

УДК 624.04:519.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ ТИПА «УПРУГИЙ – ПЛАСТИЧЕСКИЙ» ДЛЯ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ

Шеин Александр Иванович,

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

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

Бочкарев Роман Вадимович,

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

аспирант.

Аннотация

Статья посвящена решению задачи гашения колебаний упругих систем путем использования динамических свойств композитных систем типа «упругий – пластический». Получен вектор обобщенной силы сопротивления движению композитной системы. Показана динамическая работа системы.

Ключевые слова: композитные системы, механическая система, пластические накладки, колебания, гашение колебаний, метод конечных элементов.

**THE USE OF COMPOSITE SYSTEMS SUCH AS «ELASTIC – PLASTIC»
FOR DAMPING VIBRATIONS OF THE STRUCTURE**

Shein Alexander Ivanovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

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

Bochkarev Roman Vadimovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

post-graduate student.

Abstract

The article is devoted to the task of damping of elastic systems by the use of the dynamic properties of composite systems such as "elastic – plastic". Obtained generalized vector. Shows the dynamic operation of the system.

Keywords: composite systems, mechanical systems, plasticlining, vibrations, vibration damping, finite element method.

Введение. Суть динамического гашения колебаний заключается в присоединении к объекту виброзащиты дополнительных устройств с целью изменения его вибрационного состояния. Чаще всего динамическое гашение сводится к присоединению к узлу сооружения динамического гасителя, в котором формируются силы противодействия возмущающим воздействиям, передаваемые на защищаемый объект [1-8]. Здесь же устанавливаются устройства (демпферы), в которых механическая энергия колеблющейся конструкции переходит в другие виды энергии, что приводит к демпфированию колебаний, или перераспределению энергии от защищаемой конструкции к гасителю.

Однако в ряде случаев, большего эффекта можно достигнуть при помощи конструктивных мероприятий, выполняемых для элементов сооружений. К числу таких мероприятий относятся, например, устройство сейсмоизолирующих опор [9], устройство гибкого этажа [10], прикрепления к балкам реактивных дискретных масс [11] и т.п. Данная работа посвящена использованию эффекта пластического сопротивления движению в композитных системах «упругий – пластический». Такие системы могут быть особенно актуальны в проектировании одноэтажных промышленных каркасных зданий в сейсмических районах или при возможности возмущающих воздействий периодического характера.

Положим, что упругой основой колонны служит профилированный или сконструированный стальной стержень, а пластические накладки могут быть выполнены из материалов, отличающихся высокой пластичностью.

В настоящее время соединения разнородных материалов могут выполняться не при помощи клепки, резьбы, фланцев, а с использованием сварки или наклейки. Сварка наряду с обеспечением требуемого сочетания материалов способствует повышению некоторых направленных свойств биметаллических соединений. Применение биметаллических элементов позволяет создать принципиально новые виды конструкций, ранее не применявшиеся, например колонны «сталь – медный сплав», «сталь – алюминиевый сплав», или «сталь – сплав цинка».

В качестве альтернативного материала пластических накладок может рассматриваться эвтектический композит Ni–NbC. Матрицей в этой композиции является монокристалл никеля Ni, а армирующей фазой (волоком) – нитевидный монокристалл карбида ниобия NbC. Твердый раствор карбида в никеле имеет практически идеально жестко-пластическую диаграмму.

Другим примером жестко-пластического материала может быть специально подобранный углепластик, который присоединяется к упругой системе путем наклейки.

Уравнения движения композитной системы. Рассмотрим композитное сечение стержня (колонны), состоящее из упругой центральной части и пластических накладок (рисунок 1).

При колебательном движении такого стержня в идеально жесткопластических накладках возникают постоянные по величине, но переменные по направлению силы сопротивления движению.

