

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
РАСПРЕДЕЛЕННОГО БОРТОВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА  
В СОСТАВЕ ОРБИТАЛЬНОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ**

А. В. Аверьянов\*, К. А. Эсаулов, С. С. Зыкова

*Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия,  
\*vka\_24kaf@mil.ru*

**Аннотация.** Рассматриваются перспективы использования распределенного бортового вычислительного комплекса (БВК) в составе орбитальной тросовой системы (ОТС). Проанализированы возможности применения малых космических аппаратов, являющихся элементами ОТС. Определен состав бортового оборудования базового и малого космических аппаратов. Отмечено, что в его состав обязательно должен быть включен распределенный БВК. Рассматривается структура БВК. В качестве примера возможных математических моделей, описывающих динамику элементов ОТС, приведена упрощенная аналитическая модель движения малого космического аппарата в направлении, перпендикулярном плоскости орбиты базового. Применение распределенного БВК в составе ОТС позволит расширить ее функциональные возможности в околоземном пространстве, повысить надежность и устойчивость функционирования базового космического аппарата и связанных с ним мини- и микроспутников.

**Ключевые слова:** бортовой вычислительный комплекс, вычислительная система, процессор, оперативная память, малый космический аппарат, орбитальная тросовая система, бортовой комплекс управления, аналитический метод расчета

**Ссылка для цитирования:** Аверьянов А. В., Эсаулов К. А., Зыкова С. С. Перспективы использования распределенного бортового вычислительного комплекса в составе орбитальной тросовой системы // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 12. С. 855—862. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-855-862.

**PROSPECTS FOR THE USE OF A DISTRIBUTED ONBOARD COMPUTER COMPLEX  
AS PART OF AN ORBITAL TETHER SYSTEM**

**A. V. Averyanov\*, K. A. Esaulov, S. S. Zyкова**

*A. F. Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russia  
vka\_24kaf@mil.ru*

**Abstract.** The prospects for using a distributed onboard computer complex as a part of an orbital tether system are considered. The possibilities of using small spacecraft, which are elements of the orbital tether system, are analyzed. The composition of the onboard equipment of the basic and small spacecraft is determined. It is noted that a distributed onboard computer complex must be included in its composition. The structure of onboard computer complex is discussed. As an example of possible mathematical models describing the dynamics of orbital tether system elements, a simplified analytical model of the movement of a small spacecraft in the direction perpendicular to the base orbital plane is given. The use of a distributed onboard computer complex as part of the orbital tether system is shown to expand its functionality in the near-Earth space, improve the reliability and stability of the base spacecraft and associated mini- and microsatellites operation.

**Keywords:** onboard computer complex, computing system, processor, RAM, small space vehicle, orbital tether system, onboard control complex, analytical calculation method

**For citation:** Averyanov A. V., Esaulov K. A., Zykova S. S. Prospects for the use of a distributed onboard computer complex as part of an orbital tether system. *Journal of Instrument Engineering*. 2022. Vol. 65, N 12. P. 855—862 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-855-862.

Концепция орбитальных тросовых систем утвердилась как одно из перспективных направлений развития современной космонавтики. Использование орбитальных тросовых систем (ОТС) может повысить эффективность функционирования как отдельного космического аппарата (КА), так и орбитальной группировки КА в целом [1].

О перспективности применения ОТС говорят следующие факты [2]. На некоторых спутниках, например на американском спутнике „Транзит-1В“, запущенном 13 апреля 1960 г., для замедления вращения вокруг центра масс применялись устройства, включающие грузы на тросах. После вывода на орбиту грузы освобождаются и тросы начинают разматываться под действием центробежных сил. Момент инерции системы резко возрастает и пропорционально уменьшается угловая скорость вращения спутника. Достигнув номинальной длины, тросы отцепляются и грузы „уносят“ в пространство „отобранный“ у спутника кинетический момент.

