

**МЕТОДИКА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАСОРЕНИЯ
ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА И ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ
РАЗВИТИЯ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ РАЗМНОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА**

**METHOD OF LONG-TERM FORECASTING OF THE STATE OF MAN-MADE POLLUTION OF
NEAR-EARTH SPACE AND ASSESSING THE POSSIBILITY OF DEVELOPING A CHAIN REACTION
OF SPACE DEBRIS MULTIPLICATION**

Аннотация. Проводится анализ и методика оценки техногенного засорения околоземного космического пространства, показаны предложения новых путей прогнозирования очистки космических орбит.

Ключевые слова: космическое околоземное пространство, космический мусор, число столкновений космических объектов, методики расчёта очистки орбит от космического мусора.

Abstract. An analysis and methodology for assessing man-made pollution of near-Earth space is conducted, and proposals for new ways to predict the cleaning of space orbits are presented

Keywords: near-Earth space, space debris, number of collisions of space objects, methods for calculating the clearance of orbits from space debris.

Долгосрочный прогноз техногенного засорения околоземного космического пространства (ОКП) представляет наибольший интерес с точки зрения возможности устойчивого развития космической деятельности. Накопление космического мусора (КМ) приводит к росту числа столкновений космических объектов в ОКП и выходу из строя функционирующих космических аппаратов (КА) и орбитальных станций [1].

В целях снижения засоренности ОКП и прогнозирования различных сценариев развития космической деятельности осуществляется моделирование долгосрочной эволюции космического мусора. При моделировании КМ учитываются новые фрагменты, образующиеся при запусках КА, при самопроизвольных взрывах и взаимных столкновениях космических объектов (КО), а также в результате работы твердотопливных ракетных двигателей, отслоения материалов поверхности за счет действия внешних факторов и возможные другие эффекты [2, 3].

Наиболее распространенными зарубежными моделями КМ являются модель «MASTER» (ЕКА) и модель «ORDEM» (НАСА).

В Российской Федерации разработана модель космического мусора SDPA [3] для расчета пространственного распределения концентрации КО в области НОО и геосинхронных орбит, их скорости и рисков столкновений.

Модель MASTER [2] использует детерминированный подход в наиболее «чистом» виде. Она основана на «поштучном» прогнозировании движения каждого из КО с использованием известных начальных условий. В модели ORDEM [2] применяется комбинация детерминированного и стохастического подходов.

Отечественная аналитико-стохастическая модель SDPA разработана профессором А.И. Назаренко [4, 5] и представляет следующий шаг в направлении уменьшения роли детерминированного подхода. Вместо элементов орбит каждого из объектов в качестве исходных данных рассматриваются статистические нормированные распределения высоты перигея, эксцентриситета и наклона.

В настоящей работе предлагается иной подход к определению убыли КО за счет аэродинамического торможения. В рамках разработанной модели вводится допущение, что КО эквивалентны упругим сферам одинакового размера, которые равномерно заполняют сферическую оболочку Ω , и равновероятно перемещаются в произвольном направлении. В результате взрывов и столкновений образуются новые фрагменты, которые имеют одинаковый размер и массу с инициирующими КО.

Последнее положение противоречит физическому смыслу, но принимается в целях моделирования как условие, которое является наиболее благоприятным для размножения КМ при столкновениях. Модель не учитывает распределение КМ по размерам, но оказывается полезной для оценки некоторых предельных ситуаций развития техногенного засорения ОКП.

В изложенных предположениях решается эволюционное уравнение, которое описывает изменение концентрации КО во времени, имеет вид, который подробно показан в докладе:

Научная новизна разработанной аналитической методики заключается в феноменологическом моделировании космического мусора в сферической оболочке, которая отличается от известных аналитическим описанием процессов саморазмножения (цепной реакции размножения) космического мусора в ограниченной сферической области космического пространства, состоящем в решении

эволюционного уравнения, описывающего концентрацию космических объектов с учетом их убывания и образования за счет взаимных столкновений и самопроизвольных взрывов.

Практическая значимость предложенной аналитической методики состоит в том, что с помощью неё может быть выполнен долгосрочный прогноз динамики популяции космического мусора в области НОО, при этом теоретически доказано, что условия для развития эффекта Кesslera в области НОО и, тем более, в других областях околоземного космического пространства отсутствуют.

Литература

1. Иванова В.А., Кисиленко В.С., Ключников В.Ю., Макаров Н.Ю., Яковлев М.В. Информационное обеспечение управления космическим движением. // Космонавтика и ракетостроение. 2022, № 4. С. 165 -177.
2. Flegel S., Krisko P., Gelhaus J., Wiedemann C., Mockel M., Vorsmann P., Krag H., Klinkrad H., Xu Y.-L., Horstman M.F., Opiela J.N., Matney M. - Modeling the Space Debris Environment with MASTER-2009 and ORDEM2010, PEDAS1-0012-10, January 2010.
3. Кисиленко В.С., Макаров Н.Ю., Марчук В.А., Яковлев М.В. Оценка информативности зарубежных данных о космическом мусоре. // Космонавтика и ракетостроение. 2021, № 6 (123). С. 87-97.
4. Назаренко А.И. Моделирование космического мусора. / Серия «Механика, управление и информатика». М: ИКИ РАН, 2013. 216 с.
5. Назаренко А. И. Построение высотно-широтного распределения объектов в околоземном космическом пространстве. Проблема загрязнения космоса (космический мусор) // Ин-т астрономии РАН. М.: Космосинформ.