

УДК 699.841

**ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ГАШЕНИЮ КОЛЕБАНИЙ
РАМНЫХ КАРКАСОВ С ПОМОЩЬЮ ПЛАСТИЧЕСКИХ НАКЛАДОК,
УСТАНОВЛЕННЫХ НА ЭЛЕМЕНТЫ КАРКАСА**

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 рассматривается гашение колебаний рамы каркасного здания с пластическими накладками на примере П-образной рамы 3х6 м. В качестве материала накладок был принят алюминий, обладающий высокой пластичностью. Выполнен расчет перемещений рамы методом конечных элементов при свободных колебаниях с разными толщинами алюминиевых листов и была выявлена закономерность изменения времени полного гашения колебаний от толщины накладок. Рассмотрены колебания рамы при различных расположениях накладок в раме и сделано сравнение расхода материала накладок. Произведен расчет перемещений рамы под действием периодической нагрузки с частотой, близкой к частоте собственных колебаний рамы, без пластических накладок и с ними, и показан характер колебаний рамы с накладками при явлении пульсации.

Ключевые слова: колебания, гашение колебаний, пластические накладки, метод конечных элементов.

NUMERICAL EXPERIMENTS ON THE DAMPING OF VIBRATIONS OF FRAMEWORKS WITH THE PLASTIC LININGS INSTALLED ON ELEMENTS OF FRAMEWORK

Shein Alexander Ivanovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Doctor of Sciences, Professor, Head of the department "Mechanics".

Chumanov Alexander Vasilevich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

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

Abstract

In the article, the vibration damping of frame buildings' frame with plastic linings is considered on the example of rectilinear frame 3x6 m. Aluminum was adopted as a material of linings, which has a high plasticity. The vibration of the frame is calculated by finite element method at free vibration with different thickness of aluminum plates and the relation of the change of time for complete damping of the vibrations from the thickness of the linings. The vibrations of the frame are considered for various positions of the linings and a comparison is made between the consumption of the linings' material. The vibration of the frame is calculated under the action of a periodic load with a frequency close to frequency of the natural of the frame, without plastic linings and with them, character of the vibrations of the frame with plastic linings is shown when pulsation occurs.

Keywords: vibration, vibration damping, plastic linings, finite element method.

Каркасные здания в период эксплуатации могут быть подвержены экстремальным динамическим нагрузкам из-за ураганных ветровых или сейсмических воздействий, что вызывает колебательное движение каркаса со значительными перемещениями и деформациями колонн и ригелей. Проблема гашения и предотвращения колебаний разрабатывалась в трудах многих

ученых [1-19]. Ряд работ по различным приемам гашения колебаний опубликовано учеными кафедры механики ПГУАС [20-29]. Для гашения колебаний и предотвращения резонансных перемещений элементов каркаса в данной работе предлагается использовать систему защиты «упругий сердечник – пластические накладки».

Данный метод основан на том, что при колебательном движении «упругий сердечник» будет работать в пределах упругости материала, а в «пластических накладках» при сгибании и разгибании стержня будут создаваться силы сопротивления движению, снижающие упругую энергию колебательного движения, что приводит к гашению колебаний [25].

Для оценки демпфирующего эффекта были проведены численные эксперимент.

1. П-образную раму 3х6 м, выполненную из стальных двутавров №30 с пластическими накладками, подвергли статическому нагружению горизонтальной узловой силой $P=50000$ Н в верхний узел конструкции, т.е. смоделировали перемещения в раме, соответствующее нагрузке P , а затем внезапно сняли эту нагрузку, вызвав свободные колебания рамы. Начальное положение рамы изображено на рисунке 1.

