

9. Mashtayeva A.A., Amirzhanova Z.B., Satybaldina D.K. Development of aircraft dynamics model in the vertical plane. – Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов V Международной научной конференции. – Томск, 2018. – Часть 1. – С.18-21. – ISBN 978-5-4387-0845-2 (ч.1).
10. Robust Control Toolbox, User's Guide, The MathWorks, 2001. – 655 p.
11. Satybaldina D., Mashtayeva A., Smailov E. Development of an Evaluation System of Orientation Angles of Maneuver Objects. - Engineering Computations, No. 8(2). Volume 35. Emerald Group Publishing Ltd., 2018. – P. 3204-3214. – ISSN 0264-4401.
12. Satybaldina D., Mashtayeva A., Zekenova G., Intymakov T. Synthesis of Robust Control System for Aircraft // The VIII International Academic Congress “Fundamental and Applied Studies in EU and CIS Countries”. – United Kingdom, Cambridge, England, 2018. – P.129-138.
13. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2005. – 512 с.
14. Сатыбалдина Д.К., Маштаева А.А., Смаилов Е.З. Разработка робастной системы управления летательным аппаратом // Перспективы развития науки в современном мире: сборник статей по материалам V Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2018. – С.112-117.

УДК 50.03.03

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА НА ПРИМЕРЕ ПЛАТФОРМЫ СТЮАРТА**

**Мураткасимов Данияр Бахытжанұлы, Жетпісбаев Нұрдәулет Ботабекұлы**  
[mrdancho@mail.ru](mailto:mrdancho@mail.ru), [adelante.777@mail.ru](mailto:adelante.777@mail.ru)

Магистранты факультета информационных технологий кафедры системного анализа и  
управления ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Научный руководитель – А.К. Шукирова

Ключевые слова: ПИД-регулятор, контроллер, параллельный манипулятор, нано-позиционирование.

Введение

Спрос на высокоточный контроль движения промышленных манипуляторов в последние годы растет. С момента создания первых параллельных манипуляторов, стало ясно, что многие современные механические системы требуют высокой жесткости и точного позиционирования. Параллельные манипуляторы набирают все большую популярность в связи с их превосходной архитектурой, которая обеспечивает лучшую нагрузку, емкость и точность позиционирования по сравнению с серийными аналогами. Платформа манипулятора - это позиционирование система, которая состоит из верхней пластины (подвижной платформы), базовой пластины (фиксированная основа), и шести раздвижных ножек, соединяющих верхнюю пластину с нижней пластиной.

Серийные роботы не могут выполнять точное позиционирование при больших нагрузках, и подвержены колебаниям при высокой скорости. Поэтому в последние годы параллельные роботы широко используются в нескольких областях промышленности, таких как медицина и оборона. Помимо этого, области применения включают в себя такие сложные задачи как точная лазерная резка, взлетно-посадочная полоса вертолета, пусковая платформа ракет, хирургические операции и тд. Рассмотренную в качестве примера платформу Стюарта также отличает высокая прочность установки, высокая грузоподъемность и точность позиционирования. Отдельно стоит отметить, что модификации данного робота могут быть спроектированы для точного позиционирования при самых различных возмущениях, воздействующих извне, а также при воздействии трения.

Параллельные манипуляторы представляют собой замкнутые механизмы и состоят из параллельных звеньев между базовой платформой и концевым эффектором с кинематической

цепью. Поэтому нагрузка действует на все звенья и соединения отдельно. Ошибки позиционирования также накапливаются и приводят к низкой точности конечного эффектора у серийных роботов. Отличие в том, что позиционирование каждой ножки в параллельных роботах напрямую влияет на конечный эффектор и не имеет накопительного характера. Кроме того, робот может перемещать нагрузку, разделяемую в каждом звене, поэтому его грузоподъемность очень высока. Наиболее широко используемая структура параллельного робота - платформа Стюарта. Платформа Стюарта была изобретена Стюартом в качестве имитатора полета в 1965 году [1]. Эта платформа содержала три параллельных линейных привода [2].

