

А. В. Нелюбова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ
НА ТОЧНОСТЬ АППРОКСИМАЦИИ ПРОГРАММНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПРИВОДОВ МАНИПУЛЯТОРА-ТРИПОДА**

Волгоградский государственный технический университет

mqdschen@yandex.ru

Рассматривается проблема влияния количества заданных граничных условий на степень аппроксимирующего полинома при решении задачи перемещения по выбранной траектории манипулятора-трипода методом кинематического синтеза перемещений исполнительных приводов.

Ключевые слова: манипулятор-трипод, кинематический синтез, граничные условия, степень аппроксимирующего полинома.

A. V. Nelyubova

**RESEARCH OF THE INFLUENCE OF BOUNDARY CONDITIONS
ON THE ACCURACY OF APPROXIMATION OF PROGRAM MOVEMENTS
OF THE ACTUATORS OF THE MANIPULATOR-TRIPOD**

Volgograd State Technical University

The problem of the influence of the number of specified boundary conditions on the degree of the approximating polynomial in solving the problem of moving along the selected trajectory of a tripod manipulator by the method of kinematic synthesis of movements of actuators is considered.

Keywords: manipulator-tripod, kinematic synthesis, boundary conditions, degree of approximating polynomial.

Введение

Широкое применение манипуляторов-триподов в различных отраслях промышленности позволяет разрабатывать новые методы для обеспечения оптимального управления и повышения качественных характеристик таких структур. Одной из основных задач при синтезе алгоритмов управления манипуляторов является задача кинематического синтеза программных перемещений исполнительных приводов, обеспечивающих перемещение характерной точки выходного звена манипулятора по заранее спланированной траектории [1, 2]. Для решения за-

дачи кинематического синтеза разработано несколько методов [3, 4]. Одним из методов синтеза перемещений исполнительных приводов является метод аппроксимации реперных точек полиномом. Его суть состоит в предварительном расчете промежуточных значений обобщенных координат для каждого звена между последовательными конфигурациями манипулятора и последующей аппроксимации этих значений полиномом. Степень полинома при необходимой точности аппроксимации зависит от вида и количества граничных условий, наложенных на программную траекторию выходного звена.

Постановка задачи

Рассматривается манипулятор-трипод [5, 6], характерная точка выходного звена M которого совершает движение по окружности из заданной начальной точки в конечную (рис. 1). Манипулятор содержит три линейных исполнительных звена (1, 2, 3), связанных с поворотным основанием в точках A, B, C с помощью двух подвижных шарниров. Другие концы исполнительных звеньев закреплены с помощью сферических шарниров на выходном звене 6. Дополнительная геометрическая связь в виде полой трубы 5 воспринимает изгибающие моменты и обеспечивает жесткость конструкции. Изменение длины хотя бы одного звена 1, 2 или 3 способствует изменению геометрии простран-

ственной структуры, представленной в виде пирамиды $MAVC$. Четвертый линейный привод 4 обеспечивает поворот треугольного основания вокруг горизонтальной оси. Манипулятор имеет четыре степени подвижности.

При решении задачи кинематического синтеза перемещений исполнительных приводов методом составления сплайн-функции, применяемой для планирования траекторий и оптимизационного решения задач о положениях [7], необходимо обосновать рациональный выбор степени аппроксимирующего полинома в зависимости от количества заданных граничных условий перемещения выходного звена манипулятора за конечное время с необходимой точностью.

