

УДК 629.7.05

А. Л. Макаров, А. Г. Меланченко, В. С. Нагорнов

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпропетровськ

ОБ ОДНОМ НАПРАВЛЕНИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассматриваются вопросы использования систем измерения с распределенным интеллектом в составе перспективных автоматических космических аппаратов (АКА) разработки ГП «КБ «Южное». Представлены результаты анализа применимости стандарта IEEE 1451 для создания бортовых систем измерения АКА. На примере АКА «Сич-2» показаны возможные преимущества реализации предложенного подхода.

ВВЕДЕНИЕ

Управление сложной технической системой, каковой является космический аппарат, невозможно без осуществления контроля параметров системы (движения, состояния подсистем, качества выполняемых функций и т. п.) и наличия обратных связей по контролируемым параметрам. Для контроля параметров используются датчики, или, по терминологии стандарта IEEE1451 [3], измерительные преобразователи (transducers) — «устройства, преобразующие энергию из одной формы в другую, и откалиброванные для минимизации погрешностей преобразования». Помимо собственно датчиков, в состав системы измерения (СИ) входят также устройства согласования по уровню и форме сигнала, или просто согласующие устройства (signalconditioners), регистрации, обработки или передачи данных контроля.

Бортовые системы измерения автоматических космических аппаратов (АКА) традиционно используют датчики, формирующие на выходе электрические сигналы, и состоят из двух подсистем. Первая из них входит в состав системы управления (СУ) АКА и содержит датчики, задействованные в контуре автоматического управления полетом: прежде всего это датчики

параметров движения АКА и его ориентации, а также датчики состояния аппаратуры СУ. Вторая подсистема — это подсистема телеметрических измерений (СТИ), обеспечивающая контроль параметров состояния всех подсистем АКА (включая параметры состояния самой СТИ), параметров окружающей среды, ресурсные параметры АКА. Основным отличием СТИ является то, что обработка ее информации осуществляется не на борту АКА, а на Земле, в Центре управления полетом. Бортовые СИ пилотируемых КА (ПКА), как правило, дополнительно имеют в своем составе специфические подсистемы, такие как подсистема биомедицинского контроля состояния экипажа, подсистема отображения контролируемых параметров на бортовых мониторах и т. п.

Несмотря на функциональное сходство подсистем СИ АКА, их технический облик существенно различается. Датчики СУ, в особенности измерители параметров углового движения АКА, обладают встроенными средствами предварительной обработки измерений, подключаются к СУ через цифровые каналы связи и выполняются резервированными, по крайней мере на уровне интерфейса обмена данными с бортовым компьютером СУ. С другой стороны, в составе СТИ до сих пор используется большое количество индивидуальных датчиков различных типов, каждый из которых подключается к устройству

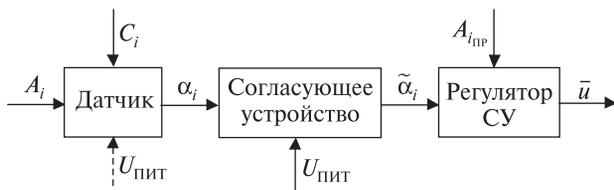


Рис. 1. Архитектура измерительной части системы управления (см. текст)

сбора данных подсистемы отдельной линией связи. Большое количество этих линий и, соответственно, значительная масса кабельной сети СТИ не позволяет резервировать датчики, что неизбежно снижает надежность измерений.

Повышение требований к отказоустойчивости и живучести АКА в целом и СУ в частности требует дооснащения системы управления развитыми средствами обнаружения и локализации отказов (СОЛО). Их работа потребует подключения к СУ значительного количества датчиков, которые в настоящее время контролируются средствами СТИ, что, в свою очередь, предполагает ужесточение требований к датчикам в части сопряжения с бортовым компьютером и резервирования.

