

## **Научный проект № 20-01-01**

### **Исследование динамики и управление движением малых космических аппаратов в групповом полете (Научное направление: Математическое моделирование)**

**Руководитель проекта:** д.ф.-м.н., проф. Овчинников М.Ю.

**Исполнители проекта:** к.ф.-м.н. Иванов Д.С., к.ф.-м.н. Трофимов С.П., к.ф.-м.н. Ширококов М.Г.

#### **Результаты, полученные по проекту в 2020 году**

Разработаны алгоритмы для построения роя наноспутников сразу после их отделения от ракеты-носителя и задания требуемого распределения вдоль трансверсали. Роем называется конфигурация множества спутников, движущихся по произвольным, но ограниченным относительно траекториям. В работе предложено децентрализованное управление с использованием силы аэродинамического сопротивления для устранения относительного дрейфа между спутниками в рое и достижения требуемого положения центров относительных эллиптических траекторий. Принимаются во внимание коммуникационные возможности аппаратов, ограничивающие размер области, в которой аппараты обладают информацией об относительном движении других спутников, и максимальное допустимое число аппаратов, информация о движении для которых может быть доступна. Изучается эффект разделения роя на несколько независимых групп, который рассматривается как нарушение целостности роя и является нежелательным. Этот эффект зависит от размера коммуникационной области, начальных условий и правил для управления. Получены предельные значения этих параметров для двадцати 3U-кубсатов.

Разработано и исследовано нейрорадаптивное управление формацией из двух спутников на низкой околоземной орбите. Цель управления – поддержание проективной круговой орбиты, при этом считается, что один из аппаратов неуправляемый и его баллистический коэффициент не известен, а другой аппарат – управляемый, при этом есть возможность управлять как его ориентацией (а значит, величиной миделева сечения), так и орбитальным движением с помощью двигателя большой тяги. Искусственные нейронные сети используются для аппроксимации построенных функций управления, а адаптивность системы управления выражается в адаптации управления к неизвестному баллистическому коэффициенту неуправляемого аппарата.

Разработана архитектура управления и проведено обучения нейронных

сетей с заданным способом оценки их качества. Управление проводится с адаптацией к неизвестному параметру неуправляемого аппарата в режиме реального времени. Показано, что адаптация возможна в течение приемлемого времени. Получены результаты адаптации к двум параметрам модели – баллистическому коэффициенту неуправляемого аппарата и плотности атмосферы. Моделирование производится в рамках возмущенной задачи двух тел с учетом силы атмосферного сопротивления и влияния от второй зональной гармоники геопотенциала.

**Развернутый отчет о НИР по проекту хранится в библиотеке ИПМ им. М.В. Келдыша РАН; Инв. № 20/А-33.**