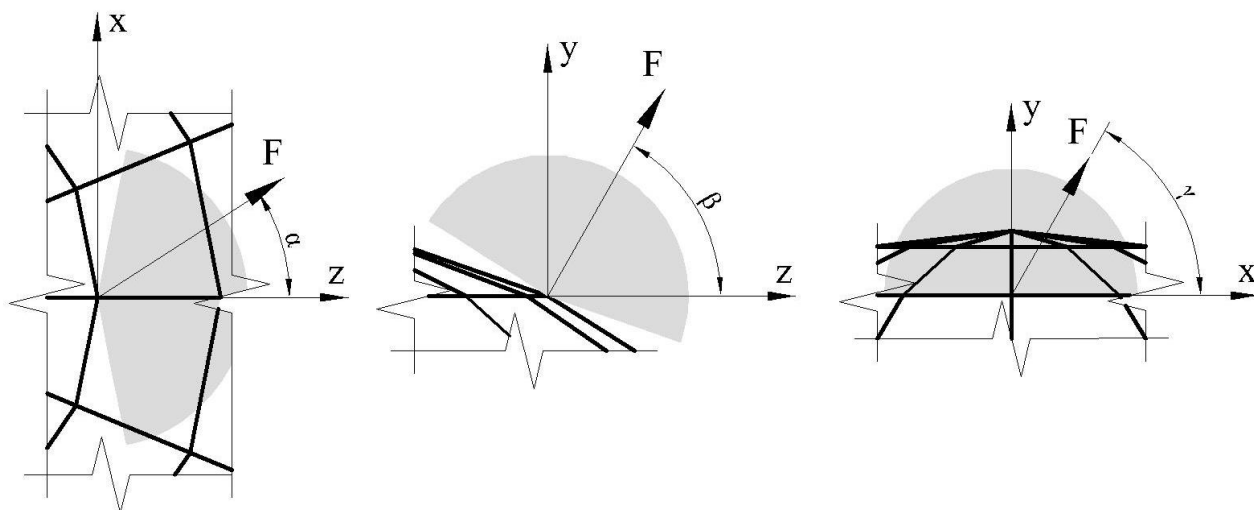


Рисунок 1 – Расчетная схема приложения сосредоточенной нагрузки в узел конструкции (серым цветом обозначен сектор приложения нагрузки)

1а. Сравниваем результаты перемещения узла с различными значениями углов и выбираем угол, которых обеспечивает наибольшее перемещение узла.

1б. Три полученные силы, лежащие во взаимно-перпендикулярных плоскостях, раскладываем по проекциям на оси координат, складывая одноименные проекции. Геометрическая сумма полученных суммарных проекций (F_x, F_y, F_z) является вектором силы F , приложенной в узел, модуль которой равен:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}. \quad (1)$$

1в. Направление вектора односторонней связи определяем через направляющие косинусы полученной силы:

$$\cos_x = \frac{F_x}{F}; \cos_y = \frac{F_y}{F}; \cos_z = \frac{F_z}{F}. \quad (2)$$

В результате получаем направляющие косинусы для ориентировки направления троса ленточно-тросового гасителя колебаний.

2. Выбор направления вектора односторонней связи по результатам динамического расчета конструкции без гасителя колебаний с помощью анализа основной моды колебания конструкции, т.е. по графикам стоячих волн собственных колебаний купола.

2а. Определяем перемещения узлов при основной моде колебаний конструкции U_x, U_y, U_z .

2б. Определяем полное линейное перемещение наиболее податливого узла

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \quad (3)$$

2в. Определяем направляющие косинусы для ленты (троса) гасителя:

$$\cos_x = \frac{U_x}{U}; \cos_y = \frac{U_y}{U}; \cos_z = \frac{U_z}{U}. \quad (4)$$

Численная реализация подходов. Данные алгоритмы реализованы в численных экспериментах по гашению колебаний купольной конструкции с

высотой стрелы подъёма $f = 15$ метров и диаметром купола $L = 30$ метров (рис. 2) на основе 3 вариантов крепления гасителя (рис. 3).

Первый вариант крепления гасителя взят из работы [2] в качестве сравнения разработанных ранее вариантов крепления с новыми. Второй и третий варианты крепления ленты (троса) получаем из первого и второго способов соответственно. Ленты размещаем в 2 взаимно-перпендикулярных направлениях (всего 4 ленты на один купол).

