

УДК 621.398 DOI 10.30894/issn2409-0239.2022.9.2.73.76

Интеллектуальные датчики. Встроенный датчик состояния бортовых приборов

Г. Г. Комальдинов, *contact@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Т. Т. Мамедов, *к. т. н., tamedov.tt@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

О. Е. Хромов, *к. т. н., contact@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. Одной из важнейших задач при штатной эксплуатации и летных испытаниях космических аппаратов (КА) является диагностика и прогнозирование состояния его бортовых систем. Существующие системы измерений, включающие бортовую телеметрическую систему, датчики, привлекаемые средства наземного и бортового контуров управления, зачастую не обеспечивают необходимое качество информации для прогнозирования состояния КА и принятия управленческих решений. Это связано с объективными проблемами, многие из которых могут быть устранены созданием интеллектуальных встроенных датчиков состояния бортовых приборов. Предложены и сформулированы первоочередные задачи в направлении создания таких датчиков и общие вопросы внедрения в современные телеметрические системы интеллектуальных датчиков. Предлагаемое применение интеллектуальных датчиков для аппаратуры сбора информации в телеметрических системах позволит обеспечить полноту и качество телеметрической информации при анализе причин возникновения нештатных ситуаций, контролировать температурные и механические воздействия на бортовую аппаратуру на всех этапах жизненного цикла, увеличить объем отработочных испытаний бортовой аппаратуры на этапе комплексных и летных испытаний.

Ключевые слова: датчики, телеметрия, прогнозирование, диагностика, летные испытания

Intelligent Sensors. Built-in Onboard Instrument Status Sensor

G. G. Komaldinov, *contact@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

T. T. Mamedov, *Cand. Sci. (Engineering), tamedov.tt@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

O. E. Khromov, *Cand. Sci. (Engineering), contact@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

Abstract. One of the most important tasks in the normal operation and flight tests of spacecraft (SC) is the diagnostics and prediction of the state of its onboard systems. Existing measurement systems, including the onboard telemetry system, sensors, and the involved means of ground and onboard control loops, often do not provide the necessary quality of information for predicting the state of the spacecraft and making management decisions. This is caused by objective problems, many of which can be eliminated by the creation of intelligent built-in sensors for monitoring the state of on-board devices. Priority tasks in the direction of creating such sensors and general issues of introducing intelligent sensors into modern telemetry systems are proposed and formulated. The proposed use of intelligent sensors for data collection equipment in telemetry systems will ensure the completeness and quality of telemetry information when analyzing the causes of emergency situations, control temperature and mechanical effects on on-board equipment at all stages of the life cycle, increase the volume of development tests of on-board equipment at the stage of complex and flight tests.

Keywords: sensors, telemetry, forecasting, diagnostics, flight tests

Общие положения

Основной задачей анализа нештатных ситуаций, происходящих на борту изделий ракетно-космической техники, является достоверное определение причин их возникновения. Это необходимо для последующего принятия эффективных решений по парированию текущих замечаний и исключению их повтора.

Исходными данными для анализа служит вся информация о функционировании изделий перед и во время возникновения нештатных ситуаций, в том числе телеметрическая информация.

Крайне важной является телеметрическая информация, характеризующая такие важные параметры, как:

- качество питания,
- температурный режим,
- уровни механических нагрузений.

Это справедливо для большинства бортовых приборов, независимо от функционального назначения. Зачастую указанной телеметрической информации недостаточно по вполне объективным причинам. Остановимся на каждом из перечисленных выше параметров.

Контроль качества электропитания

В табл. 1 представлены характеристики качества электропитания, обеспечиваемые системами электропитания бортовой аппаратуры. В табл. 2 приведены существующие и требуемые возможности телеметрических систем контроля параметров электропитания [1].

