

## ИНТЕРАКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМОЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ТРЁХ ПЛАНАРНЫХ ПОЗИЦИОНЕРАХ

асп. Поляковский В.В., студ. Дик С.К., студ. Кузнецов В.В.

*УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск*

**Введение.** В прецизионном автоматизированном оборудовании самого широкого назначения, включая микро- и наноэлектронику находят применение различные системы перемещений, среди которых наиболее современные мехатронные системы перемещений, построенные на механизмах параллельной кинематики [4 - 7]. В настоящей работе на основе предложенной нами структурно-кинематической схемы, математической модели и разработанного алгоритма выполнено исследование, связанное с моделированием и реализацией интерактивного управления системой перемещений на трёх планарных позиционерах.

Система перемещений на трёх планарных позиционерах разработана на предложенном механизме параллельной кинематики, который обеспечивает перемещение рабочей платформы с инструментом с шестью степенями свободы. Она предназначена для прецизионной обработки фасонных наружных поверхностей, фасонного фрезерования внутренних поверхностей сложных деталей. Она также может быть использована для механической обработки, включая финишную, сферических и асферических линз объективов для генераторов изображений и другого оптико-механического оборудования микро- и наноэлектроники.



*Рис. 1. Фотография системы перемещений*

В настоящей работе рассматривается представленная на рис. 1 система перемещений на трёх планарных позиционерах, которые между собой связаны механизмом параллельной кинематики в виде раскрывающегося тетраэдра, состоящего из шарнирных треугольных звеньев. Структурно-кинематическая схема рассматриваемой системы перемещений представлена на рис. 2.

При этом треугольные звенья 6, 7, 8, из соображений унификации предпочтительно изготавливать в виде одинаковых равносторонних треугольников, а планарные

позиционеры 1, 2, 3 использовать серийной стандартной конструкции [3] в проекции на статор 4 представляющие квадратный контур.

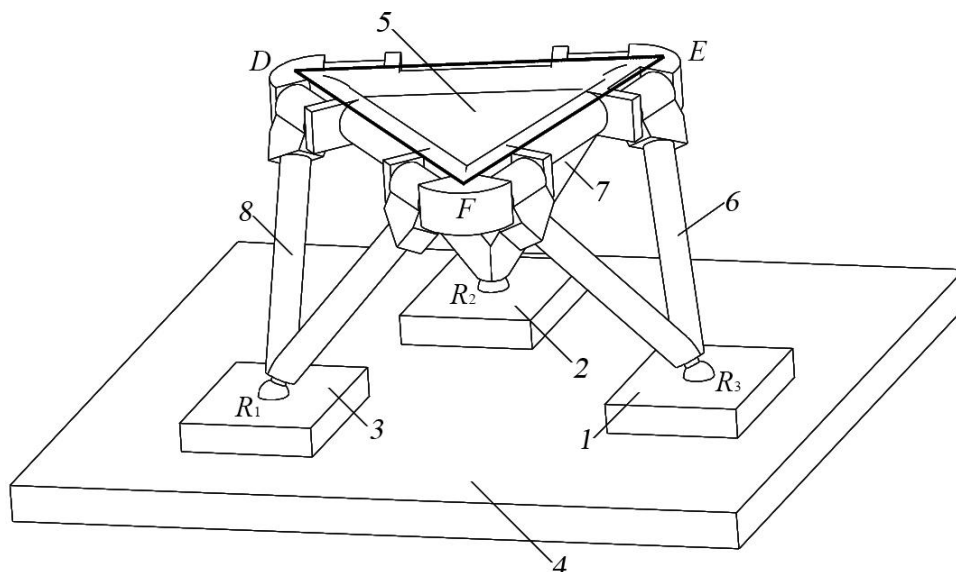


Рис. 2. Структурно-кинематическая схема системы перемещений

Планарные позиционеры кинематически связаны с подвижной платформой через механизм параллельной кинематики. Треугольное звено  $DEF$  представляет собой подвижную в пространстве платформу, с которой связана подвижная система координат  $S_1(x_1, y_1, z_1)$ , а неподвижная система координат  $S_0(x_0, y_0, z_0)$  связана с неподвижным статором.

К преимуществам системы перемещений, построенного на трех планарных позиционерах, можно отнести: возможность перемещения платформы с шестью степенями свободы; возможность расширения рабочей области за счет увеличения размеров статора; высокая долговечность благодаря использованию магнито-воздушной опоры; высокие динамические и точностные показатели, включая повторяемость исполнения одинаковых команд; высокая жёсткость и одновременно высокая кинематическая гибкость системы.