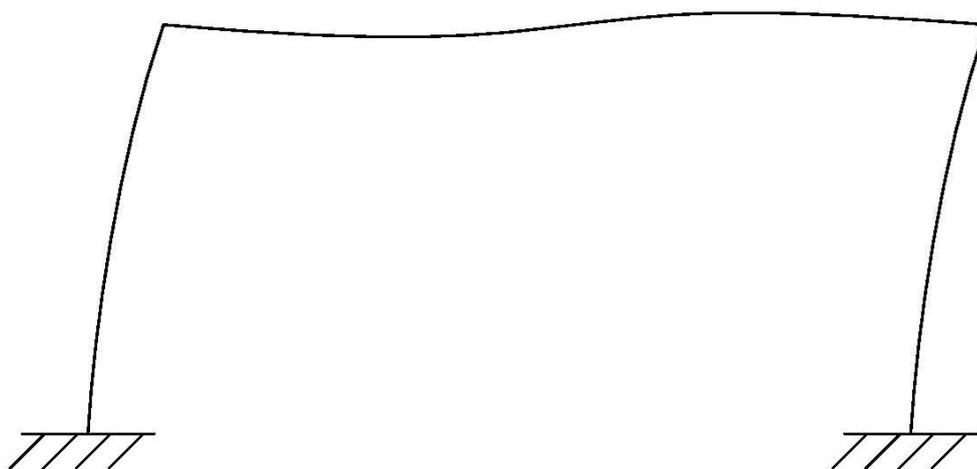


Рисунок 1 – Начальное положение рамы при моделировании свободных колебаний

В качестве материала пластических накладок был выбран алюминий, который отличается высокой пластичностью.

Моделирование поведения конструкции при колебаниях произведено методом конечных элементов. Уравнение движения рамы с накладками при свободных колебаниях имеет вид:

$$M\ddot{U} + KU = F ,$$

где M – матрица масс;

\ddot{U} – вектор ускорений;

K – матрица жесткости;

U – вектор перемещений;

F – вектор сил пластического торможения, который имеет вид

$$F = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \pm M_{pl} \\ \cdot \\ \cdot \\ \dots \\ 0 \\ 0 \\ \pm M_{pl} \end{pmatrix} ,$$

$$M_{pl} = 2\sigma_T \cdot b_H \cdot t_H \cdot \frac{h + t_H}{2} ,$$

где σ_T – предел текучести материала накладок, для алюминия равный 70 МПа;

b_H, t_H – ширина и толщина накладок соответственно;

h – высота сечения упругого ядра.

Проведены вычисления с разными толщинами накладок, результаты приведены на рисунках 1-3.

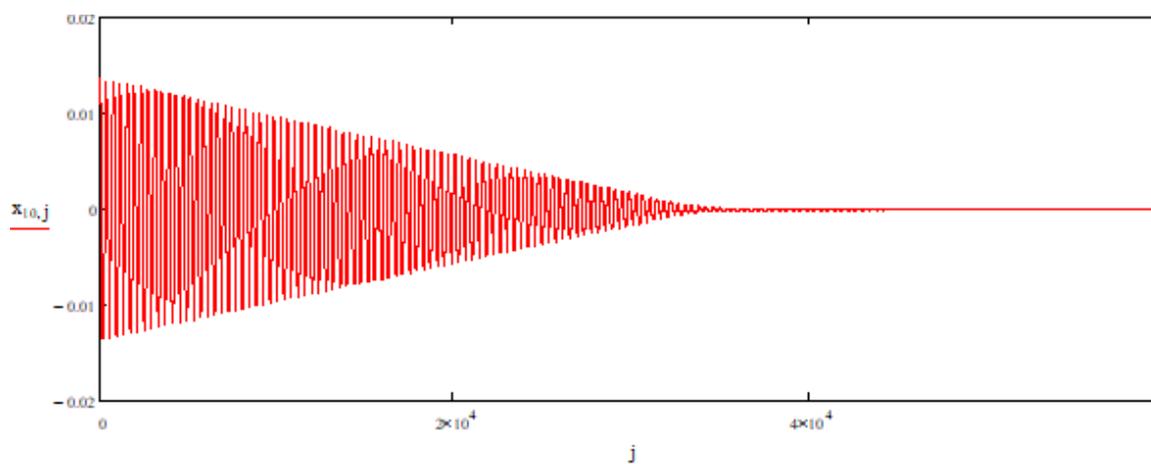


Рисунок 1 – График перемещений левого верхнего узла рамы при толщине накладок 0,5 мм