Параллельные манипуляторы не привлекали внимания в течение первых 15 лет с момента первого изобретения. Тогда Хант [3] указал на преимущества параллельных роботов. После 1983 года исследователи осознали их высокую грузоподъемность и высокую способность позиционирования этих роботов.

#### Структура платформы

Система состоит из двух основных корпусов (верхняя и нижняя пластины), шести линейных двигателей, контроллера, блока питания, схемы аварийной остановки и интерфейсной платы [4]. Dspace DS1103 контроллер, который в реальном времени используется для реализации алгоритмов управления. Простая схема аварийной остановки была разработана для защиты двигателей при их выходе за пределы разрешения.

#### Моделирование и анализ движения

Различные сценарии движения были исследованы с помощью программного обеспечения SolidWork. Точность аналитических уравнений прямой кинематики, сравнивается с результатами Solid Motion. Это программное обеспечение предоставляет платформу для проверки аналитических выражений [5]. Уравнения динамики платформы также разработаны и сопоставлены с результатами Solid Motion. Сначала определяются некоторые сценарии движения, затем сравниваются как аналитические, так и численные результаты. Рисунок 1-а показывает интерфейс программного обеспечения для платформы. В качестве примера, как показано на рисунке 1-б-в, верхняя пластина перемещается из нулевого положения в положение +25 мм.

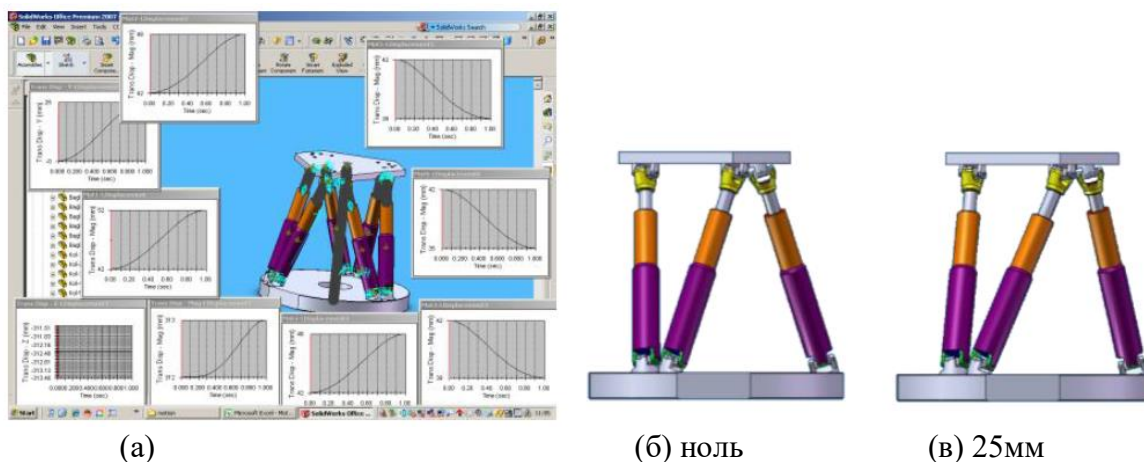


Рис. 1 (а) Руководство по программному обеспечению Solidworks Motion для анализа движения верхней платформы от нуля (а) до 25 мм (б) по оси x.

Планирование траектории необходимо для вычисления команд движения, которые подаются на двигатели. Планирование траектории включает в себя положение и ориентацию верхней пластины вдоль осей X-Y-Z. Для каждого времени моделирования ножек вычисляются данные с использованием обратной кинематики, заданной уравнением 1:

$$L = \| (R * p\_t + p) - p\_b \| - l\_n \quad (1)$$

Положение каждого двигателя контролируется после вычисления длины каждой ноги.

