

УДК621.865

DOI 10.52167/1609-1817-2023-124-1-58-66

А.К.Тулешов¹, А.Ж. Сейдахмет¹, К.Бисембаев¹,
К.К.Нурахметова², А.Е.Удербайева³

¹Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан

²Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

³Satbayev University, Алматы, Казахстан

E-mail: a.uderbayeva@satbayev.university

КИНЕМАТИКА РЫЧАЖНОГО МАНИПУЛЯТОРА МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ПОДЪЕМНИКОМ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы кинематики пространственного рычажного подъемного механизма, используемого в мобильных роботах. Подъемный манипулятор представляет собой рычажный механизм четвертого класса. Записаны векторные уравнения для кинематики четырехзвенного механизма и для присоединенной четырехзвенной группы. Путем проецирования векторных уравнений кинематики на оси x, y получены восемь скалярных уравнений с восемью неизвестными. Записаны алгоритмы решения полученных уравнений и якобиан исходной системы. В системе Maple, проведены расчеты и получены решения алгебраического уравнения шестого порядка с нахождением корней и числа сборок механизма.

Определена степень избыточности конструкции механизма. Разработан метод анализа положений и кинематики механизма при ведущем звене 1, при этом механизм представляет собой последовательное соединение трех структурных групп на базе механизма Стефенсона II. Решение алгебраического многочлена позволило установить сборки группы механизма Стефенсона II. На основе кинематического анализа определены скорости, ускорения платформы и других звеньев.

Ключевые слова. Подъемный механизм, манипулятор, уравнения кинематики, механизм Стефенсона, мобильный робот

Введение.

Шарнирно-рычажные подъемники часто используются для проведения подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных, строительно-монтажных и других работ на производстве. В продаже имеются разработки таких фирм как ERLiften, Haulotte и других. Такие подъемники состоят из передвижной тележки, на которой устанавливается механизм подъема, к которой сверху крепится рабочая площадка. Следует отметить, что практически все механизмы подъема в своей основе используют схему так называемых «нюрнбергских ножниц». Для обеспечения движения ножничного механизма обычно используют ползуны, перемещающиеся горизонтально и прикрепленные к нижним точкам звеньев механизма. Однако, использование таких механизмов имеет свои недостатки. При перемещении ползунов, точки звеньев ножничного механизма поднимаются по кривой линии, не вертикально. При подъеме это приводит к тому, что опорная площадь рабочей площадки уменьшается по сравнению с опорной площадью, когда механизм находился в нижнем положении. Также за счет перемещения точек подъемного механизма по кривой линии, в верхнем положении рабочая площадка имеет некоторое смещение по горизонтали. Уменьшение опорной площади снижает устойчивость подъемного механизма.

В статье в качестве подъемного механизма используется оригинальный механизм 4-го класса, разработанный авторами [1]. В предложенной схеме конструкции подъемного

механизма, отсутствует использование ползунов, рабочая площадка поднимается вертикально, что является достоинством предложенной схемы, так как при этом увеличивается жесткость и устойчивость на опрокидывание.

Цель работы - получить кинематические соотношения, провести анализ и моделирование для пространственного рычажного подъемного механизма 4-го класса.

Материалы и методы.

В транспортных операциях, которые выполняются мобильными роботами, присутствуют работы, связанные поднятием и опусканием объектов манипулирования. Например, складирование предметов на складах, подача инструментов при монтажных работах, подъем и опускание рабочего при строительных работах и т.п. Основу этих манипулировании может составить подъемный стол (платформа) на базе различных подъемных механизмов. Платформы обеспечивают устойчивость и надежность подъемных работ.

В настоящей работе исследуется платформа с рычажным подъемным манипулятором (механизмом) [1], кинематическая схема которого приведена на рисунке 1.

