

УДК 519.85

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПОДВИЖНОСТИ НА БАЗЕ ГЕКСАПОДА ДЛЯ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

© 2022 г. Л. А. Рыбак^{1,*}, Д. И. Малышев¹, Е. В. Гапоненко¹, В. С. Перевузнник¹,
А. А. Волошкин¹

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

г. Белгород, 308012 Россия

*e-mail: rl_bgtu@gmail.com

Поступила в редакцию 31.08.2022 г.

После доработки 26.09.2022 г.

Принята к публикации 04.10.2022 г.

Рассматривается задача проектирования системы управления и оптимизация параметров при помощи ПИД-регулятора для роботов на базе гексапода, которые имеют широкое распространение в различных сферах: динамические тренажеры, роботы манипуляторы, системы ориентации. При проектировании таких систем используется компьютерное моделирование и важным вопросом является создание имитационной модели системы управления гексаподом и оценка возникающих ошибок позиционирования. В статье представлена имитационная модель робота-гексапода, разработанная в системе автоматизированного проектирования SolidWorks. Моделирование системы управления роботом-гексаподом осуществлялось в программной среде MATLAB, включающей библиотеку Simulink. В процессе имитационного моделирования были получены изменения положения координат центра подвижной платформы от времени, ошибки позиционирования штанг гексапода, усилия, подаваемые на каждую штангу гексапода в определенный промежуток времени при заданных коэффициентах ПИД-регулятора.

Ключевые слова: гексапод, платформа Стюарта, ПИД-регулятор, MATLAB, Simulink, имитационная модель гексапода, система управления

DOI: 10.56304/S2304487X22030099

ВВЕДЕНИЕ

ПИД-регуляторы широко применяются в роботизированных системах с параллельной кинематикой [1]. Применимость в решении большинства практических задач и низкая стоимость, точность функционирования и доступность промышленного применения и построения являются причинами высокой популярности ПИД-регуляторов. Однако, типовые ПИД-регуляторы не всегда точно обеспечивают необходимые статические или динамические характеристики регулирования [2]. В работе о стабильности и надежности некоторых контроллеров [3] были описаны способы оценивания робастности и запаса устойчивости для порядка наиболее популярных методов настраивания ПИД-регуляторов с объектом первого порядка с задержкой. Для настройки параметров ПИД-регулятора предложено большое количество методов. В работе [4] выполнен расчет параметров ПИД-регулятора по параметрам математической модели системы управления, что

позволило аналитически решить задачу синтеза системы управления. В работе [5] рассмотрены методы настройки ПИД-регулятора в Simulink для системы управления двигателем постоянного тока. В работе [6] выполнено моделирование и оптимизация параметров ПИД-регулятора. Представлена схема системы управления, определены соотношения между параметрами звеньев и проведена оптимизация структуры системы управления.

Произведем оптимизацию ПИД-регулятора системы управления динамической платформы подвижности на базе гексапода для получения оптимального управления с наименьшими ошибками.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

Построим 3D-модель гексапода в системе автоматизированного проектирования SolidWorks



Рис. 1. 3D-модель гексапода.

(рис. 1), а затем импортируем ее в модуль Simulink MATLAB для получения имитационной модели.

С использованием имитационной модели настроим коэффициенты пропорциональной (K_p),

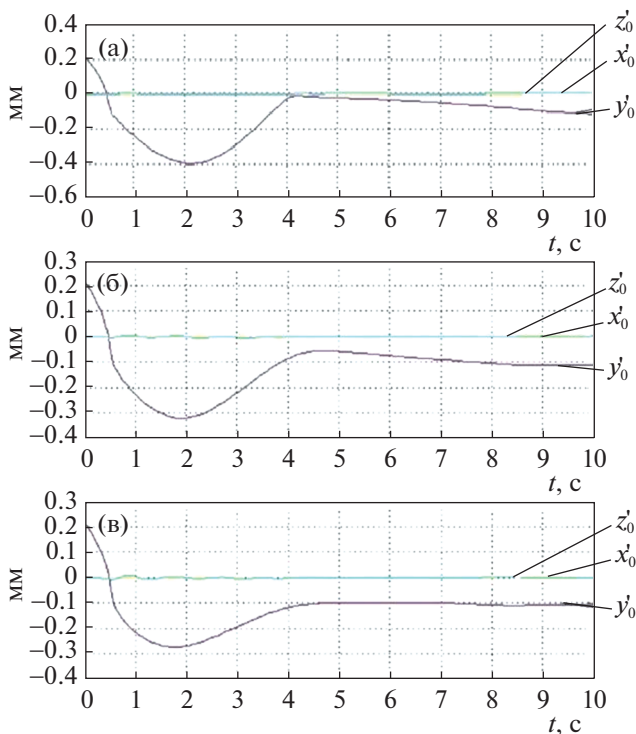


Рис. 2. Изменение положения координат центра подвижной платформы при: а) $K_p = 0$, б) $K_p = 5$, в) $K_p = 10$.