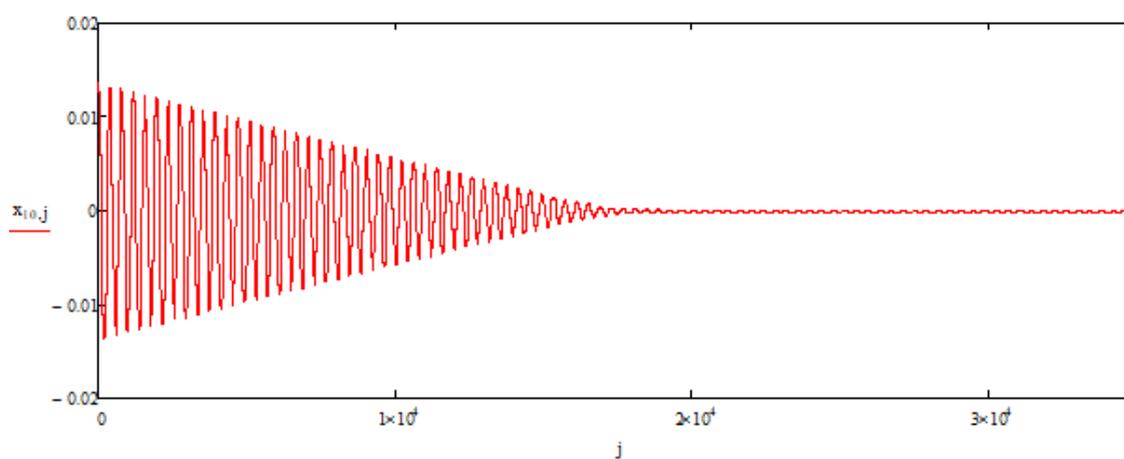


Рисунок 2 – График перемещений левого верхнего узла рамы при толщине накладок 1 мм

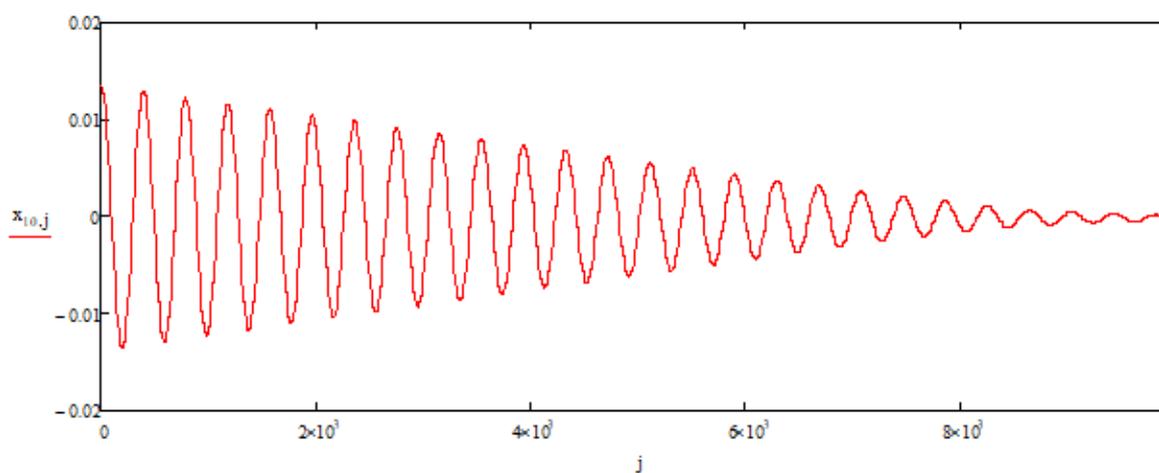


Рисунок 3 – График перемещений левого верхнего узла рамы при толщине накладок 1 мм

