

## Динамические процессы и системы

УДК 629.78

Брагин В. В., Рязанов Д. М., Матвиец М. Г.

### ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ПОЛЕТА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА АИСТ НА ПРОЦЕСС ЕГО ЭЛЕКТРИЗАЦИИ

#### Введение

При взаимодействии космического аппарата (КА) с окружающей плазмой на его элементах конструкции образуются электрические заряды, стимулирующие появление разности потенциалов между их поверхностями и космической плазмой.

С целью изучения процессов электризации 28 декабря 2013 года с космодрома Плесецк с помощью ракеты-носителя «Союз-2.1в» был запущен малый КА (МКА) «АИСТ-Т» (технологический), являющийся совместной разработкой Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет) и АО «РКЦ «ПРОГРЕСС» (г. Самара). МКА выполнял следующие научно-технические задачи: изучение влияния факторов космической среды на процесс электризации поверхности МКА (аппаратура МЕТЕОР); испытание конструкций солнечных датчиков; изучение распределения температур на поверхности МКА; отработка солнечных батарей на основе арсенида галия.

Орбитальные характеристики МКА «АИСТ»: высота порядка 600 км, наклонение  $82,4^\circ$ , период обращения 97 минут.

#### Методика эксперимента

На различные грани МКА «АИСТ» была установлена аппаратура МЕТЕОР состоящая из 6 многопараметрических датчиков (МТ) (рис. 1), предназначенных для решения следующих задач:

- измерение уровня электризации элементов поверхности МКА;
- эксперименты по определению углового положения Солнца относительно поверхности МКА по данным измерений разработанных солнечных датчиков;
- измерение температуры датчиков.

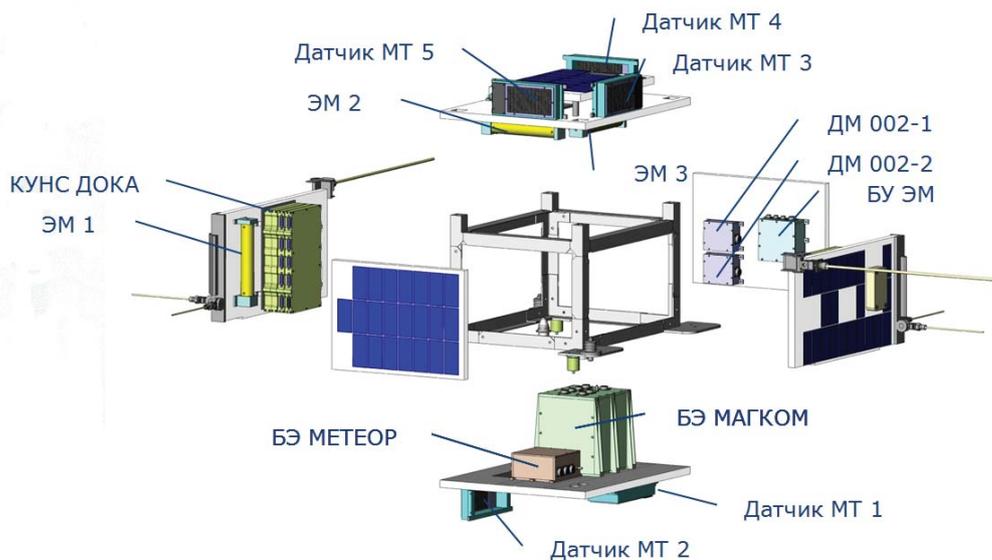


Рисунок 1 - Схема компоновки МКА «АИСТ»

Датчик электризации представляет собой пленочный конденсатор  $C$  (рис. 3), верхняя пластина которого подвергается воздействию заряженных частиц космического пространства, а нижняя обкладка электрически соединена с поверхностью КА. Площадь верхней обкладки датчика электризации составляет  $22,75 \text{ см}^2$ .

По запросу производится коммутация ключа  $S$  (рис. 2), при этом происходит протекание тока от конденсатора  $C$  через высокоомные резисторы  $R1$  и  $R2$ , образующие делитель напряжения. Сигнал с резистора  $R2$  снимается с помощью согласующего усилителя  $U$  и подаётся на вход аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). Время измерения сигнала с выхода усилителя во много раз меньше, чем время разрядки конденсатора  $C$  через резисторы  $R1$  и  $R2$ . Поскольку параллельно конденсатору  $C$  подключен конденсатор  $C_d$  большей ёмкости, то поэтому можно пренебречь изменением напряжения на конденсаторе вследствие разряда. Замыкание ключа происходит каждые 20 секунд на 2 мс, времени замыкания достаточно для срабатывания усилителя и проверки стабильности напряжения.

