

УДК 629.78

## МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ ОТСЕКОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

© 2012 Н. Д. Сёмкин, В. Л. Балакин, В. В. Брагин

Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Рассмотрены и оценены конструктивные методы защиты дренажных отверстий негерметичных отсеков от проникновения электромагнитного поля при электростатических разрядах на поверхности аппарата.

*Космический аппарат, негерметичный отсек, дренажное отверстие, электростатический разряд, электромагнитное поле, метод защиты, эффективность.*

В [1] предложена методика определения возможных мест возникновения электростатических разрядов (ЭСР) на поверхности космического аппарата (КА), проведён расчёт потенциалов поверхности и моделирование ЭСР.

На основе данных, полученных в [1], в настоящей работе предложены конструктивные методы защиты дренажных отверстий негерметичных отсеков КА от проникновения электромагнитного поля (ЭМП). Проведён анализ и сравнение предложенных методов по их эффективности.

В результате возможного ЭСР через дренажные отверстия, предназначенные для дегазации аппарата, в КА проникает паразитное ЭМП (рис.1). Отсек представляет собой полый контейнер, выполненный из алюминиевых сплавов и покрытый сверху слоем электровакуумной теплоизоляции (ЭВТИ).

Наиболее опасным источником паразитного ЭМП является ЭСР вблизи дренажного отверстия. Моделирование проводилось для цилиндрического контейнера с толщиной 2 мм, напряжение разряда составляло 5 кВ, длительность импульса – 0,6 с, разряд моделировался непосредственно на краю дренажного отверстия.

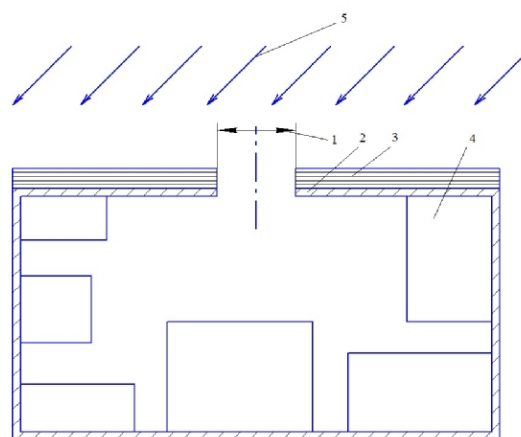


Рис. 1. Схематическое изображение негерметичного отсека КА с дренажным отверстием (в разрезе) под воздействием факторов космической среды:

1 - дренажное отверстие; 2 - внешняя стенка отсека; 3 - ЭВТИ; 4 - БА, расположенная внутри отсека; 5 - воздействие факторов космической среды

Для защиты БА от воздействия паразитного ЭМП дренажное отверстие было экранировано двухслойным алюминиевым экраном с толщиной одного слоя 2 мм и расстоянием между слоями 10 мм, диаметр отверстий в экране 20 мм (рис. 2). Основные отличия заключаются в форме экрана и его расположении. Экран может быть расположен на внешней поверхности отсека (рис. 2а, в) или находиться в его полости (рис. 2б, г). Предложены две

формы экрана: полусферическая и цилиндрическая. Полусферический экран обладает меньшими массогабаритными характеристиками, чем цилиндрический,

но он менее технологичный. Сферический экран не имеет острых углов, и поэтому уменьшается вероятность возникновения на нём ЭСР.

