

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИКО-СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАНИПУЛЯТОРА-ТРИПОДА

Несмиянов И.А., Воробьева Н.С., Дяшкин-Титов В.В.

Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград

Ключевые слова: манипулятор-трипод, линейный привод, позиционирование схвата, зона обслуживания, весовой коэффициент, статическая нагрузка.

Аннотация. В работе представлен подход к решению задачи планирования перемещений исполнительного органа манипуляторов параллельной структуры на основе минимизации работы наиболее нагруженных исполнительных приводов. При этом за критерий нагруженности приводов приняты весовые коэффициенты, значения которых различаются в каждой точке зоны обслуживания в зависимости от конфигурации механизма. Разработан алгоритм определения весовых коэффициентов в сечениях зоны обслуживания.

MODELING OF GEOMETRIC AND STATIC CHARACTERISTICS OF A TRIPOD MANIPULATOR

Nesmiyanov I.A., Vorobyova N.S., Dyashkin-Titov V.V.

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Keywords: tripod manipulator, linear actuator, grip positioning, service area, weight coefficient, static load.

Abstract. The paper presents an approach to solving the problem of planning the movements of the executive body of manipulators of a parallel structure based on minimizing the operation of the most loaded actuators. At the same time, the weight coefficients are taken as the criterion for the loading of the drives, the values of which differ at each point of the service area depending on the configuration of the mechanism. An algorithm for determining the weight coefficients in the sections of the service area has been developed.

В последнее время всё чаще находят применение манипуляционные механизмы параллельной структуры, называемые еще *l*-координатными механизмами. Преимущества таких механизмов заключаются в повышенной грузоподъемности и жесткости механической системы, достижении сравнительно высоких скоростей и ускорений выходного звена, высокой степени унификации узлов. К тому же, конструкция таких манипуляторов совмещает функции несущей металлоконструкции и исполнительного механизма, что существенно снижает общую массу устройства [1-3].

Примером механизма параллельной структуры является манипулятор-трипод (рис. 1), который может агрегатироваться на мобильных роботах и использоваться в различных отраслях народного хозяйства: сельское хозяйство, строительство, коммунальное хозяйство, перерабатывающая промышленность, транспортно-складские работы и др.

Механизм манипулятора состоит из четырех линейных приводов 1, 2, 3, 4. Концы приводов 1, 2 и 3 закреплены с помощью специальных двух подвижных шарниров на поворотном основании 5, что позволяет увеличить зону обслуживания. Привод 4 обеспечивает поворот снования 5. Противоположные

концы исполнительных звеньев 1, 2, 3 соединены специальным шарниром 6 (рис. 1), обеспечивающим пересечение геометрических осей этих звеньев в одной точке.

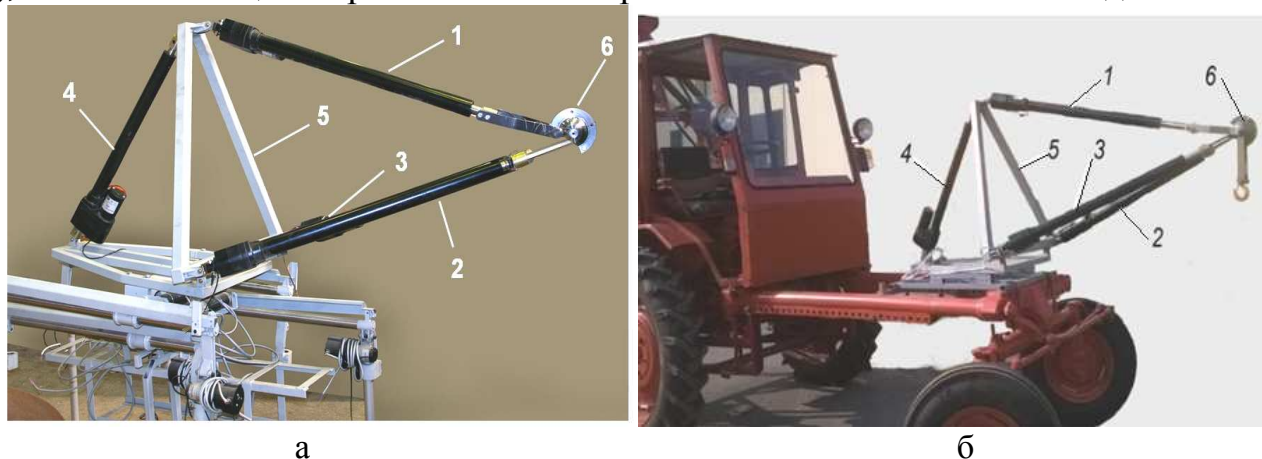


Рис. 1. Манипулятор – трипод на поворотном основании: а) на мобильном шагающем роботе, б) на колесном самоходном шасси

