

## МАЛЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ МИКРОМЕТЕОРОИДОВ И ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

© 2016 Н. Д. Сёмкин, А. М. Телегин, А. С. Видманов

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

В процессе полёта малого космического аппарата (МКА) в условиях космической среды он подвергается воздействию потоков микрометеороидов и частиц космического мусора. Эти воздействия могут привести к разрушению МКА. В статье описана конструкция МКА для регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора. МКА состоит из системы ориентации, датчиков регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора на основе микроканальных пластин. Разработана 3D-модель МКА и изготовлен его макет в натуральную величину. Метод измерения регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора основан на измерении ионного тока ударной плазмы, которая образуется при высокоскоростном соударении частицы с мишенью детектора (солнечными батареями и плёнкой, натянутой между ними). Большая площадь мишени детектора повышает вероятность её взаимодействия с высокоскоростными микрочастицами и повышает эффективность работы детектора.

*Малый космический аппарат, микрометеороиды, космический мусор, макет, детектор.*

### Введение

В процессе полёта космический аппарат (КА) подвергается воздействию потоков микрометеороидов и частиц космического мусора. Воздействие частиц на материалы и элементы конструкций КА вызывает негативные эффекты: эрозию поверхности, возникновение частиц собственной внешней атмосферы, загрязнение поверхности осаждающимися продуктами, увеличение светового фона в окрестности аппарата за счёт рассеяния света на частицах собственной внешней атмосферы и люминесцентного свечения, возрастание токов утечки в открытых высоковольтных устройствах и снижение их электрической прочности.

Поставлена задача разработки МКА для регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора. Теоретическая возможность создания такого аппарата рассмотрена в [1-3].

### Описание МКА

Была разработана компьютерная модель МКА для регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора с

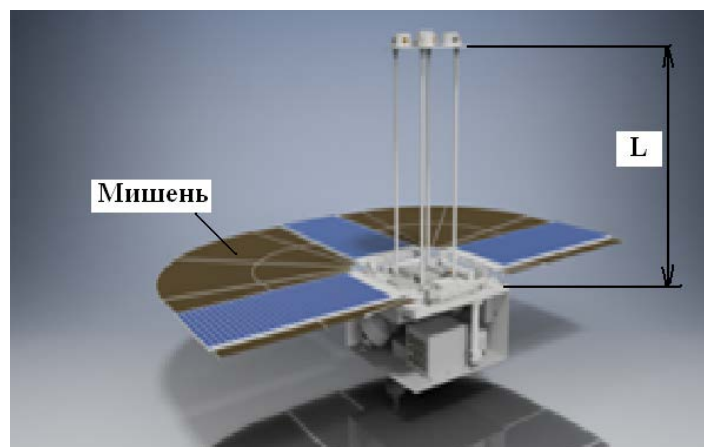
роидов и частиц космического мусора с компоновкой приборов (рис. 1, а).

Научная аппаратура детектора состоит из мишени и четырёх приёмников ионов в виде микроканальных пластин (МКП), расположенных на фиксированном расстоянии от неё (рис.1, з).

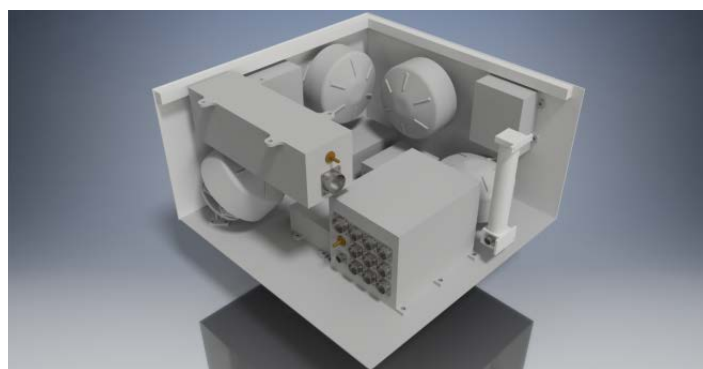
Обслуживающая аппаратура МКА (рис.1, б, в) состоит из пяти датчиков засветки; трёх электромагнитов, расположенных во взаимно перпендикулярных осях; датчика магнитного поля; блока управления; аккумулятора; приёмопередатчика; источника питания, двух антенн (одна антенна предназначена для приёма команд управления, а другая – для передачи телеметрии) и блока измерительных датчиков, состоящих из датчика Солнца и четырёх микроканальных приёмников.