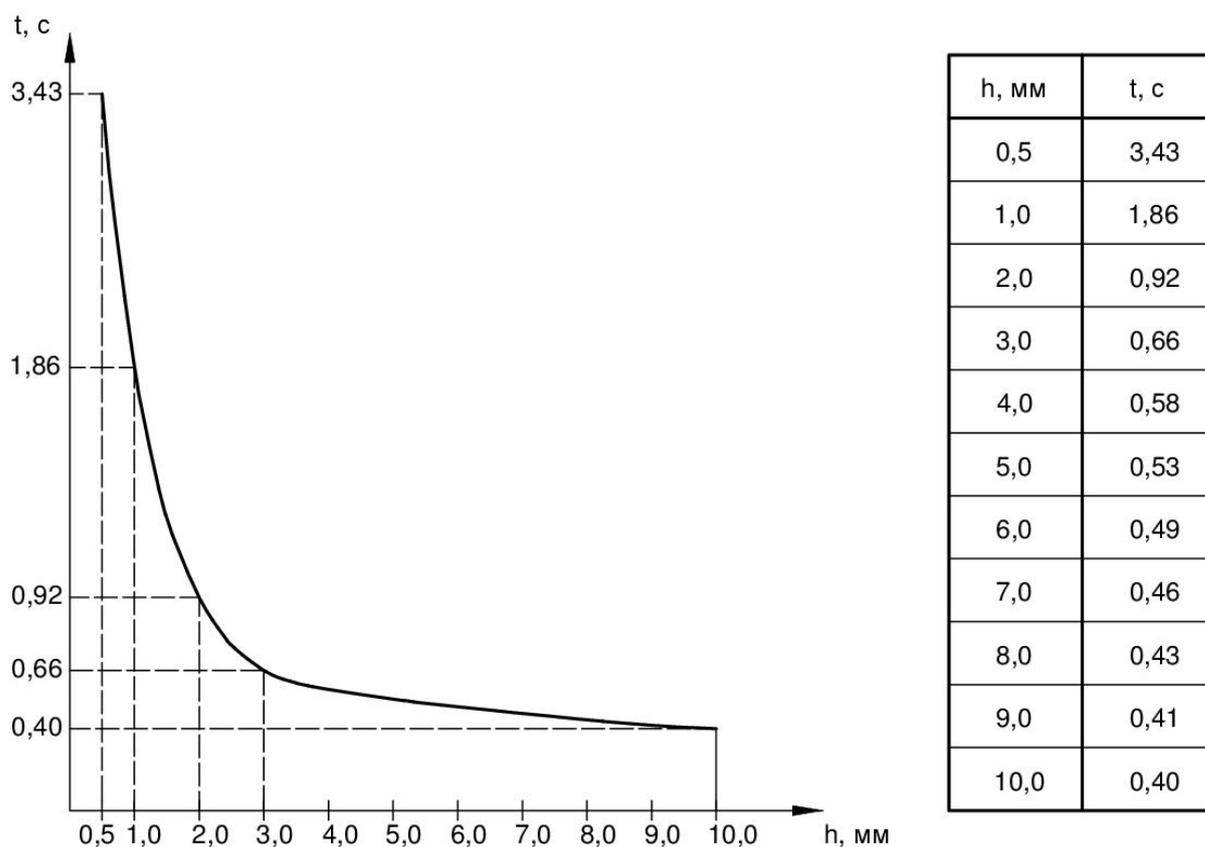


Рисунок 4 – График зависимости времени полного торможения конструкции рамы от толщины накладок

По результатам вычислений наблюдаем существенное уменьшение времени полного гашения колебаний в левой части графика (рисунок 4), что позволяет использовать наклейки небольшой толщины (3-4 мм).

2. Исходя из эпюр изгибающих моментов, образующихся во время колебания рамы (рисунок 5), было выдвинуто предположение, что наклейки, находящиеся в зонах наибольших изгибающих моментов (у опор рамы и узлов), больше участвуют в гашении колебаний, чем наклейки, находящиеся в зонах изгибающих моментов небольшого значения.

