

УДК 624.04

**ИНЕРЦИОННО ПРЕДНАТЯЖИТЕЛЬНАЯ ПОЛИЭСТЕРНО-
ЛЕНТОЧНАЯ СИСТЕМА ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЦИКЛИЧЕСКИ
СИММЕТРИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КУПОЛЬНОГО ТИПА**

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,*

аспирант, ассистент кафедры «Механика».

Аннотация

В статье описывается новый способ гашения колебаний пологих куполов, образованных циклически-симметричными несущими системами. Подобные конструкции часто используются в радиолокационной технике. Особенности точной работы этих конструкций и характерное крепление купола определяют выбранный способ гашения колебаний - инерционно преднатяжительную полиэстерно-ленточную систему. Описывается алгоритм работы этой системы. Алгоритм проиллюстрирован расчетом системы гашения колебаний купола при взрывных воздействиях. Приводится краткий обзор литературы по другим способам гашения колебаний.

Ключевые слова: циклически-симметричные рамы, колебания, гашение колебаний, локатор, инерционная катушка, полиэстерная лента, преднатяжитель

INERTIAL PRE-TENSIONING POLYESTER-TAPE VIBRATION DAMPING SYSTEM OF CYCLICALLY SYMMETRIC DOME-TYPE STRUCTURES

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,

Post-graduate student, Assistant of the Department "Mechanics".

Annotation

The article describes a new method of damping oscillations of flat domes formed by cyclically symmetric load-bearing systems. Similar designs are often used in radar technology. The features of the precise operation of these structures and the characteristic fastening of the dome predetermine the chosen method of vibration damping-inertial pre-tensioning polyester-tape system. The algorithm of the system is described. The algorithm is illustrated by the calculation of the dome vibration damping system under explosive influences. A brief review of the literature on other methods of vibration damping is given.

Keywords: cyclically symmetric frames, oscillations, vibration damping, locator, inertial coil, polyester tape, pre-tensioner

Для повышения устойчивости работы радиолокационной техники целесообразно иметь возможность гашения колебаний, вызванных сейсмическими или взрывными воздействиями.