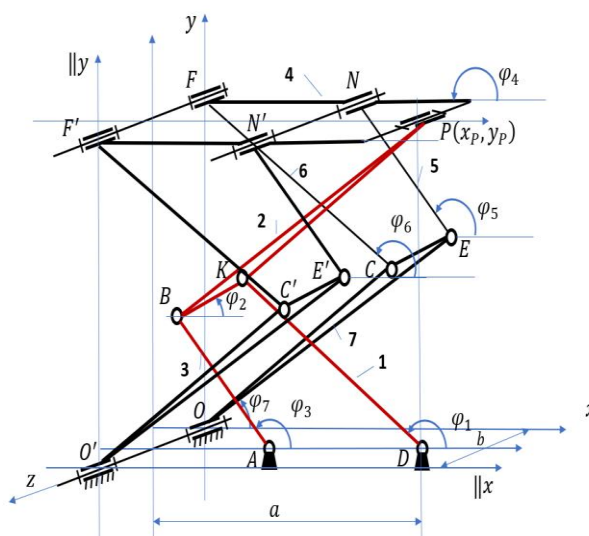


Рисунок 1 – Пространственная кинематическая схема рычажного подъемника

Конструкция механизма, представленная на рисунке 1, имеет избыточные связи. По формуле Сомова-Малышева число избыточности равно:

$$q = W - 6n + 5p_5 = 1 - 6 \cdot 10 + 5 \cdot 15 = 16.$$

где $W = 1$ – степень свободы механизма;

$n = 10$ – число подвижных звеньев;

p_5 – число вращательных пар.

Конечно, избыточные связи не ликвидирует степени свободы звеньев, так как это совершенно уже другими связями [2, 3]. Такими связями в механизме являются:

а) параллельность осей вращения звеньев, т.е. $FF' \parallel NN' \parallel CC' \parallel EE' \parallel OO' \parallel$;

в) взаимное равенство длин звеньев, т.е.
 $FN = F'N' = AD, FC = F'C' = DK, EN = E'N' = AB, OC = O'C' = KP, OE = O'E' = BP, CE = C'E' = BK.$

Таким образом кинематику рассматриваемого пространственного механизма можно рассматривать на основе исследования его плоской схемы (рисунок 2), которая представляет собой проекцию (прообраз) исходного механизма на плоскости Oxy .

Подъемный манипулятор представляет собой рычажный механизм четвертого класса [2], который состоит из следующих структурных групп: входное звено 1 (красный цвет), двухзвенная группа (2,3) (синий цвет) и четырехзвенная группа (4,5,6,7) (черный цвет).

В таблице 1 приведены постоянные геометрические размеры звеньев манипулятора

Таблица 1 – Геометрические размеры звеньев манипулятора

$DK = l_1$	$BK = l_2$	$BP = l_3$	$AB = l_3$	$PF = l_4$	$PN = l_4$
1180,7 mm	358,6 mm	1522,7 mm	704,6 mm	1499,3 mm	648,3 mm
$CF = l_6$	$NE = l_5$	$OE = l_7$	$OC = l_7$	$OA = l_0$	$OD = l_0$
1178,7 mm	706,4 mm	1522,7 mm	1171,5 mm	649 mm	1500 mm

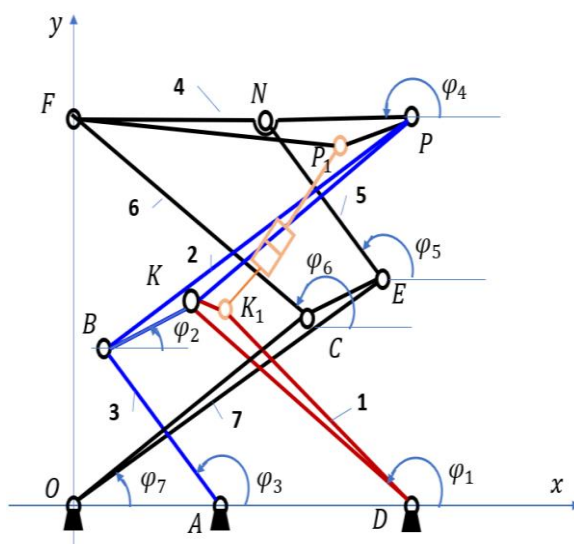


Рисунок 2 – Плоская кинематическая схема рычажного подъемника

Переменными геометрическими параметрами манипулятора являются: $\varphi_i, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