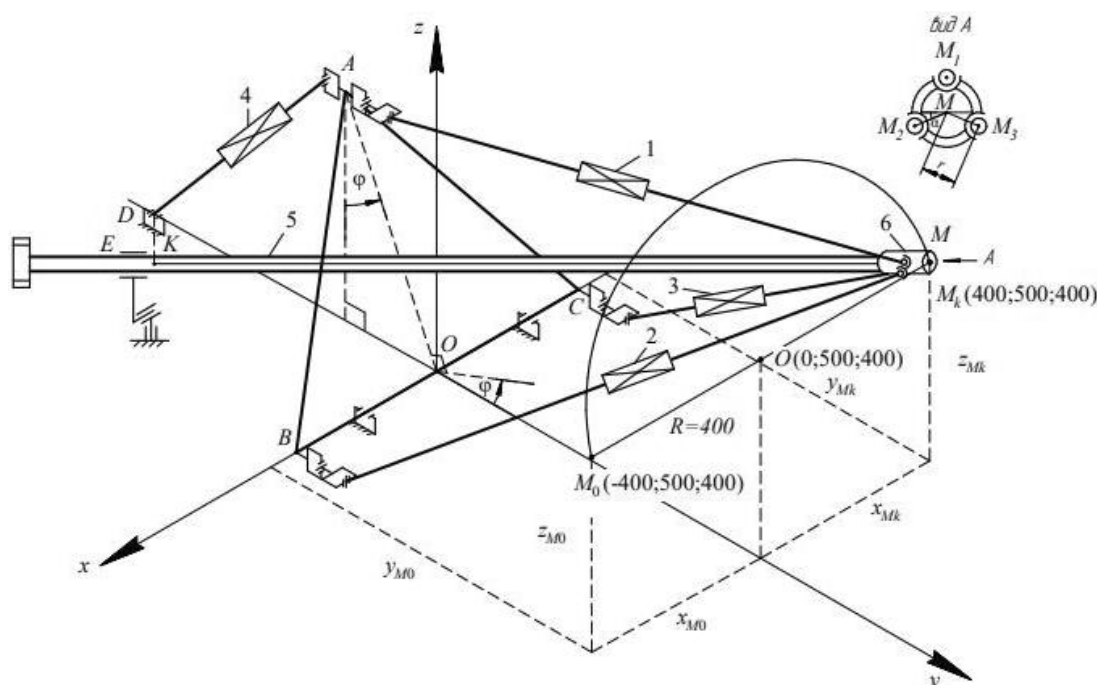


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора-трипода с дополнительной связью

Метод решения и результаты

На примере перемещения по окружности выходного звена манипулятора-трипода с дополнительной пассивной связью [7] исследуется влияние количества заданных граничных условий и степени аппроксимирующего полинома на максимальные отклонения значений обобщенных координат от исходных. В качестве обобщенных координат манипулятора принимаем длины исполнительных звеньев $l_k(t)$, $k = 1, 2, 3, 4$. В соответствии с применяемым методом задаем время $T = 8$ с перемещения захвата по траектории [7]; траекторию разбиваем на $m = 16$ отрезков через интервалы времени

$\Delta t = 0,5$ с. Для каждой точки на траектории с координатами $x(t_i)$, $y(t_i)$, $z(t_i)$, решением задачи позиционирования [8, 9], находим последовательность значений обобщенных координат $l_k(t_i)$. В качестве граничных условий принимаются значения обобщенных координат, скоростей и ускорений в начальный и конечный моменты времени. Исследуются случаи аппроксимации траектории полиномами со степенями $n = 5, 7, 9, 11$, так как для того, чтобы система линейных уравнений, получаемых при применении метода точечной квадратичной аппроксимации [10], имела единственное решение, необходимо выполнение неравенства $n \leq m$.

Значения и количество граничных условий задаются в зависимости от требований выполняемой технологической операции.

Рассматривается влияние четырех вариантов граничных условий на максимальные отклонения значений аппроксимирующих полиномов от расчетных значений.

В первом случае граничные условия отсутствуют; во втором случае заданы только значения обобщенных координат в начальный и конечный моменты времени; в третьем случае заданы значения обобщенных координат и скоро-

стей в начальный и конечный моменты времени; в четвертом случае заданы обобщенные координаты, скорости и ускорения в начальный и конечный моменты времени. Для каждой обобщенной координаты формируются полиномы 5-, 7-, 9-, 11-й степени. Сравниваются максимальные отклонения значений полиномов с расчетными значениями, полученными при решении задачи позиционирования. На рис. 2–5 показаны значения максимальных отклонений обобщенных координат Δl_1 , Δl_2 , Δl_3 , Δl_4 в зависимости от степени полинома и числа граничных условий.

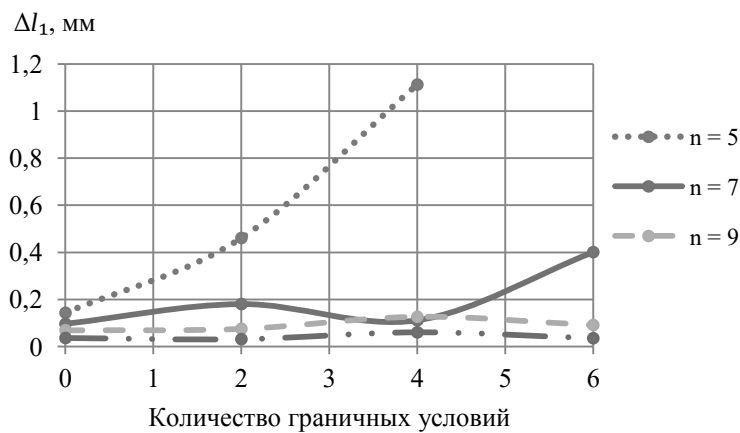


Рис. 2. График зависимости значений максимальных отклонений обобщенной координаты Δl_1 от степени полинома и числа граничных условий