Для реализации управления системы перемещений по шести независимым координатам, определяющим положение и ориентацию платформы нами был предложен аналитический подход [1 - 3], на базе которого разработаны алгоритмы решения прямой и обратной задач кинематики с использованием инструментов среды MATLAB.

**Алгоритмизация математической модели.** В среде MATLAB была разработана функция `plat_posit_has.m`, позволяющая формировать задание на перемещение платформы. После ввода пользователем входных параметров движения (траектория, скорость, ускорение) осуществляется цикл расчетов, результатом которых является массив, включающий шесть обобщённых координат положения и ориентации платформы и параметр время. На базе сформированного функцией `plat_posit_has.m` массива координат производится вычисление текущих ортогональных координат  $(x, y)$  каждого из трёх планарных позиционеров. Для определения векторов элементарных перемещений для каждого из трёх планарных позиционеров на каждом шаге траектории в MATLAB была разработана функция `lsm_inverse.m`, позволяющая решать обратную задачу кинематики по предложенному нами сегментированному алгоритму [3]. Укрупнённая блок-схема вычислительной структуры этого алгоритма представлена на рис. 3.

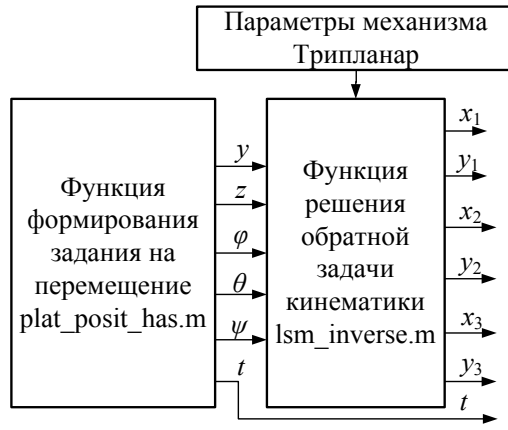


Рис. 3. Вычислительная структура алгоритма управления

Конечное аналитическое представление вычислительного алгоритма по определению шести линейных ортогональных координат  $x_{R_1}, y_{R_1}, x_{R_2}, y_{R_2}, x_{R_3}, y_{R_3}$ , определяющих соответствующие положения трёх планарных позиционеров в системе координат  $S_0(x_0, y_0, z_0)$  плоскости статора имеют вид

$$\begin{aligned}
 x_{R_1} &= \frac{1}{A_1} \left( \frac{B_1 \frac{y_D A_1^2 - D_1 B_1 - x_D A_1 B_1}{A_1^2 + B_1^2} +}{A_1 \sqrt{-2y_D D_1 B_1 - (A_1 x_D + B_1 y_D)^2 + (l^2 - z_D^2)(A_1^2 - B_1^2)} - D_1^2 - 2A_1 x_D D_1 + D_1} \right); \\
 y_{R_1} &= \left( \frac{B_1 \frac{y_D A_1^2 - D_1 B_1 - x_D A_1 B_1}{A_1^2 + B_1^2} +}{A_1 \sqrt{-2y_D D_1 B_1 - (A_1 x_D + B_1 y_D)^2 + (l^2 - z_D^2)(A_1^2 - B_1^2)} - D_1^2 - 2A_1 x_D D_1} \right); \\
 x_{R_2} &= \frac{1}{A_2} \left( \frac{B_2 \frac{y_E A_2^2 - D_2 B_2 - x_E A_2 B_2}{A_2^2 + B_2^2} +}{A_2 \sqrt{-2y_E D_2 B_2 - (A_2 x_E + B_2 y_E)^2 + (l^2 - z_E^2)(A_2^2 - B_2^2)} - D_2^2 - 2A_2 x_E D_2 + D_2} \right); \\
 y_{R_2} &= \left( \frac{B_2 \frac{y_E A_2^2 - D_2 B_2 - x_E A_2 B_2}{A_2^2 + B_2^2} +}{A_2 \sqrt{-2y_E D_2 B_2 - (A_2 x_E + B_2 y_E)^2 + (l^2 - z_E^2)(A_2^2 - B_2^2)} - D_2^2 - 2A_2 x_E D_2} \right); \\
 x_{R_3} &= \frac{1}{A_3} \left( \frac{B_3 \frac{y_F A_3^2 - D_3 B_3 - x_F A_3 B_3}{A_3^2 + B_3^2} +}{A_3 \sqrt{-2y_F D_3 B_3 - (A_3 x_F + B_3 y_F)^2 + (l^2 - z_F^2)(A_3^2 - B_3^2)} - D_3^2 - 2A_3 x_F D_3 + D_3} \right); \\
 y_{R_3} &= \left( \frac{B_3 \frac{y_F A_3^2 - D_3 B_3 - x_F A_3 B_3}{A_3^2 + B_3^2} +}{A_3 \sqrt{-2y_F D_3 B_3 - (A_3 x_F + B_3 y_F)^2 + (l^2 - z_F^2)(A_3^2 - B_3^2)} - D_3^2 - 2A_3 x_F D_3} \right);
 \end{aligned}$$

