

УДК 621.3

## Исследование микрометеороидов и частиц космического мусора ионизационным детектором на малом космическом аппарате АИСТ-1Т

А. М. Телегин, К. Е. Воронов, В. А. Авдеев

*Приведены результаты космического эксперимента по исследованию параметров микрометеороидов и частиц космического мусора на околоземной орбите. Полученные данные будут полезны для разработки защиты космического аппарата и выбора траектории полета космических аппаратов. Эксперименты выполнялись с помощью научной аппаратуры МЕТЕОР, установленной на малом космическом аппарате АИСТ-1Т.*

PACS: 07.05.Dz, 07.55. Jg , 94.80.+g

*Ключевые слова:* микрометеороид, космический мусор, датчик, космический эксперимент.

### Введение

В процессе эксплуатации космического аппарата на орбите, он подвергается воздействию множества факторов космического пространства. Одним из них является воздействие высокоскоростных микрочастиц (микрометеороидов и частиц космического мусора) на элементы поверхности космического аппарата. Для исследования этих воздействий во всем мире изготавливаются специальные датчики высокоскоростных частиц, основанные на самых различных принципах [1—4]. Информация с этих датчиков позволяет определить параметры ударяющихся частиц (массу, скорость, элементный состав), что позволяет правильно подобрать защиту космического аппарата от этих частиц, определить источник их происхождения (космический мусор, микрометеороиды из дальнего или ближнего космоса) [2]. Для постановки таких экспериментов очень удобно использовать малые космические аппараты (МКА) [5].

Целью данной работы является представление результатов космических экспериментов по исследованию параметров микрометеороидов и частиц космического мусора на околоземной орбите, выполненных с помощью научной аппарату-

ры МЕТЕОР, установленной на малом космическом аппарате АИСТ-1Т.

### Описание МКА АИСТ

23 декабря 2013 года с космодрома Плесецк стартовала ракета «Союз», которая вывела на околоземную орбиту МКА АИСТ-1Т, являющийся совместной разработкой Самарского университета и АО «РКЦ «Прогресс» (г. Самара). Технические характеристики орбиты, на которой функционирует спутник, приведены в таблице [6]:

Таблица

*Технические характеристики орбиты АИСТ*

Перигей	598,9 км
Апогей	627,2 км
Наклонение	82,4°
Период обращения	96,8 мин
Длина главной полуоси	6984 км

На МКА АИСТ-1Т была установлена обслуживающая и научная аппаратура: датчик магнитного поля ДМ, блок управления магнитными катушками БУ ЭМ, блок электроники МАГКОМ, блок электроники МЕТЕОР и многопараметрические датчики МТ. Эти датчики МТ были установлены так, чтобы каждая грань МКА АИСТ-1Т была параллельна мишени одного из датчиков.

Датчики МТ предназначены для решения нескольких задач: измерение параметров высокоскоростных пылевых частиц естественного и искусственного происхождения; измерение уровня

Телегин Алексей Михайлович, доцент.  
Воронов Константин Евгеньевич, доцент.  
Авдеев Владислав Алексеевич, студент.  
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева.  
Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.  
Тел. (846) 267-48-50. E-mail: talex5@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21 октября 2016 г.

электризации элементов поверхности МКА; расчета углового положения Солнца относительно поверхности МКА (по данным измерений солнечных датчиков). Для решения поставленных задач каждый из многопараметрических датчиков МТ аппаратуры МЕТЕОР содержит датчик температур, датчик высокоскоростных пылевых частиц, солнечный датчик и датчик электризации [4].

В данной статье представлены результаты космического эксперимента по измерению параметров высокоскоростных микрочастиц с использованием ионизационного метода, основанного на сборе ионов плазмы, образовавшейся при высокоскоростном соударении микрочастиц с мишенью [1].

### Результаты экспериментов

Данные, полученные с датчика, представленные в цифровой форме (рис. 1), сильно зашумлены, что обусловлено внутренними и внешними шумами датчика. Эти шумы сильно затрудняют обработку экспериментальных данных и правильность оценки параметров высокоскоростных микрочастиц, поэтому для обработки использовалась цифровая фильтрация сигнала. Далее при обработке полученных данных сначала вычисляется скорость частицы согласно формуле из работы [2]:

$$V_0 = \frac{L}{k\tau_\Phi},$$

где  $\tau_\Phi$  — передний фронт импульса,  $k=0,1$  — коэффициент пропорциональности,  $L = 1$  см — расстояние между измерительным электродом и мишенью.

