

$$\begin{aligned}
 DB_0 &= D(dc) * \left(\frac{\left(w_{22} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) * \gamma - \left(w_{12} + \frac{\gamma * \eta}{\sigma_0^2} \right) * \eta}{\left(w_{11} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) * \left(w_{22} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) - \left(w_{12} + \frac{\gamma * \eta}{\sigma_0^2} \right)^2} \right)^2, \\
 DL_0 &= D(dc) * \left(\frac{\left(w_{11} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) * \eta - \left(w_{12} + \frac{\gamma * \eta}{\sigma_0^2} \right) * \gamma}{\left(w_{11} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) * \left(w_{22} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) - \left(w_{12} + \frac{\gamma * \eta}{\sigma_0^2} \right)^2} \right)^2, \\
 K_{B_0L_0} &= D(dc) * \left(\frac{\left(w_{11} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) * \eta - \left(w_{12} + \frac{\gamma * \eta}{\sigma_0^2} \right) * \gamma}{\left(w_{11} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) * \left(w_{22} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) - \left(w_{12} + \frac{\gamma * \eta}{\sigma_0^2} \right)^2} \right) * \left(\frac{\left(w_{22} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) * \gamma - \left(w_{12} + \frac{\gamma * \eta}{\sigma_0^2} \right) * \eta}{\left(w_{11} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) * \left(w_{22} + \frac{\gamma^2}{\sigma_0^2} \right) - \left(w_{12} + \frac{\gamma * \eta}{\sigma_0^2} \right)^2} \right) \\
 \text{где: } D(dc) &= \frac{1}{\sigma_0^2} \left(1 + \frac{1}{\sigma_0^2} * \left(\frac{v_1}{\|d\|} \right)^2 * q_{11} + 2 * q_{12} * \left(\frac{v_1 * v_2}{\|d\|^2} \right) * \cos(\varphi) + \left(\frac{v_{21}}{\|d\|} \right)^2 * q_{22} * \cos^2(\varphi) \right).
 \end{aligned} \tag{20}$$

Выводы

1. Найденны аналитические соотношения для расчета в линейном приближении по ошибкам измерения оценки географических координат точки пересечения двух конусов с моделью поверхности Земли в виде референц-эллипсоида и их корреляционной матрицы. Найденные оценки позволяют в том числе произвести оценку геометрического фактора при различном взаимном расположении ИИ и точек приема.
2. Найденны аналитические соотношения для оценки корреляционной матрицы уточненной оценки ММП на каждом шаге рекуррентного алгоритма.
3. Найденные соотношения позволяют применить рекуррентный алгоритм уточнения координат полученной точки с использованием вновь полученных измерений. Рекуррентный алгоритм позволяет производить уточнение в реальном масштабе времени без хранения предшествующих измерений.

Литература

1. Бугаевский Л.М. Математическая картография. Златоуст, 1998.
2. Бранец Н.В., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. М., «Наука», 1973.
3. Крамер Г. Математические методы статистики. М., Мир, 1975.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М., Высшая школа, 1998.

Кинематический расчет шестизвенного рычажного механизма аналитическим методом

к.т.н. доц. Иванов В.А.

Университет машиностроения

8(499)267-12-00, tmir1941@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена возможность аналитического расчета кинематических параметров многозвенных рычажных механизмов 2-го класса 2-го порядка с использованием начал аналитической геометрии на плоскости и дифференциального исчисления. Выведены аналитические зависимости для определения линейных и угловых скоростей и ускорений точек и звеньев кулисно-рычажного 6-тизвенного механизма. Приведены примеры графиков, полученных

с использованием расчетной математической программы MathCad 14.

Ключевые слова: аналитический расчет, кинематические параметры, многозвенный рычажный механизм.

Современный уровень развития машиностроения требует высокой точности выполнения расчетов. В настоящее время в кинематическом расчете применяют, как правило, графические методы, которые, наряду с наглядностью, доступностью, простотой, имеют существенный недостаток: они становятся затруднительными, если требуется провести большой объем однообразных построений, а вследствие неизбежных погрешностей точность их результатов может оказаться недостаточной для практического применения.

