

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ДЛИН ПЛЕЧ МАНИПУЛЯТОРА

Ибрагимов А.Ф., Ибрагимова А.Ю., Маркова Т.В.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: манипулятор, статический анализ, оптимизация геометрии, длина звена, момент привода, геометрический анализ.

Аннотация. В данной статье рассматривается задача выбора оптимального соотношения длин звеньев промышленного манипулятора. Показаны полученные аналитические зависимости моментов в приводах от геометрических параметров с учетом распределенной массы звеньев, массы груза и веса приводов. Предложен подход к определению рациональной конфигурации, обеспечивающей минимизацию нагрузки на приводы.

FINDING OF THE OPTIMAL RATIO OF THE ARM LENGTHS OF THE MANIPULATOR

Ibragimov A.F., Ibragimova A.Yu., Markova T.V.

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

Keywords: manipulator, static analysis, geometry optimization, arm length, drive torque, geometric analysis.

Abstract. This article discusses the problem of choosing the optimal ratio of the arms lengths of an industrial manipulator. The obtained analytical dependences of the moments in the drives on the geometric parameters are shown, taking into account the distributed mass of the links, the weight of the load and the weight of the drives. An approach to determining a rational configuration that minimizes the load on the drives is proposed.

Введение. Задача оптимизации геометрии – одна из важнейших при проектировании манипуляторов. Объектом исследования данной работы является плоский промышленный манипулятор, состоящий из двух звеньев, сочленяющихся вращательными кинематическими парами.

Постановка задачи: подобрать длины двух звеньев так, чтобы минимизировать нагрузку на приводы и сохранить радиус рабочей зоны.

Исходные данные: Радиус рабочей зоны манипулятора – L , номинальные моменты приводов – M_1 и M_2 , массы приводов m_1 и m_2 , удельные линейные массы звеньев – q_1 и q_2 , масса груза m , закрепленного на конце манипулятора.

Расчет моментов на приводах. Приводы будут максимально нагружены моментом от сил тяжести звеньев и груза в положении, когда оба звена вытянуты горизонтально [1] (рис. 1).

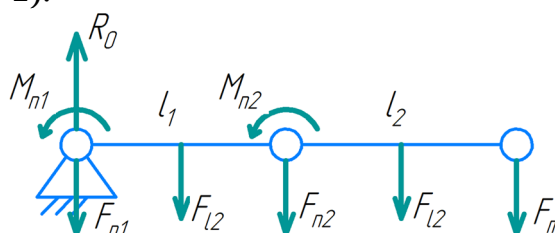


Рис. 1. Схема положения и действующих моментов и сил

Заданный радиус рабочей зоны определяет сумму длин звеньев манипулятора L . Будем варьировать только длину только первого звена l_1 , длина второго l_2 будет зависимой от него:

$$l_2 = L - l_1. \quad (1)$$

Система не является статически определимой, т.к. можно составить только два уравнения [2]. Определим зависимости моментов $M_{П1}$ и $M_{П2}$, действующих на звенья со стороны первого и второго привода соответственно, от длины l_1 . Для этого разобьем звенья 1 и 2 в точке их соединения и составим уравнения для моментов. Построим схему сил, приложенных к разъединенным звеньям (рис. 2).

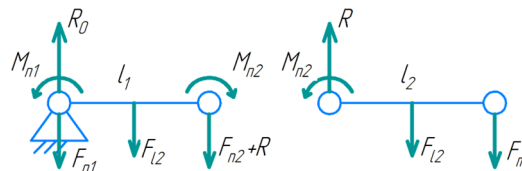


Рис. 2. Схема сил, приложенных к разъединенным звеньям

Обозначим силы реакции опоры: R_0 – в опорной точке и R – в точке разъединения. Последняя действует на второе звено со стороны первого, согласно принципу освобожденности от связей [3]. Сила реакции со стороны первого звена будет равна R и противоположна по направлению, как и момент от привода в точке сочленения звеньев. Определим значение силы тяжести звена F_{l2} , зная удельную линейную массу второго звена и его длину:

$$F_{l2} = q_2 \cdot l_2 \cdot g, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения.