Настоящая статья посвящена созданию бортовой СИ для перспективных АКА, обладающей распределенным интеллектом. Рассматривается архитектура основных подсистем СИ АКА — измерительной части СУ и СТИ, представлены результаты анализа возможностей применения стандарта IEEE 1451 для совершенствования СТИ и информационного обеспечения СОЛО. На примере СТИ АКА «Сич-2» будут приведены некоторые количественные показатели, характеризующие эффективность построения СИ с распределенным интеллектом.

АРХИТЕКТУРА ПОДСИСТЕМ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Рассмотрим вначале архитектуру измерительной части СУ. В общем виде ее можно отобразить структурной схемой, представленной на рис. 1. Здесь α_i — электрический сигнал, соответствующий контролируемому параметру A_i , C_i — сигнал калибровки i -го датчика, $\tilde{\alpha}_i$ — сигнал α_i , преобразованный по уровню и форме для согласо-

вания с регулятором СУ, $A_{i\text{пр}}$ — программное (целевое) значение параметра A_i , \mathbf{u} — вектор управления, обычно формируемый замкнутой СУ по рассогласованию между векторами \mathbf{a} и $A_{i\text{пр}}$, $U_{\text{пит}}$ — внешнее питание (для собственно датчиков оно обычно не требуется, а для согласующих устройств необходимо).

Характеристики сигналов α_i изменялись по мере изменения технологии создания регуляторов СУ. Вначале, когда регуляторы представляли собой аналоговые приборы управления, использовались в основном аналоговые датчики с сигналами в виде изменения напряжения в некотором диапазоне (обычно от 0 до 6 В или от -3 до 3 В), пропорционального величине контролируемого параметра (например, угловой скорости), и дискретные датчики с сигналами в виде фиксированных уровней сопротивления, которые имеют контакты электромагнитных реле при их замыкании/размыкании, и интерпретируемых как булевы переменные (единица — прибор включен, ориентир в поле зрения; ноль — прибор отключен, ориентир вне поля зрения). Каждый датчик подключался к регулятору по отдельной двух- или трехпроводной линии связи.

Затем, когда регуляторы СУ стали создаваться по технологии дискретных аппаратно-реализованных автоматов, широкое распространение получили датчики с импульсно-кодовым выходом, пришедшие на смену чисто аналоговым датчикам. Согласующие устройства таких датчиков обеспечивали формирование сигнала $\tilde{\alpha}_i$ в виде последовательности импульсов, частота следования которых была пропорциональна величине контролируемого параметра. Эта последовательность поступала на реверсивный счетчик на входе регулятора, обеспечивающий подсчет количества импульсов, поступивших в регулятор за фиксированный интервал времени, по которому и вычислялся аргумент управления. Импульсно-кодовые датчики обладали существенно более высокой помехозащищенностью по сравнению с аналоговыми датчиками, и применялись даже после перехода к программно-реализованным регуляторам на базе бортовых компьютеров.

Вместе с тем импульсно-кодовые датчики требовали использования множества радиаль-