Разработана структурная схема детектора в виде МКА для регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора, содержащего научную и обслуживающую аппаратуру (рис. 2).

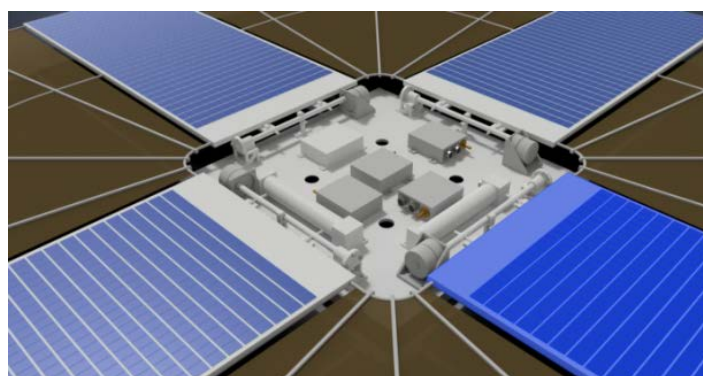
*Цитирование:* Сёмкин Н.Д., Телегин А.М., Видманов А.С. Малый космический аппарат для регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2016. Т. 15, № 1. С. 115-121. DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-1-115-121



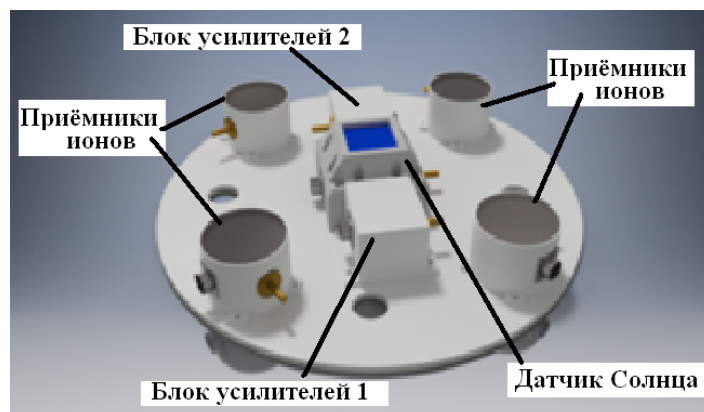
а



б



в



г

Рис. 1. 3D-модель МКА

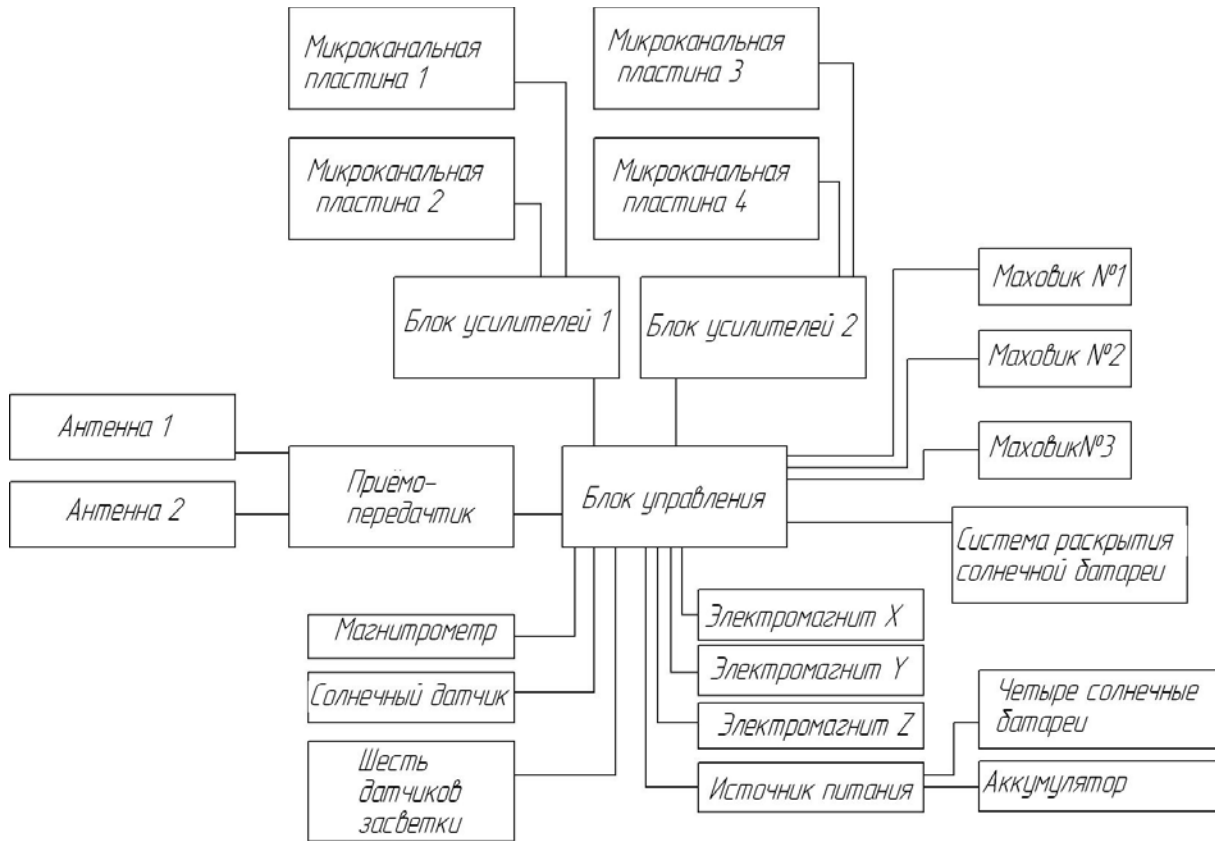


Рис. 2. Структурная схема детектора в виде МКА

Блок управления и ориентации МКА состоит из трёх маховиков и магнитной системы разгрузки кинетического момента. Такой подход основывается на взаимодействии исполнительных органов системы управления (электромагнитов) с магнитным полем Земли [1].

Метод регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора основан на регистрации ионного тока ударной плазмы, которая образуется при высокоскоростном соударении частицы с плёночным детектором. Солнечные батареи и плёнка, натянутая между ними, играют роль мишени для высокоскоростных микрочастиц и находятся под нулевым потенциалом относительно корпуса МКА. На крепёжном основании размещены четыре микроканальные пластины, которые являются приёмником ионного тока. Сигналы со всех четырёх микроканальных пластин объединяются и обрабатываются в блоке управления. Подробно методика

измерения изложена в [1], а расчёт конструкции детектора приведён в [3]. Полученные с микроканальных пластин сигналы (рис. 3) записываются во внутреннюю память блока управления и далее происходит их обработка на Земле.

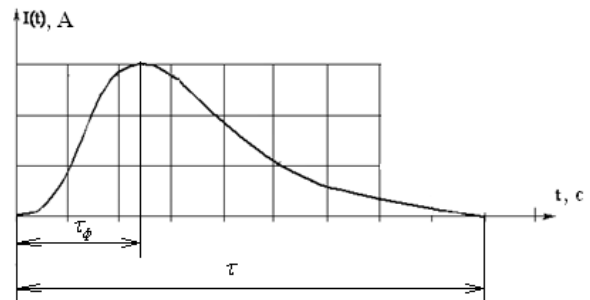


Рис. 3. Форма входного тока

При регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора определяется масса и скорость высокоскоростных частиц.

При ударе частицы в мишень, состоящую из солнечной батареи и плёнки, образуется плазма, скорость разлёта которой можно оценить согласно формуле

$$U_{пл} = k \cdot V, \quad (1)$$

где  $k = \frac{1}{1 + \sqrt{\rho_V / \rho_M}}$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от плотности частицы (ударника)  $\rho_V$  и плотности мишени  $\rho_M$ ,  $\frac{кг}{м^3}$ ;  $U_{пл}$  – скорость разлёта плазмы, м/с;  $V$  – скорость частицы при ударе, м/с.

Задача определения параметров частиц состоит в измерении импульса ионного и электронного тока, который образуется за счёт приложенного между мишенью и приёмником высокого напряжения. Поверхность МКА имеет сложную форму, поэтому расчёт электростатического поля проводится численными методами с использованием специализированной программы, реализующей выражения, приведённые ниже.

Фронт импульса (рис.3), регистрируемого приёмником, можно определить по формуле

$$\tau_\phi = \frac{L}{U_{пл}}, \quad (2)$$

где  $L$  – расстояние от мишени до приёмника ионов (рис.1, а).

Как видно из (1), (2), скорость высокоскоростной микрочастицы можно определить, зная плотности ударника и мишени и расстояние от мишени до приёмника по переднему фронту импульса, полученного с помощью приёмника при высокоскоростном соударении:

$$V = \frac{L \cdot (1 + \sqrt{\rho_V / \rho_M})}{\tau_\phi}. \quad (3)$$

Здесь  $L = 0,8$  м для разработанной модели МКА,  $\tau_\phi$  определяется исходя из полученной осциллограммы зависимости тока от времени (рис. 3); в качестве плотности мишени можно взять плотность алюминия, в качестве плотности ударника – плотность железа [1].