Согласно кинематической схеме манипулятора (рисунок 1), имеют место следующие векторные уравнения:

$$\vec{l}_0 + \vec{l}_1 = \vec{l}_0 + \vec{l}_3 + \vec{l}_2, \quad \vec{OP} = \vec{l}_0 + \vec{l}_3 + \vec{l}_2, \quad (1)$$

$$\vec{l}_7 + \vec{l}_5 = \vec{OP} + \vec{l}_4, \quad \vec{l}_7 + \vec{l}_6 = \vec{OP} + \vec{l}_4. \quad (2)$$

Отметим, что уравнения (1) является уравнениями кинематики четырехзвенного механизма (1,2,3), а уравнения (2) – уравнения кинематики присоединенной четырехзвенной группы (4,5,6,7).

Проецируя уравнения (1) и (2) на оси x, y получаем восемь скалярных уравнений с восемью неизвестными $\varphi_i, i = 2, 3, 4, 5, 6, 7, x_P, y_P$ при заданном φ_1 :

$$\begin{aligned} l'_0 - l_0 + l_1 \cos \varphi_1 &= l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3, \\ l_1 \sin \varphi_1 &= l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x_p &= l_0 + l'_2 \cos(\varphi_2 + \alpha) + l_3 \cos \varphi_3, \\ y_p &= l'_2 \sin(\varphi_2 + \alpha) + l_3 \sin \varphi_3, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} l_7 \cos \varphi_7 + l_5 \cos \varphi_5 &= x_p + l'_4 \cos \varphi_4, \\ l_7 \sin \varphi_7 + l_5 \sin \varphi_5 &= y_p + l'_4 \sin \varphi_4, \\ l'_7 \cos(\varphi_7 + \beta) + l_6 \cos \varphi_6 &= x_p + l_4 \cos \varphi_4, \\ l'_7 \sin(\varphi_7 + \beta) + l_6 \sin \varphi_6 &= y_p + l_4 \sin \varphi_4. \end{aligned} \quad (5)$$

Эти уравнения допускают последовательное решения. Углы α и β - постоянные, принадлежат звеньям 2 и 7. Запишем алгоритм решения первых двух уравнений (3) относительно φ_2 и φ_3 :

- 1) $q = \sqrt{(l'_0 - l_0)^2 + l_1^2 + 2(l'_0 - l_0)l_1 \cos \varphi_1}$;
 - 2) проверка условия: $|l_2 - l_3| < q < l_2 + l_3$;
 - 3) $\mu = \frac{l_2^2 + l_3^2 - q^2}{2l_2 l_3}$;
 - 4) $\cos \varphi_2 = [(l'_0 - l_0 + l_1 \cos \varphi_1)(l_2 - l_3 \cos \mu) + M l_1 l_3 \sin \varphi_1 \sin \mu] q^{-2}$,
 $\sin \varphi_2 = [l_1(l_2 - l_3 \cos \mu) - M(l'_0 - l_0 + l_1 \cos \varphi_1)l_3 \sin \mu] q^{-2}$,
 - 5) $\varphi_3 = \varphi_2 - M\mu$;
- Здесь: $M = \text{sign}(\text{мом}_A \overrightarrow{KB})$.

Алгоритм решения уравнений (4) имеет вид:

- 6) $x_p = l_0 + l'_2 \cos(\varphi_2 + \alpha) + l_3 \cos \varphi_3$;
- 7) $y_p = l'_2 \sin(\varphi_2 + \alpha) + l_3 \sin \varphi_3$.

