

УДК 004.942

Суррогатное моделирование и оптимизация настроек системы ориентации и стабилизации космического аппарата

Петряков Артем Сергеевич

PetryakovAS@tsniimash.ru

SPIN-код: 5378-0389

АО «ЦНИИмаш», Королёв, Московская обл., Россия

Аннотация. Рассматривается задача оптимизации настроек системы ориентации и стабилизации космического аппарата для достижения минимального времени переходного процесса. Для моделирования функционирования космического аппарата используется его цифровой двойник, включающий в себя модель динамики, модель аэродинамики разреженного газа, тепловую модель, упругую модель, модели служебных систем и целевой аппаратуры, поэтому для оптимизации применяется суррогатное моделирование эффективное для вычисления емких функций черных ящиков.

Ключевые слова: оптимизация, суррогатное моделирование, машинное обучение, система ориентации и стабилизации, цифровой двойник

Введение. Для моделирования поведения КА на орбите необходимо выполнять множество высокодетальных симуляций, требующих большого количества вычислительных ресурсов. Так, расчет функционирования КА на одном витке с достаточной точностью может занимать 5–8 часов, в таком случае многопараметрическая оптимизация займет пару суток вычислений, а многокритериальная — несколько недель. Одним из путей решения этой проблемы является применение суррогатного моделирования. Основная задача суррогатного моделирования заключается в изучении отображения $y = f(\mathbf{x})$, за которым стоит физический смысл, для построения по набору входных и выходных значений аппроксимирующей зависимости $\hat{f}(\mathbf{x})$. Очевидно, решая эту задачу можно продуцировать бесконечное множество гиперповерхностей, однако далеко не все будут полезны для оптимизации. Поэтому процесс построения методов оптимизации, базирующихся на суррогатных моделях, состоит из нескольких этапов: построение обучающей выборки, обучение суррогатной модели, выбор критерия достижения глобального оптимума. [1].

Методы и материалы; результаты. В работе показаны основные этапы построения методов оптимизации основанных на суррогатном моделировании. Описываются различные критерии оптимального заполнения латинского гиперкуба, рассматриваются метод Кригинга для построения суррогатной модели и критерий достижения глобального оптимума известный как метод ожидаемого улучшения.

Рассмотренная методика применяется для нахождения оптимальных настроек системы ориентации и стабилизации КА для достижения минимального времени переходного процесса. Конфигурация КА выбрана по данным изделия серии «Метеор-М» и представляет собой твердый корпус с дву-

мя симметричными упругими солнечными батареями. Программа моделирования динамики поворота, как и другие модули цифрового двойника [2], используется оптимизатором [3] как черный ящик, с коэффициентами системы управления по углу и угловой скорости в качестве входных и оптимизируемых параметров и временем переходного процесса в качестве выходного параметра и критерия оптимизации.

Заключение. В работе поставлена и решена задача поиска оптимальных параметров системы ориентации и стабилизации КА для минимизации времени переходного процесса с помощью методов оптимизации основанных на суррогатном моделировании. Построенная методика оптимизации функций черных ящиков интегрирована в схему комплексной компьютерной модели КА, что открывает возможности для проведения многопараметрической и многокритериальной оптимизации технических характеристик КА на основе их цифровых двойников.

Список источников

- [1] Forrester A., Sobester A., Keane A. *Engineering Design via Surrogate Modelling*. Chichester, Wiley, 2008.
- [2] Скоморохов Н.В., Чернов В.В., Меняйло А.О., Карцева Е.Ю., Клишев О.П., Петряков А.С., Алексеев С.А. *Программно-методический комплекс формирования и исследования цифровых двойников перспективных космических аппаратов “SMC-Sputnik-DT”*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023685097, 2023.
- [3] Петряков А.С., Меняйло А.О., Скоморохов Н.В., Алексеев С.А., Максимова Т.С. *Численная многопараметрическая и многокритериальная оптимизация модифицированным методом EGO “EGOM”*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023685102, 2023.