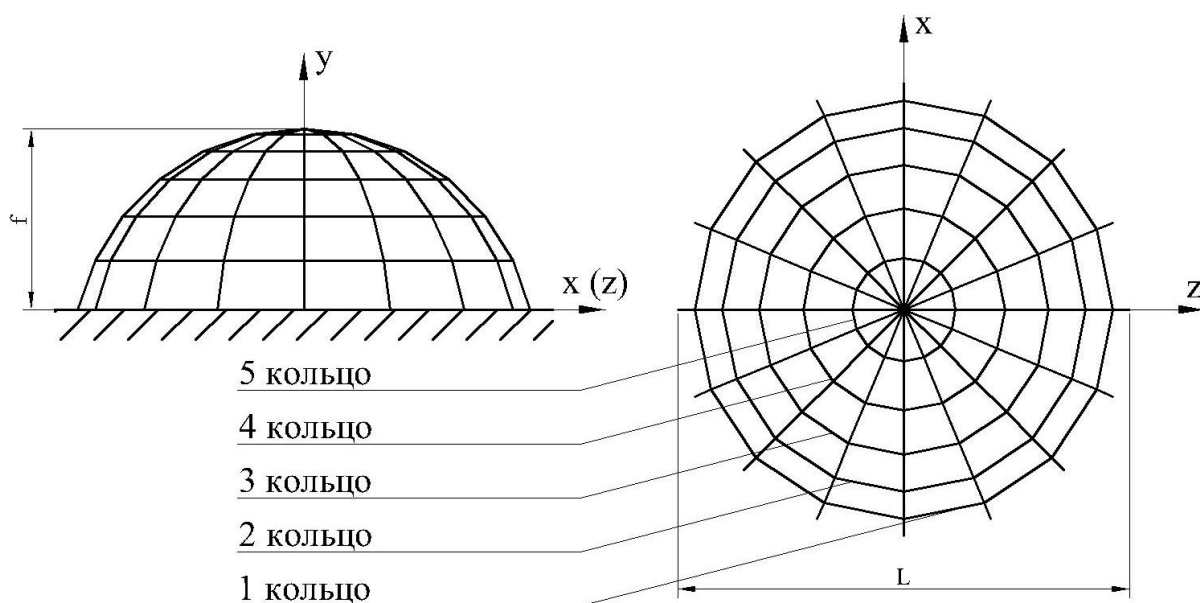


Рисунок 2 – Расчетная схема открытого купола

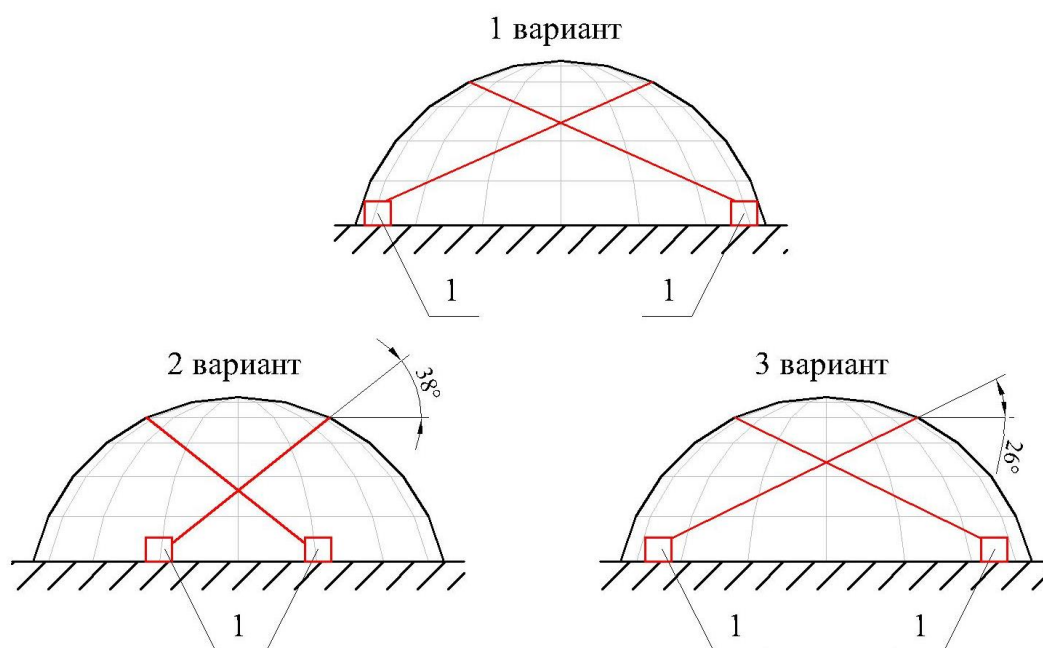


Рисунок 3 – Варианты крепления гасителей (1-инерционные катушки)