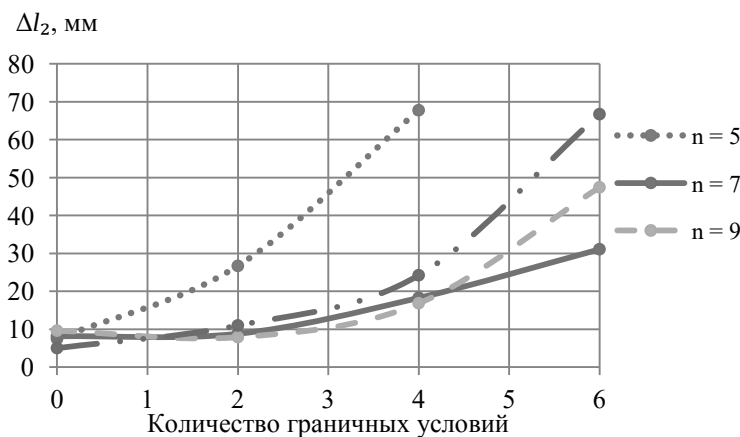


Рис. 3. График зависимости значений максимальных отклонений обобщенной координаты Δl_2 от степени полинома и числа граничных условий

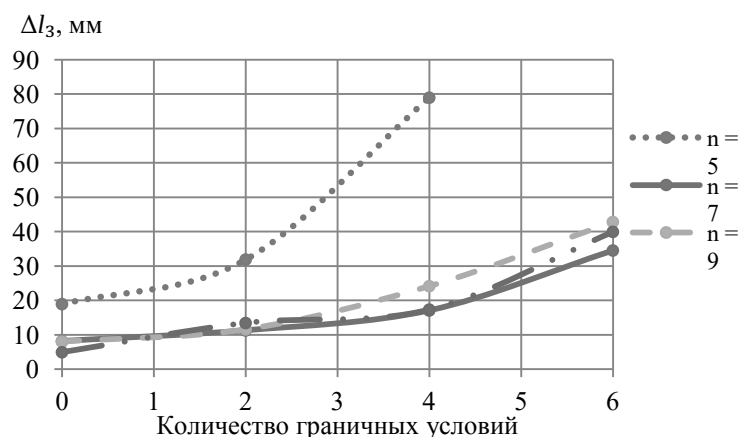


Рис. 4. График зависимости значений максимальных отклонений обобщенной координаты Δl_3 от степени полинома и числа граничных условий



Рис. 5. График зависимости значений максимальных отклонений обобщенной координаты Δl_4 от степени полинома и числа граничных условий

Заключение

Результаты математического моделирования показывают, что при отсутствии граничных условий для обеспечения необходимой точности аппроксимации ($\delta = 0,01$) достаточно применять полином 5-й степени. При учете шести граничных условий наименьшие максимальные отклонения наблюдаются при аппроксимации траектории полиномом 11 степени. При использовании полинома 5-й степени зависимость точности аппроксимации от количества граничных условий носит немонотонный характер. Максимальные отклонения наблюдаются при меньшей степени полинома. Таким образом, при решении задачи кинематического синтеза следует выбирать степень полинома высокого порядка с учетом ограничений $n \leq t$ для увеличения точности полученных результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сяньвэнь, Кун. Структурный синтез параллельных механизмов / Сяньвэнь Кун, Клемент Госселин. – М. : Физматлит, 2012. – 275 с.
2. Синтез механизмов параллельной структуры с кинематической развязкой / Н. Ю. Носова, В. А. Глазунов, С. В. Палочкин, А. Н. Терехова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2014. – № 5. – С. 34–40.
3. Исследование манипуляторов параллельно-последовательной структуры на базе трипода : моногр. / Н. С. Воробьева, И. А. Несмиянов, В. В. Жога, В. В. Дяшкин-Титов, А. В. Дяшкин ; Волгоградский ГАУ. – Волгоград, 2022. – 272 с.
4. Рыбак, Л. А. Синтез алгоритма коррекции траектории движения выходного звена робото-гексапода на основе теории искусственных нейронных сетей / Л. А. Рыбак, Ю. А. Мамаев, Л. Г. Вирабян // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 12. – С. 142–151.
5. П. м. 218886 Российская Федерация, МПК В66С 23/00. Манипулятор-трипод / В. В. Жога, А. В. Нелюбова, Н. Г. Шаронов, В. В. Чернышев ; ВолгГТУ. – 2023.

6. П. м. 218887 Российская Федерация, МПК В66С 23/44. Манипулятор-трипод / В. В. Жога, А. В. Нелюбова, Н. Г. Шаронов, В. В. Чернышев ; ВолгГТУ. – 2023.

7. *Нелюбова, А. В.* Кинематический синтез манипулятора-трипода с дополнительной связью / А. В. Нелюбова, В. В. Жога, Н. Г. Шаронов // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023) : Материалы мультиконференции. – Волгоград, 2023. – С. 89–93.

8. *Нелюбова, А. В.* Расчет кинематических характеристик манипулятора-трипода с дополнительной кинематической связью / А. В. Нелюбова, В. В. Жога, И. П. Верши-

нина // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 4 (275) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – С. 71–76.

9. *Жога, В. В.* Определение кинематических параметров исполнительных приводов для реализации программных траекторий / В. В. Жога, А. В. Нелюбова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (280) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – (Серия «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»). – С. 26–30.

10. *Демидович, Б. П.* Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения : учеб. пособие / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. – СПб.: Лань. – 2022. – 400 с.