

Представленная работа позволяет сделать следующие выводы:

– Определение кинематических характеристик плоского механизма можно производить вручную и автоматизировано. При этом сравнение результатов, полученные вручную показали совпадение с результатами расчета в среде MathCAD, что удовлетворяет поставленной цели и дает возможность оценить трудоемкость вычислений при разных подходах.

– Сравнение рассчитанных кинематических характеристик для разных моделей плоских механизмов дает возможность правильного выбора той или иной модели при заданных параметрах выходного звена для обеспечения рационального использования и назначения механизмов.

– Межпредметная интеграция в сжатых рамках читаемых дисциплин дает возможность понять и оценить взаимосвязь предметов, необходимость их введения в учебный курс, формирует понимание, что решение одной прикладной задачи требует знания множества дисциплин.

Список литературы:

[1] Смирнов М.О., Гордлеева И.Ю., Гаврилова Т.И. «Натурное и компьютерное моделирование для кинематического анализа плоского механизма» Материалы II Всероссийской студенческой научно-практической конференции, МИИТ, г. Н. Новгород, 2014, с. 25.

[2] Бертяев В. Теоретическая механика на базе Mathcad. Практикум Издательство: БХВ-Петербург, 2007.

Е.Я. Зозуля, А.А. Смольков, А.В. Крылов, Т.И. Тарнопольская
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДВУХ- И ТРЕХСТЕПЕННЫХ ПЛОСКИХ МАНИПУЛЯТОРОВ

Механизм манипулятора представляет собой плоскую или пространственную незамкнутую кинематическую цепь. Манипуляторы имеют довольно разнообразную структуру кинематических цепей, которая различается числом звеньев, видом и расположением кинематических пар, подвижностью как КП, так и механизма в целом. Структура шарнирного робота-манипулятора рассматривалась в [2].

Расчет управляющих моментов в кинематических парах A , B , C в зависимости от двух параметров массы груза и изменения положения ведомого звена позволяет оценить статические нагрузки и провести предварительный подбор приводов. К приводам, применяемым в манипуляторах, предъявляются достаточно жесткие требования. Помимо того, что они должны быть минимальными по весу и габаритам, они должны создавать достаточно большие моменты и усилия, а также работать, в основном, в неустановившихся режимах и с переменной нагрузкой. Управление движением звеньев манипулятора производится путем дозирования перемещений, скоростей выходных звеньев привода. Следовательно, для каждого звена необходимо составить основные математические соотношения для управляющих воздействий, в данном случае моментов, по которым рассчитывается и реализуется управляющая программа для каждой кинематической пары. На рис. 1 показан двухстепенный манипулятор с приводами Д1 и Д2, тогда как схема, трёхзвенного манипулятора должна быть дополнена еще одним приводом Д3 в точке С. При упрощенной модели моменты задаются как линейные функции кинематических параметров.

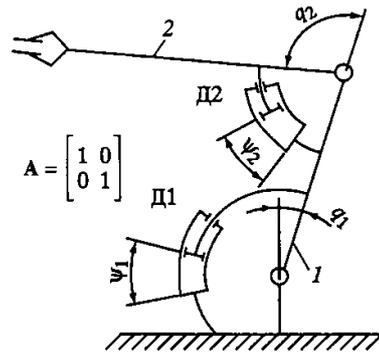


Рис. 1.

При вычислении скорости точки D последовательно находим скорости характерных точек в соответствии с графом $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ [1]. Тогда

$$\vec{v}_B = \vec{\omega}_1 \times \vec{AB},$$

$$\vec{v}_C = \vec{\omega}_1 \times \vec{AB} + \vec{\omega}_2 \times \vec{BC},$$

$$\vec{v}_D = \vec{\omega}_1 \times \vec{AB} + \vec{\omega}_2 \times \vec{BC} + \vec{\omega}_3 \times \vec{CD}.$$

Проецируя векторные уравнения на оси Ax и Ay получим систему алгебраических уравнений для определения угловых скоростей звеньев.

