

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНА ДИНАМИЧЕСКОЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ МАНИПУЛЯТОРА С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ

Валукевич Ю.А.¹, Алепо А.В.¹, Дубовсков В.В.¹, Яковенко Д.М.¹

¹ФГБОУ ВПО Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского Государственного Технического Университета, Шахты, Россия (346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147), e-mail: mail@sssu.ru

В работе рассматриваются динамические ограничения структуры манипулятора с подвесом схвата на гибких звеньях. Рассматриваемая структура манипулятора с подвесом схвата на гибких связях конструктивно состоит из четырех канатов, одни концы которых соединены в точке крепления схвата, другие концы канатов пропущены через шкивы и закреплены на барабанах. Данный механизм рассматривается как сложная маятниковая система. Получены аналитические выражения, описывающие зону управляемости. Построена компьютерная модель, позволяющая оценить распределение зоны управляемости. Представлена зависимость рекомендуемой максимальной скорости от положения точки крепления груза по вертикали. Представленные в данной статье математические соотношения показывают, что относительно вертикальной оси максимальная возможная скорость будет меняться пропорционально изменению площади зоны обслуживания и общий вид зависимости при проектировании реальных манипуляторов со значительной площадью обслуживания будет сохраняться.

Ключевые слова: манипулятор, тросовый, гибкие связи, кинетостатика, динамика, параллельный манипулятор.

DETERMINATION OF DYNAMIC RANGE OF CONTROL MANIPULATOR WITH FLEXIBLE LINKS

Valyukevich Y.A.¹, Alepko A.V.¹, Dubovskov V.V.¹, Yakovenko D.M.¹

¹Institute of the Service Sector and Entrepreneurship (branch) Don State Technical University, Shakhty, Russia (346500, Shakhty, Shevchenko street, 147), e-mail: mail@sssu.ru

The paper deals with the dynamic limit structure with a suspension arm gripper on flexible links. Consider the structure of the gripper arm with the suspension on flexible connections constructively consists of four ropes, one end of which is connected to an anchor point gripper, the other ends of the ropes passed through pulleys mounted on drums. This mechanism is regarded as a complex INDICATES-pendulum system. Analytical expressions describing a zone of control. A computer model that allows you to evaluate the distribution of a controlled zone-sti. The dependence of the recommended maximum speed of the position of the point of lashing vertically. Presented in this article are mathematical correlations show that the vertical axis of the maximum possible speed will vary in proportion to the area of the service area and the overall appearance depending on the design of real-manipulators with a significant area of service will be maintained.

Keywords: manipulator, rope, flexible communication, kinetostatics, dynamics, parallel manipulator

Постановка задачи динамической управляемости исследуемого типа манипуляторов

Динамические ограничения структуры с гибкими связями рассмотрены на основе тросового манипулятора с гибким подвесом объекта перемещения [2,3]. В каждый момент времени на любой из тросов системы действуют три силы – сила тяжести, обусловленная массой троса, сила, приложенная к тросу, наматываемому на барабан и сила, приложенная к грузу, состоящая из веса груза и сил двух тросов, участвующих в перемещении груза.

Эскиз кинематической схемы манипулятора с подвесом схвата на гибких звеньях представлен на рис. 1.