Характер изменения усилий в стержнях l -координатного пространственного механизма манипулятора представляет интерес при планировании траекторий рабочего органа – захвата, с целью минимизации времени работы исполнительных приводов в особо нагруженных участках зоны обслуживания, а в идеале – исключения перемещения самых нагруженных исполнительных приводов.

При перемещении груза весом G , приложенного к шарниру 6 усилия в звеньях манипулятора N_1, N_2, N_3 и N_4 при работе могут изменять знак, в результате чего исполнительные линейные приводы подвержены переходу от растяжения к сжатию и от сжатия к растяжению. Наиболее ярко этот эффект проявляется при больших величинах угла наклона поворотного основания 6. В свою очередь статические нагрузки, действующие на звенья манипулятора, зависят от текущих длин l_1, l_2, l_3, l_4 исполнительных линейных приводов, а в конечном счете от положения грузозахватного устройства, прикрепляемого к шарниру 6.

Задача позиционирования захвата манипулятора при выполнении технологических операций состоит в перемещении его из начального состояния, в конечное положение. То есть, при известной начальной конфигурации манипулятора, определяемой обобщенными координатами l_{i0} , требуется найти конечную конфигурацию - значения обобщенных координат l_{ik} .

Для решения поставленной задачи позиционирования захвата из условия минимизации движения самых нагруженных исполнительных линейных приводов минимизируется квадратичная функция [4-6]

$$\Phi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 C_i (l_{ik} - l_{i0})^2. \quad (1)$$

На обобщенные координаты манипулятора наложены конструктивные ограничения

$$l_{i \min} \leq l_{ik} \leq l_{i \max}, \quad (2)$$

В качестве весовых коэффициентов C_i принято отношение вертикальной нагрузки G , приложенной к шарниру 6, к усилию в i -том линейном приводе

$$C_i = \frac{N_i}{G}. \quad (3)$$

Проведенные расчеты показали, что наиболее нагруженными звеньями механизма манипулятора являются звенья l_1 и l_4 , поэтому значения весовых коэффициентов C_1, C_4 принимаются тем больше, чем больше диапазон изменения усилий в соответствующих звеньях манипулятора [1, 7]. Полученные результаты о распределении силового потока необходимо учитывать при формировании алгоритмов управления движением исполнительных устройств.

Определив зону обслуживания манипулятора в каком либо сечении плоскостью декартовых координат, для каждой точки зоны m_i определяются усилия N_i в наиболее нагруженных звеньях манипулятора l_i и весовой коэффициент C_i . Процесс вычислений автоматизирован и реализуется посредством ниже представленного алгоритма (рис. 2).

В процессе реализации алгоритма (рис. 2) находится множество точек $m_i(y_i, z_i) \in f(M_0, M_1, M_2, M_3)$ для каждой из которых определено усилие в самом нагруженном звене n_{1i} . Так как массивы $M\{m_i\} \cong N\{n_i\}$, то для всякой существующей в пределах сечения зоны обслуживания точки m_i производится биективное наложение