Эти силы создают постоянный по модулю момент сопротивления движению. При симметричных сечениях и постоянных по толщине накладках величина этого момента равна

$$m_n = 2Ah_n\sigma_n^T \quad (1)$$

Здесь A – площадь сечения накладки;

h_n – расстояние от центра тяжести сечения до центра накладки;

σ_n^T – напряжение текучести материала накладок/

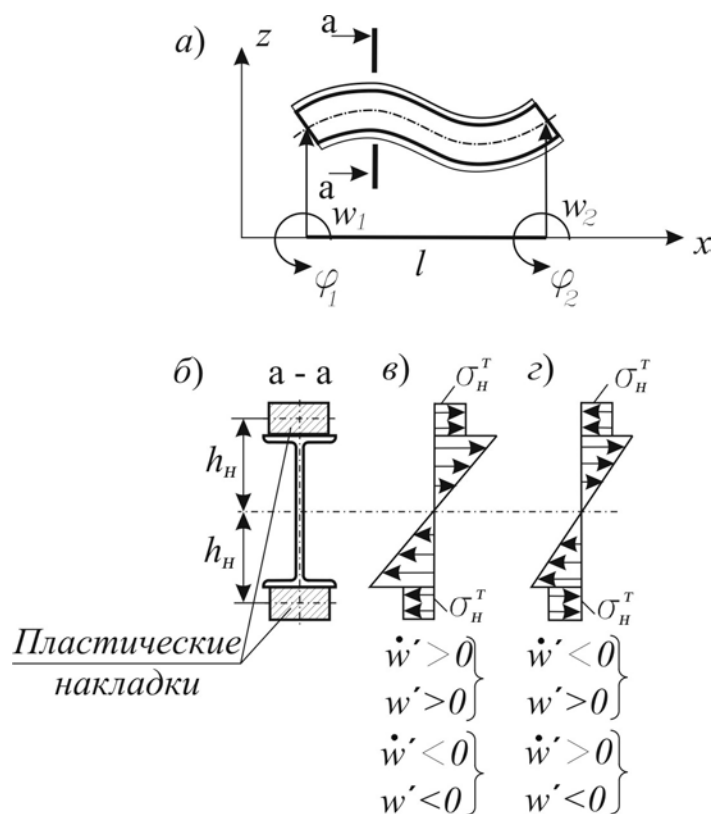


Рисунок 1 – Композитное сечение стержня

Работа внутренних сил, затраченная на изгиб или разгиб композитного стержня, равна:

$$\Pi = \int_0^l (0,5EJw'' \pm 2Ah_H \sigma_H^T) w'' \cdot dx \quad (2)$$

Здесь EJ – жесткость упругой части сечения стержня;

w'' – кривизна оси стержня.

Аппроксимируя прогиб кубическим полиномом:

$$w = w_1 + \varphi_1 x + ((-3w_1 - 2\varphi_1 l + 3w_2 - \varphi_2 l)/l^2)x^2 + ((2w_1 + \varphi_1 l - 2w_2 + \varphi_2 l)/l^3)x^3 \quad (3)$$

и используя свойства энергии деформации, приходим к матричному уравнению равновесия при изгибе вида:

$$KU = P \mp F_H \quad (4)$$

Здесь K – матрица жесткости изгиба упругого сердечника стержня;

F_H – вектор сил пластического сопротивления накладок при изгибе стержня:

$$F_n = \begin{bmatrix} 0 \\ \mp m \\ 0 \\ \pm m \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$U = [w_1 \quad \varphi_1 \quad w_2 \quad \varphi_2]^T$ – вектор узловых перемещений стержня;

P – вектор внешних узловых сил.