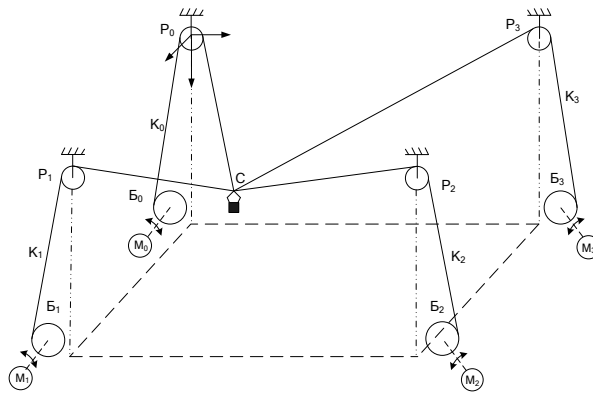


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора

Конструктивно манипулятор состоит из канатов $K_0 \div K_3$ (в дальнейшем звеньев), одни концы которых соединены в точке крепления схвата. Вторые концы звеньев пропущены через шкивы $P_0 \div P_3$ и закреплены на барабанах $B_0 \div B_3$ соответственно. Изменение положения схвата в пространстве достигается за счет изменения длин звеньев при вращении барабанов с помощью моторредукторов $M_0 \div M_3$.

В динамике данный механизм представляет собой сложную маятниковую систему [1, 4, 5]. Рассмотренные в работах [1,2] соотношения справедливы только тогда, когда все три троса находятся в напряженном состоянии. Однако в системе применяются только гибкие связи, ограничивающие возможные перемещения груза только в одном направлении. Рассмотрим плоскую систему, конструктивно схожую с исследуемой (рисунок 2). При условии $\theta < \beta_2$ и $\theta < \beta_1$ колебания груза соответствуют колебаниям физического маятника. В случае, когда $\theta > \beta_2$ или $\theta > \beta_1$, одна из связей деформируется и начинается неуправляемое колебание не только груза, но и другой, недеформированной, связи.

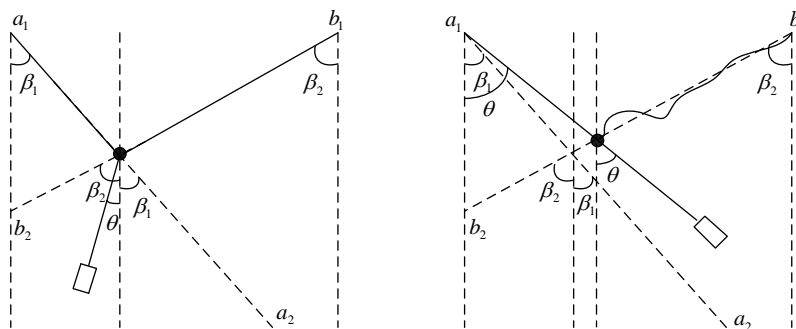


Рис. 2. Неуправляемые колебания плоской системы с гибкими связями

В исследуемом типе механизмов будут происходить аналогичные процессы. Для пространственного случая при использовании 3 тросов для манипулирования объектом зона управляемости будет ограничена четырьмя плоскостями: тремя плоскостями, образованными прямыми, которые содержат гибкие связи и плоскостью основания зоны обслуживания. Если

центр масс груза при колебательных движениях вышел за границы этой зоны, то система становится неуправляемой.

Получение аналитических выражений, описывающих зону управляемости.

Рассмотрим геометрические соотношения, позволяющие оценить параметры, влияющие на управляемость системы (рис. 3).

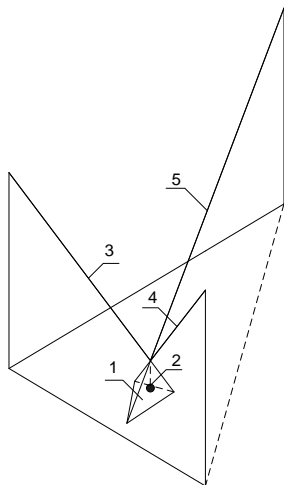


Рис. 3. Геометрическое представление зоны регулирования

1-зона управляемости, 2 – центр масс груза, 3,4,5 – гибкие связи

Составим уравнения плоскостей, образованных парами связей. Обозначим X и Y – геометрические размеры зоны обслуживания; $x_{кр}, y_{кр}, z_{кр}$ – координаты точки крепления груза; $x_{гр}, y_{гр}, z_{гр}$ – координаты центра масс груза; ψ_x, ψ_y, ψ_z – углы между вектором скорости и соответствующими осями системы координат; l – расстояние между точкой крепления и центром масс груза. Для тросов 0 и 1:

$$z - \frac{z_{\epsilon\delta}}{x_{\epsilon\delta}} \cdot x = 0$$

Для тросов 1 и 2:

$$y + \frac{Y - y_{\epsilon\delta}}{z_{\epsilon\delta}} \cdot z - Y = 0$$

Для тросов 2 и 3:

$$z - \frac{z_{\epsilon\delta}}{x_{\epsilon\delta} - X} \cdot x + \frac{z_{\epsilon\delta} \cdot X}{x_{\epsilon\delta} - X} = 0$$

