

# ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В ЗАДАЧАХ ДЗЗ

Г.Р. Макаров<sup>1,2</sup>, А.С. Охитина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МФТИ (НИУ), г. Москва

<sup>2</sup>ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г.Москва

*makarov.gr@phystech.edu*

Съемка объектов на поверхности Земли с орбиты – большой класс подзадач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), решаемых с использованием малых космических аппаратов (КА). Данные, получаемые с помощью оптических систем КА, используются для изучения и мониторинга различных физических характеристик земных, атмосферных и водных экосистем, а также часто применяются в геодезии и картографии. Для повышения точности ориентации на спутниках устанавливаются маховичные системы управления угловым движением. В настоящее время существует множество работ, где предложены различные алгоритмы обеспечения стабилизации КА, однако вопрос оптимальности разворота поднимается нечасто. При этом, кроме обеспечения высокой точности ориентации и стабилизации КА в режиме съемки, также возникает вопрос о максимально возможном количестве объектов интереса, которые можно снять за время пролета над определенной областью. Это число зависит как от возможностей маховиков, параметров КА и орбиты в целом, так и от алгоритма управления. Таким образом, необходим алгоритм управления, обеспечивающий требуемую точность ориентации, стабилизации, и минимизирующий время переориентации КА между точками интереса.

В работе для обеспечения быстродействия предлагается построить некоторое опорное угловое движение, удовлетворяющее заданным ограничениям на возможности маховичной системы. Для этого используется параметризация, описанная в [1,2], которая задает опорную траекторию в следующем виде:

$$Q(t) = Q_0 \circ (\tilde{Q}_0 \circ q_0)^{p_1(t)} \circ (\tilde{q}_0 \circ q_1)^{p_2(t)} \circ (\tilde{q}_1 \circ q_2)^{p_3(t)} \circ (\tilde{q}_2 \circ q_3)^{p_4(t)} \circ (\tilde{q}_3 \circ Q_1)^{p_5(t)},$$

где  $Q_0, Q_1$  – начальный и конечный кватернионы ориентации КА,  $q_k, k = \overline{0,3}$  – вспомогательные кватернионы,  $p_i(t), i = \overline{1,5}$  – многочлены вида  $p_i(t) = \sum_{k=0}^5 a_{ik} t^k$ .

Начальные значения кватерниона ориентации, угловой скорости и ускорения на практике можно получить из обработки измерения датчиков на борту КА, поэтому они считаются известными. По широте и долготе точки интереса строятся конечные условия ориентации. Значения угловой скорости и углового ускорения в начале и конце переориентации зависят от краевых значений производных многочленов  $p_i(t), i = \overline{1,5}$ . Эти параметры, а также время

переориентации и угол вращения вокруг оптической оси, являются параметрами оптимизации с целевой функцией следующего вида:

$$F(\mathbf{x}_t^k) = \begin{cases} T; \forall i \in \{x, y, z\} |H_i| < H_{\max} \cap |\dot{H}_i| < dH_{\max} \\ \infty; \exists j \in \{x, y, z\} |H_j| \geq H_{\max} \cup |\dot{H}_j| \geq dH_{\max} \end{cases}$$

Задача оптимизации решается с помощью метода роя частиц (PSO, [3]), безградиентного метода глобальной оптимизации. Параметры PSO подбираются в соответствии с рассматриваемой задачей так, чтобы ускорить сходимости метода (уменьшить время нахождения лучшего значения).

На рис.1а представлена целевая орбита и точка интереса в задаче съемки, на рис.1б изображен график изменения компонент суммарного кинетического момента маховиков за время маневра, а также предельно допустимые значения (красным).

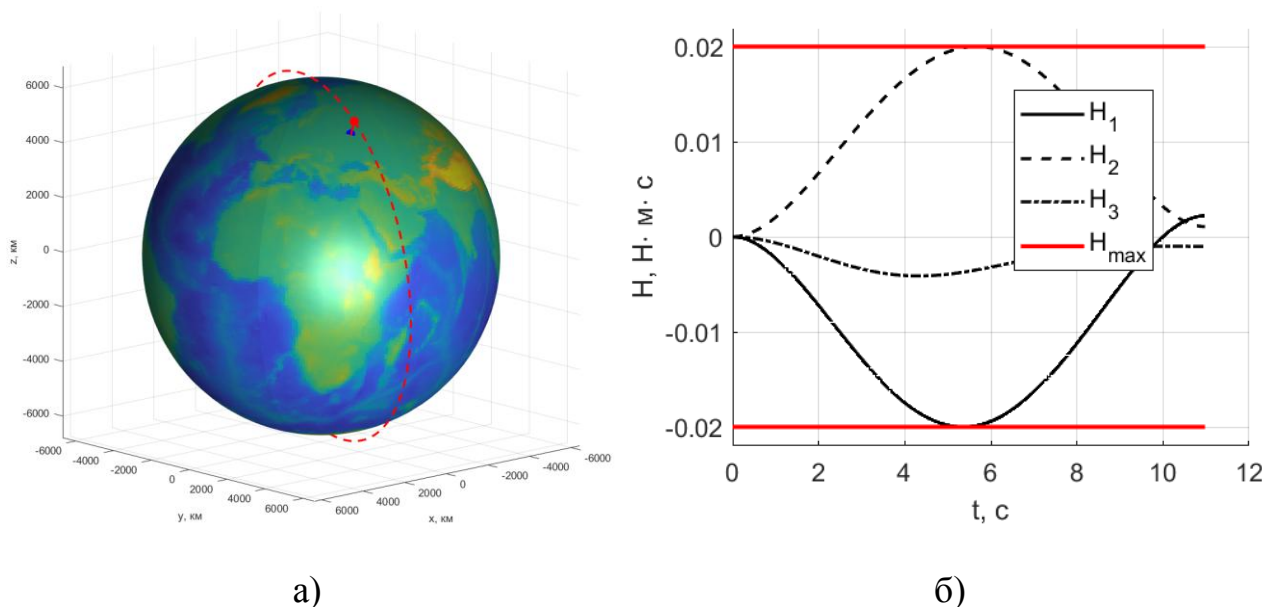


Рис. 1. а) орбита КА и точка интереса; б) суммарный кинетический момент маховиков.

*Список литературы:*

1. Ткачев С. С. [и др.] Построение опорной траектории третьего порядка гладкости углового движения космического аппарата // Математическое моделирование. 2021. Т. 33. № 10. С. 3–18.
2. Dam E.V., Koch M., Lillholm M. Quaternions, interpolation and animation. Citeseer. 1998. 98 p.
3. Simon D. Evolutionary optimization algorithms. John Wiley & Sons. 2013. 742 p.