Для параметров, характеризующих качество питания, это прежде всего связано с ограничением частоты опроса датчиков напряжений [1]. Традиционно для таких датчиков она составляет не более 100 Гц, следовательно, фиксироваться будут всплески или просадки напряжения длительностью не менее 20 мс (два измерения на всплеск/просадку). В то же время в технических заданиях (ТЗ) на бортовую аппаратуру (БА) задается требование отсутствия просадок длительностью в единицы микросекунд, поэтому частота опроса при этом составляет сотни килогерц. С точки зрения телеметрирования

Таблица 1. Типовые характеристики качества электропитания

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение бортовой сети, В	27
Максимальный разброс напряжения бортовой сети, В	±5
Броски напряжения электропитания бортовой сети (БС): – амплитуда, В, не более – длительность, мс, не более	±5 20
Просадки напряжения БС: – амплитуда, В, до – длительность, мс, до	22 200
Пусковой ток БА: – длительность по уровню $3I_{\text{ном}}$, мс, не более – длительность по уровню $2I_{\text{ном}}$, мс, не более – скорость нарастания, А/мс, не более	10 200 3

* где $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток.

Таблица 2. Возможности телеметрических систем для контроля качества электропитания

Наименование	Фактическое значение	Требуемое значение
Типовая частота опроса датчиков тока, датчиков напряжения и напряжения источника электропитания исходя из необходимости качественной фиксации нарушения питания, Гц	Не более 100	Не менее 4000
Минимальная длительность фиксируемого события при условии измерения более чем в 5 точках, мс	50	1
Измерение напряжения	Да	Да
Измерение тока	Нет	Да

параметров питания следует также отметить необходимость фиксации с сопоставимой скоростью токов потребления. Величина их бросков обычно

ограничена требованиями ТЗ на БА, что целесообразно контролировать, и дает дополнительную информацию о функционировании БА, например о воздействии дестабилизирующих факторов космического пространства. Многократное увеличение частоты опроса датчиков по цепям питания однозначно требует предварительной обработки, сжатия, до выдачи информации в телеметрическую систему.

Возникают следующие трудности для обеспечения более достоверного контроля электропитания телеметрическими системами:

- частота опроса параметров питания в настоящее время недостаточна для качественной фиксации нарушения питания и последующего анализа нештатных ситуаций;

- прямое увеличение частоты опроса параметров питания всех бортовых систем КА до 4000 Гц и более невозможно из-за ограниченности информативности каналов между ТМС и бортовым комплексом управления (БКУ) и между ТМС и наземным комплексом управления (НКУ).

Для обеспечения более достоверного контроля электропитания телеметрическими системами предлагается создать интеллектуальные датчики со встроенной обработкой прямых измерений, требования к которым приведены в табл. 3. Выходной информацией будут пакеты данных, описывающих зафиксированные нарушения питания за заданный интервал времени.

Таблица 3. Требования к датчикам контроля питания

Наименование требования	Значение требования
Тип датчика	Совмещенный тока и напряжения
Интерфейс	RS485 гальванически развязанный
Погрешность измерений	$\pm 2,5\%$
Встроенная тарифовочная таблица	Да
Измерение напряжения БС в диапазоне, В	От минус 10 до плюс 40
Измерение тока в диапазоне, А	От минус 1 до плюс 50
Частота опроса, кГц	До 4

Контроль соблюдения температурного режима

Датчики, контролирующие соблюдение температурного режима работы, обычно устанавливают вне БА [2]. В этом случае измеренная температура может отличаться от реальной за счет внутреннего тепловыделения, что может быть причиной возникновения нештатных ситуаций. Поэтому в приборы с большим тепловыделением следует устанавливать встроенный температурный датчик. Как правило предельная рабочая температура окружающей среды составляет от минус 50 °С до плюс 50 °С, а предельная рабочая температура электронной компонентной базы (за исключением соединителей) — от минус 50 °С до плюс 85 °С. Частота опроса температурных датчиков достаточна для контроля температуры и составляет не более 3 Гц.

Для выявления причин нештатного функционирования необходимо увеличение точек измерения температуры [3]. Необходимо размещать датчики температуры на привалочных поверхностях БА и внутри БА в местах (элементах) наибольшего тепловыделения и вблизи термочувствительных элементов, в то время как нынешние возможности позволяют размещать температурные датчики вне БА. Прямое увеличение количества температурных датчиков внутри БА приведет к существенному росту масс кабельной сети и ТМС изделия.