интегральной (K_i) и дифференциальной (K_d) составляющих ПИД-регулятора. Для этого будем изменять коэффициенты K_i , K_p , K_d от 0 до 10 и производить анализ полученных ошибок в результате.

Для оптимизации составляющей K_p зафиксируем значения составляющих $K_i = 10$, $K_d = 10$, а коэффициент K_p будем менять от 0 до 10. Полученные при заданных коэффициентах ПИД-регулятора зависимости представлены на рис. 2–4.

Анализ результатов проведенного моделирования позволяет сделать вывод, что наименьшие изменения положения координат центра подвижной платформы от времени, ошибки позиционирования штанг гексапода и усилия, подаваемые на каждую штангу гексапода, достигаются при значении пропорциональной составляющей $K_p = 10$. Примем выявленное значение K_p при оптимизации составляющих K_i и K_d .

Для оптимизации составляющей K_i примем $K_p = 10$, $K_d = 10$, а коэффициент K_i будем менять в диапазоне от 0 до 10. Полученные при заданных коэффициентах ПИД-регулятора зависимости представлены на рис. 5–7.

Из приведенных графиков (рис. 5–7) следует, что наименьшие изменения положения координат центра платформы от времени, ошибки позиционирования штанг гексапода и усилия, подаваемые на каждую штангу гексапода, происходят при значении интегральной составляющей $K_i = 7.5$. Примем выявленное значение K_i при дальнейшей оптимизации дифференциальной составляющей K_d .

Для оптимизации составляющей K_d примем $K_p = 10$, $K_i = 10$, а коэффициент K_d будем изменять в диапазоне от 0 до 10. Полученные при заданных коэффициентах ПИД-регулятора зависимости представлены на рис. 8–10.

Из анализа графиков (рис. 8–10) следует, что наименьшие изменения положения координат центра платформы от времени, ошибки позиционирования штанг гексапода и усилия, подаваемые на каждую штангу гексапода, происходят при $K_d = 8$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе анализа полученных результатов было выявлено, что наиболее оптимальная настройка ПИД-регулятора получается при следующих значениях: $K_p = 10$, $K_i = 7.5$, $K_d = 8$.

Выявлена связь отображенных на графиках ошибок с ошибками системы управления гексаподом. На основании полученных данных можно сделать вывод, что ошибки позиционирования штанг, возникающие при реализации синтеза системы управления гексаподом, незначительны.

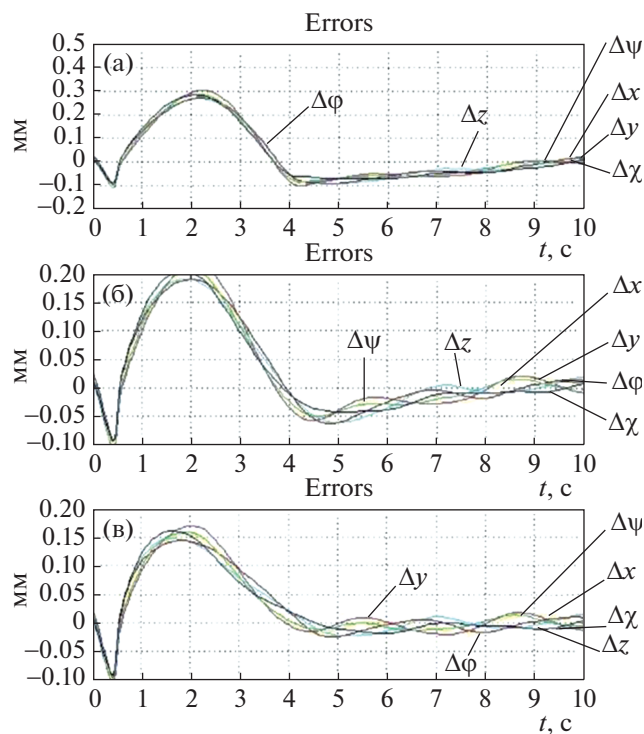


Рис. 3. Ошибки позиционирования штанг гексапода при: а) $K_p = 0$, б) $K_p = 5$, в) $K_p = 0$.