Алгоритм решения последних четырех уравнений (5) записываются в виде:

- 8) $u_1 = x_p + l'_4 \cos \varphi_4$, $u_2 = y_p + l'_4 \sin \varphi_4$,
- 9) $u_3 = x_p + l_4 \cos \varphi_4$, $u_4 = y_p + l_4 \sin \varphi_4$,
- 10) $u_5 = u_1^2 + u_2^2 + l_7^2 - l_5^2$, $u_6 = u_3^2 + u_4^2 + l_7^2 - l_5^2$;
- 11) $\Delta = l_7 l'_7 (u_1 u_4 - u_2 u_3)$;
- 12) $\Delta_1 = l'_7 u_4 u_5 - l_7 u_2 u_6$, $\Delta_2 = l_7 u_1 u_6 - l'_7 u_3 u_5$;
- 13) $\cos \varphi_7 = \frac{\Delta_1}{\Delta}$, $\sin \varphi_7 = \frac{\Delta_2}{\Delta}$;
- 14) $\cos \varphi_5 = \frac{u_1 - l_7 \cos \varphi_7}{l_5}$, $\sin \varphi_5 = \frac{u_2 - l_7 \sin \varphi_7}{l_5}$,
- 15) $\cos \varphi_5 = \frac{u_3 - l_7 \cos(\varphi_7 + \beta)}{l_5}$, $\sin \varphi_5 = \frac{u_4 - l_7 \sin(\varphi_7 + \beta)}{l_5}$.

Здесь в качестве переменного параметра принимается угол φ_4 . Далее φ_4 следует определить из тригонометрического многочлена [2], которое получается из тождества $\varphi_7 + \varphi_5 = 1$, т.е.

$$F(\varphi_1, \varphi_4) = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 - \Delta^2 = 0, \quad (6)$$

с одним неизвестным φ_4 . Подставляя выражения Δ , Δ_1 , Δ_2 в уравнение (6), после определенного преобразования получим алгебраическое уравнения относительно $z = \sin \sin \varphi_4$ [2].

Якобиан исходной системы (5) записывается формулой

$$D = l_7 l_5 l_6 [l'_4 \sin(\varphi_6 - \varphi_7) \sin(\varphi_4 - \varphi_5) + l_4 \sin(\varphi_5 - \varphi_7) \sin(\varphi_4 - \varphi_6)]. \quad (7)$$

Результаты.

Нами проведены расчеты в системе аналитических вычислений Maple, получены решения алгебраического уравнения шестого порядка. На рисунке 2 показаны значения φ_4 корней и сборки механизма при фиксированных значениях φ_1 . При $\varphi_1 = 0$ получается 6 сборок, а при $\varphi_1 = 1,8326$ - 4 сборки.

На рисунке 3 представлена общая картина - поверхность $F(\varphi_1, \varphi_4)$, слева - общий вид, справа - фрагмент, близкий к нулевой плоскости. Корни уравнения (6) соответствуют значениям $F(\varphi_1, \varphi_4)$, а число этих корней соответствует числу монтажных схем механизма или числу сборок, приведенных на рисунке 2.

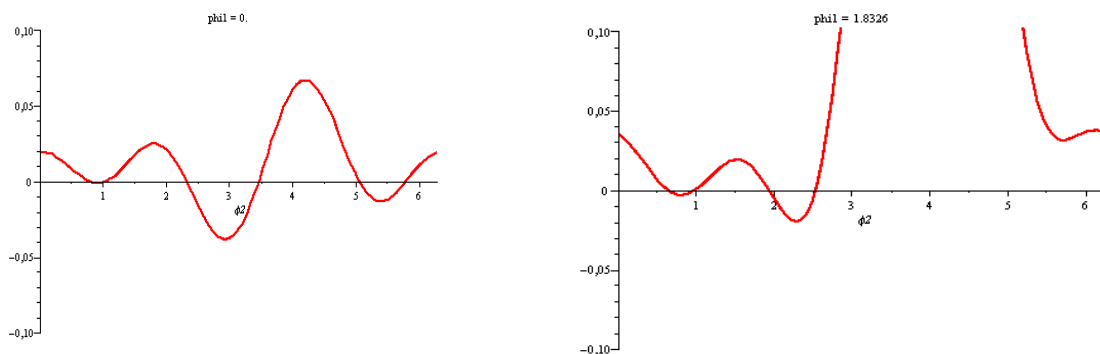


Рисунок 3 – Число сборки механизма при $\varphi_1 = 0$ и $\varphi_1 = 1,8326$

На рисунках 4 видно, в начале подъема ω_4 и ε_4 отличаются от нуля, и $\varphi_4 \neq \pi$. Это происходит, когда $0 \leq \varphi_1 \leq 12^\circ$. Для последующих положений до конца подъема условие $\varphi_4 = \pi = const$ строго выполняется. В этой связи требуется корректировки размеров звеньев или заранее задавать начальное (ненулевое) положение манипулятора, с которого начинается подъем (соответствует $\varphi_1 = 12^\circ$).

