

УДК 515.2

ПЕРЕМІЩЕННЯ В НЕВАГОМОСТІ ЧОТИРИЛАНКОВОГО МАЯТНИКА З РУХОМОЮ ТОЧКОЮ КРІПЛЕННЯ

Запольський Л.Л., к.т.н.

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту
(м. Київ, Україна),

Адашевська І. Ю., к.т.н.,

Шеліхова І. Б., к.т.н.

Національний технічний університет "ХПІ"

(м. Харків, Україна)

Досліджена геометрична модель розкриття в умовах невагомості чотириланкового маятника з рухомою точкою кріплення. Розгортання ланок на уявній площині відбувається завдяки впливу імпульсів піротехнічних реактивних двигунів на кінцеві точки ланок маятника. Задача полягає у вивченні поведінки маятникових систем у невагомості. Механічну інтерпретацію тут можна пов'язати з космічною тематикою - коли трансформування елементів стержневої конструкції порівняти з коливанням багатоланкового маятника як системою змінюваної конфігурації. І взагалі, переважна кількість космічних апаратів за своєю механічною суттю є просторово розвиненими механічними системами змінюваної конфігурації для роботи в космосі в умовах близьких до невагомості.

На актуальність обраної теми вказує необхідність дослідження можливої схеми процесу розкриття у невагомості стержневої конструкції маятникового типу з рухомою точкою кріплення. При цьому рушіями процесу слід обрати імпульсні піротехнічні реактивні двигуни, встановлені на кінцевих точках ланок стержневої конструкції. Вони набагато легші і дешевші порівняно, наприклад, з електродвигунами або пружинними пристроями.

Опис динаміки одержаного інерційного розкриття виконано за допомогою рівняння Лагранжа другого роду. Результати можна використати при проектуванні систем розкриття орбітальних конструкцій в умовах невагомості, наприклад, секцій силових каркасів космічних інфраструктур.

Ключові слова: чотириланковий маятник, піротехнічні реактивні двигуни, процес розкриття в невагомості, рівняння Лагранжа другого роду

Постановка проблеми. Керування розкриттям стержневих конструкцій у невагомості є складною науково-технічною задачею механіки, яка не має аналогів у наземній техніці [1,3,4]. При реалізації будь-якої схеми розкриття конструкції у невагомості виникає проблема вибору технічних пристроїв для запуску (активації) процесу розкриття. Альтернативу традиційним рушіям розкриття (електродвигунам або пружним елементам) можуть скласти піротехнічні імпульсні реактивні двигуни типу піропатронів. До переваг цих пристроїв слід віднести малу вагу і дешевизну, а також можливість запуску їх дії дистанційно (без дротів) за допомогою радіосигналів або рентгенівського випромінювання [2]. В даній роботі розглянуто варіант встановлення піропатронів на кінцевих точках ланок стержневої конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для конструкції у вигляді багатоланкової стержневої системи досліджувати механіку процесу розкриття доцільно на основі варіаційного принципу динаміки Лагранжа [3,4]. Для розрахунків геометричної форми послідовних фаз розкриття «маятнікоподібних» стержневих конструкцій слід використати дослідження у галузі динаміки багатоланкових маятників. В результаті виникає питання про адаптування до невагомості процесу коливання багатоланкових маятників. Можливі системи розкриття конструкцій у невагомості наведені у огляді літератури робіт [5-9]. Але у відомих роботах відсутня інформація про інерційний спосіб розкриття багатоланкових стержневих конструкцій за допомогою піротехнічних пристроїв.

Мета досліджень. Розробити геометричну модель розкриття в умовах невагомості чотириланкової стержневої конструкції, подібної чотириланковому маятнику з рухомою точкою підвісу. Для ініціювання руху конструкції використати імпульсні піротехнічні реактивні двигуни, встановлені на кінцевих точках ланок конструкції.