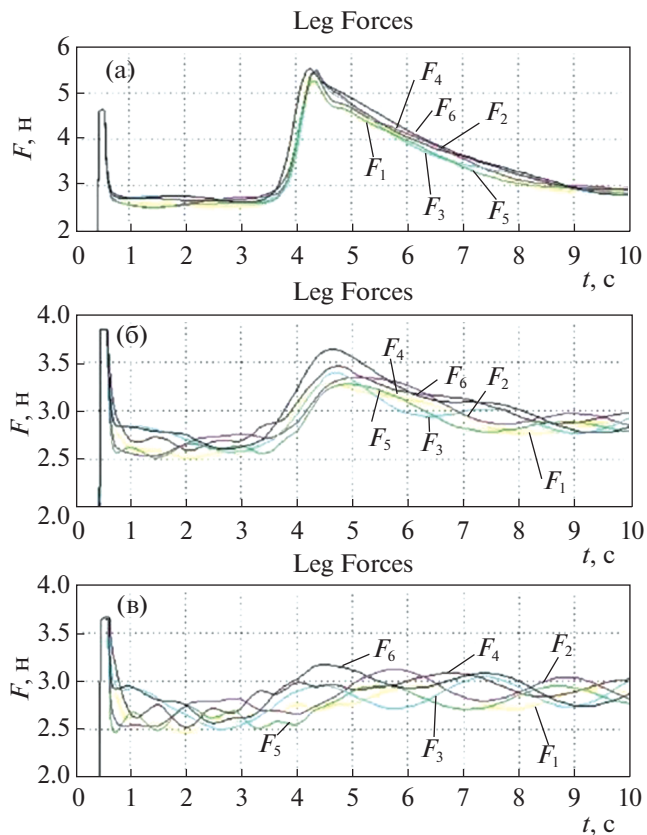


Рис. 4. Усилия, подаваемые на каждую штангу гексапода, при: а) $K_p = 0$, б) $K_p = 5$, в) $K_p = 10$.

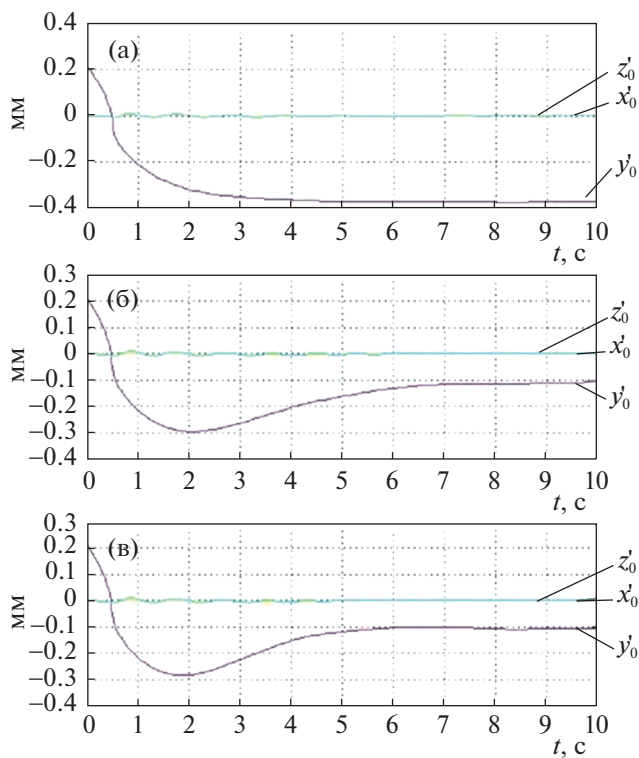


Рис. 5. Изменения положения координат центра платформы от времени при: а) $K_i = 0$, б) $K_i = 5$, в) $K_i = 7.5$.