Далее вычисляется масса частицы согласно формуле из работы [7]:

$$m = \alpha \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{\max}} U(T_i)T_d}{cV_0^\beta R_{\text{BX}}K_{\text{yc}}}},$$

где  $c, \alpha$  — const,  $R_{\text{BX}}$  — сопротивление входного усилителя,  $K_{\text{yc}}$  — коэффициент усиления,  $T_d$  — время дискретизации отчетов,  $U(T_i)$  — выборка в  $i$ -момент времени,  $N_{\max}$  — число дискретных отчетов, характеризующих длительность входного импульса.

В процессе функционирования МКА АИСТ-1Т было зафиксировано несколько случаев регистрации высокоскоростных частиц датчиками МТ, что отображено на рис. 2 и 3.

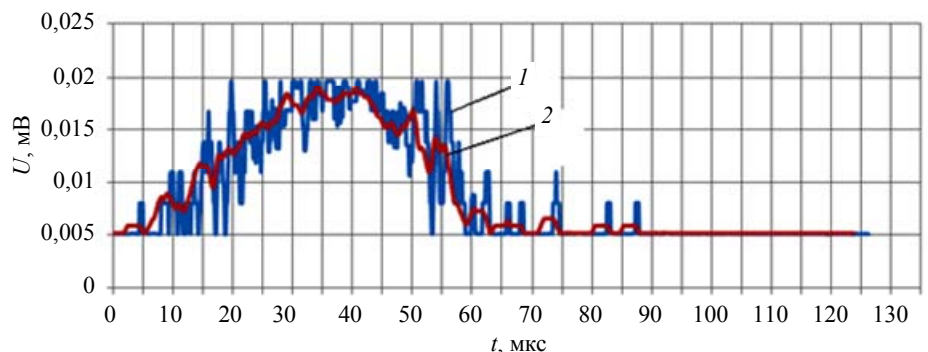


Рис. 1. Типовой сигнал с ионизационного датчика: 1 — измеренный сигнал, 2 — сигнал после цифровой фильтрации.

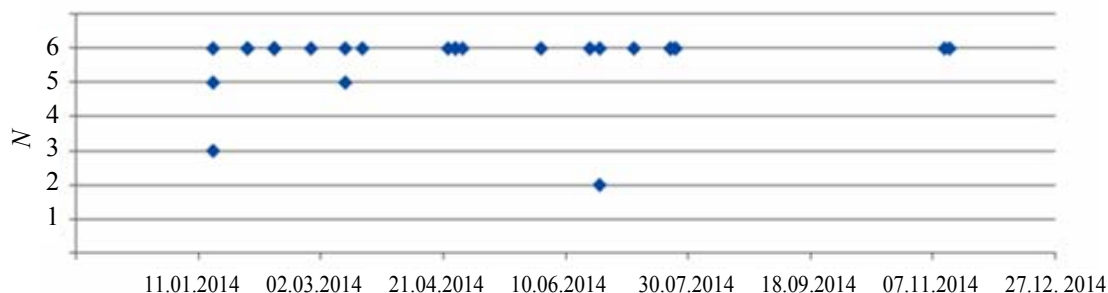


Рис. 2. Распределение частиц N во времени в зависимости от номера датчика.

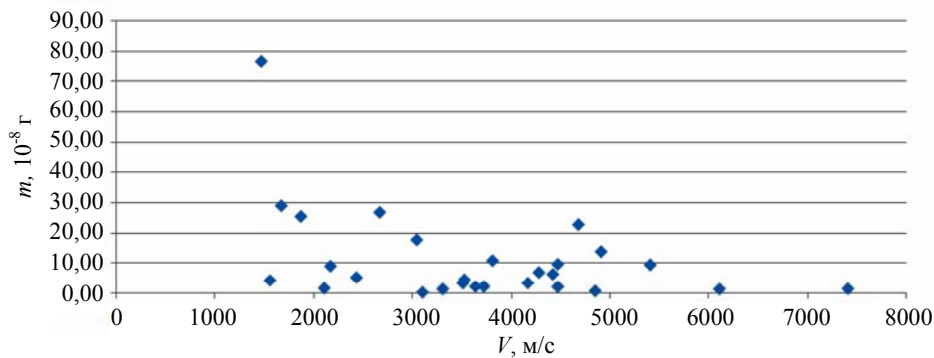


Рис. 3. Распределение масс зарегистрированных частиц  $m$  по скоростям  $V$ .

В среднем за месяц работы было зарегистрировано около 2 частиц при площади мишени для регистрации  $185 \text{ см}^2$  на один датчик.