Основна частина. Для опису переміщення чотириланкової стержневої конструкції з рухомою точкою кріплення було складено та розв'язано систему рівнянь Лагранжа другого роду [5-9]. За умови відсутності дисипативних сил і з врахуванням «нульової» потенціальної енергії опис розкриття стержневої конструкції на уявній площині виконано на основі лагранжіана. Опис руху чотириланкової стержневої конструкції одержимо у вигляді системи з шести диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду відносно функцій $x(t)$, $y(t)$, $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ і $u_4(t)$, які визначають кути відхилення ланок. Враховуючи обчислені координати вузлів стержневої конструкції як функції в часі, побудуємо кадри комп'ютерної анімації процесу розкриття. В результаті спостереження за процесом розкриття обираємо необхідний (за певними критеріями) момент часу $t=t_0$

зупинки розкриття та визначаємо параметри стоп-коду $U_{\text{STOP}}=\{x(t_0), y(t_0), u_1(t_0), u_2(t_0), u_3(t_0), u_4(t_0)\}$. У визначений за допомогою комп'ютерної анімації час t_0 процес розкриття зупиняється за допомогою спеціальних пристроїв.

Початкове положення множини ланок стержневої конструкції суміσιμο з віссю Oy , тому вектор значень початкового положення рухомої точки кріплення та початкових кутів відхилень матиме координати $U=\{0, 0, 0, 0, 0, 0\}$. Далі у тестових прикладах оберемо довжини ланок стержневої конструкції $L=\{2, 2, 2, 2\}$ і значень мас вантажів (баласту та шарнірів): $m=\{1, 1, 1, 1, 1\}$. Значення всіх параметрів в умовних величинах.

Нехай початкові швидкості, наданих точці зміщенням та кутам відхилень: $U'=\{0, 0, 0, 10, 0, -10\}$. На рис. 1 наведено траєкторії руху вузлових точок стержневої конструкції, побудованих за допомогою складеної тарпе програми. Кадри комп'ютерної анімації допомогли обрати моменти часу, На рис. 2 зображені утворені фігури конструкцій в моменти часу: $a - t=0.78$; $b - t=0.95$; $v - t=1.25$; $z - t=2.35$.

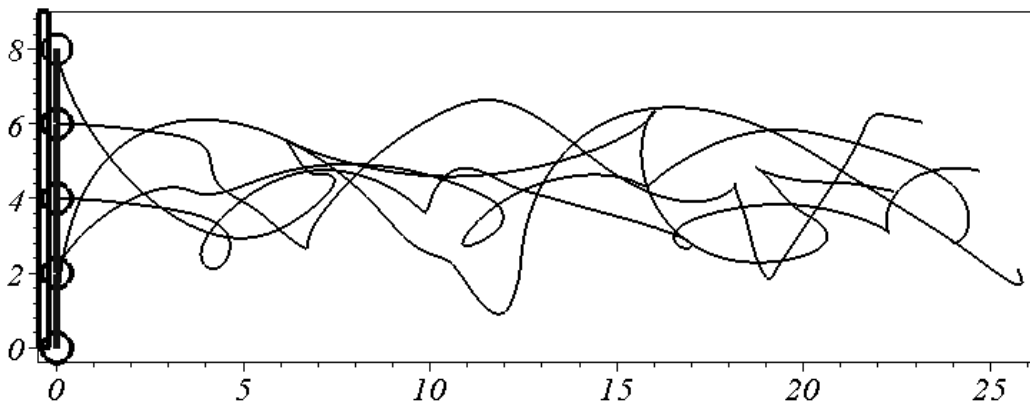


Рис. 1. Початкове положення чотириланкового маятника і траєкторії руху вузлових точок