В 1966 г. во время полета космических кораблей „Джеммини-11“ и „Джеммини-12“ были проведены эксперименты по движению корабля в связке с ракетной ступенью „Аджена“. Длина синтетического троса составляла 30 м. Связка с „Джеммини-11“ была приведена во вращательное движение, а связка с „Джеммини-12“ в конечном счете была приведена в состояние гравитационной стабилизации, при котором трос расположен вдоль местной вертикали.

В 1974 г. сотрудниками астрофизической обсерватории Смитсоновского института (США) была выдвинута идея создания субспутника, привязанного к орбитальному самолету тросом длиной 100 км, для измерения параметров гравитационного и магнитного полей Земли и атмосферы на низких орбитах.

В 1984 г. НАСА и Европейское космическое агентство определили программу первых трех полетов привязной спутниковой системы на базе орбитального самолета, которые планировались на 1987—1990 гг., однако после катастрофы „Челленджера“ в 1986 г. были отложены. В первом и третьем полетах предполагалось проведение испытаний электромагнитного мотор-генератора, использующего взаимодействие проводящего троса с магнитным полем Земли. Длина троса толщиной 1—3 мм должна была составить 20 км. Во втором полете предполагалось изучить поведение 100-километрового троса с зондом, спущенным в атмосферу до высоты около 120 км.

На современном этапе развития космонавтики создаются специальные орбитальные структуры на основе искусственных объектов нового типа — малых и сверхмалых космических аппаратов (МКА и СМКА).

К малым относятся КА массой до 500 кг, к сверхмалым — КА массой менее 100 кг. Число таких спутников в орбитальных структурах может колебаться от нескольких единиц и до нескольких десятков [3]. Их широкое применение обусловлено относительно низкой стоимостью выведения на околоземные орбиты, эффективностью использования для дистанционного зондирования Земли, в телекоммуникационных системах, в научных исследованиях космического пространства.

Дальнейшим шагом может являться использование малых КА в составе ОТС, состоящей из базового КА и запускаемого с их борта миниспутника (масса меньше 300 кг) или микроспутника (масса меньше 100 кг), соединенных с бортом базового объекта гибкой связью.

тросом. Применение связанных мини-, микроспутников (МС) позволит существенно расширить функциональные возможности бортовой служебной и измерительной аппаратуры обоих компонентов ОТС. Рассмотрим возможные сферы применения связанных малых КА, понимая под ними прежде всего мини- и микроспутники.

Связанный с базовым КА тросом МС может применяться для:

- захвата космических объектов без маневрирования многоцветных транспортных КА;
- связки при межорбитальных и локальных маневрах;
- передачи электроэнергии на объекты, удаленные от орбитальных энергетических установок, и использования связки в качестве источника электроэнергии для орбитальных станций;
- связи с наземными потребителями на низких частотах; длинный трос может использоваться в качестве антенны при радио-астрономических исследованиях;
- удаления приборов за пределы возмущающих факторов базового КА;
- автономного решения навигационной задачи КА в течение всего времени функционирования на околоземной орбите путем использования связанного с ним МС в качестве навигационного зонда;
- исследования верхних слоев атмосферы с использованием специальной аппаратуры, устанавливаемой на МС, спускаемом до высот 100—150 км.

Кроме того, значительная измерительная база между КА и МС, равная длине связывающего их троса (до десятков километров), может использоваться для проведения с высокой точностью измерений положения космических объектов, а также ориентиров, находящихся на поверхности Земли.

Практическое применение ОТС невозможно без включения в состав аппаратуры управления бортового вычислительного комплекса (БВК). Особенность его организации определяется большой протяженностью космического объекта, состоящего из двух узлов: базового КА и связанного с ним посредством троса МС. По сути БВК является вычислительной системой со статической топологией, каждый из двух узлов которой может быть терминальным, т.е. источником или приемником данных. Если трос соединяет  $N$  мини- или микроспутников, то на практике получается одномерная топология (линейный массив) — „цепочка“ при  $N+1$  узлах с диаметром сети  $N$ , степенью узла 2, числом связей  $N$  и шириной биссекции 1 [4].