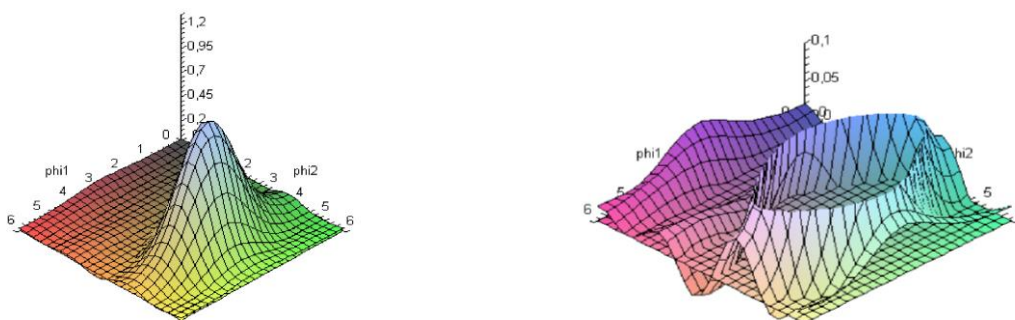


Рисунок 4 – Трехмерная картина поверхности, определяющей корни и сборки

Так как на рабочем отрезке строго выполняется условие $\varphi_4 = \pi = const$ процедуру кинематического анализа механизма можно упростить. Это значит при известном x_P, y_P алгоритм 8)-14) позволяет определить значения неизвестных величин: $\varphi_7, \varphi_5, \varphi_6$.

Особое положение группы (4,5,6,7) рассматриваемого механизма определяется из уравнения

$$l'_4 \sin(\varphi_6 - \varphi_7) \sin \varphi_5 + l_4 \sin(\varphi_5 - \varphi_7) \sin \varphi_6 = 0. \quad (8)$$

Выполнение условия (8) означает, что прямые, проходящие вдоль поводков FC и NE пересекают линию OP в одной общей точке.

Таким образом, решена задача о положения манипулятора, представленного на рисунке 1.

Кинематический анализ манипуляторов включает определение скоростей и ускорений звеньев. Мы установим уравнения первых и вторых передаточных функций, которые позволяют определять скорости и ускорения звеньев:

$$\Pi'_k(\varphi_1) = \frac{d\varphi_k}{d\varphi_1}, \Pi''_k(\varphi_1) = \frac{d^2\varphi_k}{d\varphi_1^2}, \quad (9)$$

где $\varphi_k = \Pi_k(\varphi_1)$ – функция положения k -го звена.

Таким образом соответствующие передаточные функций равны:

$$16) \Pi'_2(\varphi_1) = \frac{Ml_1 \sin(\varphi_3 - \varphi_1)}{l_2 \sin \mu}, \Pi'_3(\varphi_1) = \frac{Ml_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{l_3 \sin \mu},$$

$$17) x'_p = \frac{dx_p}{d\varphi_1} = -l'_2 \Pi'_2(\varphi_1) \sin \varphi_2 - l_3 \Pi'_3(\varphi_1) \sin \varphi_3;$$

$$y'_p = \frac{dy_p}{d\varphi_1} = l'_2 \Pi'_2(\varphi_1) \varphi_2 + l_3 \varphi_3;$$

$$18) \Pi'_4(\varphi_1) = \frac{D_4}{D}, \Pi'_5(\varphi_1) = \frac{D_5}{D}, \Pi'_6(\varphi_1) = \frac{D_6}{D}, \Pi'_7(\varphi_1) = \frac{D_7}{D},$$