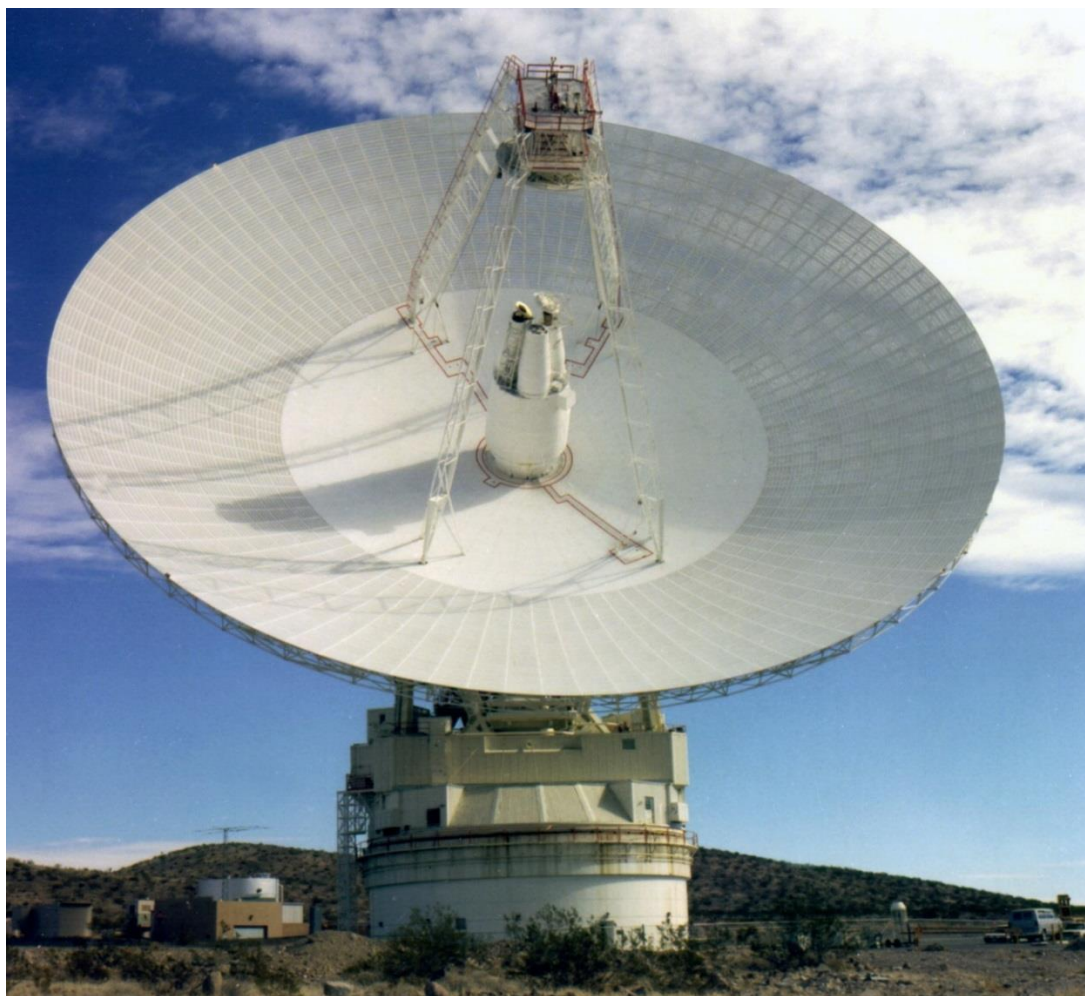


Рис. 1. Виды рабочей поверхности и несущей системы локатора

Активная часть локатора (антенны, телескопа), как правило, представляет собой вогнутую поверхность параболоида вращения, сформированную стержневой циклически симметричной несущей системой. Размещение гасителей на поверхности локатора представляет собой проблему и в плане искажения считываемой информации (сигналов) и в плане эффективности работы демпфирующей системы.

Исследованию работ по гашению колебаний сооружений башенного типа посвящены работы [1-7]. В [1] рассмотрен активный жидкостный гаситель колебаний при гармонических внешних воздействиях, там же и в [2] описан алгоритм его действия. В статье [3] рассмотрена работа активного жидкостного гасителя колебаний при нестационарных сейсмических воздействиях и произведено сравнение его возможностей с возможностями пассивного гасителя колебаний. В статье [4] рассматривалось гашение колебаний рамных каркасов с помощью пластических накладок, установленных на элементы каркаса. Несколько различных приемов гашения колебаний опубликовано учеными кафедры механики ПГУАС в статьях [5-7].

В данной работе предлагается новая инерционно преднатяжительная полиэстерно-ленточная система гашения колебаний. Ленты из такого материала практически не влияют на «зрение» локатора. Крепление инерционных катушек с преднатяжителями осуществляется в крайних точках контура (обода) циклически симметричной системы или в крайних и центральной точках.

При взрывной нагрузке или при сейсмической нагрузке параболоидная поверхность локатора начинает деформироваться. Направление движения поверхности параболоида зависит от положения центра взрыва – спереди или сзади локатора. Для исключения колебательного движения локаторов при взрывных воздействиях используем ленточные гасители колебаний. При взрыве противоположные узлы крепления лент гасителя начинают сближаться или, наоборот, удаляться по отношению друг к другу.

Лента пассивной системы безопасности, оснащенная инерционными катушками, преднатяжителями (электрическими или пиропатронными) и

торсионными предотвращает развитие колебаний. Материал ленты - волокна полиэстера. Этот материал отличается высокими показателями на разрыв и способен выдерживать высокие нагрузки.