Упрощенная структура возможного варианта распределенного БВК представлена на рис. 1, где 1 — процессорная плата с процессором; 2 — блок оперативной памяти; 3 — периферийные модули, обеспечивающие информационный обмен соответственно с блоками исполнительных органов, бортовой аппаратурой радиолиний, системой навигации и ориентации, бесплатформенной инерциальной навигационной системой, целевой аппаратурой; 4 — аппаратура исполнительных органов, радиолиний, системы навигации и ориентации, инерциальной навигационной системы, целевая аппаратура. Блоки 1—3 в совокупности образуют информационно-вычислительное ядро БВК базового КА.

На борту привязного МС размещены: 5 — процессорная плата с процессором, 6 — блок оперативной памяти, 7 — периферийный модуль, 8 — комплект целевой аппаратуры. Электрическое и информационное сопряжение двух вычислительных узлов обеспечивает тросовая связь.

Рассмотренная организация распределенного БВК позволит разгрузить основной бортовой процессор (1), находящийся на борту базового КА, вынести часть целевой аппаратуры (8), например оптико-электронные средства наблюдения за поверхностью Земли, за его пределы. Бортовой процессор (5) может взять на себя часть функций по управлению движением как привязного МС, так базового КА, что неизбежно приведет к повышению надежности и устойчивости функционирования всей ОТС.