Для тросов 0 и 3:

$$z - \frac{z_{\epsilon\delta}}{y_{\epsilon\delta}} \cdot y = 0$$

Для тросов 0 и 2:

$$y - \frac{Y}{X} \cdot x + \frac{x_{\epsilon\delta} \cdot \frac{Y}{X} - y_{\epsilon\delta}}{z_{\epsilon\delta}} \cdot z = 0$$

Для тросов 1 и 3:

$$\frac{Y}{X} \cdot x + y + \frac{XY - Y \cdot x_{\text{ед}} - X \cdot y_{\text{ед}}}{X \cdot z_{\text{ед}}} \cdot z - Y = 0$$

Определим зависимость координат центра масс груза от скорости и направления движения, для этого воспользуемся соотношением.

$$\theta_1(t) = \arccos \left(\frac{l - \frac{v^2(t) \cdot \sin^2(\psi_z)}{2g}}{l} \right) \quad (1)$$

Тогда:

$$z_{\text{ав}} = z_{\text{ед}} + l - \frac{v^2 \cdot \sin^2(\psi_z)}{2g} \quad (2)$$

$$x_{\text{ав}} = x_{\text{ед}} + l \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{l - \frac{v^2 \cdot \sin^2(\psi_z)}{2g}}{l} \right) \right) \cdot \cos(\psi_x) \quad (3)$$

$$y_{\text{ав}} = y_{\text{ед}} + l \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{l - \frac{v^2 \cdot \sin^2(\psi_z)}{2g}}{l} \right) \right) \cdot \cos(\psi_y) \quad (4)$$

Поскольку центр масс груза не должен пересекать плоскости, образованные соответствующими прямыми, а, следовательно, координата по оси z груза должна быть больше, чем соответствующая ее координата z плоскости с координатами x и y, равными координатам груза соответственно, то систему неравенств удобней составлять относительно координаты z. Преобразуем соответствующие уравнения плоскостей.

Для тросов 0 и 1:

$$z = \frac{z_{\text{ед}}}{x_{\text{ед}}} \cdot x \quad (5)$$

Для тросов 1 и 2:

$$z = \frac{(Y - y) \cdot z_{\text{ед}}}{Y - y_{\text{ед}}} \quad (6)$$

Для тросов 2 и 3:

$$z = \frac{z_{\text{ед}}}{x_{\text{ед}} - X} \cdot x - \frac{z_{\text{ед}} \cdot X}{x_{\text{ед}} - X} \quad (7)$$

Для тросов 0 и 3:

$$z = \frac{z_{\text{ед}}}{y_{\text{ед}}} \cdot y \quad (8)$$

Для тросов 0 и 2:

$$z = \frac{\left(\frac{Y}{X} \cdot x - y\right) \cdot z_{\text{ед}}}{x_{\text{ед}} \cdot \frac{Y}{X} - y_{\text{ед}}} \quad (9)$$

Для тросов 1 и 3:

$$z = \frac{\left(Y - \frac{Y}{X} \cdot x - y\right) \cdot X \cdot z_{\text{ед}}}{XY - Y \cdot x_{\text{ед}} - X \cdot y_{\text{ед}}} \quad (10)$$