В настоящей работе приведены аналитические зависимости для кинематического расчета шестизвенного кулисно-рычажного механизма 2-го класса с использованием начал аналитической геометрии на плоскости и дифференциального исчисления, показан порядок и последовательность выполнения расчетов. При этом приводятся лишь функции положения точек звеньев. Передаточные же функции легко найти с помощью современных прикладных расчетных программ для ЭВМ, например, MathCad. Ранее в работах [1, 2] были выведены аналогичные аналитические зависимости для расчета механических параметров рычажных механизмов насоса и пресса, использованные студентами при выполнении курсовых работ с применением расчетных математических программ MathCad.

Рассмотрим схему шестизвенного рычажного механизма, имеющего два выходных звена: ползун 4 и шток 6 (рисунок 1).

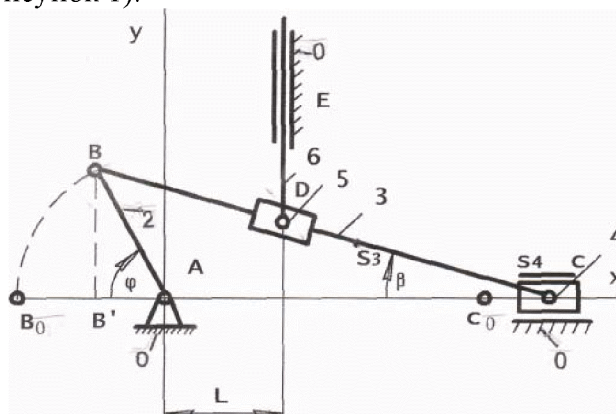


Рисунок 1 – Схема механизма

Выходные звенья нагружены внешними силами полезного (технологического) сопротивления, значения которых могут быть заданы таблицами или графиками $F_{C6}(\varphi)$ и $F_{C4}(\varphi)$, где φ – угол поворота кривошипа (обобщенная независимая координата). Ползун 4 образует поступательную кинематическую пару C с горизонтальной неподвижной направляющей, а шток 6 – поступательную пару E с вертикально расположенной неподвижной направляющей. Направляющие являются частями неподвижного корпуса (стойки) технического устройства. Они показаны штриховкой и обозначены цифрой 0. Ось направляющей ползуна 4 проходит через центр шарнира A кривошипа 2 (входного звена механизма), ось штока 6 смещена на величину L .

Свяжем со схемой механизма прямоугольную систему координат XOY так, чтобы ее начало находилось в центре шарнира A.

Введем обозначения: $AB = r$, $BC = l$, расстояние до центра масс S_3 шатуна $BS_3 = b$, смещение направляющей штока 6 – L . Остальные обозначения показаны на схеме механизма.

Определяем координаты точек B и C:

$$Y_B = r \cdot \sin \varphi, \quad X_B = -r \cdot \cos \varphi, \quad (1)$$

$$X_C = \sqrt{l^2 - r^2 \cdot \sin^2(\varphi)} - r \cdot \cos \varphi, \quad Y_C = 0. \quad (2)$$

Уравнение прямой, проходящей через точки В и С, имеет вид [3]: $\frac{X - X_B}{X_C - X_B} = \frac{Y - Y_B}{Y_C - Y_B}$.

При $Y_C = 0$ это выражение преобразуется в общее уравнение прямой ВС

$$(X_C - X_B) \cdot Y + Y_B \cdot X - X_B \cdot Y_B - (X_C - X_B) \cdot Y_B = 0. \quad (3)$$

Уравнение прямой, проходящей через точку D параллельно оси Y на расстоянии L от начала координат:

$$X = L. \quad (4)$$

Найдем координаты точки D пересечения этой прямой с прямой ВС. Решаем совместно уравнения (3) и (4).

$$X_D = L, \quad Y_D = Y_B \cdot \frac{X_C - L}{X_C - X_B}.$$

Для определения координат точки S_3 (центра масс шатуна ВС) делим отрезок ВС в заданном соотношении [3]. $\frac{BS_3}{CS_3} = \frac{b}{1-b}$.