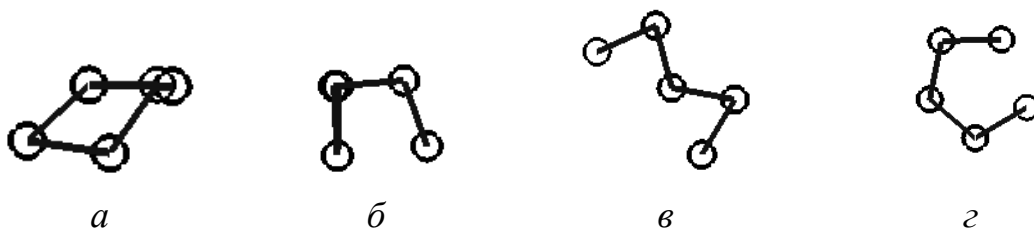


Рис. 2. Конфігурації конструкцій в моменти часу:
 $a - t=0.78$; $b - t=0.95$; $v - t=1.25$; $z - t=2.35$.

На рис. 3 наведено приклади можливих стержневих конструкцій, складених з елементів рис. 2.

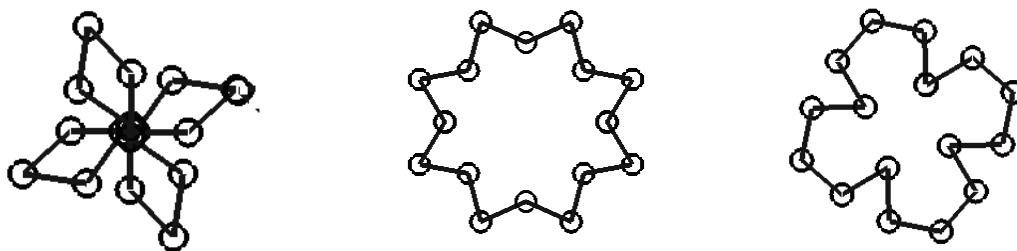


Рис. 3. Приклади можливих стержневих конструкцій, складених з елементів рис. 4.

Висновки. Розроблена геометрична модель розкриття в умовах невагомості стержневої конструкції з рухомою точкою підвісу. Ініціювати рух конструкції передбачено за допомогою імпульсних піротехнічних двигунів, встановлених на кінцевих точках ланок.

Література

1. Алпатов А. П. Динаміка перспективних космічних апаратів // А. П. Алпатов / Вісник НАН України. 2013. № 7. С. 6–13.
2. Буянова Л. В. Методика проектирования пиротехнических устройств систем отделения // Л. В. Буянова., Е. И. Журавлёв / Инженерный вестник. 2015. № 07. С. 56–62.
3. Зимин, В. Н. Особенности расчета раскрытия крупногабаритных трансформируемых конструкций различных конфигураций [Текст] / В. Н. Зимин, А. В. Крылов, В. Е. Мешковский, А. Н. Сдобников, Ф. Р. Файзуллин, С. А. Чурилин // - Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана, № 10. 2014 – С. 179–191.
4. Бушуев, А. Ю. Математическое моделирование процесса раскрытия солнечной батареи большой площади [Текст] / А. Ю. Бушуев, Б. А. Фарафонов // Математическое моделирование и численные методы. № 2. 2014.– С.101–114.
5. Geometrical modeling of the inertial unfolding of a multi-link pendulum in weightlessness / Kutsenko L., Shoman O., Semkiv O., Zapolsky L., Adashevskay I., Danylenko V. et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, Issue 7 (90). P. 42–50.
6. Куценко Л. М., Пікрасов М. М., Запольський Л. Л. Ілюстрації до геометричного моделювання інерційного розкриття багатоланкового маятника у невагомості.
URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/4868>.
7. Geometrical modeling of the shape of a multilink rod structure in weightlessness under the influence of pulses on the end points of its links / Kutsenko L., Semkiv O., Zapolskiy L., Shoman O., Ismailova N., Vasyliiev S. et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 2, Issue 7 (92). P. 44–58.

8. Куценко Л. М., Пікрасов М. М., Запольський Л. Л. Ілюстрації до статті «Геометричне моделювання процесу розкриття стержневих конструкцій у невагомості.
URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6335>.
9. Куценко Л. М., Пікрасов М. М., Запольський Л. Л. Геометричне моделювання розкриття у невагомості деяких просторових стержневих конструкцій.
URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7051>.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ В НЕВЕСОМОСТИ ЧЕТЫРЕХЗВЕННОГО МАЯТНИКА С ПОДВИЖНОЙ ТОЧКОЙ КРЕПЛЕНИЯ

Запольский Л.Л., Адашевская И.Ю., Шелихова И.Б.