Как видно из рис. 3, основная масса регистрируемых частиц обладала массой менее  $30 \times 10^{-8}$  г и была зарегистрирована датчиком МТ6. Это связано с тем, что АИСТ-1Т в режиме исследования высокоскоростных микрочастиц имеет неориентированное движение и в процессе полета совершает вращательные движения вокруг оси, проходящей через нормаль датчика МТ6.

### Заключение

Разработанные датчики МТ позволили зарегистрировать параметры микрометеороидов и частиц космического мусора на околоземной орбите. Ионизационный метод является одним из самых чувствительных методов измерения [8], но также обладает и повышенной чувствительностью к внешним шумам. Использование одного метода измерения для оценки параметров микрометеороидов и частиц космического мусора возможно, но затрудняет интерпретацию полученных данных. В связи с этим рекомендуется для датчиков высокоскоростных микрочастиц использовать комбинированные методы для однозначной регистрации микрометеороидов.

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».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Waldemar Bauera, Romberg O., Wiedemann C., Drolshagen G., Vörsmann P. // *Advances in Space Research*. 2014. Vol. 54. P. 1858.
2. Семкин Н. Д., Телегин А. М. Преобразователи информации в электронных устройствах бортовых систем: учебно-методическое пособие. — СГАУ, 2012. — 212 с.
3. Телегин А. М. // *Авиакосмическое приборостроение*. 2016. № 1. С. 32.
4. Семкин Н. Д., Воронов К. Е., Телегин А. М., Пияков А. В., Пияков И. В. // *Авиакосмическое приборостроение*. 2014. № 7. С. 30.
5. Kirilin A. N., Akhmetov R. N., Abrashkin V. I., Shakhmatov E. V., Soifer V. A., Tkachenko S. I., Prokofiev A. B., Stratilatov N. R., Salmin V. V., Semkin N. D., Tkachenko I. S. / *Recent Advances in Space Technologies (RAST)*. 7<sup>th</sup> International Conference. (Istanbul 2015). P. 819.
6. <http://www.n2yo.com/satellite/?s=39492>
7. Семкин Н. Д., Воронов К. Е., Пияков А. В., Пияков И. В. // *ИТЭ*. 2009. № 4. С. 159.
8. Новикова Л. С. Взаимодействие космических аппаратов с окружающей плазмой. Учебное пособие. — М.: Университетская книга, 2006.

## Researches of micrometeoroids and space debris particles on the AIST-1T small spacecraft

*A. M. Telegin, K. E. Voronov, and V. A. Avdeev*

Samara University  
34 Moskovskoe shosse, Samara, 443086, Russia  
E-mail: talex85@mail.ru

*Received October 21, 2016*

***Consideration is given to the results of the space experiment in a Earth orbit on study of parameters micrometeoroids and space debris. The obtained data will be useful for development and protection of spacecraft at a flight. The experiments were carried out with the help of the METEOR scientific equipment installed in the AIST-1T small spacecraft.***

PACS: 07.05.Dz, 07.55. Jg , 94.80.+g

*Keywords:* micrometeoroids, space debris, sensor, space experiment.

### REFERENCES

1. Waldemar Bauera, O. Romberg, C. Wiedemann, G. Drolshagen, and P. Vörsmann, / *Advances in Space Research*. **54**, 1858 (2014).
2. N. D. Semkin and A. M. Telegin, *Data Converters in Electronic Devices of Onboard Systems* (Samara State Aerospace University, 2012) [in Russian].
3. A. M. Telegin, *Aviakosm. Priborostr.*, No. 1, 32 (2016).
4. N. D. Semkin, K. E. Voronov, A. M. Telegin, A. V. Piyakov, and I. V. Piyakov, *Aviakosm. Priborostr.*, No. 7, 30 (2014).
5. A. N. Kirilin, R. N. Akhmetov, V. I. Abrashkin, E. V. Shakhmatov, V. A. Soifer, S. I. Tkachenko, A. B. Prokofiev, N. R. Stratilatov, V. V. Salmin, N. D. Semkin, and I. S. Tkachenko, in *Proc. Recent Advances in Space Technologies (RAST). 7<sup>th</sup> International Conference*. (Istanbul, 2015), P. 819.
6. <http://www.n2yo.com/satellite/?s=39492>.
7. N. D. Semkin, K. E. Voronov, A. V. Piyakov, and I. V. Piyakov, *Instrum. Exp. Techn.*, No. 4, 159 (2009).
8. L. S. Novikov *The interaction of Spacecraft with the Surrounding Plasma*. (Univer. Kniga, moscow, 2006) [in Russian].