Для увеличения достоверности контроля соблюдения температурного режима телеметрическими системами предлагается разработать интеллектуальное устройство опроса температурных датчиков со встроенной обработкой прямых измерений. Выходной информацией будут пакеты данных, описывающих зафиксированные нарушения теплового режима за заданный интервал времени и температурного градиента между внутренними узлами БА и внешней поверхностью БА.

Измерение механических нагрузений

Измерение уровней механических нагрузений также требует размещения соответствующих датчиков внутри БА. Кроме того, потребуется

соответствующее согласующее устройство и средства предварительной математической обработки.

В настоящее время датчики измерения механических нагрузений возможно расположить лишь на элементах конструкции КА, в то время как требуется располагать на корпусах БА. Нынешний этап жизненного цикла БА, обеспеченный измерениями, подразумевает наземную экспериментальную обработку БА и эксплуатацию в составе изделия, в то время как требуемые ресурсы телеметрии затрагивают транспортировку от изготовителя БА на головное предприятие, летные испытания и штатную эксплуатацию.

Установка датчиков прямых измерений вибраций в БА [2] на этапах летных испытаний и штатной эксплуатации невозможна из-за ограниченности информативности каналов ТМС-БКУ и ТМС-НКУ. Проблема может быть решена созданием датчиков встраиваемых в конструктивные элементы БА с внутренней обработкой и сжатием прямых измерений. Выходной информацией будут пакеты со спектральными характеристиками механических нагрузений за заданный интервал времени.

Заключение

Предлагаемые датчики целесообразно устанавливать в БА всех систем. Однако если использовать существующие датчики, то понадобится из каждой системы прокладывать многожильные кабели до телеметрической системы. Одновременно для трансляции этой информации с требуемым качеством в НКУ и БКУ надо выделять соответствующий ресурс в каналах передачи [3].

Возникают следующие трудности перехода к интеллектуальным датчикам:

- замена прямых измерений на измерения интеллектуальных датчиков приведет к необходимости разработки пакетного протокола обмена «интеллектуальный датчик»–ТМС;

- внедрение пакетного протокола обмена «интеллектуальный датчик»–ТМС потребует внесения соответствующих дополнений в ТЗ на перспективные унифицированные ТМС.

В рассматриваемом случае к протоколу обмена «интеллектуальный датчик»–ТМС предъявляются следующие требования:

- 1) интерфейс — гальванически развязанный RS485;

- 2) точность привязки пакета к шкале времени ТМС не хуже 20 мкс;

- 3) запись информации датчика в зеркало ТМС с обеспечением индивидуального доступа к каждому байту пакета средствами обмена с НКУ и БКУ.

Указанные выше проблемы могут быть решены созданием интеллектуального встроенного датчика состояния бортовых приборов. Следует также отметить востребованность в таких датчиках в области диагностики и прогнозирования. Ниже сформулированы первоочередные задачи в этом направлении, которые включают в себя:

- определение протокола подключения интеллектуальных датчиков к телеметрическим системам;
- подготовку исходных данных для требуемых датчиков;

- подготовку исходных данных для алгоритмов обработки результатов измерений;

- разработку проекта технических требований к интеллектуальному встроенному датчику состояния бортовых приборов.

Предлагаемое создание и применение интеллектуальных датчиков для аппаратуры сбора информации в телеметрических системах позволит:

- обеспечить полноту и качество телеметрической информации при анализе причин возникновения нештатных ситуаций;

- контролировать температурные и механические воздействия на бортовую аппаратуру на всех этапах жизненного цикла, начиная с отгрузки и транспортировки;

- увеличить объем отработочных испытаний бортовой аппаратуры на этапе комплексных и летных испытаний.

Список литературы

1. Назаров А.В. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс / А.В. Назаров, Г.И. Козырев, И.В. Шитов и др. СПб: Наука и техника, 2007. 672 с.
2. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2005. 589 с.
3. Хромов О.Е. Новые информационные технологии измерений и управления КА // М.: Двойные технологии, 2007, № 2(39). С. 67–73.