

Калаев М. П., Рязанов Д. М.

## **НАУЧНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА МАТЕРИАЛЫ И ЭЛЕМЕНТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Важнейшую роль в обеспечении длительной безотказной работы космических аппаратов (КА) играет стойкость их конструкционных материалов и элементов бортового оборудования к воздействию окружающей космической среды. На КА в полете воздействует обширный комплекс факторов космического пространства (ФКП): потоки электронов и ионов высокой энергии, холодная и горячая космическая плазма, солнечное электромагнитное излучение, метеорная материя, твердые частицы искусственного происхождения и другие факторы. В результате такого воздействия в материалах и элементах бортового оборудования КА протекают разнообразные физико-химические процессы, приводящие к ухудшению их эксплуатационных параметров. В зависимости от характера процессов, инициируемых воздействием космической среды, происходящие изменения свойств материалов и элементов оборудования могут иметь разный временной масштаб, быть обратимыми или необратимыми, представлять различную опасность для бортовых систем.

Для оценки воздействия ФКП на различные материалы проводятся лабораторные испытания с использованием ускорителей различных типов. Однако часто по результатам этих экспериментов можно лишь косвенно судить о деградации элементов в условиях космической среды вследствие сложности воспроизводства реальных характеристик воздействующих потоков. Измерение характеристик элементов и систем КА в натуральных экспериментах является прямым методом изучения влияния ФКП на их функционирование. В настоящее время на борту международной космической станции проводятся эксперименты по экспонированию образцов материалов, однако представляет интерес проведение аналогичных исследований и на других орбитах Земли. По этой причине целесообразно создание малогабаритной автоматической аппаратуры для исследования показателей деградации элементов и материалов, включающей в себя исследуемые образцы и средства контроля изменения их свойств. Носителем такой аппаратуры могут являться невозвращаемые космические аппараты, функционирующие на различных орбитах.

Для этих целей разработана многофункциональная аппаратура ДЧ-01, позволяющая контролировать изменение свойств различных образцов материалов на борту малого космического аппарата.

Научная аппаратура ДЧ представляет собой моноблок, который включает в себя три

модуля:

- ДЧ-ОПТИКА, предназначенный для исследования воздействия частиц космического мусора на оптические элементы;
- ДЧ-ЭРИ, предназначенный для исследования воздействия факторов космического пространства на электронные компоненты;
- ДЧ-КВАРЦ, предназначенный для исследования воздействия атомарного кислорода на покрытия.

Составные части аппаратуры, перечисленные выше, включают в себя образцы материалов и датчики, необходимые для проведения исследований. На рисунке 1 представлен внешний вид научной аппаратуры ДЧ-01.

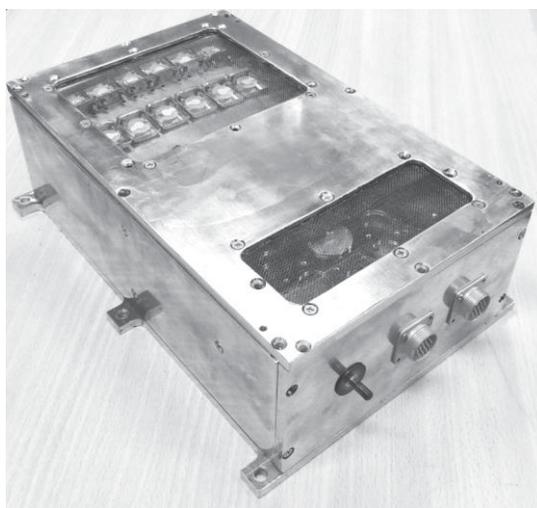
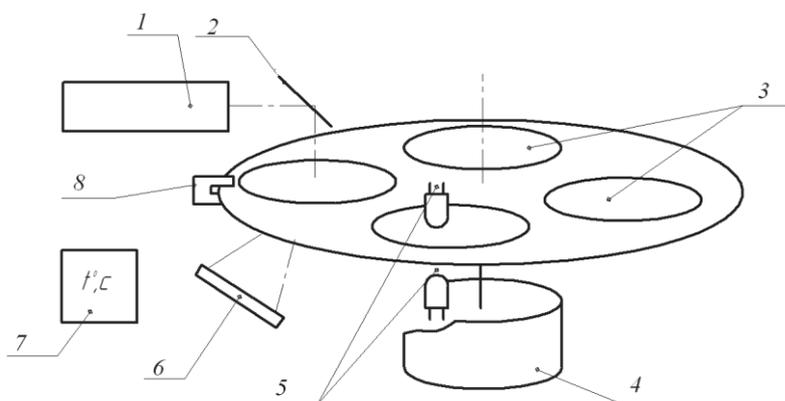


Рисунок 1 - Внешний вид научной аппаратуры ДЧ-01

**МОДУЛЬ ДЧ-ОПТИКА.** Блок ДЧ-ОПТИКА, помимо платы контроллера, содержит модуль оптических измерений, схематическое изображение которого представлено на рисунке 2.