Эффективность работы гасителя во многом зависит от их правильного натяжения при взрыве сзади или спереди от локатора. Инерционная катушка самостоятельно регулирует натяжение ленты, выбирая лишнюю часть. При взрыве сзади применяются преднатяжители, которые натягивают ремень вместе с тем, как поверхность параболоида вращения совершает инерционное движение в сторону взрыва. То есть они предотвращают получение ускорения в обратном (противоположном направлению взрыва) направлении. Преднатяжители наматывают отрезки ленты длиной 100-150 мм в течение 10-15 мс. Если сила, воздействующая на ленту, больше, чем предельно допустимое усилие натяжения, то процесс натяжения останавливается. Эти устройства работают на опережение и для этого используются датчики ударной волны, подобные датчикам удара, применяемым в конструкции подушек безопасности автомобиля. Работают преднатяжители так: в момент фиксации ударной волны при взрыве датчики регистрируют его и подают сигнал на блок управления. Тот в свою очередь задействует исполнительные механизмы, и они мгновенно натягивают ленту, исключая ускоренное смещение узлов крепления катушек друг от друга. Преднатяжители бывают двух типов – пиропатронные и электроприводные.

Вытягивание ленты осуществляется плавным движением. Резко размотать ленту инерционной катушки не получится, поскольку механизм при быстром разматывании блокирует ее. Таким образом, гасится накопленная энергия деформации купола.

При взрыве спереди срабатывают инерционные катушки и (при необходимости) преднатяжители, не давая куполу локатора шире раскрыться или не давая резко распрямлять после некоторого «сплющивания» тарелки локатора.

Для предотвращения обрыва ленты и получения эффекта рассеивания энергии ударной волны будем использовать торсионы. При достижении определенного усилия на ленту, торсион начинает скручиваться, проворачивая катушку и отматывая полиэстерную ленту. Из-за этого и происходит плавное гашение усилия в ленте.

Смоделируем стержневую систему локатора методом конечных элементов (рис.2).

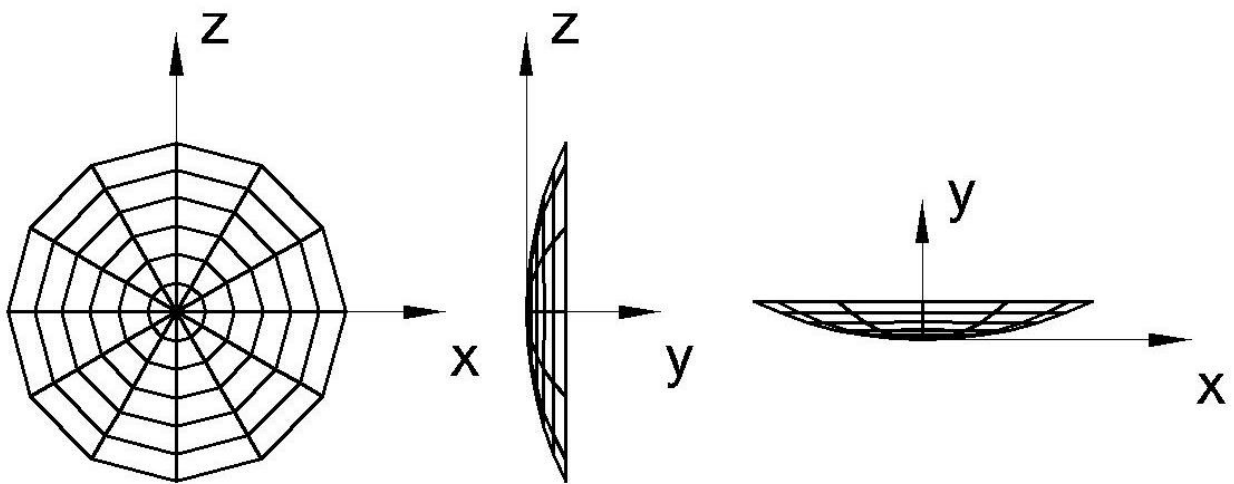


Рисунок 2 – Схема конструкции локатора

Модель ударного воздействия воздушной волны представляет собой сосредоточенные силы, приложенные к узлам стержневой системы, направленные по оси y . При этом, в связи с природой возникновения данного воздействия, величина нагрузки от ударной волны является непостоянной величиной, которая уменьшается с течением времени и достигает нуля через отрезок времени t_1 (рис.3) после достижения конструкции фронта воздушной ударной волны.