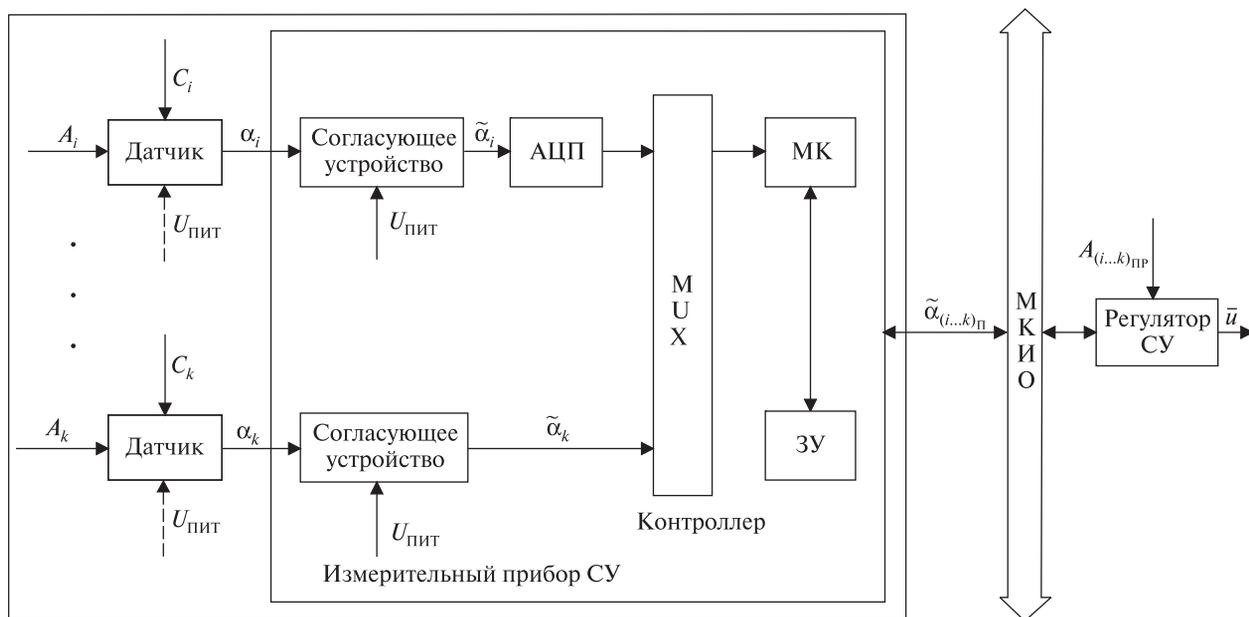


Рис. 2. Архитектура модернизированной измерительной части системы управления (АЦП — аналого-цифровой преобразователь, МУХ — мультиплексор, МК — микроконтроллер, ЗУ — запоминающее устройство, МКИО — мультиплексный канал информационного обмена, — информационный пакет, содержащий оцифрованные и преобразованные значения сигналов $\alpha_{(i...k)П}$, формируемых датчиками $i...k$, остальные обозначения см. на рис. 1)

ных линий связи с бортовым компьютером, а последний должен был комплектоваться развитым устройством ввода-вывода для поддержки интерфейса датчиков. Все это приводило к неудовлетворительным показателям массы и потребляемой мощности СУ в целом. Ситуация изменилась во второй половине восьмидесятых годов прошлого века после разработки и внедрения в космической технике стандартов, определяющих последовательные каналы обмена данными с магистральной (шинной) топологией, таких как Mil-Std-1553B (ГОСТ 26765.52-87) и RS-485 (ГОСТ 18145-81). Поддержка этих стандартов потребовала дооснащения датчиков СУ специальными контроллерами, обеспечивающими форматирование данных измерений в соответствии с требованиями стандартов и обмен с бортовым компьютером. В дальнейшем те же контроллеры стали использовать и для предварительной обработки результатов измерений (фильтрация аномальных значений, преобразование координат и т. п.). Кроме того, контроллеры измерительных приборов СУ стали исполь-

зоваться в качестве локальных устройств сбора и обработки информации низкоуровневых датчиков, встроенных в приборы и характеризующих их состояние (питание, температура и т. п.). Такое изменение архитектуры измерительной части СУ позволило существенно повысить надежность информационного обмена между измерительными приборами и бортовым компьютером, сократить количество линий связи между ними и, тем самым, заметно снизить массу СУ. Структурная схема модернизированной измерительной части СУ представлена на рис. 2.

Однако эти новации практически не затронули архитектуру СТИ, структурная схема которой представлена на рис. 3.