Дополнив их дифференциальными зависимостями:

$$\dot{\varphi}_1 = \omega_{1z}, \dot{\varphi}_2 = \omega_{2z}, \dot{\varphi}_3 = \omega_{3z},$$

получим систему дифференциальных уравнений, интегрирование которой при заданных начальных условиях $\varphi_1(0), \varphi_2(0), \varphi_3(0)$ дает решение задачи о движении плоского манипулятора, при заданном программном движении точки M. Накладывая эти решения на результаты статического расчета, получаем оптимизированные параметры управляющих воздействий на приводах манипулятора.

В статическом расчете рассмотрен шарнирный плоский манипулятор (см. рис. 2) со следующими массово-геометрическими характеристиками: масса звеньев $m_1=4$ кг, $m_2=2$ кг, $m_3=1$ кг, длины однородных стержней $l_1=4$ м, $l_2=2$ м, $l_3=1$ м и масса груза, переносимого захватным устройством – $m_4=0,5-10$ кг.

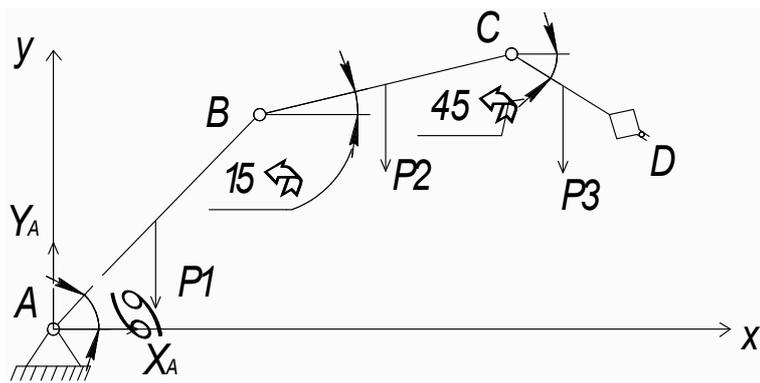


Рис. 2. Схема сил для статического расчета плоского шарнирного манипулятора

Условия равновесия механизма робота-манипулятора и его структурных групп, имеют вид:

$$\sum_{k=1}^n M_A(F_k) = 0, \quad M_A - m_1 g l_1 / 2 \cos \alpha - m_2 g (l_1 \cos \alpha + (l_2/2) \cos 15) - m_3 g (l_1 \cos \alpha + l_2 \cos 15 + (l_3/2) \cos 45) - m_4 g (l_1 \cos \alpha + l_2 \cos 15 + l_3 \cos 45) = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^n M_B(F_k) = 0, \quad M_B - m_2 g l_2 \cos \alpha_2 / 2 - m_3 g (l_2 \cos \alpha_3 + l_3 \cos 45 / 2) - m_4 g (l_2 \cos \alpha_2 + l_3 \cos 45) = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n M_C(F_k) = 0, \quad M_C - m_3 g l_3 \cos \alpha_3 / 2 \cos \alpha_3 - m_4 g l_3 \cos \alpha_3 = 0 \quad (3)$$

Из полученных уравнений находим управляющие моменты в кинематических парах: на ведущем звене – M_A , в точке В – M_B , в шарнире С – M_C при изменении массы в точке D с шагом 0,5 кг от 0,5 до 5 кг при постоянных углах между вторым и третьим звеном $\alpha_1 = 45^\circ$ между первым и вторым звеньями $\alpha_2 = 15^\circ$, между ведущим звеном и положительным направлением оси Ox $\alpha_3 = 60^\circ$. Зависимость управляющих воздействий M_A, M_B, M_C на звенья манипулятора от массы груза, переносимого захватом показана на графике представленном на рис. 3. Графики имеют явно выраженную линейную зависимость от массы груза.