где  $x_D, y_D, z_D, x_E, y_E, z_E, x_F, y_F, z_F$  – координаты базовых расчётных точек  $D, E, F$  платформы соответственно;

$$A_1 = x_B - x_A; B_1 = y_B - y_A; C_1 = z_B - z_A; D_1 = -A_1 x_D - B_1 y_D - C_1 z_D;$$

$$A_2 = x_C - x_B; B_2 = y_C - y_B; C_2 = z_C - z_B; D_2 = -A_2 x_E - B_2 y_E - C_2 z_E;;$$

$$A_3 = x_A - x_C; B_3 = y_A - y_C; C_3 = z_A - z_C; D_3 = -A_3 x_F - B_3 y_F - C_3 z_F;; B_3 = y_A - y_C;$$

Полученное координатное задание на перемещения планарных позиционеров поступает на контроллер системы управления, в котором оно преобразуется в соответствующие команды управления для силовых драйверов многокоординатного привода.

**Моделирование управления.** Для реализации управления системой перемещений в режиме реального времени на базе инструментария MATLAB Real-Time Workshop была создана интерактивная программа управления. В основу создания интерактивного программного обеспечения легли подход быстрого макетирования (Rapid Control Prototyping) и dSPACE система RTI1003 4.3. Разработка интерактивной программы управления, интерфейс которой показан на рис. 4, была реализована на базе ControlDesk и интерфейса mlib.

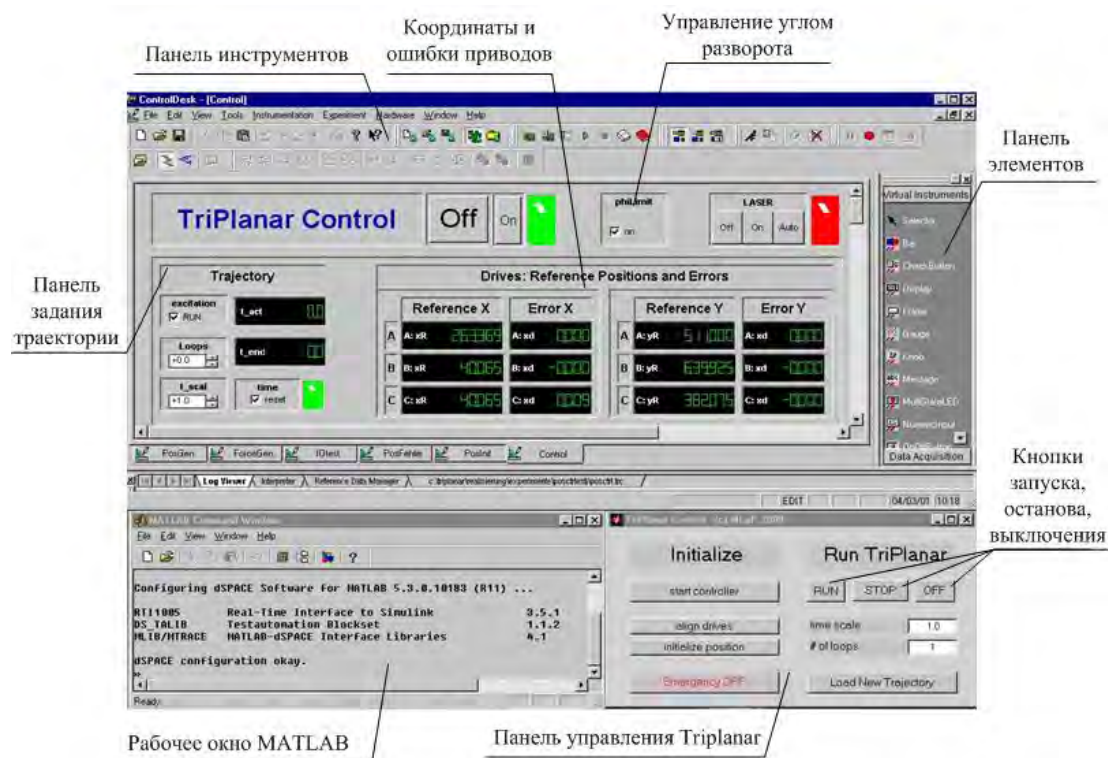


Рис. 4. Копия экрана интерактивного программного обеспечения для управления системой перемещений «Трипланар»

Для тестовой визуализации пространственных перемещений как рабочей платформы так и системы перемещений в соответствии с полученными результатами моделирования системы управления была разработана программа в среде MATLAB интерактивной визуализации реализуемых выполняемых перемещений в режиме реального времени.