В первых моделях СТИ автоматических КА сбор информации осуществлялся только от отдельных датчиков; ЦТМИ стала использоваться значительно позже, после появления бортовых компьютеров. В настоящее время именно ЦТМИ составляет основной объем данных, проходящих через СТИ, однако количество отдельных датчиков на борту АКА, подключаемых к СТИ собст-

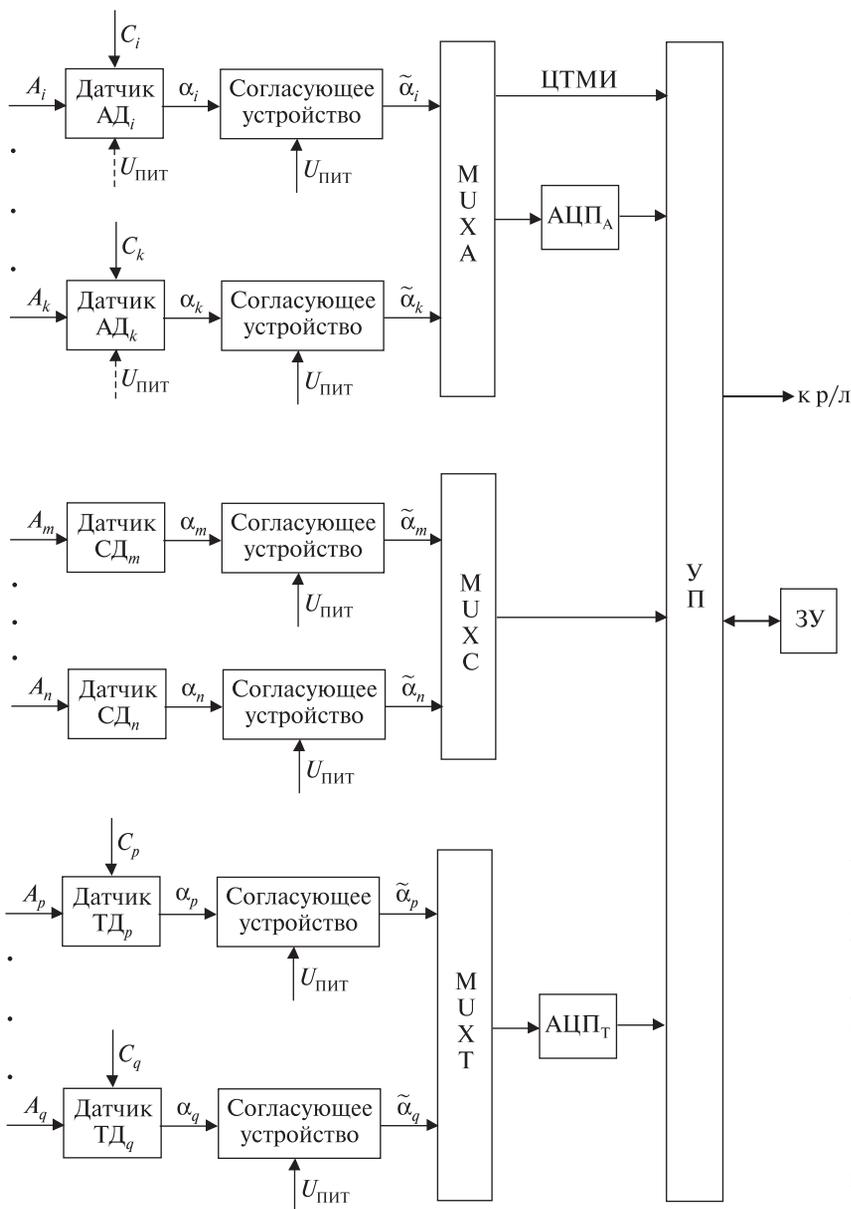


Рис. 3. Архитектура системы телеизмерений (АД — аналоговый датчик, СД — сигнальный датчик, ТД — температурный датчик, МУХА ... МУХТ — мультиплексоры соответствующих датчиков, АЦПА ... АЦПТ — аналого-цифровые преобразователи соответствующих датчиков, ЦТМИ — цифровая телеметрическая информация, УП — устройство пакетирования информации, р/л — радиолиния передачи телеметрии, остальные обозначения см. на рис. 2)

венными линиями связи, по-прежнему остается достаточно большим (десятки — сотни). Для уменьшения длины (и массы) этих линий связи на «больших» КА применялось каскадирование мультиплексоров, принимающих информацию датчиков различных типов. Для современных малых КА этот способ неэффективен, поскольку экономия массы линий связи компенсируется возрастанием массы мультиплексоров. Соответственно для традиционной архитектуры СТИ

сохраняются проблемы низкой помехозащищенности линий связи с датчиками и сложности резервирования последних, что ограничивает возможности использования информации таких датчиков для решения задач СОЛО.