$$\exists M\{m_i\} \xrightarrow{f} N\{n_i\} \quad (4)$$

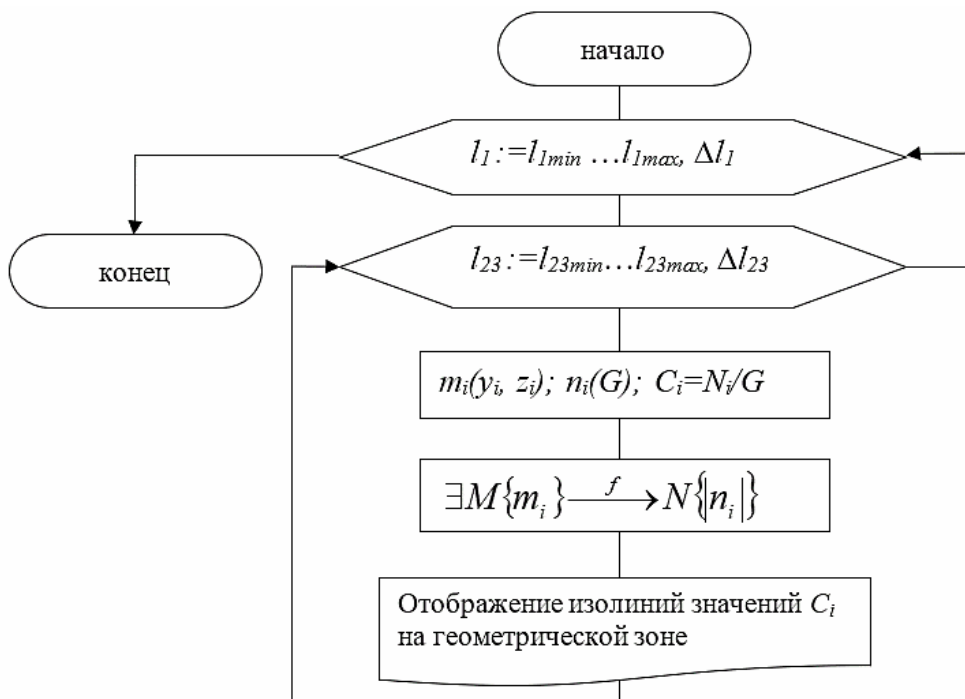


Рис. 2. Блок-схема алгоритма построения геометрико-статической характеристики манипулятора-трипода в заданной плоскости

На рисунках 3, а и 3, б приведены геометрико-статические характеристики манипулятора в выбранных сечениях зоны обслуживания для обобщенной координаты первого привода l_1 (рис. 3, а) и обобщенных координат 2-го и 3-го приводов l_2 и l_3 (рис. 3, б). Вследствие симметричности конструкции

манипулятора-трипода, нагружение второго и третьего звеньев идентичны в выбранном сечении. Изолиниями отмечены границы зон внутри сечения, показывающие отношение N_1/G , например, при движении схвата манипулятора по изолинии со значениями 1,5 будет означать, что усилие в нагруженном звене l_1 будет в 1,5 раза выше, чем нагрузка G , приложенная в точке крепления схвата.

Когда захват манипулятора находится в точке M_1 , звенья l_1 , l_2 и l_3 работают на сжатие, при переходе от точки M_1 к M_2 через ось Cy' , у звена l_1 происходит изменение знака реакции, звено l_1 работает уже на растяжение. Этим обстоятельством обусловлено преломление изолиний в месте прохождения Cy' . При дальнейшем переходе от точки M_2 и M_3 через ось OY , звенья l_2 и l_3 также начинают работать на растяжение. Знаки реакций в стержнях l_1 , l_2 и l_3 становятся отрицательными.