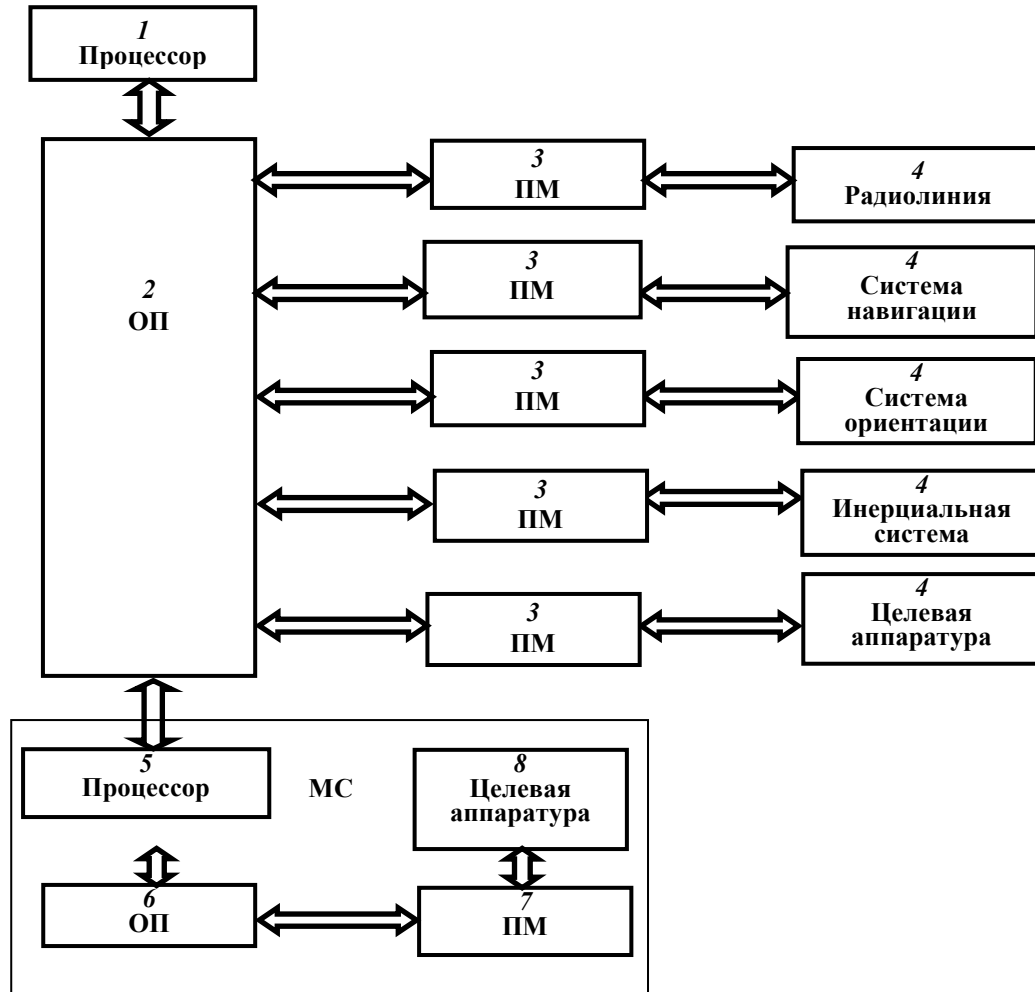


Рис. 1

Известно, что устойчивость функционирования в условиях деструктивных воздействий является важнейшим требованием, предъявляемым как к отдельным КА, так и к орбитальной группировке. Возможные подходы к решению этой задачи рассмотрены в работах [5—9].

Одним из направлений обеспечения устойчивости функционирования КА является создание бортовых комплексов защиты на базе привязных МС. Устойчивость функционирования КА может быть обеспечена путем орбитального маневрирования элементов ОТС [10, 11]. Будем понимать под ОТС систему, состоящую из КА и МС, присоединенного к КА длинным тросом (до нескольких сотен километров), а под термином „трос“ — гибкую нить, обладающую достаточной прочностью на разрыв, низким удельным весом и устойчивостью к воздействию космической среды (рис. 2).

На рис. 2 показано положение МС (точка  $O_1$ ) в подвижной орбитальной системе координат  $O\xi\eta\zeta$ , начало которой (точка  $O$ ) совпадает с центром масс КА (ведущего объекта). Ось  $O\eta$  направлена по радиусу-вектору КА  $\mathbf{r}$ , который направлен из притягивающего центра — центра масс Земли (точка  $O_2$ ) в центр масс КА (точка  $O$ ), ось  $O\xi$  направлена по трансверсали, она дополняет систему координат до правой. Положение МС (точка  $O_1$ ) в подвижной орбитальной системе координат  $O\xi\eta\zeta$  определяется радиусом-вектором  $\mathbf{p}$ .

Другим направлением повышения устойчивости функционирования КА является обеспечение автономности в течение всего времени существования его на околоземной орбите. Решение этой задачи невозможно без создания системы автономной навигации (САН). Перспективным методом автономной навигации, определяющим структуру и состав САН, является астрозондовый [12]. Этот метод может быть реализован на борту созданием САН, исполь-

зующей вычислительные возможности распределенного БВК (рис. 1), и базирующейся на применении для навигационных целей связанного МС-зонда, что исключает необходимость размещения на борту КА запаса навигационных зондов. Результаты математического моделирования навигационного процесса, в котором в качестве одного из навигационных ориентиров использован МС, связанный с бортом КА, показали, что астрозондовый метод навигации обладает хорошими информационно-точностными характеристиками. С его помощью удастся уточнить элементы начального вектора состояния КА с погрешностями 0,5—2,5 км и 1—2 м/с по координатам и компонентам вектора скорости соответственно.

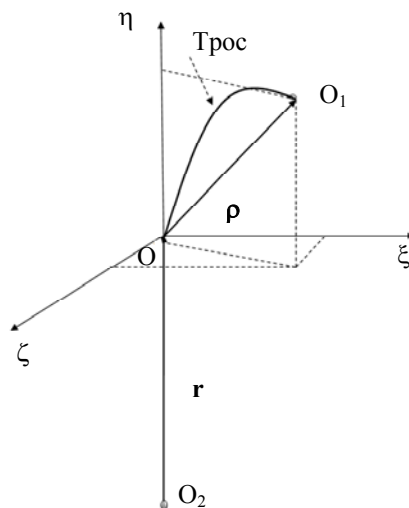


Рис. 2

На современном этапе развития космической техники возникла задача инспекции орбитальных объектов, под которой понимается дистанционное зондирование объекта с целью определения его параметров. Инспектирование орбитального объекта может быть выполнено с использованием МС, связанного с базовым КА. МС приближается на требуемое расстояние к объекту и решает задачи его идентификации, оценивания состояния, вскрытия признаков подготовки и готовности к применению. Развертывание и свертывание ОТС по определенным законам позволит обеспечить широкий класс траекторий движения связанного МС, соответствующих либрационным колебаниям, ротационному и петлеобразному движению, и обеспечивающих решение разнообразных целевых задач по инспектированию орбитальных объектов. К орбитальным объектам инспекции относятся:

- активно функционирующие и пассивные КА военного применения;
- отечественные функционирующие и аварийные КА военного и гражданского назначения;
- орбитальные объекты техногенного происхождения (не функционирующие КА, элементы конструкции ракеты-носителя и КА и т.п.);
- орбитальные объекты природного происхождения (метеоры, кометы, астероиды и т.п.);
- радиационные пояса, области магнитных аномалий и т.п.

ОТС, применяемая для решения задач инспекции орбитальных объектов, является космическим аппаратом-инспектором (КАИ). КАИ — это сложный объект, включающий базовый КА, отделяемый объект дистанционного зондирования (МС) и трос. Возможная область инспекции (доступа, применения) КАИ определяется длиной троса и техническими характеристиками бортовой аппаратуры базового КА и МС.

Рассмотрим в общих чертах состав бортового комплекса базового КА:

- бортовой вычислитель со средствами сопряжения с внешними устройствами (пример реализации представлен на рис. 1, блоки 1—3);

— бортовой специальный комплекс, состоящий из отделяемого МС, устройства запуска МС, бортового комплекса МС и троса;

— бортовой комплекс управления, состоящий из командной программно-траекторной радиолинии, системы управления бортовой аппаратурой, системы управления движением и навигации, системы управления бортовым специальным комплексом, системы управления бортовым обеспечивающим комплексом;

— бортовой обеспечивающий комплекс, состоящий из системы энергоснабжения, системы обеспечения теплового режима, топливной системы, двигательной установки.

Наличие тросовой связи обеспечивает многоразовое применение связанного отделяемого объекта дистанционного зондирования — МС. Разнообразие целевых функций связанного МС предполагает гибкую настраиваемую структуру его бортового комплекса.

Возможный вариант бортового настраиваемого комплекса МС включает:

— бортовой вычислитель со средствами сопряжения с внешними устройствами (рис. 1, блоки 5—7);

— систему ориентации и стабилизации;

— систему управления бортовой аппаратурой;

— сменные модули видеоаппаратуры, радиолокационной, радиометрической и тепловизионной аппаратуры.

Анализ разнообразных возможностей применения ОТС требует создания точных сложных моделей динамики элементов тросовой системы в положении равновесия, либрационных колебаний, развертывания и свертывания, ротационного движения. Конкретные математические модели динамики ОТС представлены в работах [1, 2].

Исследование относительного движения связанного мини-, микроспутника может быть осуществлено с использованием упрощенных моделей (круговое движение КА, масса КА значительно больше массы МС, нерастяжимый и безмассовый трос, центральное гравитационное поле тяготения, отсутствие атмосферы). Именно такой подход был использован при аналитическом расчете бокового относительного движения МС [10, 11].

Боковое движение МС, связанного с базовым КА тросом, описывается уравнением вида [13]:

$$\zeta = \zeta_0 \cos(\omega t) + \zeta'_0 \omega^{-1} \sin(\omega t) + \omega^{-1} \int_0^t W(\tau) \sin[\omega(t - \tau)] d\tau,$$

где  $\omega$  — угловая скорость движения КА (точки О) по круговой орбите вокруг притягивающего центра — центра Земли (точка  $O_2$  на рис. 2);  $\zeta_0, \zeta'_0$  — начальные условия запуска МС (штрих обозначает дифференцирование по времени  $t$ );  $\tau$  — время, удовлетворяющее условию  $0 \leq \tau \leq t$ ;  $W(\tau)$  — управляющее ускорение, действующее по оси  $O\zeta$ . В представленном выражении первое и второе слагаемые определяют боковое относительное движение МС, задаваемое начальными условиями его запуска с борта КА, интегральный член задает управляющее воздействие, реализуемое изменением силы натяжения троса. Закономерности в изменении относительного удаления МС в боковом направлении при различных видах управляющего воздействия рассмотрены в [10, 11].