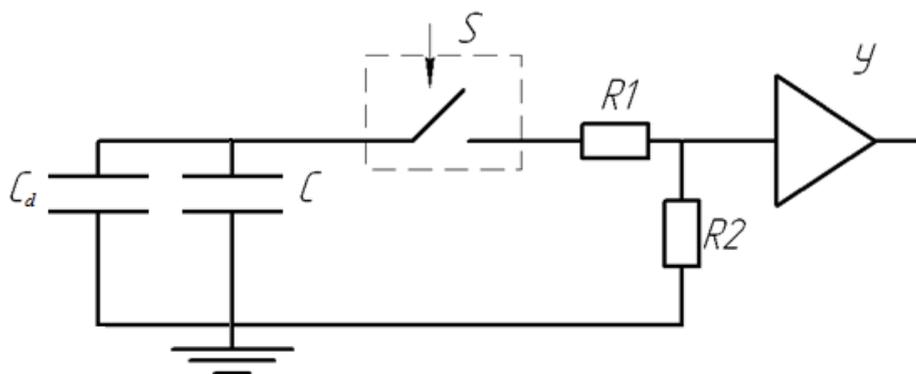


Рисунок 2 – Функциональная схема датчика электризации

Результатом измерения является разница напряжений между верхней обкладкой конденсаторного пленочного датчика и корпусом КА. При известной ёмкости конденсатора  $C$  вычисляется заряд, накопленный на конденсаторе. Процесс определения заряда основан на использовании известных выражений, связывающих измерение напряжения, заряд и ёмкость датчика.

Полученные данные позволяют оценить плотность потока электронов, падающего на поверхность датчика:

$$n_e = \frac{q}{q_e \cdot t},$$

где  $n_e$  – плотность потока,  $q$  – заряд на конденсаторном датчике,  $q_e$  – заряд электрона,  $t$  – время зарядки датчика.

Для определения потенциала поверхности КА использован известный метод расчёта матрицы взаимных ёмкостей для плоскости [1]. При расчёте необходимо учитывать влияние эффекта экранирования распределения заряда плазмой. При высоте полёта 600 км радиус Дебая соизмерим с линейными размерами датчика, и поэтому можно считать, что заряд распределён по поверхности равномерно. Полученная матрица взаимных ёмкостей применяется в методе интегральных уравнений [2].

На рис. 3 приведены сравнительные результаты измерений, полученные с лётного и технологического МКА в различных режимах полёта. На графиках представлены (сверху вниз) зависимости освещённости, температуры и потенциала поверхности от времени. Освещённость определяется как коэффициент  $k$ , передаваемый цифровым кодом от 0 до 255, где 0 – это отсутствие освещения, 255 – максимальная засветка.

Функционирование МКА «АИСТ» является циклическим процессом, время одного обращения вокруг оси 5820 с. Предусмотрено два режима полёта: первый – неуправляемый неориентированный полёт, во время которого аппарат вращается с различными угловыми скоростями относительно центра масс по трём степеням свободы; второй – это режим компенсации угловых микроускорений (управляемый полёт), обеспеченный тремя ортогонально расположенными магнитами.