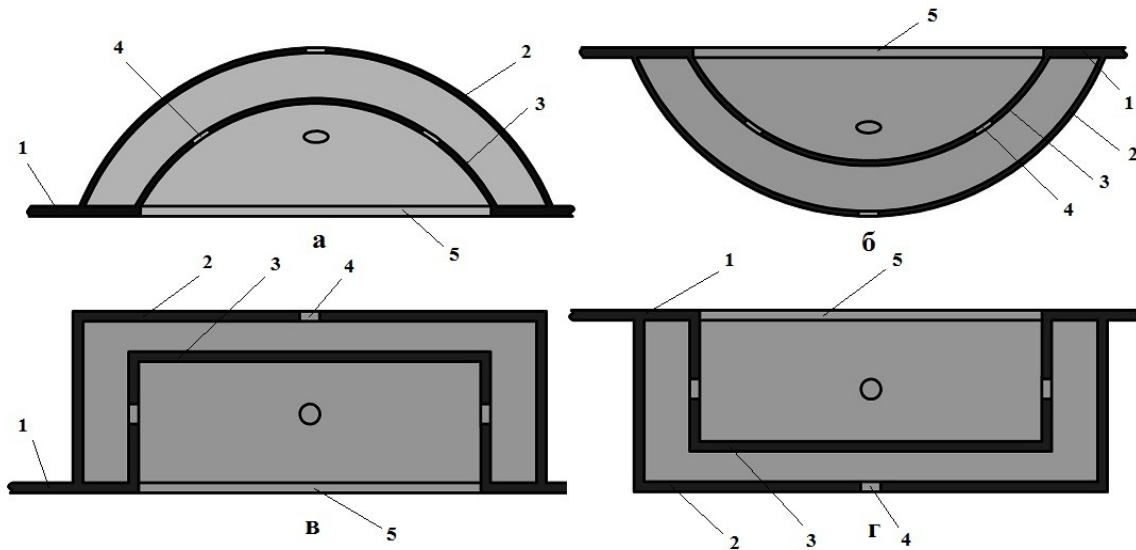


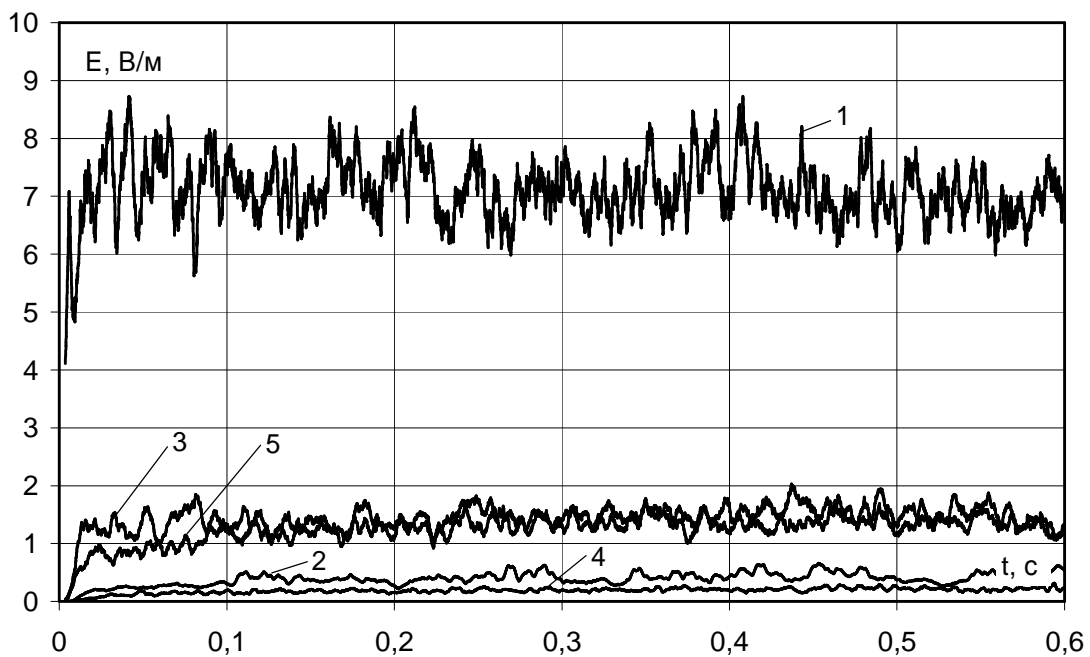
Рис. 2. Различные варианты защиты

дренажного отверстия негерметичного отсека КА двухслойным экраном:

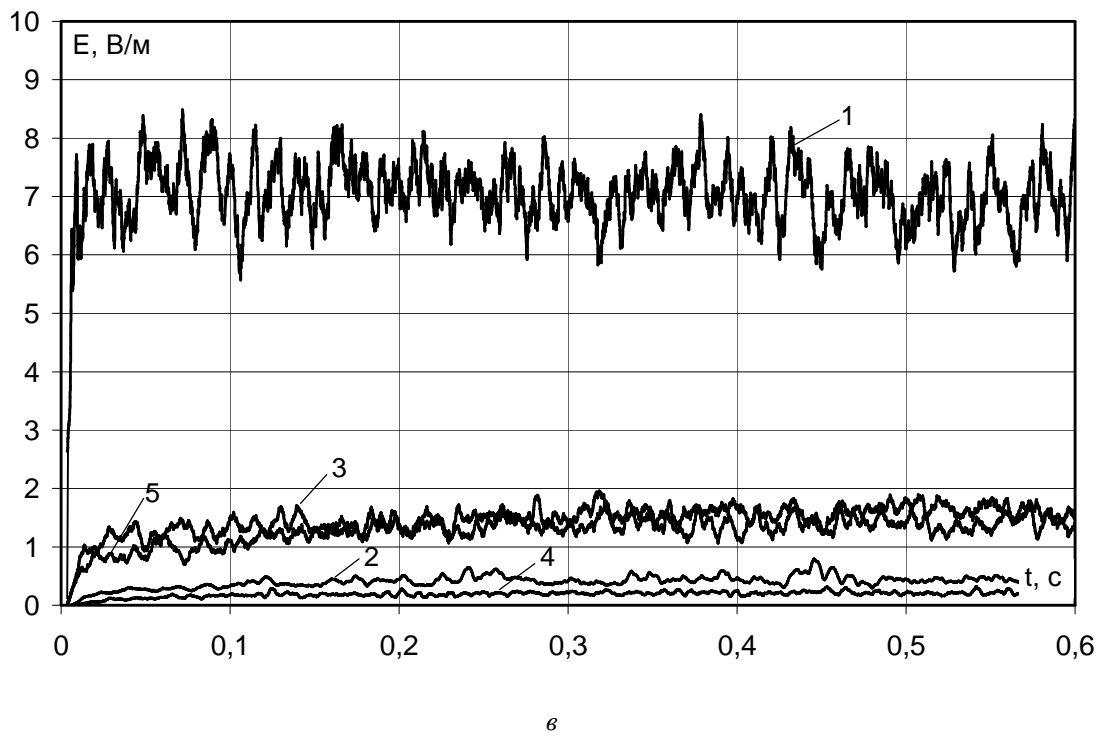
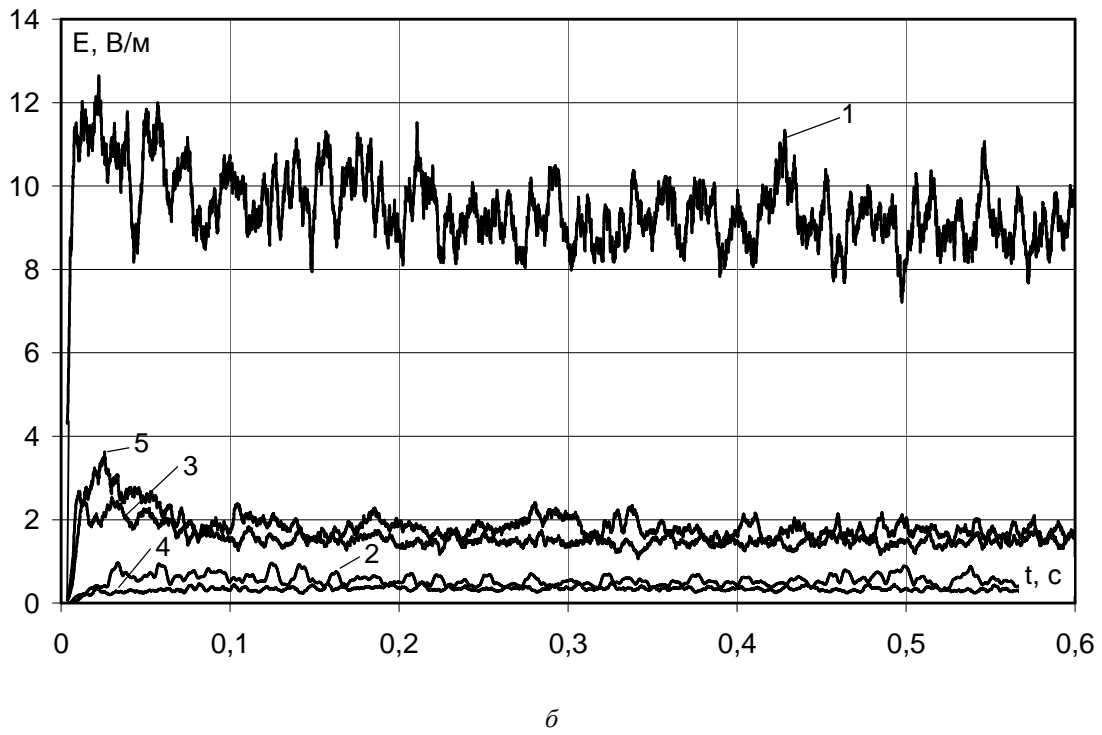
а) полусферический экран, расположенный на внешней поверхности отсека; б) полусферический экран, расположенный в полости отсека; в) цилиндрический экран, расположенный на внешней поверхности отсека; г) цилиндрический экран, расположенный в полости отсека;