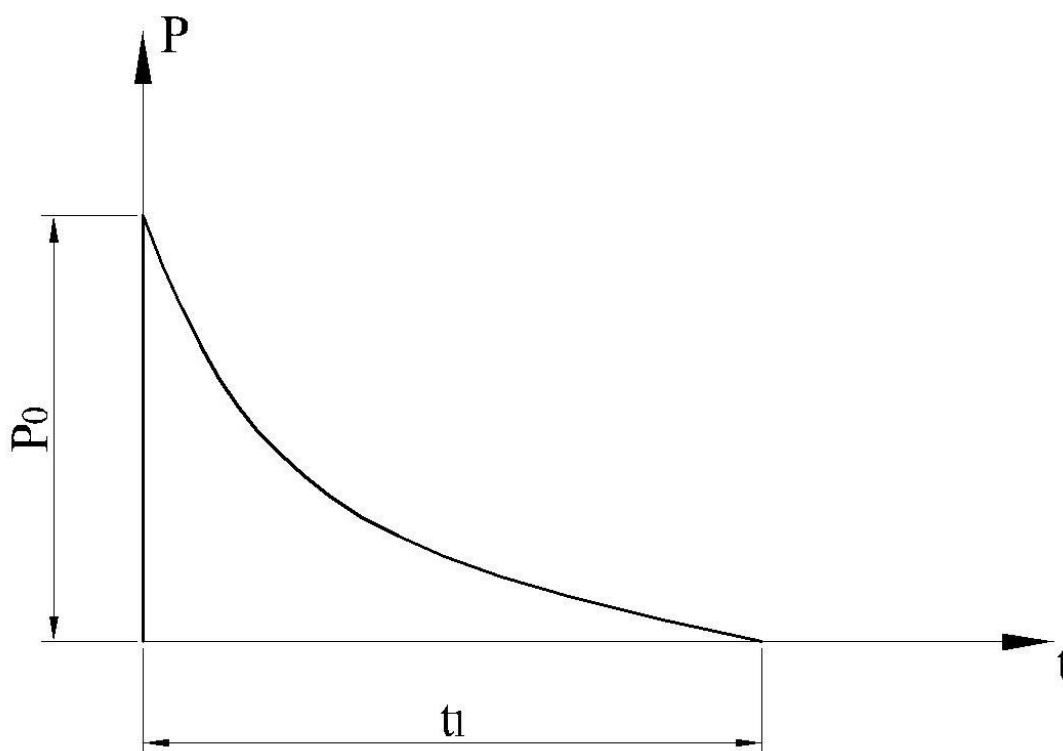


Рисунок 3 – График зависимости нагрузки от ударной волны от времени

Нагрузка от ударной волны зависит от тротиллового эквивалента взрывчатого вещества G , расстояния от эпицентра взрыва до конструкции R и места взрыва (наземный или воздушный).

Для локаторов нагрузка образуется от давления скоростного напора:

$$\Delta P_{\text{ск}} = C_x \cdot \frac{\rho_{\phi} \cdot V_{\phi}^2}{2},$$

где C_x – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления;

ρ_{ϕ} , V_{ϕ} – плотность и скорость движения воздуха во фронте ударной волны соответственно.

Плотность и скорость воздуха во фронте волны определяются по формулам:

$$\rho_{\phi} = \rho_0 \cdot \frac{1 + k \cdot \frac{\gamma + 1}{2 \cdot \gamma}}{1 - k \cdot \frac{\gamma + 1}{2 \cdot \gamma}},$$

$$V_{\phi} = \frac{V_{\text{зв}}}{\gamma},$$

где ρ_0 – плотность среды, для воздуха $1,28 \text{ кг/м}^3$;

$$k = \frac{\Delta P_{\phi}}{P_0},$$

$\gamma = 1,4$ для воздуха,

$V_{зв}$ – скорость звука в среде, для воздуха 331,46 м/с.

P_0 , ΔP_{ϕ} – давление воздуха и избыточное давление во фронте воздушной ударной волны.