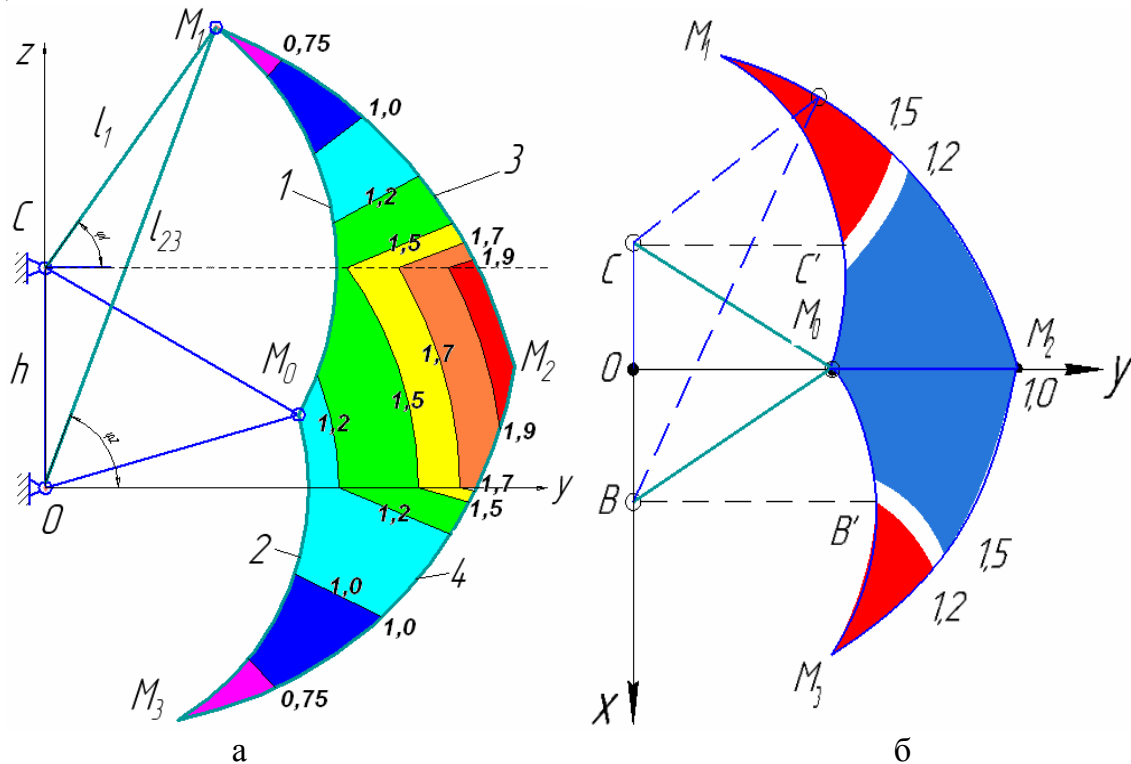


Рис. 3. Геометрико-статическая характеристика манипулятора-трипода в сечениях декартовыми плоскостями: а) в плоскости yOz ; б) в плоскости xOy

Для другого наиболее нагруженного звена 4, работающего только в одной плоскости, наибольшие значения коэффициента C_4 принимает при наибольшем вылете захвата, т.е. при длинах звеньев $l_{1\max}$, $l_{2\max}$, $l_{3\max}$.

Заключение

Приведенный алгоритм позволяет получить геометрико-статические характеристики пространственного механизма манипулятора-трипода в виде сечений зоны обслуживания и поверхностей. Используя значения весовых коэффициентов C_i в различных участках зоны обслуживания можно формировать управляющие движения исполнительными линейными приводами исходя из условий

$$\text{при } C_i \rightarrow \max, \quad \frac{dl_i}{dt} \rightarrow \text{const} \text{ и } \frac{d^2l_i}{dt^2} \rightarrow \min.$$

Список литературы

1. Воробьева Н.С., Несмиянов И.А., Жога В.В., Дяшкин-Титов В.В., Дяшкин А.В. Исследование манипуляторов параллельно-последовательной структуры на базе трипода: монография. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2022. – 272 с.
2. Механизмы перспективных робототехнических систем / Под редакцией В.А. Глазунова, С.В. Хейло. – М.: Рекламно-издательский центр "Техносфера", 2020. – 296 с.
3. Жога В.В., Несмиянов И.А., Дяшкин-Титов В.В., Дяшкин А.В., Иванов А.Г., Николаев М.Е., Калинин Я.В. Разработки, исследования и проблемы управления движением манипуляторов параллельно-последовательной структуры на основе трипода // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: Сборник трудов. В 4-х томах, Уфа, 19-24 августа 2019 года. Том 1. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2019. – С. 560-562.
4. Несмиянов И.А., Николаев М.Е. Планирование траекторий захвата погрузочного манипулятора по критериям энергоэффективности и оценка затрат работы приводов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 4(64). – С. 356-367.
5. Николаев М.Е., Перфилов В.А., Ляшенко Д.А. Планирование оптимальных программных движений грузозахватного органа автоматизированного погрузчика // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2024. – № 1(284). – С. 50-54.
6. Коловский М.З., Слоущ А.В. Основы динамики промышленных роботов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 240 с.
7. Nikolaev M.E., Nesmianov I.A., Ivanov A.G., Dyashkin-Titov V.V. Loading and transport unit with a tripod manipulator and hybrid drive // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021, vol. 1129, no. 1, p. 012063.

Сведения об авторах:

Несмиянов Иван Алексеевич – д.т.н., профессор кафедры механики;

Воробьева Наталья Сергеевна – д.т.н., заведующий кафедрой механики;

Дяшкин-Титов Виктор Владимирович – к.т.н., доцент кафедры механики.