Обозначим $\frac{b}{1-b} = \lambda$,

$$\text{тогда [3]} \quad X_{S3} = \frac{X_B + \lambda \cdot X_C}{1 + \lambda}, \quad Y_{S3} = \frac{Y_B + \lambda \cdot Y_C}{1 + \lambda}. \quad (5)$$

Отсюда:

$$X_{S3} = \frac{\{(1-b) \cdot X_B + b \cdot X_C\}}{1}, \quad (6)$$

$$Y_{S3} = \frac{\{(1-b) \cdot Y_B + b \cdot Y_C\}}{1}. \quad (7)$$

Положение шатуна ВС определяется углом β .

Из прямоугольного треугольника $BB'C$ имеем:

$$\sin \beta = \frac{r \cdot \sin \varphi}{l}, \quad \beta = \arcsin(r \cdot \sin \varphi / l). \quad (8)$$

Переходим к определению линейных и угловых скоростей и ускорений точек и звеньев механизма. Для этого необходимо продифференцировать по обобщенной координате φ (углу поворота кривошипа) функции положения (координаты точек и угол β), затем первую производную умножить на угловую скорость кривошипа ω_2 , а вторую производную – на ω_2^2 . Тогда скорость точки С ползуна 4

$$V_C = \omega_2 \cdot \frac{dX_C}{d\varphi}, \quad (9)$$

а ускорение

$$a_C = \omega_2^2 \cdot \frac{d^2 X_C}{d\varphi^2}. \quad (10)$$

Проекция скорости центра масс S_3 шатуна:

$$V_{S3}^X = \omega_2 \cdot \frac{dX_{S3}}{d\varphi}, \quad V_{S3}^Y = \omega_2 \cdot \frac{dY_{S3}}{d\varphi}, \quad (11)$$

а проекция ускорения:

$$a_{S3}^X = \omega_2^2 \cdot \frac{d^2 X_{S3}}{d\varphi^2}, \quad a_{S3}^Y = \omega_2^2 \cdot \frac{d^2 Y_{S3}}{d\varphi^2}. \quad (12)$$

Скорость точки D штока 6:

$$V_D = \omega_2 \cdot \frac{dY_D}{d\varphi}, \quad (13)$$

ускорение точки D:

$$a_D = \omega_2^2 \cdot \frac{d^2 Y_D}{d\varphi^2}. \quad (14)$$

Определив первую и вторую производные угла β по углу φ , находим угловую скорость и угловое ускорение шатуна 3: $\frac{BS_3}{CS_3} = \frac{b}{l-b}$.

$$\omega_3 = \omega_2 \cdot \frac{d\beta}{d\varphi}, \quad \epsilon_3 = \omega_2^2 \cdot \frac{d^2 \beta}{d\varphi^2}. \quad (15)$$