Избыточное давление во фронте воздушной ударной волны рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_{\phi} = a_1 \cdot \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + a_2 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{G}}{R} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{G}}{R} \right)^3,$$

- для воздушного взрыва $a_1 = 76$; $a_2 = 246$; $a_3 = 650$;

- для наземного взрыва $a_1 = 95$; $a_2 = 390$; $a_3 = 1300$.

Зависимость избыточного давления от времени:

$$\Delta P(t) = \Delta P_{\phi} \cdot \left(1 - \frac{t}{t_1} \right)$$

Время действия ударной волны определяется по формуле:

$$t_1 = 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{G} \cdot \sqrt[2]{R}.$$

Проведем расчет для наземного взрыва 15 т тротилового эквивалента на расстоянии 200 м от локатора (радиус крайнего кольца локатора 10 м, высота стрелы подъема 2,3 м) . Форма деформация от воздушной ударной волны изображена на рис. 4.

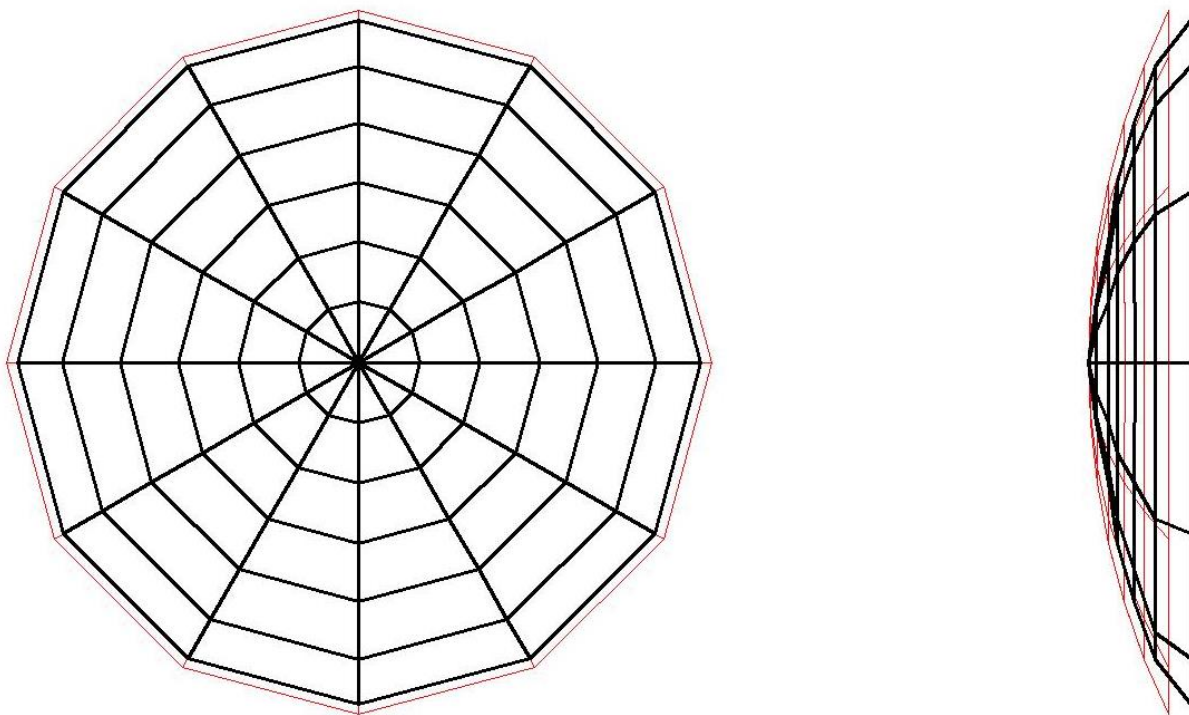


Рисунок 4 – Форма деформации под воздействием воздушной ударной волны

Введем модель предложенного выше гасителя колебаний, представляющую собой стержневой конечный элемент, работающий только на осевое растяжение (рис.5) на крайнем кольце локатора в 2 перпендикулярных направлениях. При этом этот конечный элемент вводится только при условии:

$$|\bar{a}_i| - |\bar{a}_j| > a_0,$$

где a_0 – ускорение, при котором лента перестает разматываться.