Из приведенного примера модели движения связанного МС видно, что даже при значительном упрощении и сделанных существенных допущениях модель способна раскрыть основные закономерности в движении элементов ОТС, что позволяет сформулировать базовые подходы к ее практическому использованию.

Габаритно-весовые характеристики связанного МС на борту КА вполне приемлемы для решения специальных задач. Большое влияние на эти характеристики оказывают материалы, из которых может быть изготовлен трос. Этот фактор, а также конструкция троса во многом определяют надежность функционирования тросового соединения. Перечень высокопрочных

материалов, применяемых для реализации ОТС, включает стекловолокна, нити из бора, кварцевые нити, синтетическое волокно СВМ, текстильные жгуты на основе графитовых волокон, кевлар. В качестве перспективного материала следует отметить углеродные нанотрубки, обладающие большой предельной прочностью на разрыв и малой объемной плотностью. Эти материалы позволяют обеспечить массу троса в пределах 10—15 кг, а объем, требуемый для его размещения, 7—10 дм<sup>3</sup>.

КА и связанный с ним посредством троса малый КА — это принципиально новый, нетрадиционный космический объект, характеризующийся большой протяженностью и обладающий огромным потенциалом решения прикладных задач, касающихся дистанционного зондирования Земли, околоземного пространства, орбитальных объектов и определения параметров движения базового КА. Эффективное функционирование ОТС невозможно без использования на космических объектах распределенного БВК, являющегося по своей сути вычислительной системой. Применение распределенного БВК в составе ОТС позволит расширить ее функциональные возможности в околоземном пространстве, повысить надежность и устойчивость функционирования базового КА и связанных с ним мини- и микроспутников.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А. В., Ситарский Ю. С. Динамика полета системы гибко связанных космических объектов. М.: Машиностроение, 1986. 248 с.
2. Белецкий В. В., Левин Е. М. Динамика космических тросовых систем. М.: Наука, 1990. 336 с.
3. Инфраструктура малых космических аппаратов / Под ред. докт. техн. наук, засл. деятеля науки РФ, проф. В. Ф. Фатеева. М.: Радиотехника, 2011. 432 с.
4. Орлов С. А., Цилькер Б. Я. Организация ЭВМ и систем: учебник для вузов. СПб: БХВ-Петербург, 2011. 668 с.
5. Аверьянов А. В., Барановский А. М., Эсаулов К. А. Определение пределов аппаратной избыточности информационных управляющих систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 3. С. 23—26.
6. Аверьянов А. В., Эсаулов К. А., Молчанов О. Е., Белая Т. И. Система автономной навигации малого космического аппарата // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 1. С. 14—17.
7. Аверьянов А. В., Калюжный А. В., Кузнецов В. В. Методика обоснования функционального распределения малых космических аппаратов в кластере дистанционного зондирования Земли // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 8. С. 620—625.
8. Аверьянов А. В., Кузнецов В. В., Калюжный А. В. Оценивание надежности функционирования многоканальной системы на примере бортового комплекса управления малого космического аппарата // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 10. С. 880—887.
9. Проблемные вопросы проектирования и эксплуатации бортовых и наземных систем управления объектов ракетно-космической техники РВСН. НТК (21—22 октября 1999 г.). Тез. докл. МО РФ, 1999. 78 с.
10. Вопросы анализа и синтеза систем управления, контроля и диагностики. Учеб. пособие / Под ред. докт. техн. наук, проф. В. В. Смирнова. Л.: МО СССР, 1990. С. 68—71.
11. Аверьянов А. В. Аналитический метод расчета движения малого космического аппарата, связанного с базовым космическим аппаратом // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 4. С. 75—77.
12. Порфирьев Л. Ф., Смирнов В. В., Кузнецов В. И. Аналитические оценки точности автономных методов определения орбит. М.: Машиностроение, 1987. 280 с.
13. Эльясберг П. Е. Введение в теорию полета искусственного спутника Земли. М.: Наука, 1965. 540 с.