Массу ударяющей частицы можно определить, используя экспериментально полученное соотношение [1]:

$$Q^+ = c m^\alpha V^\beta, \quad (4)$$

где  $Q^+$  – суммарный заряд ионов, образовавшихся при ударе;  $\alpha = 0,9 \pm 0,1$ ;  $\beta = 2,8 \pm 0,5$ ;  $c$  – постоянная, зависящая от свойств материала, приближённо равная  $1 \cdot 10^{-5}$ .

Суммарный заряд ионов, возникших вследствие удара частицы о мишень, пропорционален площади под ионным импульсом:

$$Q^+ = \int_0^\tau I(t) dt = \frac{1}{R_{ВХ}} \times \int_0^\tau U(t) dt, \quad (5)$$

где  $R_{ВХ}$  – входное сопротивление приёмника ионов;  $U(t)$  – зависимость напряжения на сетке ионизационного датчика от времени;  $\tau$  – длительность ионного импульса (рис. 3).

Тогда при  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 3$  [4] массу частицы из (4) можно определить по формуле

$$m = \frac{Q^+}{c \cdot V^3}. \quad (6)$$

С целью проверки монтажа разрабатываемых блоков обслуживающей и научной аппаратуры разработан макет МКА, который представляет собой габаритную модель для регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора (рис. 4).

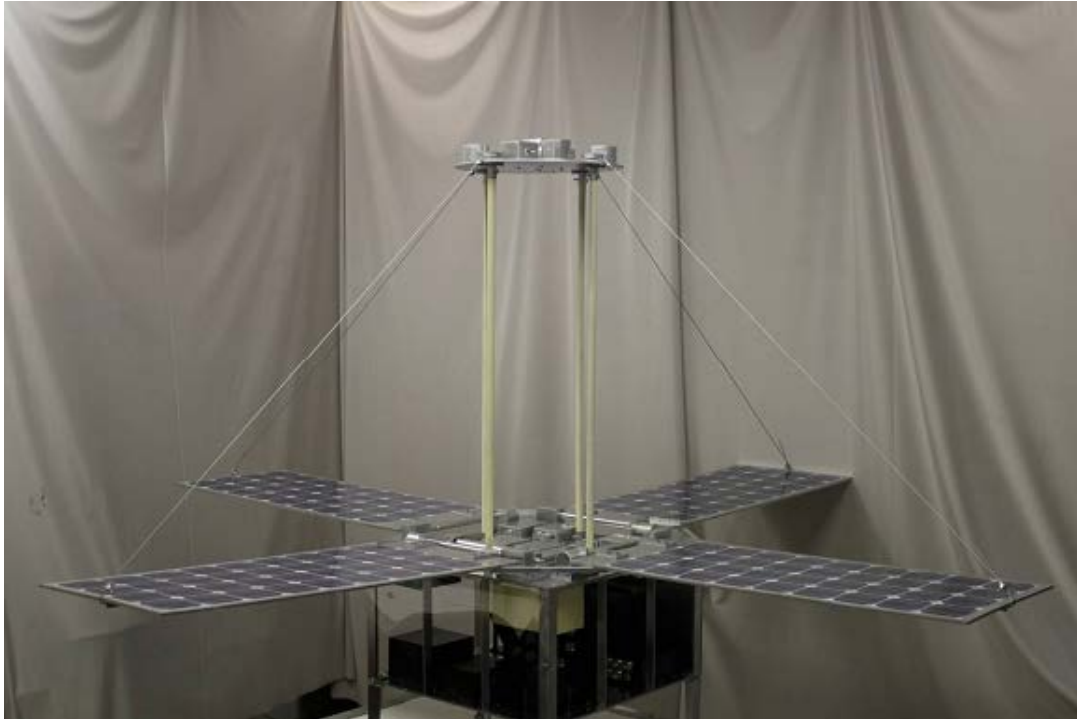


Рис. 4. Внешний вид макета МКА в раскрытом состоянии (без плёночной мишени)

### Заключение

Разработан макет МКА массой до 50 кг для регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора путём оценки их массы и скорости. Макет выполнен в соотношении 1:1 с размещёнными в нём габаритными блоками электроники. Предложена расчётная зависимость для определения массы и скорости микрометеороидов и частиц космического мусора по результатам регистрации ионного импульса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по соглашению № 14.575.21.0107 о предоставлении субсидии в целях реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