Составим для примера систему неравенств для 0,1 и 2 тросов (11). Система неравенств, связывающая скорость, направление движения и текущие координаты точки подвеса груза с возможностью управления системой:

$$\left\{ \begin{array}{l} z_{\text{тп}} + l - \frac{v^2 \cdot \sin^2(\psi_x)}{2g} > \frac{z_{\text{тп}}}{x_{\text{тп}}} \cdot x_{\text{тп}} + l \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{l - \frac{v^2 \cdot \sin^2(\psi_x)}{2g}}{l} \right) \right) \cdot \cos(\psi_x) \\ z_{\text{тп}} + l - \frac{v^2 \cdot \sin^2(\psi_x)}{2g} > \frac{\left(Y - y_{\text{тп}} - l \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{l - \frac{v^2 \cdot \sin^2(\psi_x)}{2g}}{l} \right) \right) \right) \cdot \cos(\psi_y)}{Y - y_{\text{тп}}} \cdot z_{\text{тп}} \\ z_{\text{тп}} + l - \frac{v^2 \cdot \sin^2(\psi_x)}{2g} > \frac{\left(\frac{Y}{X} \cdot \left(x_{\text{тп}} + l \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{l - \frac{v^2 \cdot \sin^2(\psi_x)}{2g}}{l} \right) \right) \right) \cdot \cos(\psi_x) - y_{\text{тп}} - l \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{l - \frac{v^2 \cdot \sin^2(\psi_x)}{2g}}{l} \right) \right) \cdot \cos(\psi_y) \right) \cdot z_{\text{тп}}}{x_{\text{тп}} \cdot \frac{Y}{X} - y_{\text{тп}}} \end{array} \right. \quad (11)$$

Построим компьютерную модель, позволяющую оценить распределение зоны управляемости. Анализ результатов моделирования показал, что максимальное отклонение груза будет в случае, когда вектор \vec{v} лежит в плоскости, параллельной плоскости XY. Кроме того, вектор должен лежать в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости пересечения и расстояние от него до плоскости должно быть минимальным. Рассмотрим полуплоскости с рабочими тросами 012 и 023 при $z = 1.25$ м. Размеры зоны обслуживания X и Y возьмем в соответствии с размерами созданного для исследований натурального макета ($X = 2.5$ м, $Y = 1.3$ м).

Результаты моделирования и заключение

Определим для данной плоскости граничные значения скорости (рис. 4):

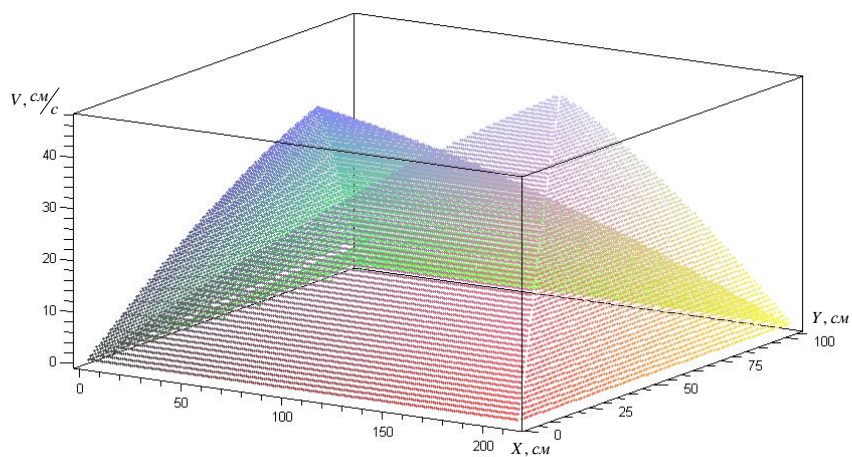


Рис. 4. Зависимость максимальной скорости регулирования от положения точки подвеса в плоскости зоны обслуживания

Анализ полученного распределения показывает, что значение максимальной рекомендуемой скорости варьируется в значительных пределах в зависимости от положения точки крепления в горизонтальной плоскости XOY . Вид зависимости, исходя из неравенств на рис. 3, математически не зависит от массы груза и приложенных к тросам сил (считаем, что предельную скорость манипулятор может обеспечить), и характер распределения максимальной рекомендуемой скорости при изменении данных параметров будет таким же.

