

УДК 629.78.053

Сравнительный анализ энергоэффективности управления угловым движением космических аппаратов с выраженной анизотропией моментов инерции

Мисюра Наталья Евгеньевна^(*)n_misura@mail.ru
SPIN-код: 1108-2661

Митюшов Евгений Александрович

SPIN-код: 8830-4017

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема повышения энергоэффективности систем управления ориентацией космических аппаратов, обладающих выраженной анизотропией моментов инерции. Представлены результаты сравнительного анализа энергозатрат при использовании традиционных и перспективных методов управления. Показано, что степень анизотропии оказывает значимое влияние на эффективность регулирования. Сделаны выводы о возможности применения выявленных закономерностей для оптимизации алгоритмов управления ориентацией космических аппаратов различных классов.

Ключевые слова: управление ориентацией, моменты инерции, анизотропия, энергоэффективность, космический аппарат

Введение. Современные космические аппараты характеризуются широким разнообразием конструкций, включая платформы с вытянутой геометрией, несимметричным распределением массы и выраженной анизотропией моментов инерции. В условиях стремления к увеличению срока активного существования орбитальных миссий энергоэффективность систем управления ориентацией становится ключевым параметром. Классические методы регулирования, основанные на предположении близкой к изотропной структуре инерционных характеристик, демонстрируют ограниченную эффективность при работе с аппаратами, обладающими значительной разницей между максимальными и минимальными моментами инерции [1, 2]. Это повышает актуальность исследования зависимости энергозатрат от степени анизотропии и эффективности различных алгоритмических методов управления угловым движением [3].

Методы и материалы; результаты. Для анализа была сформирована база данных, включающая пятнадцать космических аппаратов различных классов: научные миссии, орбитальные телескопы, межпланетные аппараты, телекоммуникационные системы и технологические платформы. В качестве ключевого параметра введен коэффициент анизотропии, определяемый как отношение максимального момента инерции к минимальному. На основании этого параметра аппараты классифицированы по четырем уровням: слабая, средняя, сильная и экстремальная анизотропия. Для каждого аппарата выполнено сравнение традиционного метода управления ориентацией и перспективного энер-

гоэффективного подхода. Анализ проводился по критериям: относительная экономия энергии, абсолютная экономия (кДж) и адаптивность алгоритма к вариациям инерционных характеристик. Результаты демонстрируют устойчивую зависимость между ростом анизотропии и улучшением энергоэффективности. Для аппаратов со слабой анизотропией улучшение составило около 10 %, для средней — порядка 11 %, для сильной — свыше 12 %, а для экстремальной — до 15 %. Наибольший эффект наблюдается у орбитальных телескопов и высокоанизотропных телекоммуникационных платформ. Дополнительно установлена статистически значимая корреляция между коэффициентом анизотропии и приростом энергоэффективности.

Заключение. Проведенный анализ показал, что энергоэффективность систем управления угловым движением космических аппаратов существенно зависит от степени анизотропии инерционных характеристик. Наибольший выигрыш достигается для аппаратов с коэффициентом анизотропии более 3,0. Даже при слабой анизотропии сохраняется стабильное повышение эффективности на уровне около 10 %. Полученные результаты представляют практическую ценность для проектирования новых систем управления ориентацией и модернизации существующих решений.

Список источников

- [1] Wertz J.R., ed. *Spacecraft Attitude Determination and Control*. Dordrecht, Springer, 1978, 858 p.
- [2] Markley F.L., Crassidis J.L. *Fundamentals of Spacecraft Attitude Determination and Control*. New York, Springer, 2014, 486 p.
- [3] Bryson A.E., Ho Y.-C. *Applied Optimal Control*. New York, Taylor & Francis, 1975, 481 p.