Стоит отметить, что и результаты динамического расчета и результаты анализа основной моды колебаний показывают на наибольшую податливость конструкции для (табл.1) одного и того же кольца купола (в данном примере – 4 кольцо).

Примечательно, что при определении направления ленты (троса) первым способом, направление силы, приложенной в плоскости параллельной основанию купола (Oxz), при которой перемещение является максимальным, является продолжением оси горизонтального элемента купола (любого из 2 элементов), что позволяет варьировать расположение катушки колебаний на плане сооружения.

Таблица 1 – Перемещения узлов купольной конструкции, см

Номер пояса	1 способ (max)	2 способ
1	2.0	3.7
2	5.6	9.0
3	9.2	13.1
4	11.1	14.6
5	10.2	13.4
полюс	8.5	11.8

В численных экспериментах конструкцию подвергали сейсмическому воздействию, соответствующему землетрясению в г. Газли (Узбекистан) в 1976 г. (рис.4).

Графики перемещения (рис.5) наиболее податливого узла, защищаемого гасителем колебаний, установленного тремя вариантами, показывают, что оба предложенных варианта направления лент являются более эффективными по отношению к предыдущим разработанным вариантам крепления гасителя. Максимальное перемещение узла при первом варианте гасителя 10,66 см, при втором варианте 5,63 см (уменьшение на 47,19%), при третьем варианте 7,50 см (уменьшение на 29,64%). В начальной фазе колебаний, при малых

перемещениях, значительного эффекта не наблюдается (до момента времени 1,8 с).

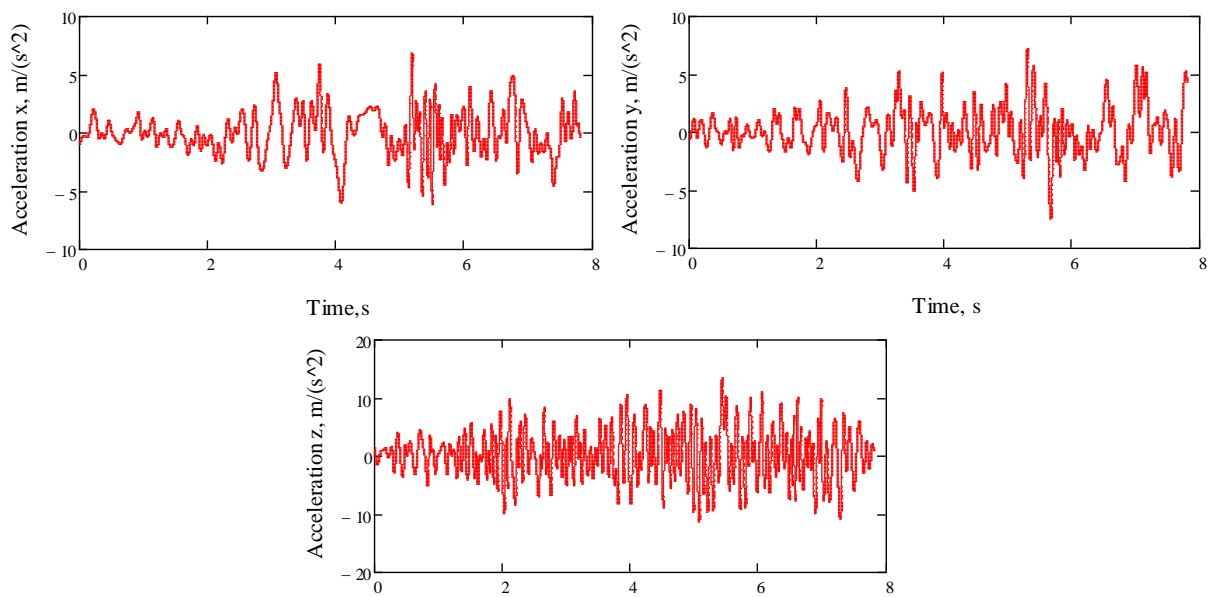


Рисунок 4 – 3D-акселерограмма землетрясения в г. Газли (Узбекистан)