Переходя к механической системе и к динамической задаче вынужденных колебаний, приходим к дифференциальному уравнению движения:

$$M\ddot{U} + KU_t = P_t \mp F_n \quad (6)$$

где M – матрица масс механической системы. При этом мы получили матричное уравнение аналогичное уравнению колебательного движения упругой системы при действии на нее силы сухого трения, не зависящей от скорости. Простейший пример такой системы – пружинный маятник, груз которого скользит по шероховатой горизонтальной поверхности. Сила сухого трения не меняется по величине, но она меняет свое направление при изменении направления скорости. В силу этого колебательное движение описывается двумя уравнениями движения. Эти уравнения различаются только знаком силы трения, который зависит от направления скорости движения груза. Аналогичным образом изменяется и знак сил пластического торможения накладок. Здесь будем различать изгиб и разгиб стержня. При изгибе и $\dot{w}' > 0$, $w' > 0$, а также при $\dot{w}' < 0$, $w' < 0$ – знак «минус», а при разгибе и $\dot{w}' < 0$, $w' > 0$ или при $\dot{w}' > 0$, $w' < 0$ – знак «плюс».

Если с некоторого момента времени возмущающие воздействия прекращаются, т.е.

$$P_t = 0, \quad (7)$$

то приходим к матричному уравнению затухающих гармонических колебаний:

$$M\ddot{U} + KU_t = \mp F_n, \quad (8)$$

Вектор амплитуд \bar{a} с течением времени линейно убывает (рисунок 2).

При этом отрицательное приращение амплитуд равно:

$$\Delta \bar{a} = 2K^{-1}F_n \quad (9)$$

Формулы (1), (6) и (9) показывают, что эффективность работы силы пластического торможения зависит от площади накладок и величины пластических напряжений материала накладок.

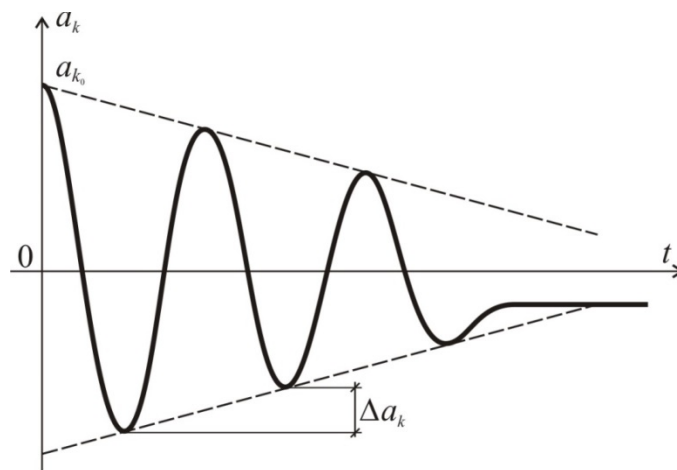


Рисунок 2 – Убывание вектора амплитуд

Идею пластического торможения, как способ гашения колебаний можно использовать при снижении уровня колебаний пластин и оболочек. В качестве пластических слоев здесь могут использоваться армированные полимерные материалы.

Заключение. Таким образом, в статье приведено решение задачи гашения колебаний упругих систем путем использования динамических свойств композитных систем типа «упругий сердечник – пластические накладки». Получен вектор обобщенной силы сопротивления движению композитной системы. Показана динамическая работа системы. Данный подход может быть востребован также при решении задач расчета МКЭ идеально упруго-пластических систем.

Библиографический список:

1. Шеин А.И. Математическое моделирование механических систем на примере задачи гашения колебаний высотных сооружений [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2015. №1. Систем.

требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/matematiceskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/matematiceskoe-modelirovanie-mehanichestkih-sistem-na-primere-zadachi-gasheniya-kolebani-vysotnyh-sooruzhenii/at_download/file.

2. 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.

3. 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, 2011г. 235с.

4. Шеин А.И. Метод сеточной аппроксимации элементов в задачах строительной механики нелинейных стержневых систем: монография. Пенза, 2005. 248 с.

5. Шеин А.И. Решение многопараметрической задачи динамики стержневых систем методом сеточной аппроксимации элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 2. С. 27.

6. 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.

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

8. 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.

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

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

11. 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.