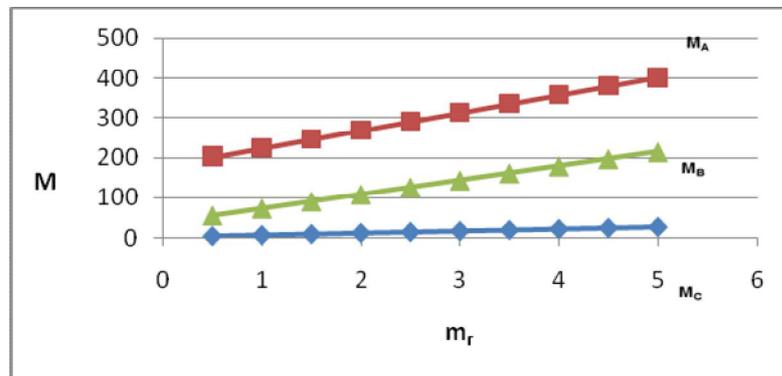


Рис. 3. Зависимость управляющих воздействий M_A, M_B, M_C от массы груза.

Из условий равновесия (1), (2) и (3) определяем управляющие моменты между звеньями в точках А, В и С – M_A, M_B и M_C при разных углах α последнего звена со схватом:

$$\sum_{k=1}^n M_A(F_k) = 0, \quad M_A = 9,8(4 \cdot 4 \cdot \cos \alpha / 2 + 2 \cdot (4 \cos \alpha + 2 \cos 15 / 2) + 1(4 \cos \alpha + 2 \cos 15 + 1 \cos 45 / 2) + 5(2 \cos \alpha + 2 \cos 15 + 1 \cos 45))$$

$$\sum_{k=1}^n M_B(F_k) = 0, \quad M_B - m_2 g l_2 \cos \alpha_2 / 2 - m_3 g (l_2 \cos \alpha_3 + l_3 \cos 45 / 2) - m_4 g (l_2 \cos \alpha_2 + l_3 \cos 45) = 0$$

$$\sum_{k=1}^n M_C(F_k) = 0, \quad M_C - m_3 g l_3 \cos \alpha_3 / 2 \cos \alpha_3 - m_4 g l_3 \cos \alpha_3 = 0.$$

При изменении угла с шагом 15° от 0° до 120° при постоянных углах между остальными звеньями и неизменных массах звеньев и груза в точке D, получаем результаты, представленные на рис. 4:

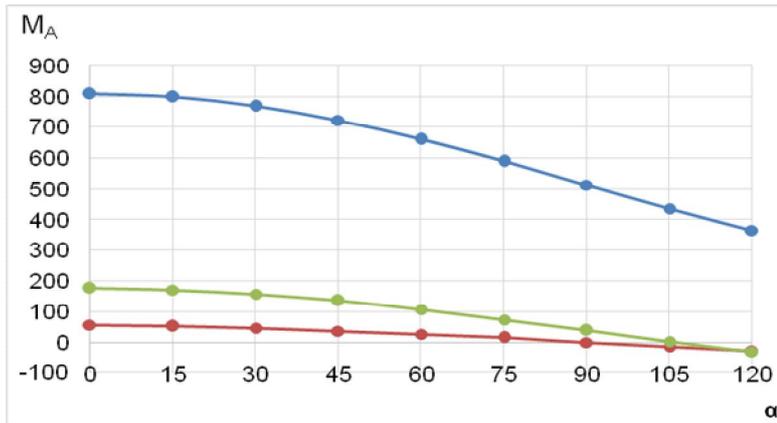


Рис. 4. Зависимость управляющих воздействий M_A , M_B , M_C от угла α .

Из полученных графиков можно сделать вывод, что все управляющие моменты с ростом угла выходного звена уменьшаются, причем M_B , M_C , начиная со значения $\frac{\pi}{2}$ должны быть направлены в противоположную сторону.

Кинематический анализ манипуляторов выполнен на основе анализа двухзвенного манипулятора. Двухзвенный манипулятор относят к структурной группе II класса I вида (ВВВ), причём прикреплению двухзвенной структурной группы к первичному механизму соответствует трехстепенному манипулятору.

