УДК 629.5

С. В. ХОРОШИЛОВ

АНАЛИЗ РОБАСТНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ «ПАСТУХА С ИОННЫМ ЛУЧОМ»

Институт технической механики
Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины,
ул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Днепр, Украина; e-mail: skh@ukr.net

Целью работы является анализ робастности системы управления движением «пастуха с ионным лучом» относительно объекта космического мусора. При анализе системы рассмотрены воздействия ионного луча, широкий спектр орбитальных возмущений, неточности определения относительного положения и реализации управляющих воздействий, нестационарность и параметрическая неопределенность объекта управления, а также ограничения на амплитуду управляющих воздействий. Определены запасы устойчивости по амплитуде и фазе для каждого из каналов управления. Задача анализа устойчивости объекта с переменными коэффициентами сведена к задаче исследования робастной устойчивости системы по отношению к неопределенным параметрам. Неопределенные параметры математической модели представлены с использованием линейно-дробного преобразования. С использованием такого описания неопределенность модели представлена в виде блока возмущений, который структурирован и имеет блочно-диагональную форму. Использована мера робастности, основанная на понятии структурированных сингулярных чисел. Вычислены значения структурированных сингулярных чисел, которые демонстрируют робастность системы по отношению к рассмотренным факторам.

Ключевые слова: *пастух с ионным лучом, объект космического мусора, регулятор, робастность, неопределенность, возмущения, структурированное сингулярное число.*

1. *Bombardelli C., Peláez J.* Ion Beam Shepherd for Contactless Space Debris Removal. JGCD. 2011. 34. No 3. May–June. P. 916–920.
2. *Hua T., Kubiak E., Lin Y., Kilby M.* Control/Structure Interaction during Space Station Freedom-Orbiter Berthing // The Fifth NASA/DOD Controls-Structures Interaction Technology Conference, Tahoe, Nevada, March 3–5, 1992. P. 181–203.
3. *Mora E., Ankersen F., Serrano J.* MIMO Control for 6DoF Relative Motion. Proceedings of 3'rd ESA International Conference on Spacecraft Guidance, Navigation and Control Systems, Noordwijk, The Netherlands, Nov. 26–29, 1996.
4. *Ankersen F.* Application of CAE methods for the On-Board Flight Control System on the ARC Mission. ESA working paper. 1993. P. TN/FA–001 Issue 1.0.
5. *Doyle J. C., Stein G.* Multivariable Feedback Design: Concepts for a Classical. Modern Synthesis. *IEEE* Transactions on Automatic Control. 1981. No 26(1). P. 4–16.
6. *Zhao K., Stoustrup J.* Computation of the Maximal Robust H2 Performance Radius for Uncertain Discrete Time Systems with Nonlinear Parametric Uncertainties. International Journal of Control. 1997. No 67(1). P. 33–43.
7. *Zhou K., Khargonekar P., Stoustrup J., Niemann H.* Robust Performance of Systems with Structured Uncertainties in State Space. Automatica. 1995. No 31(2). P. 249–255.
8. *Хорошилов С. В.* Управление ориентацией солнечной электростанции космического базирования с использованием наблюдателя для расширенного вектора состояния. Техническая механика. 2011. №. 3. С.117–125
9. *Alpatov A., Cichocki F., Fokov A., Khoroshylov S., Merino M., Zakrzhevskii A.* Determination of the force transmitted by an ion thruster plasma plume to an orbital object. Acta Astronautica. 2016. No 119. P. 241–251.
10. *Alpatov A., Cichocki F., Fokov A., Khoroshylov S., Merino M., Zakrzhevskii A.* Algorithm for Determination of Force Transmitted by Plume of Ion Thruster to Orbital Object Using Photo Camera. 66th International Astronautical Congress, Jerusalem, Israel, 12–16 October, 2015. 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM).
11. *Фоков А. А., Хорошилов С. В.* Валидация упрощенного метода расчета силы воздействия факела электрореактивного двигателя на орбитальный объект. Авиационно-космическая техника и технология. 2016. № 2/129. С. 55–66.
12. *Bombardelli C., Urrutxua H., Merino M., Ahedo E., Pelaez J.* Relative dynamics and control of an ion beam shepherd satellite // Spaceflight mechanics. – 2012. – Vol. 143. – P. 2145-2158.
13. *Хорошилов С.В.* Синтез робастного регулятора системы управления «пастуха с ионным лучом» // Техническая механика. – 2017. – № 1. – С. 26–39.
14. *Wie B.* Space Vehicle Dynamics and Control. – Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1998. – 660 p.
15. *Ankersen F.* Thruster Modulation Techniques: Application to Eureca Attitude and Orbit Control System // ESA working paper. – 1989 p. EWP 1528.

16. *Lawden D.F.* Optimal Trajectories for Space Navigation. – London: Butterworths, 1963. – 126 p.
17. *Clohessy W., Wiltshire R.* Terminal guidance system for satellite rendezvous // Journal of the Aerospace Sciences. – 1960. – Vol. 27, No 9. – P. 653-658.
18. *Zhou K., Doyle J.C., Glover K.* Robust and Optimal Control. – NY: Prentice-Hall, 1996. – 596 p.