Исследована геометрическая модель раскрытия в условиях невесомости четырехзвеного маятника с подвижной точкой крепления. Развертывание звеньев на воображаемой плоскости происходит благодаря воздействию импульсов пиротехнических реактивных двигателей на конечные точки звеньев маятника. Задача заключается в изучении поведения маятниковых систем в невесомости. Механическую интерпретацию здесь можно связать с космической тематикой - когда трансформации элементов стержневой конструкции сравнить с колебанием многозвеного маятника как системой изменяемой конфигурации. И вообще, подавляющее количество космических аппаратов по своей механической сути являются пространственно развитыми механическими системами изменяемой конфигурации для работы в космосе в условиях близких к невесомости [1]. Актуальность выбранной темы указывает необходимость исследования возможной схемы процесса раскрытия в невесомости стержневой конструкции маятникового типа с подвижной точкой крепления. При этом двигателями процесса следует выбрать импульсные пиротехнические реактивные двигатели, установленные на конечных точках звеньев стержневой конструкции. Они гораздо легче и дешевле по сравнению, например, с электродвигателями или пружинными устройствами.

Описание динамики полученного инерционного раскрытия выполнено с помощью уравнения Лагранжа второго рода. Результаты можно использовать при проектировании систем раскрытия орбитальных конструкций в условиях невесомости, например, секций силовых каркасов космических инфраструктур.

Ключевые слова: четырехзвеной маятник, пиротехнические реактивные двигатели, процесс раскрытия в невесомости, уравнения Лагранжа второго рода.

MOVEMENT IN THE WEIGHTLESSNESS OF A FOUR- TERMINAL PENDULUM WITH A MOBILE MOUNTING POINT

Zapolskiy L., Adashevskaya I., Shelihova I.

The investigated geometrical model of the method of formation (opening) under conditions of weightlessness of the rod structure, the elements of which are connected like a four-link pendulum with a movable fixing point. Disclosure on the conditional plane is due to the influence of pulses of pyrotechnic jet engines on the end points of the structural elements. Description of the dynamics of the inertial opening of the structure is obtained using the Lagrange equation of the second kind. The results are intended for use in the design of systems for unfolding structures under conditions of weightlessness, for example, sections of power frames of space infrastructures. The investigated geometrical model of the method of formation (opening) under conditions of weightlessness of the rod structure, the elements of which are connected like a four-link pendulum with a movable fixing point. Disclosure on the conditional plane is due to the influence of pulses of pyrotechnic jet engines on the end points of the structural elements. Description of the dynamics of the inertial opening of the structure is obtained using the Lagrange equation of the second kind. The results are intended for use in the design of systems for unfolding structures under conditions of weightlessness, for example, sections of power frames of space infrastructures. The investigated geometrical model of the method of formation (opening) under conditions of weightlessness of the rod structure, the elements of which are connected like a four-link pendulum with a movable fixing point. Disclosure on the conditional plane is due to the influence of pulses of pyrotechnic jet engines on the end points of the structural elements. Description of the dynamics of the inertial opening of the structure is obtained using the Lagrange equation of the second kind. The results are intended for use in the design of systems for unfolding structures under conditions of weightlessness, for example, sections of power frames of space infrastructures. Disclosure on the conditional plane is due to the influence of pulses of pyrotechnic jet engines on the end points of the structural elements. Description of the dynamics of the inertial opening of the structure is obtained using the Lagrange equation of the second kind. The results are intended for use in the design of systems for unfolding structures under conditions of weightlessness, for example, sections of power frames of space infrastructures.

Keywords: core construction, process of opening in space, four-link rod construction, Lagrange equation of the second kind.