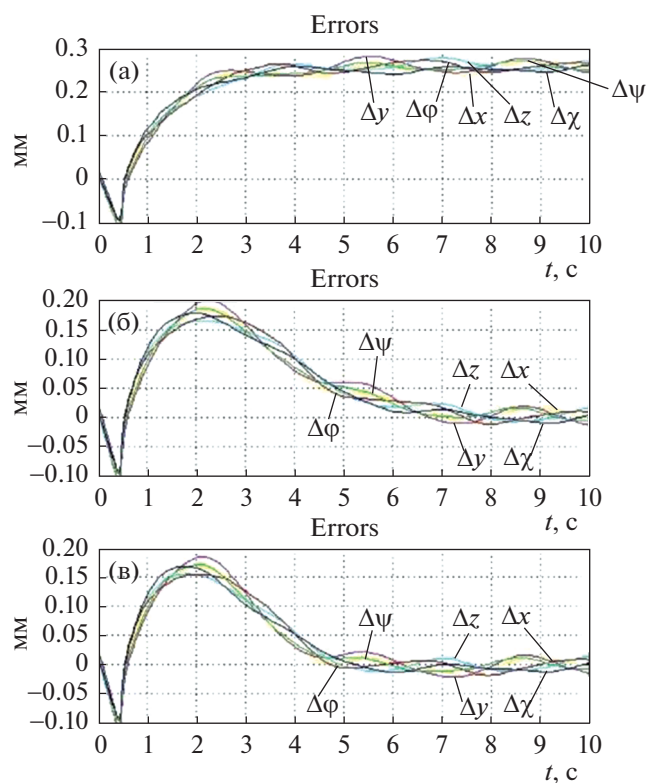


Рис. 6. Ошибки позиционирования штанг гексапода при: а) $K_i = 0$, б) $K_i = 5$, в) $K_i = 7.5$.

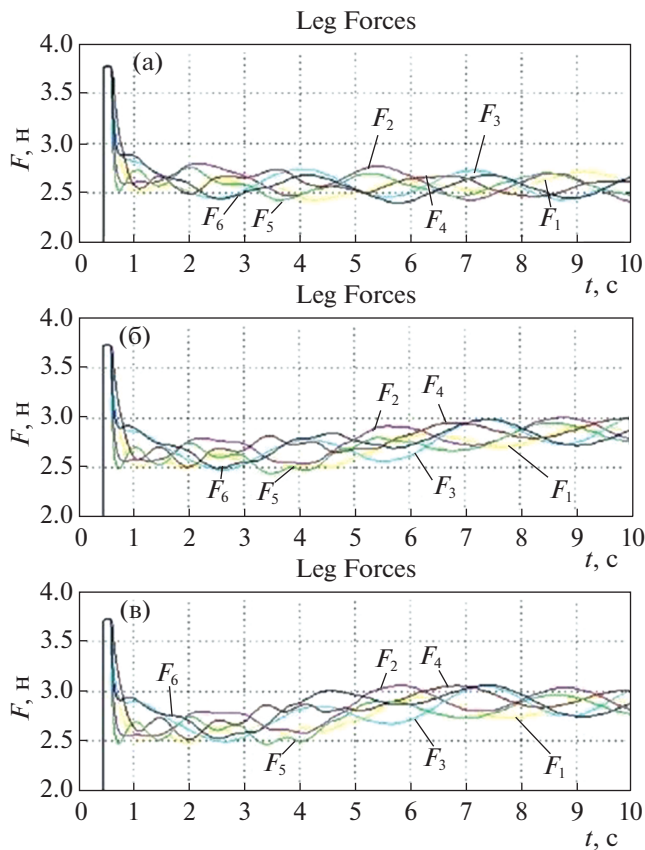


Рис. 7. Усилия, подаваемые на каждую штангу гексапода, при: а) $K_i = 0$, б) $K_i = 5$, в) $K_i = 7.5$.

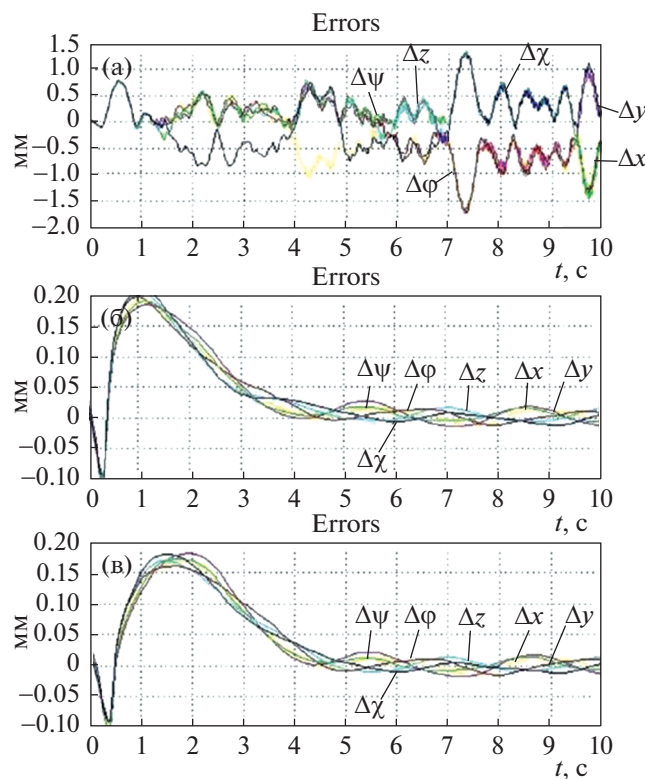


Рис. 9. Ошибки позиционирования штанг гексапода при: а) $K_d = 0$, б) $K_d = 5$, в) $K_d = 8$.