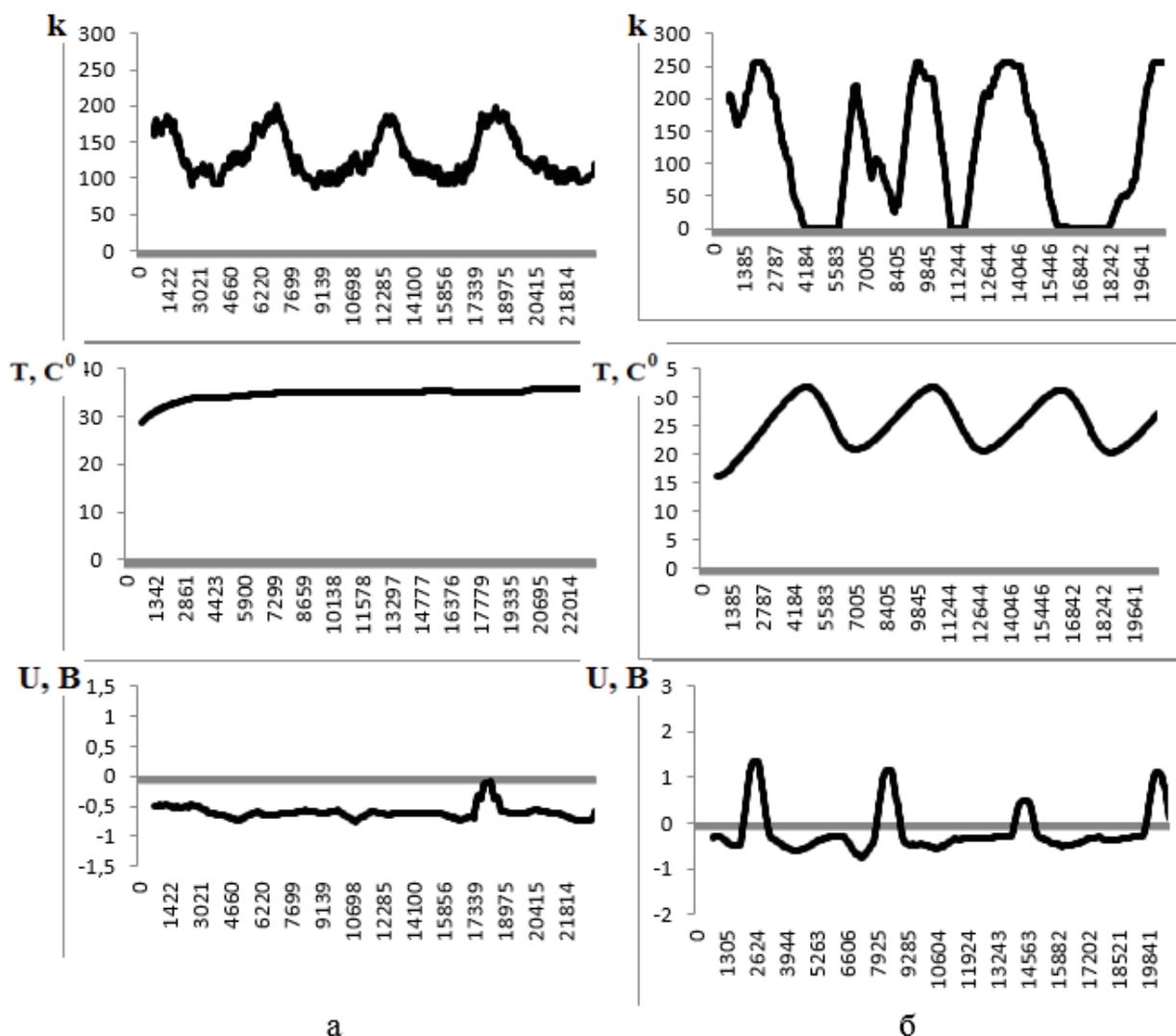


Рисунок 3 – Результаты измерений в различных режимах полёта:

а) неуправляемый полёт; б) режим компенсации микроускорений

Как видно из рис. 3, в режиме неуправляемого полёта из-за вращения спутника амплитуда изменения температуры поверхности датчика составила 5°C, пики освещённости не достигли как максимальной, так и минимальной отметок, модуль изменения потенциала составил в среднем 0,2 В. В режиме управляемого полёта амплитуда изменения температуры составила 15°C, видны явные максимумы и минимумы освещённости, связанные с периодом вращения вокруг Земли, модуль изменения потенциала 1,7 В. На зависимости потенциала поверхности от времени наблюдается положительное значение, которое объясняется фотоэффектом и возможным наличием потока положительных ионов. Видна корреляция пиков освещённости с уменьшением модуля потенциала поверхности. Физика этого процесса объясняется фотоэлектрическим эффектом. Отставание температурных пиков связано с инерционностью полупроводниковых датчиков температуры и процесса нагрева поверхности.

### **Заключение**

Таким образом, система компенсации микроускорений оказывает влияние на амплитуду колебаний электризации и температуры. В режиме неуправляемого полёта при большой скорости вращения КА наблюдается равномерный нагрев и электризация поверхности. В режиме компенсации, когда угловые скорости близки к нулю, температура и электризация поверхности имеют большую амплитуду, а период колебаний зависит от периода обращения МКА.

### **Библиографический список**

- 1 Брагин В.В. Расчет собственной емкости космического аппарата с учетом емкости плазмы, Труды 6-й международной научно-технической конференции "КОСМОНАВТИКА. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ГЕОИНФОРМАТИКА.", 2013, Рязань. С. 81-82.
- 2 Новиков Л.С., Милев В.Н., Крупников К.К., Маклецов А.А. Воздействие космической среды на материалы и оборудование КА. Москва, 2007.