Моторы сначала устанавливаются в нулевое или исходное положение. При подаче напряжения в систему алгоритм поиска индекса определяет положение каждой ноги[6]. Перемещение в исходное положение для возможных двух ситуаций от верхней и нижней сторон до нуля показаны на рисунке 2-а. На рисунке также показана реакция двигателя в реальном времени и реализация уравнения 1.

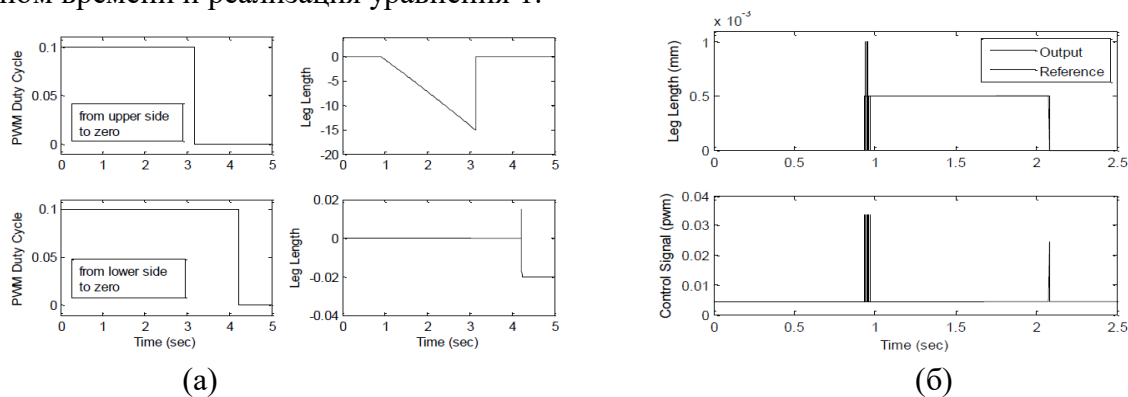


Рис 2. (а) Процедура инициализации, (б) 500-нм шаговая обратная связь одной ножки платформы.

Для верхней платформы, чтобы перейти в желаемое положение и для определения ориентации от начальной позиции требуется контроллер. Это будет генерировать необходимые сигналы для каждого двигателя. С этой целью, был внедрен ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциальный) контроллер, см. ниже уравнение 2.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2)$$

Изначально, мотор на каждой ноге контролировался успешно и его управляемость проверялась отдельно. Затем необходимо осуществить единовременный контроль всех двигателей. Чтобы проверить способность к точному движению, было проведено несколько экспериментов с ПИД-регулятором[7]. В режиме реального времени шаговый отклик 500 нм, 1 мм и 0/500 / -500 нм и соответствующий управляющий сигнал двигателя показан на рис. 2б.

Основной моделью контроллера, разработанной в Simulink и встроенной в dspace ds1103, является система, показанная на рисунке 3. Модель содержит некоторые подсистемы, такие как траектория движения, кодер, ПИД-регулятор и т.д. Эти подсистемы выполняют обратное кинематическое решение, измерения длины ног, процедуру инициализации, контроль положения и выдают сигналы.