где

$$D = l_5 \sin \varphi_5 [l_7 \cos \varphi_7 \ 0 \ -l'_4 \cos \varphi_4 \ -l'_7 \sin(\varphi_7 + \beta) \ -l_6 \sin \varphi_6 \ l_4 \sin \varphi_4 \ l'_7 \cos(\varphi_7 + \beta) \ l_6 \cos \varphi_6 \ -l_4 \cos \varphi_4] + l_5 \cos \varphi_5 [-l_7 \sin \varphi_7 \ 0 \ l'_4 \sin \varphi_4 \ -l'_7 \sin(\varphi_7 + \beta) \ -l_6 \sin \varphi_6 \ l_4 \sin \varphi_4 \ l'_7 \cos(\varphi_7 + \beta) \ l_6 \cos \varphi_6 \ -l_4 \cos \varphi_4]$$

$$D_4 = l_5 \sin \varphi_5 [l_7 \cos \varphi_7 \ 0 \ y'_p \ -l'_7 \sin(\varphi_7 + \beta) \ -l_6 \sin \varphi_6 \ x'_p \ l'_7 \cos(\varphi_7 + \beta) \ l_6 \cos \varphi_6 \ y'_p] + l_5 \cos \varphi_5 [-l_7 \sin \varphi_7 \ 0 \ x'_p \ -l'_7 \sin(\varphi_7 + \beta) \ -l_6 \sin \varphi_6 \ x'_p \ l'_7 \cos(\varphi_7 + \beta) \ l_6 \cos \varphi_6 \ y'_p],$$

$$D_5 = -l_6 \sin \varphi_6 [-l_7 \sin \varphi_7 \ x'_p \ l'_4 \sin \varphi_4 \ l_7 \cos \varphi_7 \ y'_p \ -l'_4 \cos \varphi_4 \ l'_7 \cos(\varphi_7 + \beta) \ y'_p \ -l_4 \cos \varphi_4] - l_6 \cos \varphi_6 [-l_7 \sin \varphi_7 \ x'_p \ l'_4 \sin \varphi_4 \ l_7 \cos \varphi_7 \ y'_p \ -l'_4 \cos \varphi_4 \ -l'_7 \sin(\varphi_7 + \beta) \ x'_p \ l_4 \sin \varphi_4],$$

$$D_6 = l_5 \sin \varphi_5 [l_7 \cos \varphi_7 \ y'_p \ -l'_4 \cos \varphi_4 \ -l'_7 \sin(\varphi_7 + \beta) \ x'_p \ l_4 \sin \varphi_4 \ l'_7 \cos(\varphi_7 + \beta) \ y'_p \ -l_4 \cos \varphi_4] + l_5 \cos \varphi_5 [-l_7 \sin \varphi_7 \ x'_p \ l'_4 \sin \varphi_4 \ -l'_7 \sin(\varphi_7 + \beta) \ x'_p \ l_4 \sin \varphi_4 \ l'_7 \cos(\varphi_7 + \beta) \ y'_p \ -l_4 \cos \varphi_4],$$

$$D_7 = l_5 \sin \varphi_5 [y'_p \ 0 \ -l'_4 \cos \varphi_4 \ x'_p \ -l_6 \sin \varphi_6 \ l_4 \sin \varphi_4 \ y'_p \ l_6 \cos \varphi_6 \ -l_4 \cos \varphi_4] + l_5 \cos \varphi_5 [x'_p \ 0 \ l'_4 \sin \varphi_4 \ x'_p \ -l_6 \sin \varphi_6 \ l_4 \sin \varphi_4 \ y'_p \ l_6 \cos \varphi_6 \ -l_4 \cos \varphi_4]$$

2D анимация рычажного манипулятора осуществлялась с применением средств анимации компьютерной системы Maple. Входными данными в программу являются координаты шарниров механизма, рассчитанные аналитическими методами кинематики.

Обсуждение.