Входными параметрами манипулятора являются: законы изменения скорости точки А, начальные углы φ_0 и φ_1 .

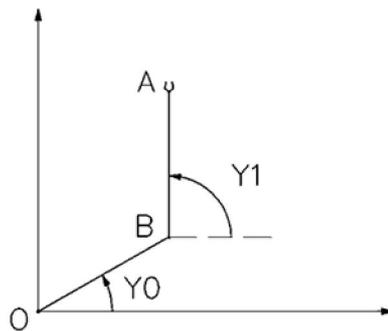


Рис. 5. Кинематическая схема двухзвенного манипулятора

Нам необходимо проанализировать закон изменения углов поворота звеньев φ_0 и φ_1 от времени в зависимости от закона изменения скорости точки А схвата. Согласно теории графов:

$$\bar{v}_O = \bar{v}_A + \bar{\omega}_1 \times \overline{AB} + \bar{\omega}_0 \times \overline{BO}$$

Спроецируем векторы скоростей на оси x и y, учитывая что вектор скорости опережает радиус вектор на величину $(+\frac{\pi}{2})$.

Поскольку точка O является стойкой и её скорость, соответственно, равна нулю, то

$$v_A(x) + \omega_1 \times AB \times \cos\left(Y1 + \frac{\pi}{2}\right) + \omega_0 \times OB \times \cos\left(Y0 + \frac{\pi}{2}\right) = 0$$

$$v_A(y) + \omega_1 \times AB \times \sin\left(Y_1 + \frac{\pi}{2}\right) + \omega_0 \times OB \times \sin\left(Y_0 + \frac{\pi}{2}\right) = 0$$

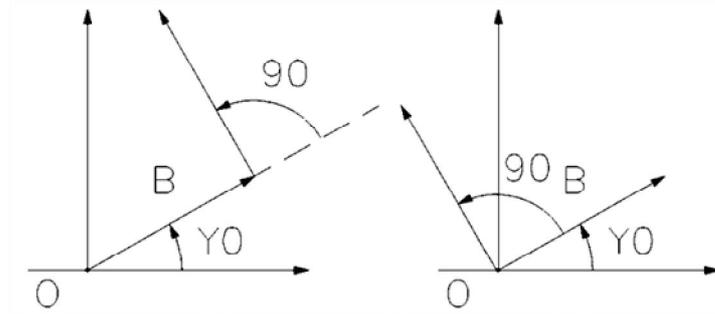


Рис. 6. Расположение радиус вектора и вектора скорости

Заменяем $\omega = \frac{dy}{dt}$, решая систему дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты получим:

$$F_{\omega}(t, y) := \left[\begin{array}{l} \frac{\left[\left(v_{Ay}(t) - v_{Ax}(t) \cdot \tan\left(y_1 + \frac{\pi}{2}\right) \right) \cdot \cos\left(y_1 + \frac{\pi}{2}\right) \right]}{OB \cdot \cos\left(y_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(y_1 + \frac{\pi}{2}\right) + OB \cdot \sin\left(y_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \cos\left(y_1 + \frac{\pi}{2}\right)} \\ -v_{Ax}(t) - \frac{\left[\left(v_{Ay}(t) - v_{Ax}(t) \cdot \tan\left(y_1 + \frac{\pi}{2}\right) \right) \cdot \cos\left(y_1 + \frac{\pi}{2}\right) \right]}{OB \cdot \cos\left(y_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(y_1 + \frac{\pi}{2}\right) + OB \cdot \sin\left(y_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \cos\left(y_1 + \frac{\pi}{2}\right)} \cdot OB \cdot \cos\left(y_0 + \frac{\pi}{2}\right) \\ \hline AB \cdot \cos\left(y_1 + \frac{\pi}{2}\right) \end{array} \right]$$

Данное выражение справедливо, при условии что точка А, перемещается в зоне захвата