### Библиографический список

1. Сёмкин Н.Д., Телегин А.М. Преобразователи информации в электронных устройствах бортовых систем: учебное пособие. Самара: СГАУ, 2012. 307 с.
2. Сёмкин Н.Д., Телегин А.М., Вергунец К.И., Калаев М.П., Воронов К.Е., Абрашкин В.И. Устройство регистрации параметров микрометеороидов и космического мусора: патент РФ №2456639; опубл. 20.07.2012.
3. Semkin N.D., Telegin A.M. Small spacecraft to register micrometeoroids and space debris // Proceedings of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering and Technology for Manufacturing Growth (METMG 2015). Canada, Vancouver, 2015. P. 46-49.
4. Friichtenicht J.F., Slattery J.C. Ionization associated with hypervelocity impact // Symposium on Hypervelocity Impact Proceedings. 1963. V. 2, part 2. P. 591-612.

### Информация об авторах

**Сёмкин Николай Данилович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования и технологии электронных систем и устройств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [semkin@ssau.ru](mailto:semkin@ssau.ru). Область научных интересов: высокоскоростной удар, масс-спектрометрия, космическое приборостроение.

**Телегин Алексей Михайлович**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [talex85@ssau.ru](mailto:talex85@ssau.ru). Область научных интересов: высокоскоростной удар, масс-спектрометрия, космическое приборостроение.

**Видманов Алексей Сергеевич**, аспирант кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [jkt13@rambler.ru](mailto:jkt13@rambler.ru). Область научных интересов: ускорительная техника, космическое приборостроение.

### SMALL SPACECRAFT FOR THE REGISTRATION OF MICROMETEORITES AND SPACE DEBRIS

© 2016 N. D. Semkin, A. M. Telegin, A. S. Vidmanov

Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation

Small spacecraft (SSC) is exposed to fluxes of micrometeoroids and space debris during its flight in space environment. These effects may result in the destruction of the SSC. The article describes the design of the SSC for the registration of micrometeoroids and space debris. The SSC is made up of the orientation system, detectors of micrometeoroids and space debris particles based on microchannel plates. A 3D-model of SSC has been developed and its full-scale mockup has been made. The method of measuring registration of micrometeoroids and space debris particles is based on the measurement of the ion current of shock plasma that is formed in the particle's hypervelocity impact with the detector target (solar batteries and the film stretched between them). The great area of the detector target increases the probability of its interaction with high-velocity micro-particles and increases the efficiency of the detector.

*Small spacecraft, micrometeoroids, space debris, mockup, detector.*

### References

1. Semkin N.D., Telegin A.M. *Preobrazovateli informatsii v elektronnykh ustroystvakh bortovykh system* [Information transducers in electronic devices of on-board systems: Textbook]. Samara: Samara State Aerospace University Publ., 2012. 307 p.
2. Semkin N.D., Telegin A.M., Vergunets K.I., Kalaev M.P., Voronov K.E., Abrashkin V.I. *Ustroystvo registratsii parametrov mikrometeoroidov i kosmicheskogo musora* [Device for recording parameters of micrometeoroids and space junk]. Patent RF, no. 2456639, 2012. (Publ.20.07.2012).

3. Semkin N.D., Telegin A.M. Small spacecraft to register micrometeoroids and space debris. *Proceedings of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering and Technology for Manufacturing Growth (METMG 2015)*. Canada, Vancouver, 2015. P. 46-49.

4. Friichtenicht J.F., Slattery J.C. Ionization associated with hypervelocity impact. *Symposium on Hypervelocity Impact Proceedings*. 1963. V. 2, part 2. P. 591-612.

#### **About the authors**

**Semkin Nikolay Danilovich**, Doctor of Science (Engineering), Head of the Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices, Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation. E-mail: [semkin@ssau.ru](mailto:semkin@ssau.ru). Area of Research: high-velocity impact, mass-spectrometry, space engineering.

**Telegin Alexey Mikhailovich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor of the Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices, Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation. E-mail: [talex85@ssau.ru](mailto:talex85@ssau.ru). Area of Research: high-velocity impact, mass spectrometry, space device engineering.

**Vidmanov Aleksey Sergeevich**, postgraduate student, Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices, Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation. E-mail: [jkt13@rambler.ru](mailto:jkt13@rambler.ru). Area of Research: accelerating equipment, space device engineering.