Интерфейс программы интерактивной визуализации показан на рис. 5. Он содержит окна задания координат, кнопки трассировки сохранения результатов в файл, а так же запуска моделирования в среде MATLAB. Так же в интерфейсном окне программы визуализации выполняется в реальном масштабе времени анимационное отображение системы перемещений и полученные траектории перемещений планарных позиционеров. Разработанное программное обеспечение управления системой перемещений основано на параметризации сегментированных алгоритмов решения задач кинематики.

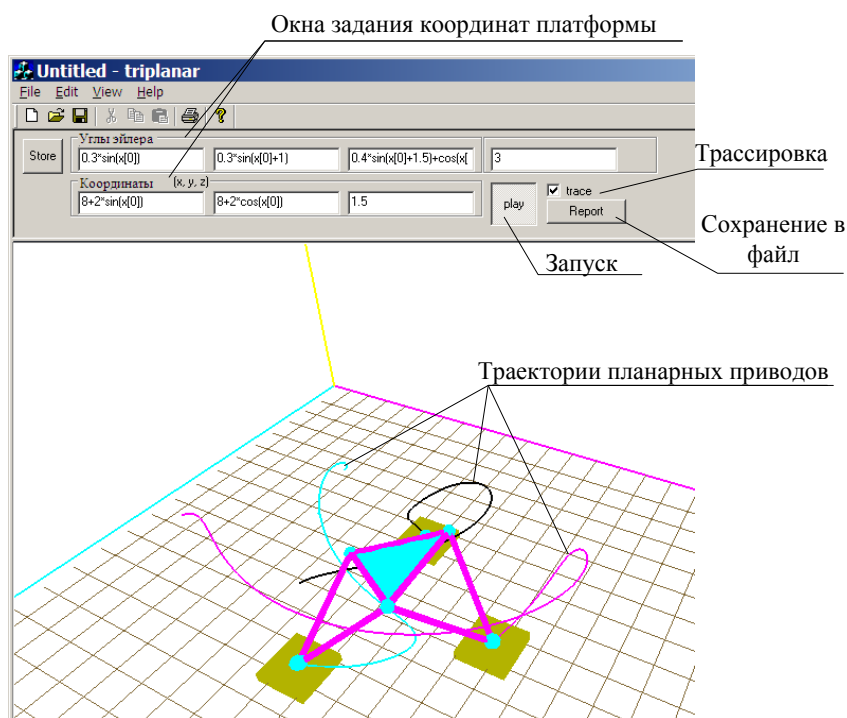


Рис. 5. Копия экрана программы визуализации

**Заключение.** В работе рассмотрен алгоритм параметризации программируемых пространственных перемещений по заданной кривой, на основании которого выполнено решение дифференциальной системы траекторного состояния, определены управляющие функции. Разработано программное обеспечение в среде MATLAB для моделирования управления системой перемещений на трёх планарных позиционерах с интерактивной визуализацией результатов в реальном режиме времени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования / В.В. Жарский [и др.] ; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.
2. Карпович, С.Е. Имитационное моделирование голономных и мобильных автоматических систем / С.Е. Карпович, В.В. Жарский, И.В. Дайняк. – Минск : Белпринт, 2008. – 212 с.
3. Карпович, С.Е. Системы перемещений на основе привода прямого действия / С.Е. Карпович, В.В. Жарский, И.В. Дайняк. – Минск : БГУИР, 2008. – 239 с.
4. Heimann, B. Mechatronika. Komponenty, metody, przyklady / B. Heimann, W. Gerth, K. Popp. – Warszawa : PWN, 2001. – 351 s.
5. Shetty, D. Mechatronics System Design / D. Shetty, R. Kolk. – Cengage Learning, 2010. – 504 p.
6. Innovative Algorithms and Techniques in Automation, Industrial Electronics and Telecommunications / T. Sobh [et al]. –Springer Science & Business Media, 2007. – 552 p.
7. Zentner, J. Zur optimalen Gestaltung von Parallelkinematikmaschinen mit Planarantrieben / J. Zentner. – Illmenau : ISLE, 2006. – 123 s.

E-mail: [mmts@bsuir.by](mailto:mmts@bsuir.by)

Поступила в редакцию 11.09.2016