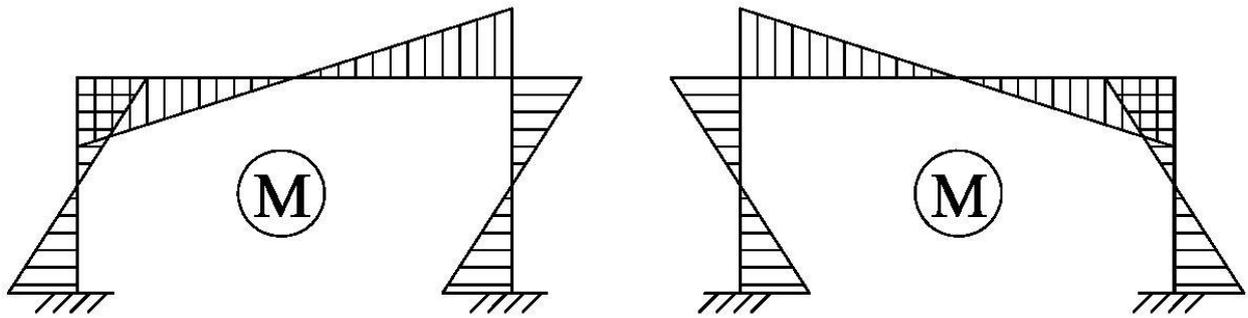


Рисунок 5 – Эпюры изгибающих моментов во время колебания рамы

Расположив накладки только около опор и узлов рамы, получили следующие результаты, показанные на рисунках 6,7.

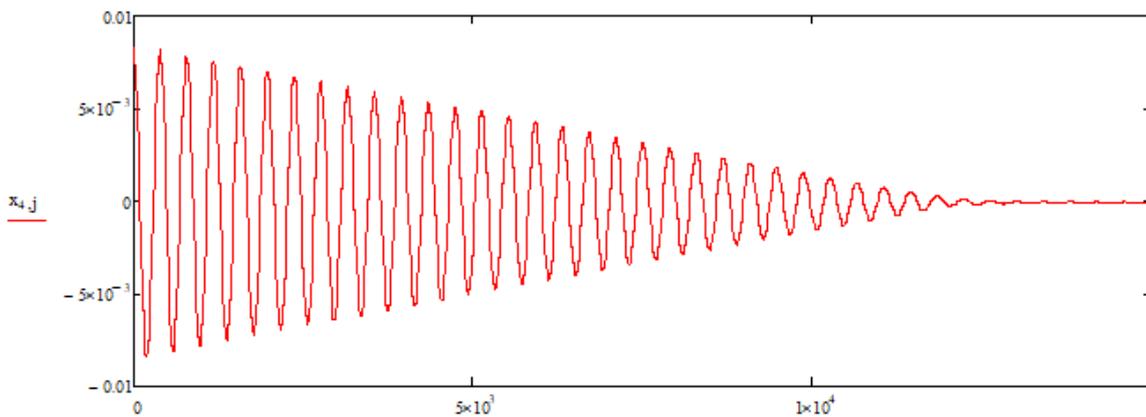


Рисунок 6 – График перемещения верхних узлов рамы при расположении накладок от узлов и опор на одну треть от длины элементов

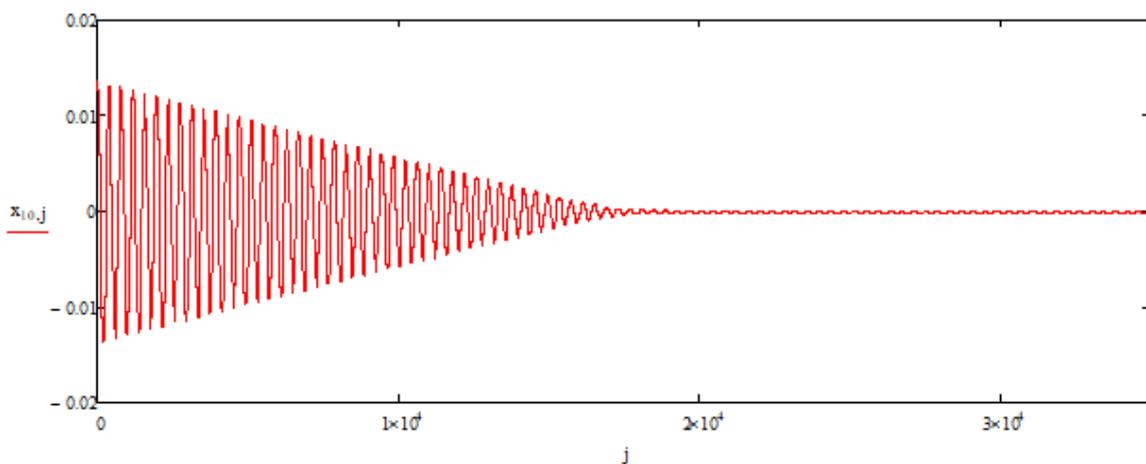


Рисунок 7 – График перемещения верхних узлов рамы при расположении накладок от узлов и опор на четверть от длины элементов