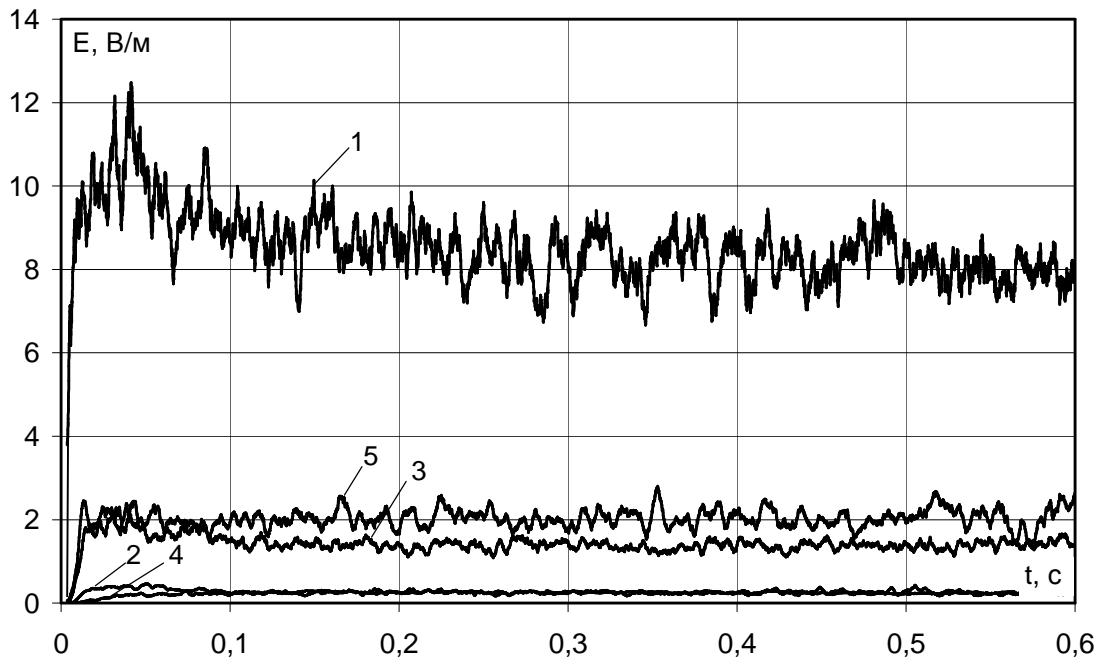
1 - внешняя стенка отсека; 2 - первый экран; 3 - второй экран;

