

Библиографический список

1. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины. Минск: Вышейш. шк., 1975. 304 с.
2. Шелгунов Ю.В., Кутуков Г.М., Ильин Г.П. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства: учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1982, 520 с.
3. Гриневич С.А. Разработка режимов цилиндрического фрезерования кромок фанеры общего назначения // Автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. Минск, 2005.
4. Абдулов А.Р., Новоселов В.Г. Исследование износостойкости стальных ножей, упрочненных путем имплантации ионов азота // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды VI международного Евразийского симпозиума. Екатеринбург, 2011.

Ф.Ф. Дахиев, Ф.В. Швеи, Л.Т. Раевская
УГЛТУ. Екатеринбург, РФ
ltrvsk@yandex.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ 3D - МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ
ПРОБЛЕМ КИНЕМАТИКИ МЕХАНИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА
(MATHEMATICAL 3D-MODELLING OF KINEMATIC PROBLEMS
FOR MECHANICAL MANIPULATORS)**

Предложена методика и проведен кинематический анализ работы звеньев «стрела-рукоять» манипулятора.

The Method was proposed and Kinematic Analysis of the Manipulator's the Boom-the Hilt was made.

Современный этап развития лесной, горной и других отраслей промышленности РФ требует решения задачи комплексной механизации и автоматизации производства. Разнообразие машин для выполнения лесосечных операций, сортировочных, штабелечных, погрузочных операций ниже-складских работ, для подачи сырья в перерабатывающие цехи и пакетирования готовой продукции приводит к повышению затрат производства, вовлечению в эти операции излишних мощностей и ручного труда. Для создания современного гибкого технологического процесса требуется разработка унифицированных транспортно-перегрузочных устройств. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают промышленные манипуляторы и манипуляторные машины. Манипулятор — это механизм для управления пространственным положением объектов труда. Это значение закрепилось за словом с середины XX в., благодаря применению сложных механизмов для манипулирования опасными объектами в атомной промышленности. Основу манипуляторов составляют пространственные механизмы со многими степенями свободы.

Общей особенностью манипуляторов является низкая металлоемкость, простота обслуживания и наличие широкого набора сменных рабочих органов, что позволяет

использовать их практически на любых операциях технологического процесса лесной промышленности.

Машины манипуляторного типа имеют манипуляторные механизмы с открытой кинематической цепью и несколькими степенями подвижности. И.И. Артоболевский [1] справедливо указывал «в первую очередь должны быть развиты работы по структурному кинематическому и динамическому анализу и синтезу различных схем манипуляторов». Элементы манипулятора соединены друг с другом посредством кинематических пар. Как правило, это одноподвижные кинематические пары пятого класса — вращательные либо поступательные. Если кинематическая цепь не содержит внутренних замкнутых контуров, то число кинематических пар n определяет число степеней подвижности манипулятора. Простейшие манипуляторы имеют две-три степени подвижности. Универсальные, а также некоторые специальные манипуляторы могут иметь шесть - восемь степеней подвижности. Открытые кинематические цепи приводят к уменьшению жесткости всей конструкции и появлению колебаний механизма при поднятии груза. Вопросами уменьшения вынужденных колебаний занимались исследователи [2] еще в конце прошлого столетия. Колебания приводят к появлению дополнительных динамических нагрузок на звенья манипуляторов. Инерционные и упругие характеристики при колебаниях механизмов меняют свою величину. Эта изменчивость влияет на исследование динамики манипуляторов. Существуют несколько методов расчетов в динамике. При решении с помощью уравнений кинестатики необходимо учитывать моменты сил инерции, которые зависят от моментов инерции звеньев и угловых ускорений. Вычисление угловых ускорений и стало целью настоящей работы в рамках решения второй задачи кинематики.

Для постановки и решения задач кинематики обычно составляют расчетную кинематическую модель манипулятора (рисунок), в основу которой должны быть положены предполагаемые или имеющиеся геометрические размеры звеньев, а также типы, количество и распределение кинематических пар. Ранее кинематические характеристики уже были исследованы авторами в случае движения звеньев в плоскости, т.е. при отсутствии вращения стойки (колонны) [3]. В настоящей работе проведен расчет кинематических характеристик в пространственном случае, что точнее соответствует пространственному механизму.