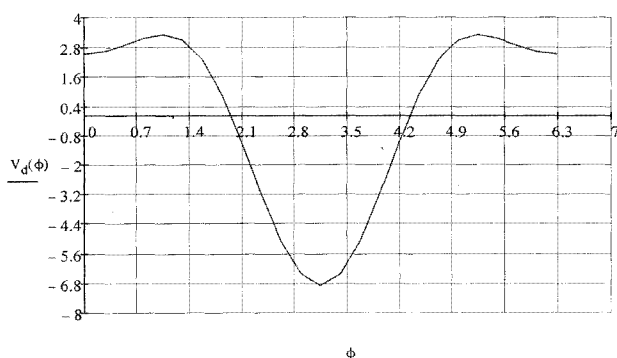


Рисунок 2 – График скорости точки D штока 6

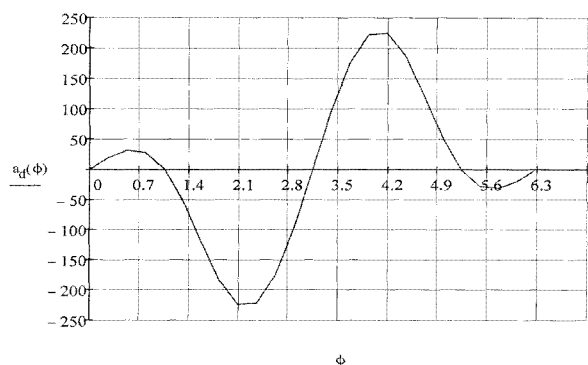


Рисунок 3 – График ускорения точки D штока 6

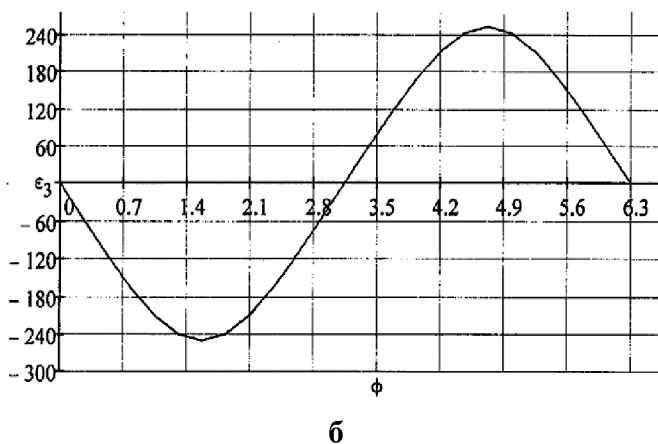
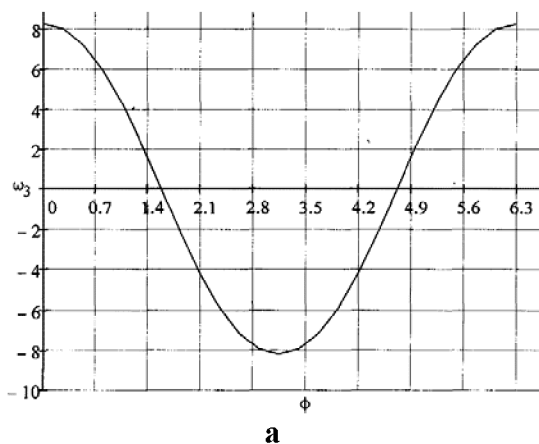


Рисунок 4 – График угловой скорости (а) и углового ускорения (б) шатуна 3

Вычисления удобно производить с использованием расчетных математических программ для ЭВМ MathCad. Результаты расчета выводятся в виде таблиц или графиков. Примеры графиков представлены на рисунках 2, 3, 4 и 5. Проверка результатов, проведенная с помощью графических методов подтвердила правильность выведенных зависимостей. Характеры изменения графиков полностью совпадают.

Литература

1. Иванов В.А. Кинематический и силовой расчет рычажного механизма насоса аналитическим методом: Методические указания. – М.: МГУИЭ, 2003. – 28 с.
2. Иванов В.А. Расчет шестизвенного механизма прессы аналитическим методом: Методические указания. – М.: МГУИЭ, 2008. – 24 с.
3. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1977. – 872 с.

8(499)267-12-00, tmir1941@mail.ru

Ключевые слова: аналитический расчет, реакции кинематических пар, кинестатика, многозвенный рычажный механизм.

Рассмотрим схему шестизвенного рычажного механизма, имеющего два выходных звена: ползун 4 и шток 6 (рисунок 1).

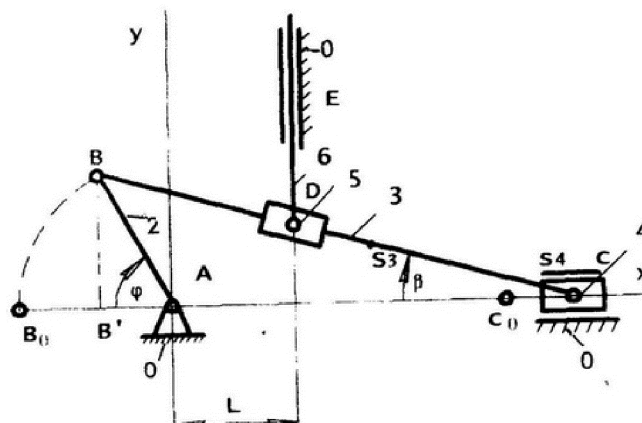


Рисунок 1 – Схема механізму

Преодоление силы полезного сопротивления происходит только на прямом (рабочем) ходу выходного звена, в промежутке между двумя крайними положениями механизма, ограничивающими траекторию точки звена, совершающего возвратные движения (в нашем случае движение точки D звена 6, а также точки C звена 4).

Примем движение штока 6 на рабочем ходу в направлении из крайнего нижнего в