4 - отверстия в экране; 5 - дренажное отверстие

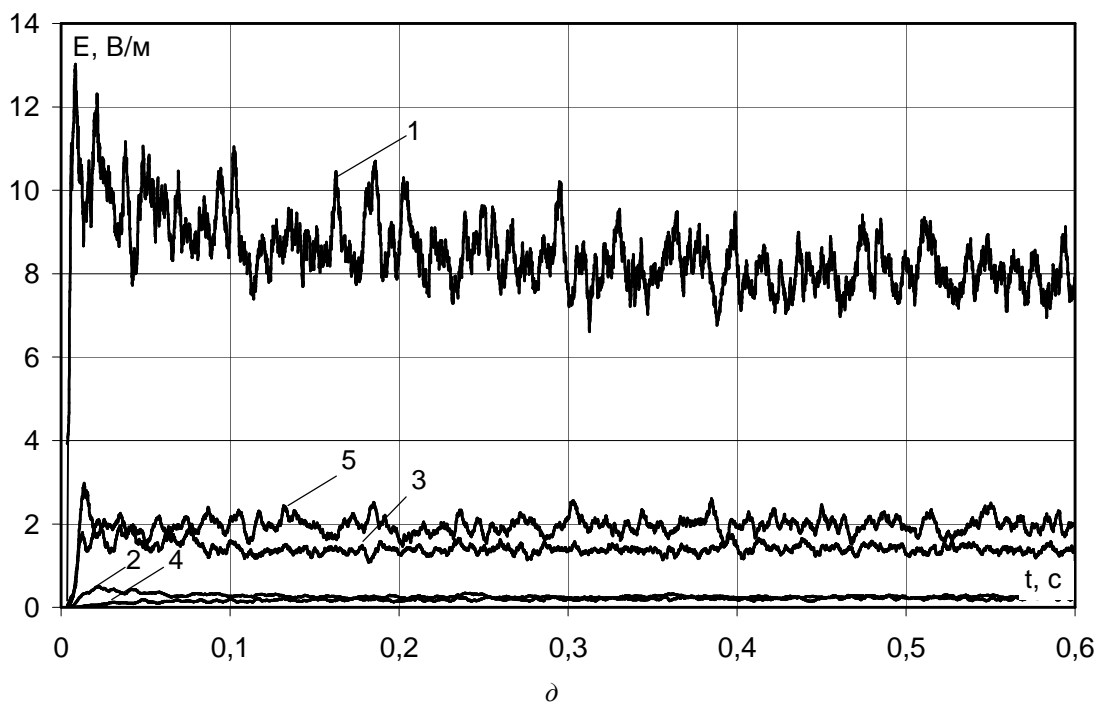


а





а



б

Рис. 3. Зависимость усреднённого значения напряжённости поля в точке при ЭСП с напряжением 5 кВ  
 а - зависимость напряжённости поля от времени в точке с координатами (0; 0; 500); б - зависимость  
 напряжённости поля от времени в точке с координатами (0; 0; 1000); в - зависимость напряжённости  
 поля от времени в точке с координатами (0; 0; 1500); г - зависимость напряжённости поля от времени  
 в точке с координатами (0; 250; 500); д - зависимость напряжённости поля от времени в точке  
 с координатами (0; 250; 1500); 1 - без экранирования; 2 - сферический экран на поверхности отсека;  
 3 - сферический экран в полости отсека; 4 - цилиндрический экран на поверхности отсека;  
 5 - цилиндрический экран в полости отсека

В результате моделирования получены дискретные значения напряжённости поля от времени для различных типов экранов и без экранирования (рис. 3). Для примера приведены напряжённости поля в точках с координатами: (0; 0; 1000), (0; 0; 1500), (0; 0; 500), (0; 250; 1500), (0; 250; 500). Начало координат находится в центре основания цилиндра (отсека) с радиусом 500 мм и высотой 2000 мм, шаг координатной сетки 1 мм. Для наглядности проведено усреднение значений.

Для определения наиболее эффективного метода экранирования дренажного отверстия вычислена энергия сигнала в точке путём интегрирования квадрата

функции  $E(t)$  на временном интервале  $t \in (0; 0,6)$ :

$$\frac{E^2(t)}{120(dt, t \in (0; 0,6))}. \quad (1)$$

Определён коэффициент затухания, вычисляемый в логарифмических единицах уровня:

$$k_3 = 20 \cdot \frac{\lg W_{до}}{W_{после}}, \quad (2)$$

где  $W_{до}$  и  $W_{после}$  - энергии сигнала до и после экранирования, соответственно.

На рис. 4 приведены значения коэффициентов затухания для разных типов экранов и разных точек.