1 – лазер, 2 – зеркало, 3 – исследуемые образцы, 4 – шаговый двигатель, 5 – измеритель прозрачности (3 светодиода и фотоприемник), 6 – измеритель рассеяния (16 фотоприемников в диапазоне углов 10-40°) 7 – термодатчик, 8 – датчик положения диска

Рисунок 2 – Оптическая схема измерителя ДЧ-ОПТИКА

Модуль оптических измерений содержит мишень, которая выполнена в виде диска с отверстиями для оптических элементов. На фиксированном расстоянии установлен фотоприемник, механически диск соединен с шаговым двигателем, выход фотоприемника соединен с входом блока управления и обработки информации, с противоположной стороны диска установлен полупроводниковый лазер.

**МОДУЛЬ ДЧ-ЭРИ.** В корпусе аппаратуры ДЧ-01 расположена плата с исследуемыми элементами. Под ней расположен защитный экран и модуль управления с микропроцессорным устройством, предоставляющим различные интерфейсы обмена данными: spi, i2c, parallel bus (address/data), а также линии управления режимами работы тестируемых микросхем.

С тестируемыми микросхемами ведется информационный обмен в запросно-ответном режиме. В случае искажения или потери данных на любом из элементов этот факт фиксируется и передается в канал телеметрии с указанием номера канала и типа ошибки (искажение/нет ответа).

Аппаратура позволяет выявить:

- искажение или потерю данных, записанных во FLASH память;
- полный отказ элементов;
- превышение потребления тока отдельными интегральными микросхемами (ИМС);
- температуру платы с ИМС.

Структурная схема прибора показана на рисунке 3.

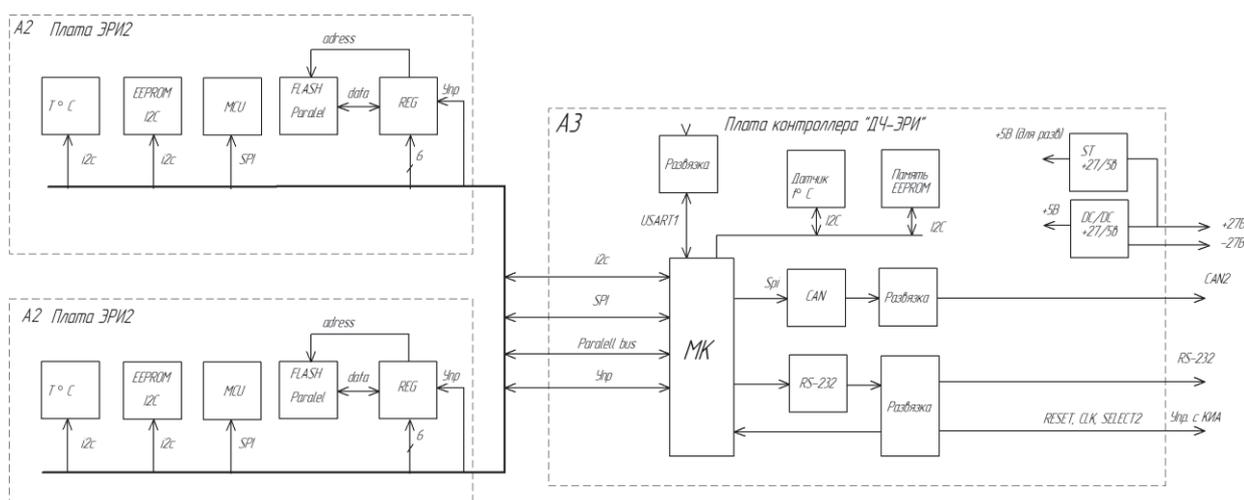


Рисунок 3 - Структурная схема модуля ДЧ-ЭРИ

Исследуется работоспособность следующих ЭРИ:

- микросхемы FLASH памяти различных типов;
- микроконтроллеры типа AVR. В качестве образцов используются электронные компоненты, выполненные с различным технологическим процессом – 0,35 мкм,

0,25 мкм и т.д.;

– контроллерный модуль STM32F3 (90 нм).