#### Сведения об авторах

**Алексей Васильевич Аверьянов** — канд. техн. наук, доцент; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра информационно-вычислительных систем и сетей; E-mail: vka\_24kaf@mil.ru

- Константин Андреевич Эсаулов** — канд. техн. наук; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра информационно-вычислительных систем и сетей; старший преподаватель; E-mail: vka\_24kaf@mil.ru
- Светлана Сергеевна Зыкова** — адъюнкт; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра информационно-вычислительных систем и сетей; E-mail: vka\_24kaf@mil.ru

Поступила в редакцию 13.07.2022; одобрена после рецензирования 21.07.2022; принята к публикации 31.10.2022.

#### REFERENCES

- Ivanov A.V., Sitarsky Yu.S. *Dinamika poleta sistemy gibko svyazannykh kosmicheskikh ob'yektov* (Flight Dynamics of a System of Flexibly Coupled Space Objects), Moscow, 1986, 248 p. (in Russ.)
- Beletsky V.V., Levin E.M. *Dinamika kosmicheskikh trosovykh sistem* (Dynamics of Space Tether Systems), Moscow, 1990, 336 p. (in Russ.)
- Fateev V.F., ed., *Infrastruktura malyykh kosmicheskikh apparatov* (Infrastructure of Small Spacecraft), Moscow, 2011, 432 p. (in Russ.)
- Orlov S.A., Tsilker B.Ya. *Organizatsiya EVM i sistem* (Organization of Computers and Systems), St. Petersburg, 2011, 668 p. (in Russ.)
- Averyanov A.V., Baranovsky A.M., Esaulov K.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2014, no. 3(57), pp. 23–26. (in Russ.)
- Averyanov A.V., Esaulov K.A., Molchanov O.E., Belaya T.I. *Journal of Instrument Engineering*, 2015, no. 1(58), pp. 14–17. (in Russ.)
- Averyanov A.V., Kalyuzhnyi A.V., Kuznetsov V.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2021, no. 8(64), pp. 620–625. (in Russ.)
- Averyanov A.V., Kuznetsov V.V., Kalyuzhnyi A.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2020, no. 10(63), pp. 880–887. (in Russ.)
- Problemnyye voprosy proyektirovaniya i ekspluatatsii bortovykh i nazemnykh sistem upravleniya ob'yektov raketno-kosmicheskoy tekhniki RVSN* (Problematic Issues of Design and Operation of Onboard and Ground Control Systems for Objects of Rocket and Space Technology of the Strategic Missile Forces), Scientific and technical conference (October 21–22, 1999), Abstracts of reports, Ministry of Defense of the Russian Federation, 1999, 78 p. (in Russ.)
- Smirnov V.V., ed., *Voprosy analiza i sinteza sistem upravleniya* (Questions of Analysis and Synthesis of Control Systems), Leningrad, 1990, pp. 68–71. (in Russ.)
- Averyanov A.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2009, no. 4(52), pp. 62–65. (in Russ.)
- Porfir'yev L.F., Smirnov V.V., Kuznetsov V.I. *Analiticheskiye otsenki tochnosti avtonomnykh metodov opredeleniya orbit* (Analytical Estimates of the Accuracy of Autonomous Methods for Determining Orbits), Moscow, 1987, 280 p. (in Russ.)
- Elyasberg P.E. *Vvedeniye v teoriyu poleta iskusstvennogo sputnika Zemli* (Introduction to the Theory of Flight of an Artificial Satellite of the Earth), Moscow, 1965, 540 p. (in Russ.)

#### Data on authors

- Aleksey V. Averyanov** — PhD, Associate Professor; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Information Calculation Systems and Nets; E-mail: vka\_24kaf@mil.ru
- Konstantin A. Esaulov** — PhD; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Information Calculation Systems and Nets; Senior Lecturer; E-mail: vka\_24kaf@mil.ru
- Svetlana S. Zyкова** — Adjunct; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Information Calculation Systems and Nets; E-mail: vka\_24kaf@mil.ru

Received 13.07.22; approved after reviewing 21.07.2022; accepted for publication 31.10.2022.