Подъемник имеет сложную пространственную конструкцию. Степень избыточности конструкции равна 16. Для того, чтобы механизм работал от одного привода необходимо выполнению условий параллельности и попарное равенство звеньев. Исследование кинематики позволило разработать метод анализа положений и кинематики механизма при ведущем звене 1, при этом механизм представляет собой последовательной соединении трех структурных групп на базе механизма Стефенсона II.

Метод позволил получить явные зависимости переменных параметров и передаточных функций от обобщенных параметров. Решение алгебраического многочлена позволило установить сборки группы механизма Стефенсона II, которые при двух фиксированных положениях звеньев дает 4 или 6 сборок (рисунки 2 и 3). На основе кинематического анализа определены скорости ускорения платформы 4 и других звеньев, который показал, что около нулевого положения (когда $\varphi_1 = 0$) нарушается поступательное перемещение платформы. Это требует корректировки геометрических размеров звеньев, указанных на патенте [1]. Для отрезка $\varphi_1 \geq 12^\circ$ кинематическая анимация механизма показывает точную реализацию поступательного перемещения платформы 4. На основе анализа кинематики установлено, что механизм состоит из двух конструкций механизма Чебышева, повернутые относительно друг друга и соединяющие две параллельные платформы. Разделение на такие модули упрощает исследование, процесс проектирования и изготовление таких подъемников.

Заключение.

Определены условия параллельности и попарного равенства звеньев для работы от одного привода пространственной конструкции рычажного механизма подъемника. Разработаны метод анализа положений и кинематики механизма при ведущем звене, что позволило получить явные зависимости переменных параметров и передаточных функций от обобщенных параметров. На основе кинематического анализа определены скорости ускорения платформы 4 и других звеньев. Анализа кинематики показал, что механизм состоит из двух конструкций механизма Чебышева, повернутые относительно друг друга и соединяющие две параллельные платформы. Проведенные исследования позволяют ускорить процесс проектирования и улучшить пространственную конструкцию механизма подъемника.

Финансирование. Это исследование было профинансировано Комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09260130).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Сейдахмет А.Ж., Ибраев С.М., Тулешов А.К., Дракунов Ю.М., Абдураимов А.Е. Заключение на выдачу инновационного патента на изобретение по заявке №2015/0563.1 (1861). ПОДЪЕМНИК. Астана, Республиканское государственное казенное предприятие «Национальный институт интеллектуальной собственности», 16.04.2015. г.

[2] Дракунов Ю.М., Тулешов А.К., Сейдахмет А.Ж. Динамическое исследование и 3D проектирование подъемного стола//Материалы V международной конференция "Проблемы механики современных машин". – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2012, Т.2, С. 174-177.

[3] Озол О.Г. Теория механизмов и машин. - М.: Наука. 1984. - 432 с.

REFERENCES*

[1] Sejdahmet A.Zh., Ibraev S.M., Tuleshov A.K., Drakunov Ju.M., Abduraimov A.E. Zakljuchenie na vydachu innovacionnogo patenta na izobretenie po zajavke №2015/0563.1 (1861). POD##EMNIK. Astana, Respublikanskoe gosudarstvennoe kazennoe predpriyatje «Nacional'nyj institut intellektual'noj sobstvennosti», 16.04.2015. g.

[2] Drakunov Ju.M., Tuleshov A.K., Sejdahmet A.Zh. Dinamicheskoe issledovanie i 3D proektirovanie pod#emnogo stola//Materialy V mezhdunarodnoj konferencija "Problemy mehaniki sovremennyh mashin". – Ulan-Udje: Izd-vo VSGTU, 2012, T.2, S. 174-177.

[3] Ozol O.G. Teorija mehanizmov i mashin. - M.: Nauka. 1984. - 432 s.