Определим значения силы тяжести груза:

$$F_m = m \cdot g. \quad (3)$$

Точка приложения силы тяжести второго звена будет являться серединой этого звена, а момент относительно точки его приложения равен:

$$M_{П2} = F_{l2} \cdot \frac{l_2}{2} + F_m \cdot l_2. \quad (4)$$

Подставив в уравнение (4) уравнения (1) - (3), получим:

$$M_{П2} = l_1^2 \cdot \frac{q_2 \cdot g}{2} - l_1 \cdot g \cdot (q_2 + m) + \frac{L^2 \cdot q_2 \cdot g}{2} + m \cdot g \cdot L. \quad (5)$$

Видно, что получившийся момент имеет квадратную зависимость от длины первого звена. Для дальнейших расчетов также определим силу реакции R :

$$R = F_{l2} + F_m = q_2 \cdot (L - l_1) \cdot g + m \cdot g. \quad (6)$$

Определим значение силы F_{l1} , зная удельную линейную массу первого звена и его длину:

$$F_{l1} = q_1 \cdot l_1 \cdot g. \quad (7)$$

Также определим значения силы тяжести от второго привода, который закреплен на первом звене:

$$F_{П2} = m_2 \cdot g. \quad (8)$$

Составим уравнение для момента первого привода:

$$M_{П1} = F_{l1} \cdot \frac{l_1}{2} + (F_{П2} + R) \cdot l_1 + M_{П2}. \quad (9)$$

Подставив в уравнение (8) уравнения (5)-(8), получим:

$$M_{II} = l_1^2 \cdot \left(\frac{q_1 \cdot g}{2} - \frac{q_2 \cdot g}{2} \right) + l_1 \cdot (q_2 \cdot L \cdot g - g \cdot q_2 + m_2 \cdot g) + \frac{L^2 \cdot q_2 \cdot g}{2} + m \cdot g \cdot L. (10)$$

Формулы (5) и (10) позволяют построить графики зависимости моментов от длины первого звена при конкретных значениях суммы длин двух звеньев – L , массе второго привода m_2 , удельной линейной массе звеньев – q_1 и q_2 и массе груза m .

На рисунке 3, а показаны зависимости моментов на приводах для выбранных значений $L = 2$ м, $m = 25$, $m_2 = 35$ кг, $q_1 = 35$ кг/м², $q_2 = 16$ кг/м². Оценить состояние приводов можно, зная номинальные моменты приводов M_1 и M_2 . Примем $M_1 = 1500$ Н·м и $M_2 = 600$ Н·м. Полученные зависимости процентной загрузки приводов (M_{II}/M_1 и M_{II}/M_2) приводов от длины первого звена представлены на рисунке 3, б. Точка пересечения графиков соответствует состоянию равенства процентной загрузки приводов, что позволяет определить оптимальное для выбранных исходных данных значение длины первого звена (здесь – около 0,9 м).

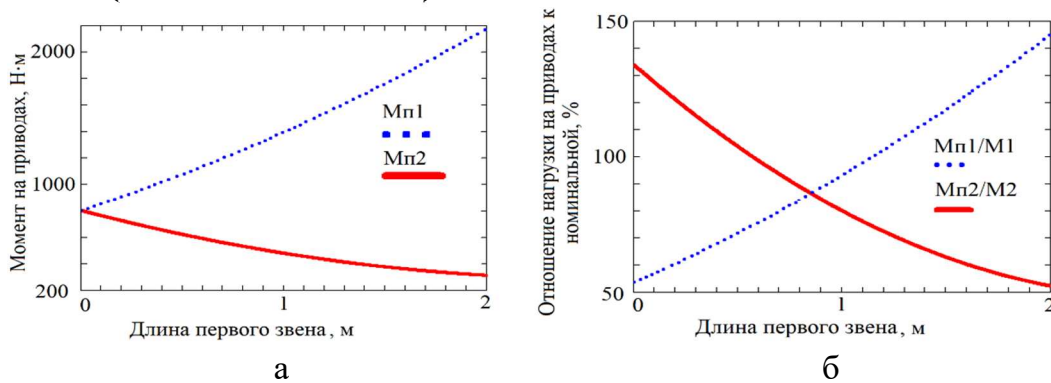


Рис. 3. Зависимости моментов на приводах от длины первого плеча:
а – моменты на приводах, б – процентная загрузка приводов

Заключение. В результате исследования получены аналитические и графические зависимости, которые можно использовать для определения длин звеньев при различных исходных данных.

Список литературы

1. Попов А.Н., Решетов Д.В., Полищук М.Н., Закатов В.В. Машиностроительная схемотехника. Условные графические изображения в кинематических, пневматических, гидравлических и электрических схемах: Учебное пособие. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 91 с.
2. Прохоренко Ф.Ф. Теоретическая механика: Учебное пособие. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 190 с.
3. Евграфов А.Н., Коловский М.З., Петров Г.Н. Теория механизмов и машин: Учебник. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 248 с.

Сведения об авторах:

Ибрагимов Айдар Фаилевич – студент;

Ибрагимова Анастасия Юрьевна – студент;

Маркова Татьяна Владимировна – к.т.н., доцент.