Вывести гаситель из расчета необходимо при условии:

$$|v_i| - |v_j| \leq 0.$$

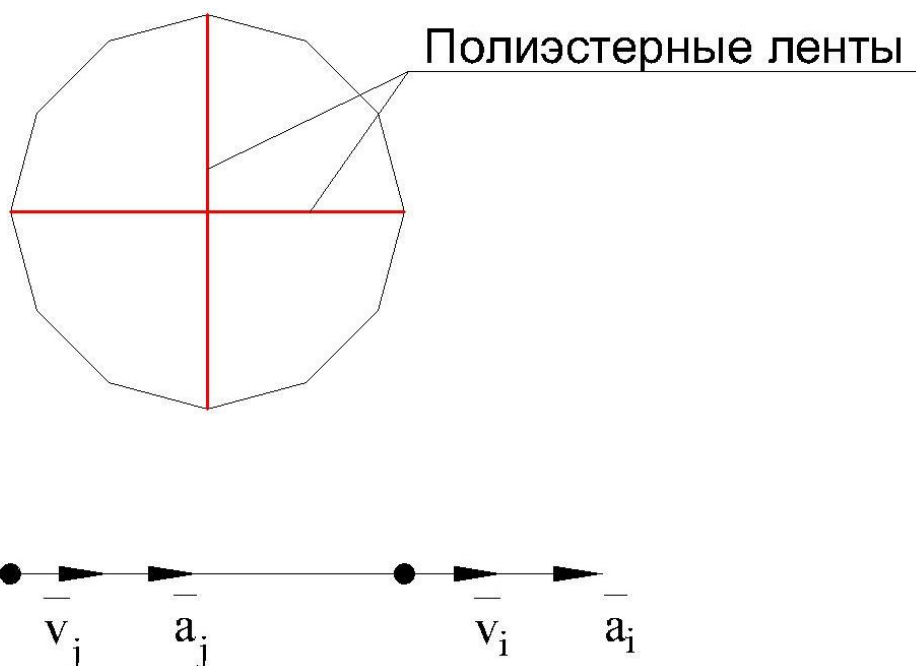


Рисунок 5 – Схема установки гасителя и положительные направления скоростей и ускорений узлов модели гасителя

Результаты расчета показывают что при воздействии воздушной ударной волны на конструкцию локатора с гасителем колебаний значительно уменьшается амплитуда колебаний (до 90 %), начиная еще с фазы воздействия нагрузки(рис.6). Но на уровнях других колец наблюдается незначительное уменьшение амплитуды колебаний. Следовательно для более эффективного использования данного гасителя необходимо устанавливать его на нескольких уровнях конструкции.