Решение задачи совершенствования архитектуры СТИ в направлении повышения достоверности измерений при одновременном уменьшении массы подсистемы видится в реализации концепции распределенного интеллекта на осно-

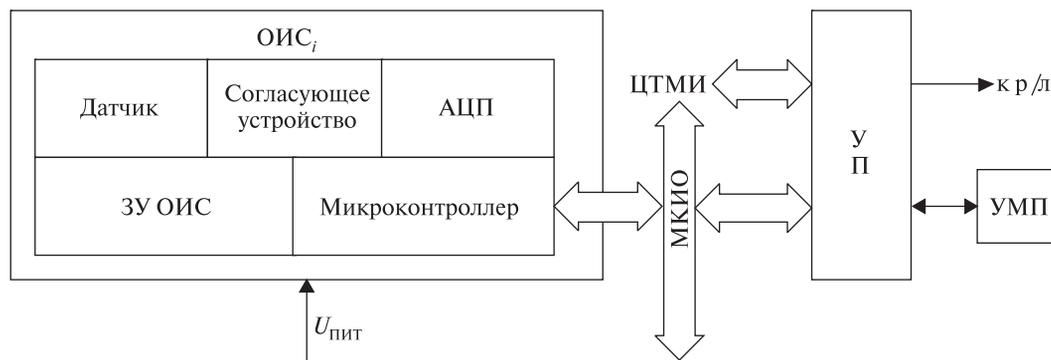


Рис. 4. Архитектура СТИ с распределенным интеллектом (ОИС_i — однокристалльная измерительная система, УМП — устройство массовой памяти, остальные обозначения см. на рис. 2, 3)

ве использования стандарта IEEE 1451. Этот вопрос будет рассмотрен в следующей части статьи.

АРХИТЕКТУРА СТИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ НА БАЗЕ СТАНДАРТА IEEE 1451

Целью разработки стандарта IEEE 1451 фактически является определение общего набора правил, команд и структур данных, обеспечивающих подключения датчиков к СИ с использованием различных каналов связи и соответствующих стандартных протоколов связи «датчик — микропроцессор» в формате электронных таблиц измерительных преобразователей. Ключевым понятием стандарта является «интеллектуальный датчик» (smart sensor) — датчик, выполняющий, помимо корректного представления контролируемой величины, некоторые функции, направленные на упрощение интеграции датчиков в сетевое окружение.

Появление интеллектуальных датчиков обусловлено прогрессом микроэлектроники, в частности переходом к применению пьезоэлектрических, оптоэлектронных и других датчиков, основанных на полупроводниковых технологиях. Полупроводниковые датчики используют эффекты зависимости электрических характеристик транзисторов от температуры, освещенности, давления, напряженности магнитного поля и других физических величин. С другой стороны, применение полупроводниковых датчиков позволяет интегрировать их с микроконтроллерами, в результате чего создаются специализи-

рованные однокристалльные информационные системы — интеллектуальные датчики.

Интеграция датчика с микроконтроллером позволяет решить две основные задачи — упростить интеграцию датчиков в систему измерения и компенсировать погрешности измерения в самом датчике. Эти задачи решаются путем перераспределения функций СТИ таким образом, чтобы датчики можно было подключать непосредственно к входу УП, аналогично ЦТМИ, как показано на рис. 4.