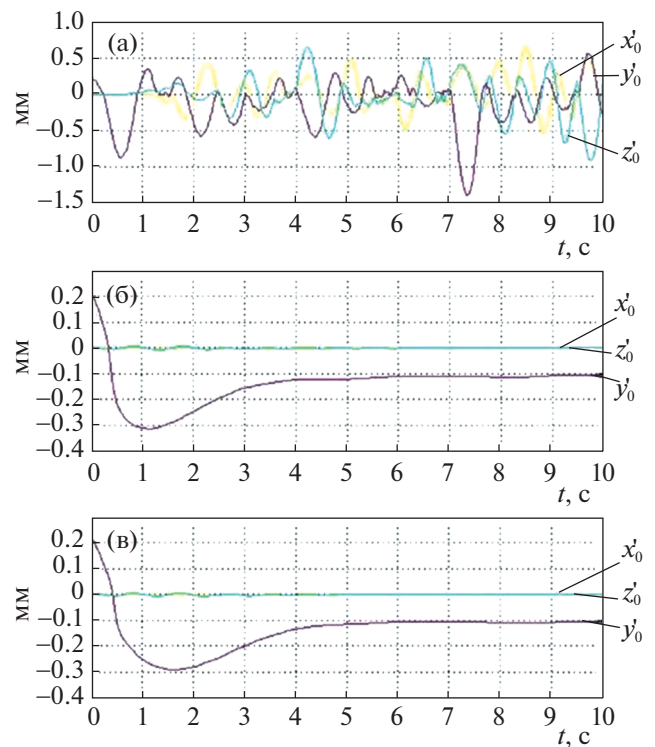


Рис. 8. Изменения положения координат центра платформы от времени при: а) $K_d = 0$, б) $K_d = 5$, в) $K_d = 8$.

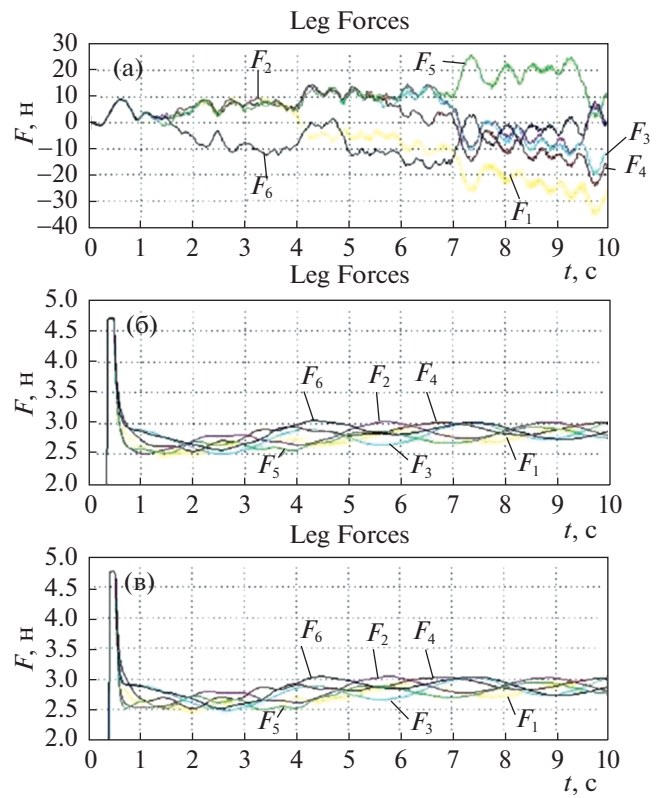


Рис. 10. Усилия, подаваемые на каждую штангу гексапода при: а) $K_d = 0$, б) $K_d = 5$, в) $K_d = 8$.