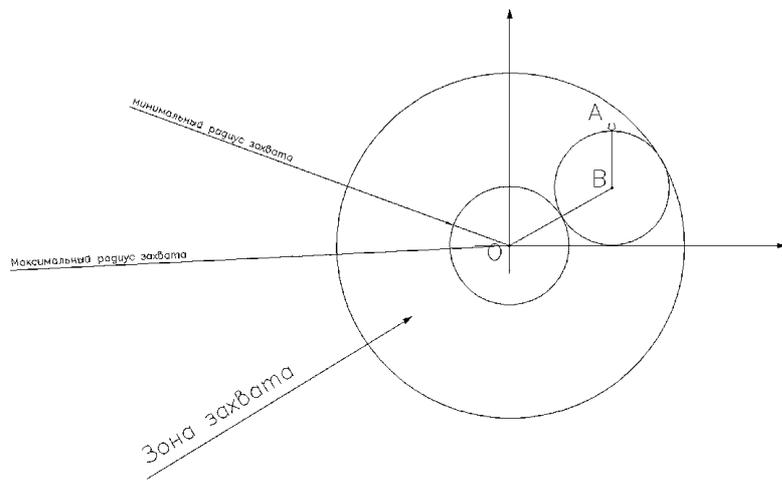


Рис. 7. Расположение зоны захвата

Расчет математической модели проводился в MATHCAD для трех траекторий движения точки А схвата манипулятора: движение параллельно вертикальной оси, точка А описывает восьмерку и движение параллельно горизонтальной оси. В каждом

из этих случаев расчетные углы φ_0 и φ_1 имеют гармонический характер, что позволяет определить границы допустимых значений. По полученным углам можно найти скорости характерных точек.