Результаты вычислений сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение вариантов расположения накладок

Расположение накладок	Время гашения при толщине накладок 1 мм, с	Необходимая толщина накладок для достижения одинакового времени гашения, мм	Расход материала, кг
По всей длине	0,35	-	1,62
На одну треть	1,25	3,5	3,78
На одну четверть	1,85	6	4,86

По результатам самым эффективным способом использования материала является расположение накладок по всей длине.

3. Для исследования поведения рамы с пластическими накладками во время резонанса загружаем раму в верхнем узле периодической нагрузкой, с частотой изменения близкой к собственной частоте колебаний рамы (рисунок 8):

$$P = \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ P_0 \cdot \sin(0,9 \cdot \omega_0 \cdot t) \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix},$$

где P_0 – амплитуда нагрузки;

ω_0 – собственная частота колебаний рамы;

t – время.



Рисунок 8 – Расчетная схема рамы при вынужденных колебаниях

Тогда уравнение вынужденных колебаний конструкции рамы без пластических накладок примет вид:

$$M\ddot{U} + KU = P.$$

График перемещения верхнего узла рамы изображен на рисунке 9.

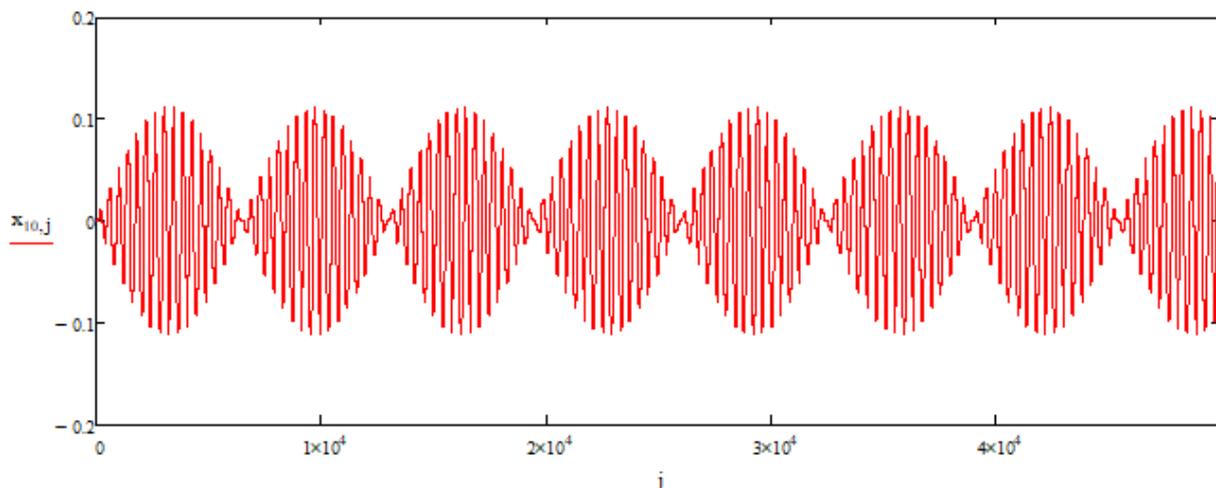


Рисунок 9 – График перемещения верхних узлов рамы под действием периодической нагрузки

На рисунке 9 наблюдаем явление пульсации, наибольшая амплитуда колебаний 11 см.