На рис. 5 представлена зависимость рекомендуемой максимальной скорости от положения точки крепления груза по вертикали при $x = 50$ см, $y = 50$ см. Диапазон изменения координаты z был выбран исходя из конструкции макета для проведения натурных испытаний.

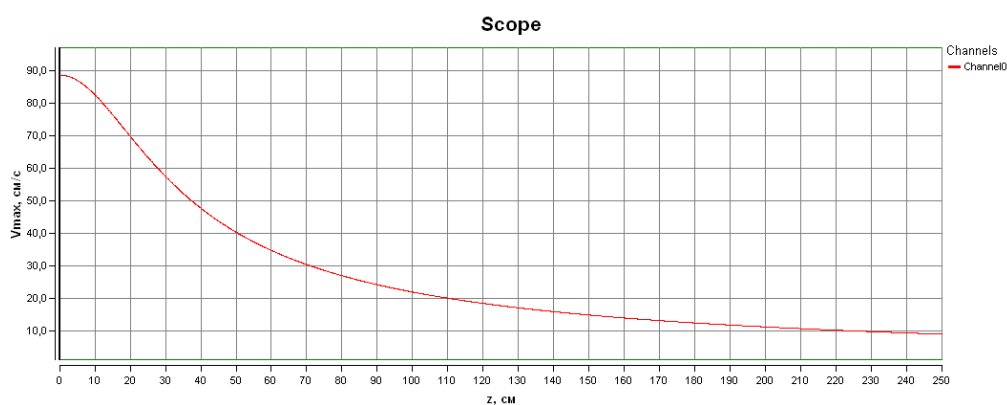


Рис. 5. Зависимость максимальной скорости регулирования от положения точки подвеса груза по вертикали

Вид зависимости максимальной скорости регулирования от положения точки крепления по вертикали имеет экспоненциальный характер. При этом представленные в данной статье математические соотношения показывают, что относительно вертикальной оси максимальная возможная скорость будет меняться пропорционально изменению площади зоны обслуживания и общий вид зависимости при проектировании реальных

манипуляторов со значительной площадью обслуживания будет сохраняться. При увеличении высоты зоны обслуживания манипулятора зона управляемости уменьшается. При соблюдении ограничений по скорости регулирования положение точки крепления груза будет стабильным и колебательные процессы не будут распространяться на гибкие звенья механизма.

Работа выполнена в рамках гранта (проекта) РФФИ № 14-084-3148.

Список литературы

1. Башарин А.В. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, – 1982. – 392 с., ил.
2. Валюкевич Ю.А., Алепо А.В. Планирование траектории перемещения манипулятора с подвесом схвата на гибких звеньях (часть 1). // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – №6 (159). – Новочеркасск. – 2011.
3. Валюкевич Ю.А., Алепо А.В. Планирование траектории перемещения манипулятора с подвесом схвата на гибких звеньях (Часть 2).// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – №1 (160). 2012 г.- С.28-31.
4. Чистяков А.Ю. Роботизированные системы с механизмами параллельной структуры на основе подвесных платформ: дисс... канд.тех.наук: 05.02.05 СПб., 2006 139 с. РГБ ОД, 61:06-5/2483.
5. Jason J. Gorman, Kathryn W. Jablow, and David J. Cannon. The cable array robot: Theory and experiment. In Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, pages 2804–2810, Seoul, Korea, May 2001.

Рецензенты:

Прокопенко Н.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «ИСиРТ», зам. директора по НИР, ФГБОУ ВПО «ИСОиП (филиал) ДГТУ», г. Шахты;

Сапронов А.А., д.т.н., профессор, генеральный директор ООО Научного предприятия «Электронные информационные системы», р.п. Каменоломни.