Однако, даже учитывая допущения, работа над получением ошибок системы управления оказалась достаточно длительным процессом. Это обусловлено инвертированием, основанным на решении обратной задачи кинематики Якобиана, в решении которой реализуется длительный пересчет задания в имитационной модели.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов “Приоритет 2030” с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбак Л.А., Чичварин А.В., Мамаев Ю.А., Гапоненко Е.В. Синтез системы управления одно- и двухсекционного манипуляторов с параллельной кинематикой // XV международная научно-техническая конференция “Фундаментальные проблемы техники и технологии – ТЕХНОЛОГИЯ-2012”, 2012. С. 64–71.
2. Chen Y.Q., Vinagre B.M., Monje C.A. Proposition for the Implementation of Non-integer PI Controllers // The Thematic Action ‘Systems with Non-integer Derivations’ LAP-ENSEIRB, Bordeaux, France, 2003.
3. Leu J.F., Tsay S.Y., Hwang C. Design of Optimal Fractional Order PID Controllers // Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers. 2002. V. 33. № 2. P. 193–202.
4. Завьялов В.А. Расчет параметров ПИД-регулятора // Науч.-техн. вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 190–192.
5. Корелин О.Н., Станкевичус А.А. Исследование и анализ методов настройки ПИД-регулятора // Информационные системы и технологии. 2019. С. 634–640.
6. Панкратов Л.В. Моделирование и оптимизация ПИД-регулятора // Наука и техника транспорта, 2017. С. 73–78.

Vestnik Natsional'nogo Issledovatel'skogo Yadernogo Universiteta “MIFI”, 2022, vol. 11, no. 3, pp. 254–259

Optimization of the Parameters of the PID Controller for the Control System of a Hexapod-Based Dynamic Mobility Platform for Training Complexes

L. A. Rybak^{a, #}, D. I. Malyshev^a, E. V. Gaponenko^a, V. S. Perevuznik^a, and A. A. Voloshkin^a

^aBelgorod State Technological University, Belgorod, 308012 Russia

[#]e-mail: rl_bstu@gmail.com

Received August 31, 2022; revised September 26, 2022; accepted October 4, 2022

Abstract—The problem of designing a control system and optimizing parameters using a proportional–integral–derivative (PID) controller for hexapod robots, which are widely used in various fields such as dynamic simulators, robotic manipulators, and orientation systems is considered. When designing such systems, computer modeling is used, and an important issue is the creation of a simulation model of the hexapod control system and the assessment of positioning errors. A simulation model of a hexapod robot developed in the SolidWorks computer-aided design system has been reported. The hexapod robot control system has been simulated in the MATLAB software environment, which includes the Simulink library. In the process of simulation, changes in the position of the coordinates of the center of the movable platform with time, positioning errors of the hexapod rods, and forces applied to each hexapod rod in a certain period of time have been obtained at given PID controller coefficients.

Keywords: hexapod, Stewart platform, PID controller, MATLAB, Simulink, hexapod simulation model, control system

DOI: 10.56304/S2304487X22030099

REFERENCES

1. Rybak L.A., Chichvarin A.V., Mamaev YU.A., Gaponenko E.V. Sintez sistemy upravleniya odno- i dvuhsekcionnogo manipulyatorov s parallel'noj kinematikoj. [Synthesis of the control system of one- and two-section manipulators with parallel kinematics]. XV mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya “Fundamental'nye problemy tekhniki i tekhnologii – TEKHNLOGIYA-2012” [XV international scientific and technical conference “Fundamental problems of

- engineering and technology – TECHNOLOGY-2012”], 2012, pp. 64–71.
2. Chen Y.Q., Vinagre B.M. and Monje C.A. A Proposition for the Implementation of Non-integer PI Controllers. *The Thematic Action “Systems with Non-integer Derivations” LAP-ENSEIRB*, Bordeaux, France, 2003.
 3. Leu J.F., Tsay S.Y., Hwang C. Design of Optimal Fractional Order PID Controllers. *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers*, 2002, vol. 33, no. 2, pp. 193–202.
 4. Zavyalov V.A. Calculation of PID-controller parameters. [Calculation of PID controller parameters]. *Nauch.-tekhn. messenger of the Volga region*, 2014, № 5, pp. 190–192.
 5. Korelin O.N., Stankevichus A.A. Issledovanie i analiz metodov nastrojki PID – regulatora [Research and analysis of methods for tuning the PID controller]. *Informacionnye sistemy i tekhnologii*, 2019, pp. 634–640.
 6. Pankratov L.V. Modelirovanie i optimizaciya PID-regulyatora [Modeling and optimization of the PID controller]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2017. pp. 73–78.