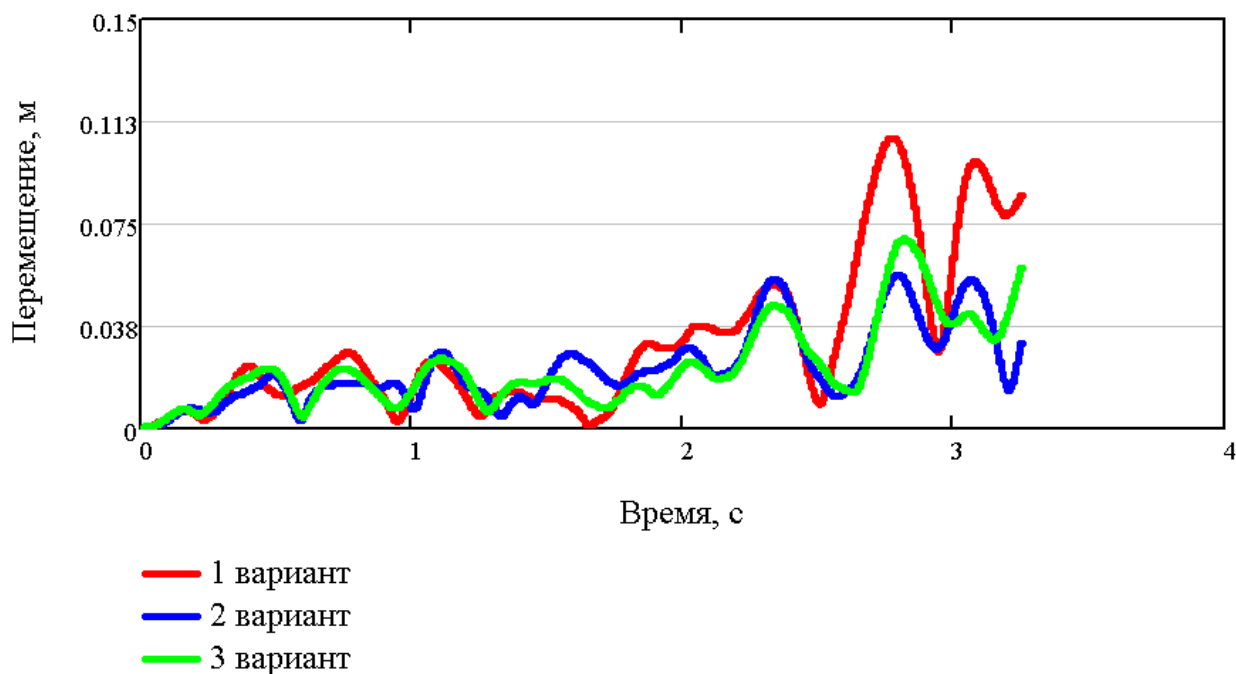


Рисунок 5 – Результаты расчета

Выводы. На основе результатов динамических расчетов колебаний купола (сравнений перемещений наиболее податливого узла открытого купола с разными вариантами крепления гасителя) проведен анализ эффективности трех вариантов расположения гасителя колебаний. По результатам численных экспериментов установлен наиболее эффективный способ определения наклона ленты гасителя к защищаемой конструкции. Таким способом является выбор направления крепления лент по результатам определения максимальных перемещений от единичных воздействий в трех взаимно-перпендикулярных плоскостях.

Библиографический список:

1. Шейн А.И., Чуманов А.В. Инерционно преднатяжительная полиэстерно-ленточная система гашения колебаний циклически симметричных конструкций купольного типа [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2019. № 10. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no8/matematiceskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/10.1/at_download/file
2. Шейн А.И., Чуманов А.В., Монахов В.А. Ленточная система гашения колебаний для закрытых куполов // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 1 (46). С. 122-129.
3. Шейн А.И., Чуманов А.В. Колебания закрытых куполов с ленточной системой гашения колебаний [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2020. №12. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no12/matematiceskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/12.1/at_download/file