**Исследование возможностей мультипарных конфигураций космических аппаратов в гравитационных миссиях следующего поколения**

**Филеткин А.И.1,2, *Милюков В.К.* 1, *Жамков А.С.* 1, *Аюков С.В.* 1**

*Аспирант*, *4 год обучения*

1Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

2Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,физический факультет, Москва, РоссияE–mail: ai.filetkin@physics.msu.ru

Успешно реализованная спутниковая миссия GRACE [1] и функционирующая в настоящий момент GRACE-FO [2] позволили существенно улучшить наше представление о глобальном гравитационном поле Земли (ГПЗ) и его временных вариациях на месячных интервалах времени. Ключевая идея миссий заключается в измерении межспутниковых расстояний между двумя спутниками-близнецами, что позволяет измерить разницу первых производных геопотенциала между двумя космическими аппаратами (КА), находящимися на небольшом расстоянии друг от друга (~200 км). Выбор полярной орбиты спутников обеспечивает глобальное покрытие поверхности Земли и позволяет наблюдать изменение масс в полярных областях. Однако такая конфигурация обладает рядом существенных недостатков, обусловленных различной плотностью покрытия поверхности Земли наблюдениями в приполярных и экваториальных областях, что приводит к зависимости точности ежемесячных моделей от географической широты. Другой существенный недостаток космических гравитационных группировок, состоящих из пары спутников, находящихся на одинаковых орбитах, связан с тем, что невозможно одновременно улучшить пространственное и временное разрешение моделей ГПЗ [3, 4].

Решением проблемы может быть мультипарная группировка КА, которая позволяет одновременно покрывать подспутниковыми трассами существенно разные участки поверхности Земли. Основная задача таких конфигураций – обеспечить более равномерное распределение плотности трасс на различных широтах и большую изотропность измерений, что в конечном итоге обеспечит более высокую точность моделей ГПЗ. Наиболее перспективной конфигурацией, которая рассматривается в качестве кандидата для реализации гравитационной миссии следующего поколения (ГМСП) в ближайшем будущем, является конфигурация BENDER [5]. Данная конфигурация образована двумя парами спутников, находящихся на орбитах с разным наклонением (одна близполярная и одна наклонная), что позволяет проводить измерения по разным направлениям. Повышение чувствительности к вариациям ГПЗ по сравнению с миссиями GRACE и GRACE-FO требует применения системы компенсации сноса и контроля высоты орбиты для компенсации негравитационных ускорений, а также использование более низкой высоты орбиты.

В докладе предполагается рассмотреть результаты исследования потенциальных возможностей космических группировок, состоящих из двух пар космических аппаратов, движущихся на разных орбитах, так называемых гравитационных миссий следующего поколения (ГМСП), для повышения пространственного и временного разрешения, а также точности восстановления моделей ГПЗ. В работе [6] выполнено полномасштабное численное интегрирование взаимного орбитального движения мультипарных группировок КА с учетом возмущающих факторов гравитационных и негравитационных сил. Критерием оптимизации для определения перспективных орбитальных параметров являлось условие 100% покрытия поверхности Земли подспутниковыми трассами КА с минимальным расстоянием между трассами по долготе и широте для интервалов времени 10, 15 и 30 суток. Для найденных мультипарных конфигураций с оптимальными параметрами выполнено решением обратной задачи по восстановлению ГПЗ с целью уточнения коэффициентов Стокса и оценки эффективности полученных решений. Мультипарная конфигурация с орбитальными параметрами *h*1 = 370 км, *i*1 = 90.5° и *h*2 = 370 км, *i*2 = 70.0° позволяет повысить как пространственное, так и временное разрешение моделей ГПЗ при 100% покрытии со значительным уточнением зональных, секториальных и тессеральных гармоник с возможностью построения следующих высокоточных моделей:

1. с пространственным разрешением 1°×1° (длина полуволны ~111 км) на интервале 30 дней;
2. с пространственным разрешением 2°×2° (длина полуволны ~222 км) на интервале 15 дней;
3. с пространственным разрешением 3°×3° (длина полуволны ~333 км) на интервале 10 дней;

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-42-00055.

**Литература**

1. B.D. Tapley, S. Bettadpur, M.M. Watkins, and Ch. Reigber, The Gravity Recovery and Climate Experiment: Mission Overview and Early Results // Geophysical Research Letters, 31(9), id. L09607 (2004).
2. R.P. Kornfeld, B. W. Arnold, M.A. Gross, N.T. Dahya, W.M. Klipstein, P.F. Gath, and S. Bettadpur, GRACE-FO: The Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-On Mission // J. Spacecraft and Rockets 56(3), 931 (2019).
3. T. Reubelt, N. Sneeuw and M.A. Sharifi, A Simulation Study Discussing the GRACE Baseline Accuracy // in: Gravity, Geoid and Earth Observation (Springer, 2010), p. 163.
4. А.С. Жамков, В.К. Милюков, Гравитационные миссии следующего поколения для решения задач высокоточной космической гравиметрии // Физика Земли № 2, 139 (2021).
5. P.L. Bender, D. Wiese, and R.S. Nerem, in: Proc. of the Third Intern. Symp. On Formation Flying, Missions and Technologies, ESA/ESTEC, Noordwijk, 23–25 April 2008, The Netherlands, 1 (2008).
6. А.И. Филеткин, А.С. Жамков, С.В. Аюков, В.К. Милюков, Гравитационные миссии следующего поколения: исследование возможностей мультипарных конфигураций // Астрономический журнал, Т. 100, № 11, стр. 1033–1045 (2023).