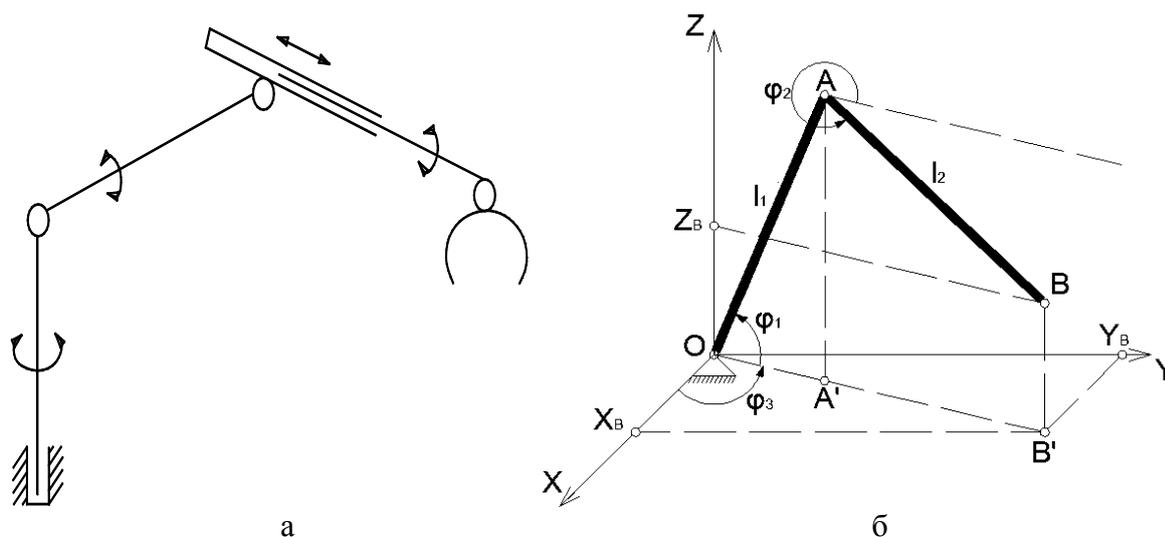


Рис. 1. Компоновочно - кинематическая схема манипулятора:
а- комбинированная конструкция манипулятора, б – расчетная схема

Звенья кинематической цепи манипулятора соединены кинематическими парами так, что одно из них крепится к основанию (подвижному или неподвижному), а еще одно несет на себе рабочий орган — захват либо инструмент. Положение кинематической цепи в пространстве будем определять с помощью обобщенных координат φ_i , характеризующих перемещения звеньев. Для определения положения рабочего органа в пространстве введем координаты точки захвата, определяемые векторным равенством. В настоящей работе поставлена задача определения угловых характеристик звеньев манипулятора в зависимости от времени для пространственного движения через уравнения движения точки В (см. рисунок). Переход от технического объекта к расчетной схеме изображен на рисунке б, где не показаны гидроцилиндры, стойка и другие, незначительные для исследования кинематики звенья. Если рассчитывают положение рабочего органа, например, захвата, то определяют соответственно, либо координаты рабочего органа, либо конечное число наборов его координат, либо законы изменения координат захвата во времени. В общем случае, в результате расчета координат рабочего органа как функций времени можно определить уравнение его траектории в параметрической (в зависимости от времени) или явной форме.

Составим уравнение векторного контура OAB (рис. 1).

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_2 - \vec{r}_B = 0, \quad (1)$$

где l_1 — длина стрелы, l_2 — начальная длина рукоятки, \vec{r}_B — радиус-вектор точки подвеса груза. Положение звеньев в пространстве задается угловыми координатами $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. Угловые координаты откладываются от оси X и линии OB' в направлении против хода часовой стрелки. Координаты точки B — X_B, Y_B, Z_B (рис. 1) — являются основными координатами, так как через эти координаты можно определить главные геометрические параметры рабочего процесса перемещения точки B . На расчетной схеме т. O — точка крепления стрелы к стойке (или колонне) — выбрана за начало отсчета. Дифференцируя проекции уравнения (1) на координатные оси по времени t (при условии $l_1 = \text{const}$), получим дифференциальные уравнения, из которых можно вычислить функции скоростей механизма:

$$(-l_1 \sin \varphi_1 \varphi_1' + l_2' \cos \varphi_2 - l_2 \sin \varphi_2 \varphi_2') \cos \varphi_3 - (l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2) \sin \varphi_3 \varphi_3' - X_B' = 0; \quad (2)$$

$$(-l_1 \sin \varphi_1 \varphi_1' + l_2' \cos \varphi_2 - l_2 \sin \varphi_2 \varphi_2') \sin \varphi_3 + (l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2) \cos \varphi_3 \varphi_3' - Y_B' = 0; \quad (3)$$

$$l_1 \cos \varphi_1 \varphi_1' + l_2' \sin \varphi_2 + l_2 \cos \varphi_2 \varphi_2' - Z_B' = 0. \quad (4)$$

В систему уравнений (3)-(5) входят 7 неизвестных параметров — функции скоростей механизма — $\varphi_1', l_2', \varphi_2', \varphi_3', X_B', Y_B', Z_B'$. Для того, чтобы система была замкнута, необходимо составить еще четыре уравнения. Недостающие уравнения составляют для каждого конкретного случая либо задавая зависимости от времени для скоростей точки B и выдвижения рукоятки, либо для углов поворота и скорости изменения длины рукоятки.