Амандық Тулешов, т.ғ.д., бас директор, Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Алматы, Қазақстан, aman_58@mail.ru

Асқар Сейдахмет, т.ғ.к., жетекші ғылыми қызметкер, Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Алматы, Қазақстан, seydakhmet@mail.ru

Куатбай Бисембаев, т.ғ.д., жетекші ғылыми қызметкер, Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Алматы, Қазақстан, kuat_06@mail.ru

Кульзира Нурахметова, PhD, қауымдастырылған профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан, nurahmetova52@mail.ru

Асемгуль Удербаева, PhD, қуымдастырылған профессор, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан, a.uderbayeva@satbayev.university

КӨТЕРГІШІ БАР МОБИЛЬДІ РОБОТТЫҢ РЫЧАГТЫ МАНИПУЛЯТОРЫНЫҢ КИНЕМАТИКАСЫ

Аңдатпа. Мақалада мобильді роботтарда қолданылатын кеңістіктік рычагты көтеру механизмінің кинематикасы мәселелері қарастырылған. Көтеру манипуляторы-төртінші кластағы рычагты механизмі. Төрт буынды механизмнің кинематикасы мен бекітілген төрт буынды топ үшін векторлық теңдеулер жазылды. Кинематиканың векторлық теңдеулерін x , y осіне проекциялау арқылы сегіз белгісіз сегіз скаляр теңдеулер алынды. Алынған теңдеулер мен бастапқы жүйенің якобиандарын шешу алгоритмдері жазылған. Марле жүйесінде есептеулер жүргізіліп, алтыншы ретті алгебралық теңдеудің шешімдері түбірлер мен механизм жинақтарының санымен алынды.

Механизм құрылымының артықтық дәрежесі анықталды. Жетекші 1-ші буында механизмнің позициясы мен кинематикасын талдау әдісі жасалды, ал механизм Стефенсон II механизміне негізделген үш құрылымдық топтың дәйекті қосылуы болып табылады. Алгебралық көпмүшенің шешімі Стефенсон II механизмінің тобын құруға мүмкіндік берді. Кинематикалық талдау негізінде платформаның жылдамдығы, үдеуі және басқа сілтемелер анықталады. Кинематиканы талдау негізінде механизм бір-біріне қатысты бұрылып, екі параллель платформаны қосатын Чебышев механизмінің екі құрылымынан тұратындығы анықталды. Мұндай модульдерге бөлу зерттеуді, жобалау процесін және осындай көтергіштерді жасауды жеңілдетеді.

Түйінді сөздер. Көтеру механизмі, манипулятор, кинематика теңдеулері, Стефенсон механизмі, мобильді робот.

Amandyk Tuleshov, doctor of technical sciences, general manager, U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan, aman_58@mail.ru

Askar Seidakhmet, candidat of technical sciences, leading researcher, U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan, seydakhmet@mail.ru

Kuatbai Bissembayev, doctor of technical sciences, leading researcher, U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan, kuat_06@mail.ru

Kulzira Nurakhmetova, PhD, Associate Professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan, nurahmetova52@mail.ru

Asemgul Uderbayeva, PhD, Associate Professor, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan, a.uderbayeva@satbayev.university

KINEMATICS OF A LEVER MANIPULATOR OF A MOBILE ROBOT WITH A LIFT

Abstract. The article discusses the kinematics of the spatial lever lifting mechanism used in mobile robots. The lifting manipulator is a lever mechanism of the fourth class. Vector equations are written for the kinematics of a four-link mechanism and for an attached four-link group. By projecting vector kinematics equations on the x , y axes, eight scalar equations with eight unknowns are obtained. Algorithms for solving the obtained equations and the Jacobians of the original system are written. In the Maple system, calculations were carried out and solutions of the sixth-order algebraic equation were obtained with finding the roots and the number of assemblies of the mechanism.

The degree of redundancy of the mechanism design is determined. A method has been developed for analyzing the positions and kinematics of the mechanism with the leading link 1, while the mechanism is a sequential connection of three structural groups based on the Stephenson II mechanism. The solution of the algebraic polynomial made it possible to establish the assemblies of the Stephenson II mechanism group. On the basis of kinematic analysis, the velocities, accelerations of the platform and other links are determined. Based on the kinematics analysis, it was found that the mechanism consists of two Chebyshev mechanism structures, rotated relative to each other and connecting two parallel platforms. The division into such modules simplifies the research, design process and manufacture of such lifts.

Keywords. Lifting mechanism, manipulator, kinematics equations, Stephenson mechanism, mobile robot.