При вынужденных колебаниях рамы с пластическими накладками уравнение движения примет следующий вид:

$$M\ddot{U} + KU = P + F.$$

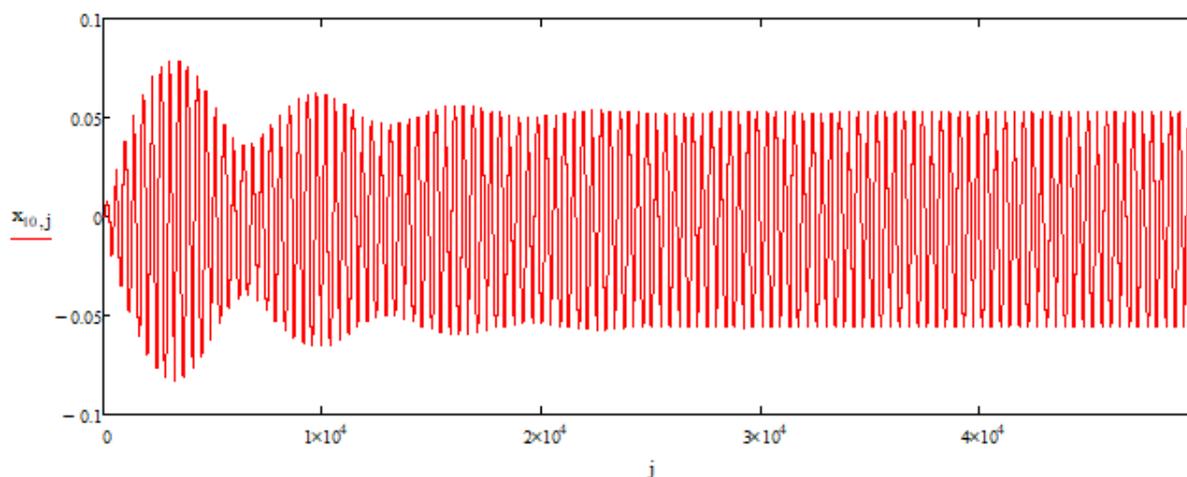


Рисунок 10 – График перемещения верхних узлов рамы с пластическими накладками под действием периодической нагрузки

На рисунке 10 явление пульсации наблюдаем только в начальной стадии колебаний, максимальная амплитуда колебаний в начальной стадии равна 7,5 см. С момента времени 2,3 с амплитуда колебаний становится постоянной величиной (5 см).

Выводы. Гашение колебаний каркасных зданий при помощи пластических накладок - весьма эффективный способ демпфирования. Эффект гашения наблюдается уже при малой толщине накладок. Накладки целесообразно располагать по всей дине элементов каркаса. Применение накладок позволяет избегать резонансных колебаний и более чем в два раза снижать амплитуду биений.

Библиографический список:

1. Дукарт А.В., Олейник А.И. Мультиконтинуальный гаситель колебаний цилиндрической оболочки // Известия вузов. Строительство. 2007. № 12. С. 10-18.
2. Дукарт А.В. Об эффективности двух массового динамического гасителя колебаний с ударным звеном и частотно-независимым трением при гармонических воздействиях // Известия вузов. Строительство. 2009. № 1. С. 7-28.

3. Дукарт А.В. Об эффективности одно массового динамического гасителя колебаний при негармонических периодических возмущающих нагрузках // Известия вузов. Строительство. 2010. № 2. С. 80-90.

4. Дукарт А.В. Оптимальные параметры и эффективность динамического гасителя с частотно-независимым трением в режиме основного импульсного резонанса // Известия вузов. Строительство. 2010. № 7.

5. Дукарт А.В. О переходных режимах колебаний одномассовой системы с ударным гасителем при заданных начальных условиях // Известия вузов. Строительство. 2011. № 6. С. 16-23.

6. Дукарт А.В. О переходных режимах колебаний защищаемого объекта с гасителем, расположенного на поддерживающей конструкции, при действии на неё одиночного импульса // Известия вузов. Строительство. 2012. № 5. С. 117-127.

7. Дукарт А.В. Параметры и эффективность ударного гасителя колебаний для локальной виброзащиты гибких элементов, опирающихся на массивную конструкцию при действии на неё периодических импульсов // Известия вузов. Строительство. 2012. №8. С. 12-21.

8. Дукарт А.В., Олейник А.И. О влиянии нелинейности параметров построечного звена двух массового динамического гасителя на его эффективность при гармоническом воздействии с нестабильной частотой // Известия вузов. Строительство. 2013. №8. С. 13-22.