Для расчета угловых скоростей составляются уравнения (2)-(4) в виде, удобном для решения по правилу Крамера:

$$\begin{aligned} a_{11} \varphi_1' + a_{12} \varphi_2' + a_{13} \varphi_3' &= b_1 \\ a_{21} \varphi_1' + a_{22} \varphi_2' + a_{23} \varphi_3' &= b_2 \\ a_{31} \varphi_1' + a_{32} \varphi_2' + a_{33} \varphi_3' &= b_3 \end{aligned} \quad (5)$$

Из системы (5) по известным формулам через соответствующие определители получаем соотношения для угловых скоростей

$$\varphi'_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad \varphi'_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad \varphi'_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta}. \quad (6)$$

Дифференцируя соотношения (6) по времени получаем выражения для угловых ускорений соответствующих звеньев манипулятора. Однако определение угловых ускорений таким образом оказалось слишком громоздким. Проще обратиться снова к уравнениям (2)-(4). После дифференцирования этих уравнений по времени и решения системы уравнений для ускорений точки В относительно координатных осей находим для угловых ускорений следующие соотношения (при последнем расчете скорость выдвигания рукояти считалась постоянной).

$$\varepsilon_1 = -(\cos\varphi_2 \cos\varphi_3 a_x + \cos\varphi_2 \sin\varphi_3 a_y + \sin\varphi_2 a_z + l_1 \sin\varphi_1 \omega_1^2 \sin\varphi_2 + \omega_3^2 l_2 \cos^2\varphi_2 + l_2 \omega_2^2 + \cos\varphi_2 l_1 \cos\varphi_1 \omega_1^2 + \cos\varphi_2 \omega_3^2 l_1 \cos\varphi_1) / ((\sin\varphi_1 \cos\varphi_2 - \sin\varphi_2 \cos\varphi_1) l_1), \quad (7)$$

$$\varepsilon_2 = (\cos\varphi_1 \cos\varphi_3 a_x + \sin\varphi_3 \cos\varphi_1 a_y + \sin\varphi_1 a_z + \omega_3^2 l_1 \cos^2\varphi_1 + \omega_2^2 l_2 \cos\varphi_2 \cos\varphi_1 + \omega_3^2 l_2 \cos\varphi_2 \cos\varphi_1 + \omega_2^2 l_2 \sin\varphi_2 \sin\varphi_1 + \omega_1^2 l_1) / ((\sin\varphi_1 \cos\varphi_2 - \sin\varphi_2 \cos\varphi_1) l_2), \quad (8)$$

$$\varepsilon_3 = (2\omega_3 \omega_2 l_2 \sin\varphi_2 + 2\omega_3 \omega_1 l_1 \sin\varphi_1 - a_x \sin\varphi_3 + a_y \cos\varphi_3) / (l_1 \cos\varphi_1 + l_2 \cos\varphi_2), \quad (9)$$

где введены обозначения: $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – угловые скорости и угловые ускорения соответствующих звеньев, a_x, a_y, a_z – проекции ускорения точки В на координатные оси. Предложена методика и проведен кинематический анализ работы звеньев «стреларукоять» манипулятора. Установлено, что наибольшие ускорения в звеньях возникают при угловых перемещениях стрелы и рукояти в пространстве и незначительные при линейных их перемещениях.

Библиографический список

1. Артоболевский И.И. Некоторые проблемы механики и управления машинами // Современные проблемы теоретической и прикладной механики. Тр. 4-го Всесоюзного съезда по теории и применению механизмов. Киев. 1978. С. 90-103.
2. Буляткин В.П. Элементы теории структуры и некоторые силовые характеристики манипуляторов // Динамика и алгоритмы управления роботом-манипулятором. Иркутск, 1982, с. 39-47.
3. Добрачев А.А., Раевская Л.Т., Швец А.В. Исследование кинематики работы звеньев манипулятора в обобщенном виде // Лесной вестник, 2008. № 3(60). С. 118-122.