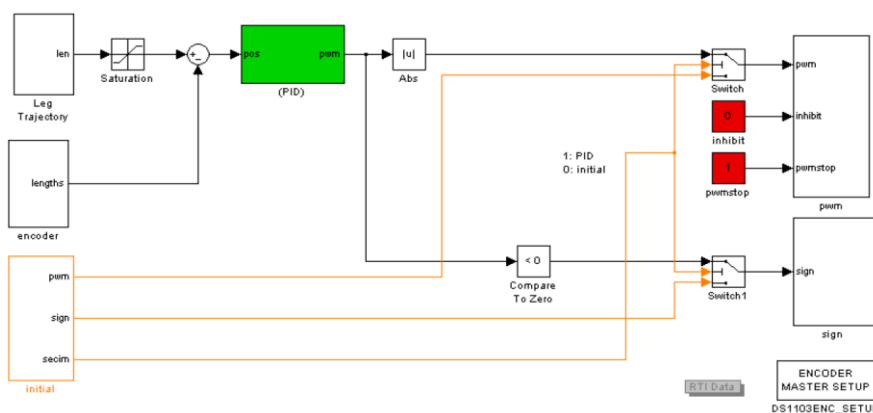


Рис 3 Модель контроллера Simulink

### Заключение

В этом исследовании был смоделирован высокоточный параллельный манипулятор с 6 степенями свободы. Управление системой осуществляется ПИД-контроллером, разработанным в среде SIMULINK и встроенный в Dspace контроллер реального времени

DS1103. Для ступенчатых входов наблюдается нулевая стационарная ошибка. Верхняя платформа манипулятора позиционируется в желаемом положении с погрешностью менее 0,5 мкм. Когда верхняя пластина расположена в более широком рабочем пространстве, производительность ПИД-регулятора ухудшается из-за нелинейной структуры системы. Более того, в ходе наблюдений был сделан вывод, что ПИД-регулятор может потерять способность управлять при нелинейных нагрузках, поэтому для работы с нелинейными нагрузками и возмущениями могут быть разработаны разные алгоритмы. Некоторые основные недостатки ПИД-регулятора можно описать следующим образом:

- ошибки округления вызывают вибрацию на ножках, не обеспечивая тем самым высокую точность. Переменные состояния могут быть отфильтрованы, чтобы преодолеть эту проблему

- параметры ПИД-регулятора получены методом проб и ошибок, наилучшие параметры могут быть определены с использованием динамической модели системы для широкого диапазона

- рабочее пространство можно разделить на несколько регионов, и оптимизированные параметры могут быть получены для каждой области[8].

#### **Список использованных источников**

1. D. Stewart. A Platform with Six Degrees of Freedom. Proceedings of the Institute of Mechanical Engineering. Vol. 180, Part 1, No. 5, pp. 371-386, 1965
2. <http://www.parallelic.org/Reviews/Review007.html>, Development and Control of a High Precision Stewart Platform Vol. 3, No 1/Special Issue, February 2011 59
3. K.H. Hunt. Structural kinematics of in-parallel-actuated robot-arms. ASME J. Mech., Trans. Automat. Des., vol. 105, pp. 705–712, 1983
4. B. Dasgupta, T.S. Mruthyunjaya. The Stewart Platform manipulator: a review. Mechanism and Machine Theory 35 (2000) 15-40, December 1998
5. P. Nauna, K.J. Waldron and V. Murthy. Direct kinematic solution of a Stewart Platform. IEEE. Trans. Robotics Automat. 6 (4), 438-444, 1990.
6. J. P. Merlet. Direct kinematics and assembly modes of parallel manipulators. Int. J. of Robotics Research, 11(2):150-162, 1992
7. N. X. Chen and S. M. Song. Direct position analysis of the 4-6 Stewart Platform. ASME J. of Mechanical Design, 116(1):61-66, 1994
8. Q. Liao, L. D. Seneviratne and S.W.E. Earles. Forward kinematic analysis for the general 4-6 Stewart Platform. Intelligent Robots and Systems, IROS '93. Proc. of the IEEE/RSJ International Conference, Volume 3, pp. 1659-1665, July 1993

УДК 347.73

### **СОЗДАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА СТРОКИ ГУ-12 ДЛЯ ПОДАЧИ ЗАЯВКИ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ.**

**Мырзатаев Нұрғиса Ғабитұлы**

*myrzatayev.n.g@gmail.com*

Докторант Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Нурсултан,  
Казахстан

Научный руководитель – Н.М.Кисикова

Транспорт в Казахстане имеет важнейшее значение. Огромные территории страны (2,7 млн км<sup>2</sup>), низкая плотность населения, разобщённость центров промышленности и сельского хозяйства, а также удалённость от мировых рынков делают обладание развитой транспортной системы жизненно необходимым для Казахстана