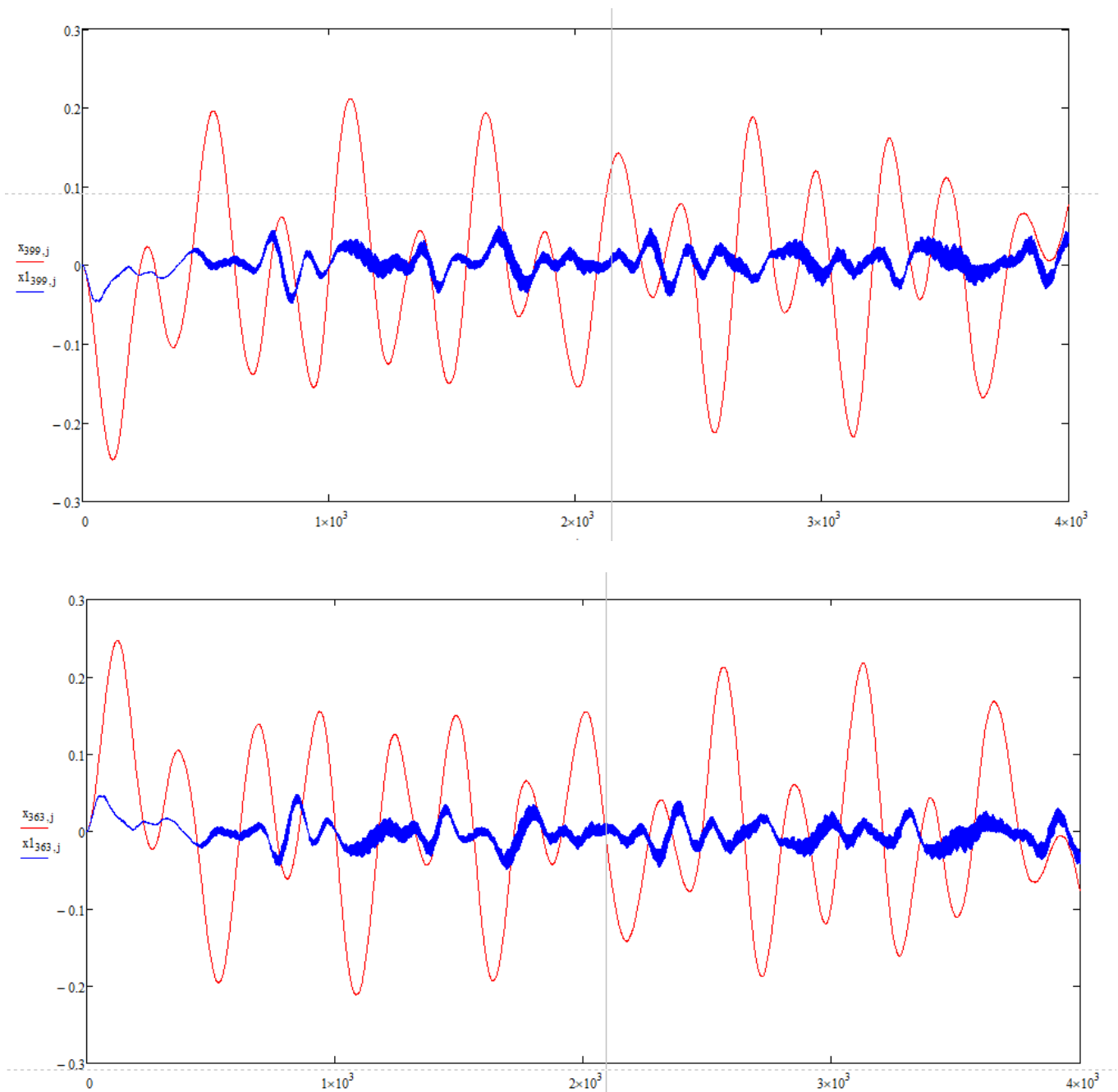


Рисунок 6 – Графики перемещений узлов локатора, в которых установлен гаситель колебаний

Литература

1. Шеин А.И., Шмелёв Д.А. Активный жидкостный гаситель колебаний высотных сооружений при сейсмических воздействиях. // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. №1.
2. Шеин А.И., Шмелёв Д.А. Жидкостный гаситель колебаний зданий и сооружений: Патент 132463 Российская Федерация. 2013. Бюл. №26.

3. Шейн А.И., Шмелев Д.А. Оценка эффективности активного жидкостного гасителя колебаний высотных сооружений при нестационарных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. №1(252). С. 59-63.

4. Шейн А.И., Чуманов А.В. Численные эксперименты по гашению колебаний рамных каркасов с помощью пластических накладок, установленных на элементы каркаса [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2018. №7. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no7/stroitel'naya-mehanika/7.2/at_download/file

5. Шейн А.И. Гашение колебаний высотных сооружений. Часть 1. Современное состояние проблемы [Текст] / А.И. Шейн, С.В. Бакушев, М.Б. Зайцев, О.Г. Земцова/ Пенза: Изд-во ПГУАС. 2011. – 234 с.

6. Шейн А.И., Земцова О.Г. Гашение колебаний высотных сооружений, ч. 2. Математическое моделирование объектов с гасителями при ветровой нагрузке. Пенза, ПГУАС, 2012, 131 с.

7. Шейн А.И. Снижение уровня колебаний системы «упругое основание – высотное сооружение» с помощью нелинейного динамического гасителя [Текст] / А.И. Шейн, О.Г. Земцова / Региональная архитектура и строительство. 2011. №2(11). С. 83-91.