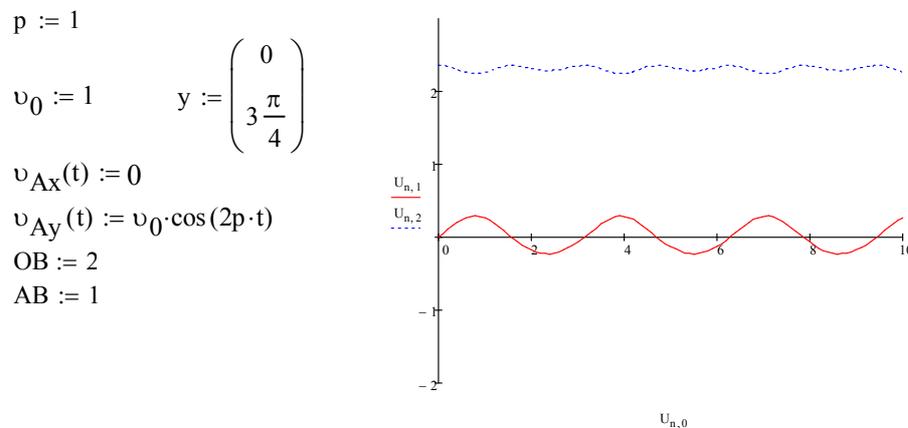


Рис. 8. Движение захвата параллельно оси y

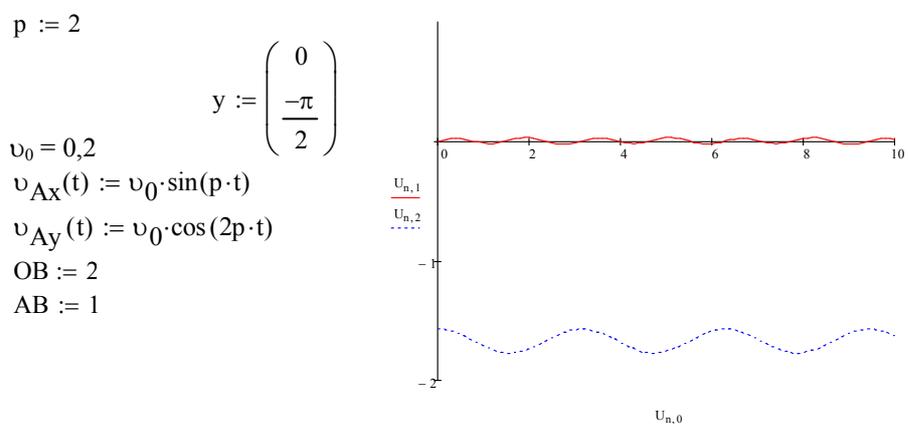


Рис. 9. Траектория захвата описывает 8

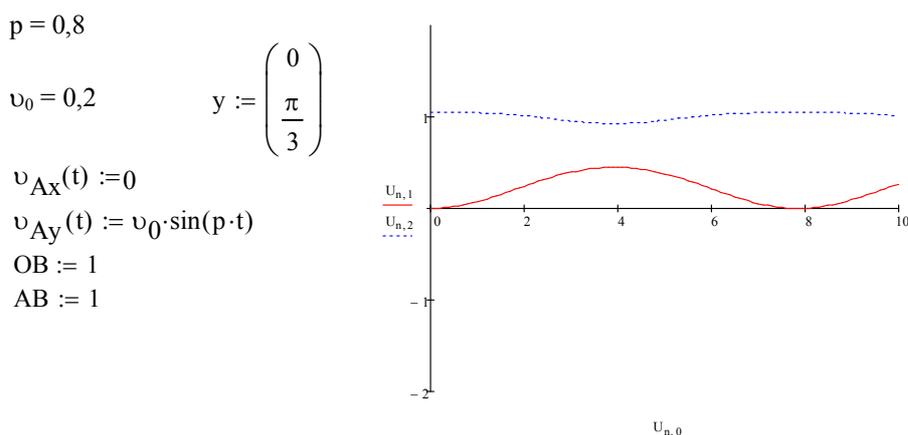


Рис. 10. Движение захвата параллельно оси x

Учитывая, что

$$A = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M(\varphi) \times d\varphi$$

и что средняя мощность в данный момент времени $N = \frac{\Delta A}{\Delta t}$, можно осуществить предварительный выбор электродвигателя, используя управляющие моменты из статического расчета, а углы – из расчета математической модели в кинематике.

Список литературы:

- [1] Новожилов И.В., Зацепин М.Ф. Типовые расчеты по теоретической механике на базе ЭВМ. – М.: Высш. школа, 1986. -136 с.
- [2] Крылов А.В., Прокопенко Н.М., Тарнопольская Т.И. Постановка задачи об управляемости манипуляторов/ А.В. Крылов, Н.М. Прокопенко, Т.И. Тарнопольская// Материалы II Всероссийской студенческой научно-практической конференции «Инновационные тенденции строительства: теоретические и прикладные аспекты». – Н. Новгород: ООО «Стимул-СТ», 2014. – с. 18–22.
- [3] Корендяев А.И. Теоретические основы робототехники / А.И. Корендяев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес – М.: Наука, 2006. -383 с.

Д.Н. Костюничев
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ ПРИ ХРАНЕНИИ НА ОТКРЫТЫХ СКЛАДАХ

Ключевые слова: порт, открытый склад, потери груза, сыпучий груз, пылеунос.

Статья посвящена обоснованию параметров портовых открытых складов с учетом экологических ограничений по запыленности воздуха и размеров потерь груза от пылеуноса.

Создание и эксплуатация любого технологического объекта, в том числе порта или грузового причала, предусматривает проведение оценки их воздействия на окружающую среду и развития объекта в пределах условного (оптимального) уровня загрязнения.

Опыт эксплуатации морских и речных портов показывает, как много возникает проблем, связанных с пылеобразованием и пылеуносом, при перегрузке навалом и хранении сыпучих грузов на открытых складах. На (рис. 1) представлены очаги пылеобразования грузового причала порта при перегрузке и хранении сыпучего груза.