**МОДУЛЬ ДЧ-КВАРЦ.** Для контроля уноса массы с поверхности используется универсальный частотный метод. В качестве преобразователя в этом методе используется кварцевый элемент, включенный в контур генератора частоты. Принцип действия кварцевого преобразователя основан на зависимости частоты генерируемых сигналов от изменения массы кварцевого элемента в процессе осаждения пыли на его поверхность. С увеличением массы элемента его резонансная частота падает.

Структурная схема кварцевых весов, удовлетворяющая этим условиям, приведена на рисунке 4.

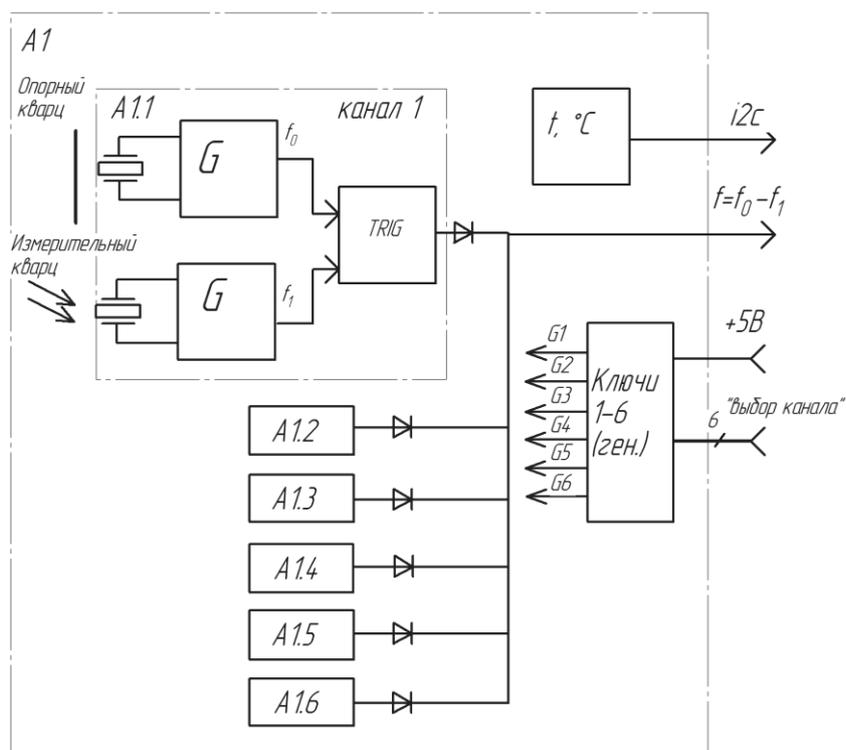


Рисунок 4 – Структурная схема кварцевых весов

Для минимизации температурных влияний пара кристаллов с одинаковыми температурными характеристиками, а также с практически одинаковыми частотами установлены на одной основе на малом расстоянии друг от друга, так что они находятся при одной и той же температуре. Регистрирующий кристалл принимает на себя поток пыли, в то время как контрольный кристалл изолирован от окружающей среды. Каждый кристалл имеет свой собственный генератор (генератор регистрирующего кристалла и генератор контрольного кристалла). С выходов генераторов сигналы поступают на смеситель, на выходе которого образуется разностная частота. Так как контрольный кристалл изолирован от окружающей

среды, изменение частоты сигнала на выходе смесителя может быть вызвано исключительно изменением массы на регистрирующем кристалле. Частота сигнала со смесителя лежит в килогерцовом диапазоне, ее легче передать, чем частоту кристаллов (10-25 МГц). Применение контрольного кристалла и смесителя минимизирует влияние температурных изменений. Дальнейшая минимизация температурных влияний возможна путем выбора генератора и смесителя, которые имеют также низкочастотные температурные коэффициенты в диапазоне рабочих температур. Разностная частота с выхода смесителя поступает на формирователь импульсов, преобразующий синусоидальный сигнал в последовательность импульсов той же частоты следования. Счет импульсов с выхода частотного дискриминатора осуществляется с помощью таймера-счетчика микроконтроллера одного из контроллерных модулей аппаратуры ДЧ-01.

Аппаратура предназначена для установки на МКА «АИСТ-2», срок планируемого запуска – конец 2015 года, срок активного существования – не менее 2 лет. В результате космического эксперимента будут получены результаты по изменению оптических свойств кварцевых стекол марки К-8; уменьшению массы тонких пленок различных диэлектриков (например, каптона); отказоустойчивости микросхем памяти, выполненных с разным технологическим процессом (0,09-0,35мкм). Эти данные будут полезны для уточнения существующих математических моделей влияния факторов космического пространства и производства микросхем.