9. Дукарт А.В., Олейник А.И. Об эффективности динамических гасителей при пусковом режиме прохождения виброизолированной конструкции через резонанс // Известия вузов. Строительство. 2014. № 4. С. 13-23.

10. Дукарт А.В., Олейник А.И. Двухслойный континуальный гаситель колебаний // Известия вузов. Строительство. 2014. № 8. С. 5-14.

11. Остроумов Б.В. Воплощение идей Б.Г. Коренева в области оснащения высотных сооружений динамическими гасителями колебаний // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 11. С. 13-46.

12. Шермухамедов У.З. Влияние точности настройки динамических гасителей колебаний на сейсмостойкость строительных конструкций // Сейсмостойкое строительство. 2011. №2. С. 55-57.

13. Жгутова Т.В. К вопросу использования двух пролетных строений для гашения сейсмических колебаний опор мостов // Сейсмостойкое строительство. 2011. №2. С. 64-67.

14. Леньковский Г.Ф., Севастьянов В.В. Сейсмоизоляция здания с динамическим гасителем колебаний // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013. № 3. С. 77-80.

15. Остроумов Б.В. Особенности «работы» высотных сооружений с установленными на них динамическими гасителям колебаний // Строительная механика и расчёт сооружений. 2013. № 4. С. 56-58.

16. Коренев Б.Г., Резников Л.М. Динамические гасители колебаний: Теория и технические приложения. М.: Наука, 1988. 303 с. : ил.

17. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В. Эффективность применения сейсмоизолирующих опор при строительстве зданий и сооружений // Транспортное строительство. 2003. №9. С. 15-19.

18. Черепинский Ю.Д., Гусев М.Н. Проблемы сейсмостойкости зданий с использованием сейсмоизолирующих конструктивных решений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2006. №5. С. 53-55

19. Соболев В.И. Дискретно-континуальные модели в процессах динамического взаимодействия виброактивного оборудования и конструкций здания // Сейсмостойкое строительство и безопасность сооружений. М., 2003. № 4. С. 3.

20. Шеин А.И. Математическое моделирование механических систем на примере задачи гашения колебаний высотных сооружений [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2015. №1. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/matematiceskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy->

programm/matematicheskoe-modelirovanie-mehnicheskih-sistem-na-primere-zadachi-gasheniya-kolebanii-vysotnyh-sooruzhenii/at_download/file

21. Шеин 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.

22. Шеин А.И., Бакушев С.В., Зайцев М.Б., Земцова О.Г. Гашение колебаний высотных сооружений: в 3-х ч. Ч.1. Современное состояние проблемы : монография. Пенза: ПГУАС, 2011. 235с.

23. Шеин А.И., Земцова О.Г. Схемы и теория гасителей пространственных колебаний сооружений // Региональная архитектура и строительство. 2010. №1. С. 45-52.

24. Шеин А.И., Земцова О.Г. Снижение уровня колебаний системы «упругое основание – высотное сооружение» с помощью нелинейного динамического гасителя // Региональная архитектура и строительство. 2011. №2. С. 83-90.

25. Шеин А.И., Бочкарев Р.В. Использование композитных систем типа «упругий-пластический» для гашения колебаний конструкций [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2015. №2. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no2/stroitel'naya-mehanika/2.4/at_download/file

26. Шеин А.И., Зайцев М.Б. Метод смещенных разностей для решения систем дифференциальных уравнений движения механических систем // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. №2. С. 38-41.

27. Шеин А.И., Земцова О.Г. Методика математического моделирования маятникового гасителя пространственных колебаний для сооружений башенного типа [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №3. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL:

http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/matematicheskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/3.3/at_download/file

28. Шейн А.И., Кузнецов А.Н., Чуманов А.В. Моделирование ветровых воздействий на высотные сооружения [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №4. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/matematicheskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/4.1/at_download/file

29. Шейн А.И, Земцова О.Г. Гашение колебаний высотных сооружений [Текст]: монография. Ч.2. Математическое моделирование объектов с гасителями при ветровой нагрузке. Пенза: Изд-во ПГУАС, 2012. 131 с. : ил. ISBN 978-5-9282-0768-7.