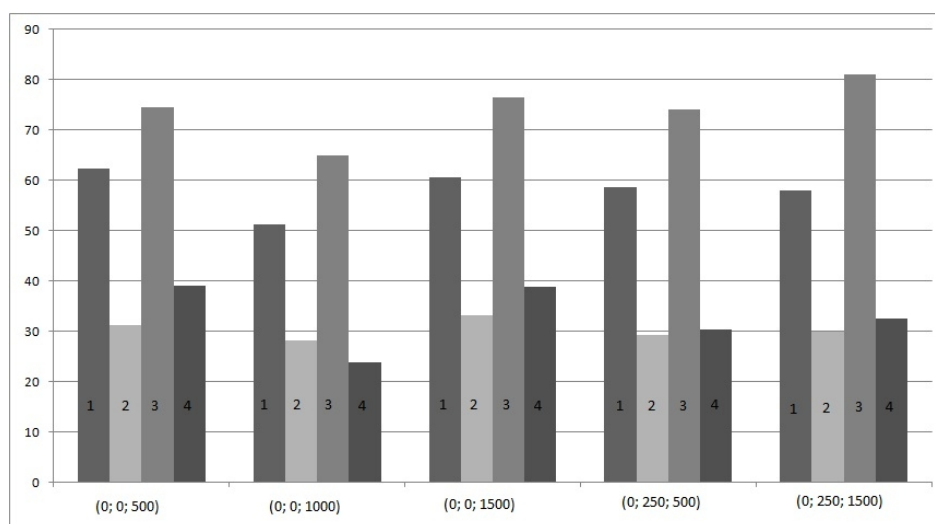


Рис. 4. Коэффициенты затухания для разных типов экранов:

1 - полусферический экран, расположенный на внешней поверхности отсека; 2 - полусферический экран, расположенный в полости отсека; 3 - цилиндрический экран, расположенный на внешней поверхности отсека; 4 - цилиндрический экран, расположенный в полости отсека

На основе полученных результатов (рис. 4) можно сделать вывод о том, что варианты с размещением экрана на поверхности отсека обеспечивают лучшее экранирование по сравнению с вариантами размещения экрана в полости отсека. Наибольший коэффициент затухания обеспечил цилиндрический экран на поверхности отсека, показанный на рис. 4в.

Таким образом, предложенный коэффициент затухания позволяет оценить эффективность экранировки дренажного отверстия негерметичного отсека КА от

проникновения ЭМП. Наибольшее значение коэффициента затухания обеспечивает цилиндрический экран, расположенный на внешней поверхности отсека.

#### Библиографический список

1. Сёмкин, Н.Д. Моделирование распределения электромагнитного поля при электростатическом разряде на поверхности космического аппарата [Текст] / Н.Д. Сёмкин, В.Л. Балакин, В.В. Брагин // Вестник СГАУ. – 2012. – №2. – С. 112-119.

## METHODS OF PROTECTING UNPRESSURIZED COMPARTMENTS OF SPACECRAFT FROM THE PENETRATION OF ELECTROMAGNETIC FIELD

© 2012 N. D. Syomkin, V. L. Balakin, V. V. Bragin

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov  
(National Research University)

The paper presents the description and assessment of methods used to protect the drainage holes of unpressurized compartments from the penetration of electromagnetic field caused by electrostatic discharges on the spacecraft surface.

*Spacecraft, unpressurized compartment, drainage hole, electrostatic discharge, electromagnetic field, method of protection, efficiency.*

### Информация об авторах

**Сёмкин Николай Данилович**, доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники и медицинских диагностических систем, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [semkin@ssau.ru](mailto:semkin@ssau.ru). Область научных интересов: системы управления движением, физика высокоскоростного удара, космические исследования.

**Балакин Виктор Леонидович**, доктор технических наук, профессор кафедры космического машиностроения, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [balakin@ssau.ru](mailto:balakin@ssau.ru). Область научных интересов: динамика полёта и управление движением летательных аппаратов, космическое машиностроение.

**Брагин Василий Владимирович**, аспирант кафедры радиотехники и медицинских диагностических систем, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [bragin\\_vv@inbox.ru](mailto:bragin_vv@inbox.ru). Область научных интересов: электромагнитная совместимость, физика космической плазмы.

**Syomkin Nikolay Danilovich**, doctor of technical science, professor, the department of radio engineering and medical diagnostic systems, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [semkin@ssau.ru](mailto:semkin@ssau.ru). Area of research: motion control systems, physics of high-velocity impact, space research.

**Balakin Victor Leonidovich**, doctor of technical science, professor, the department of space engineering, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [balakin@ssau.ru](mailto:balakin@ssau.ru). Area of research: flight dynamics, flying vehicle motion control, space engineering.

**Bragin Vasily Vladimirovich**, postgraduate student, the department of radio engineering and medical diagnostic systems, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [bragin\\_vv@inbox.ru](mailto:bragin_vv@inbox.ru). Area of research: electromagnetic compatibility, space plasma physics.