Такая архитектура предполагает, что датчики, преобразованные в однокристалльные измерительные системы, выдают информацию в УП в цифровом виде через мультиплексный канал информационного обмена после выполнения всех необходимых операций калибровки и предварительной обработки. Данные, необходимые для предварительной обработки измерений, хранятся локально в ЗУ ОИС, а общая (массовая) память СТИ используется только для хранения сформированных в УП пакетов информации ОИС и пакетов ЦТМИ. Подключение ОИС непосредственно к МКИО СТИ существенно упрощает задачу модернизации подсистемы в процессе экспериментальной отработки КА и расширяет возможности применения подсистемы в различных проектах.

Разработка стандарта IEEE 1451 была начата в 1990-е годы Институтом инженеров по электротехнике и электронике и Национальным институтом стандартов и технологии США. На

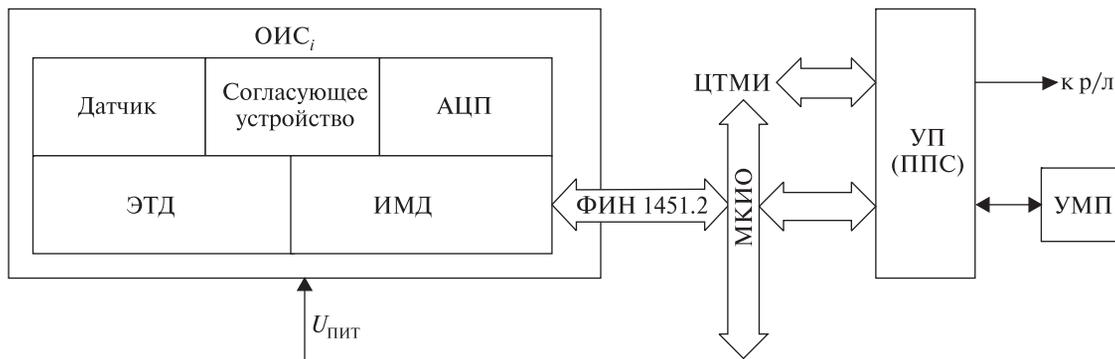


Рис. 5. Архитектура СИ с распределенным интеллектом по стандарту IEEE 1451

сегодняшний день разработано восемь частей указанного стандарта:

- 1451.0 (2007 г.) — общие функции, коммуникационные протоколы и форматы электронных таблиц измерительных преобразователей
- 1451.1 (1999 г.) — информационная модель прикладного процессора, допускающего сетевое подключение
- 1451.2 (1997 г.) — коммуникационные протоколы «датчик — микропроцессор» и форматы электронных таблиц измерительных преобразователей для асинхронных проводных последовательных каналов
- 1451.3 (2003 г.) — цифровые коммуникационные протоколы и форматы электронных таблиц для высокоскоростных проводных последовательных каналов в распределенных системах измерения
- 1451.4 (2004 г.) — коммуникационные протоколы и форматы электронных таблиц для смешанных (аналог/цифра) проводных соединений
- 1451.5 (2007 г.) — коммуникационные протоколы и форматы электронных таблиц для беспроводных соединений
- 1451.6 (2009 г.) — коммуникационные протоколы и форматы электронных таблиц для проводных соединений в сетях CAN
- 1451.7 (2010 г.) — коммуникационные протоколы и форматы электронных таблиц для систем радиочастотной идентификации

В соответствии со стандартом IEEE 1451 основными аппаратными элементами архитектуры СИ являются интерфейсный модуль датчика

(ИМД), прикладной процессор, допускающий сетевое подключение (ППС), физический интерфейс (ФИН) обмена данными между ИМД и ППС и внешняя сеть. Различные части стандарта определяют различные типы каналов обмена между ИМД и ППС. Для СИ перспективных АКА с учетом решения задач, поставленных в предыдущей части статьи, наибольший интерес представляет стандарт 1451.2 [4].

Основными программными элементами архитектуры СИ являются электронные таблицы измерительных преобразователей (ЭТД), резидентное ПО ИМД и ППС, обеспечивающее их взаимодействие, и дополнительное ПО ППС, обеспечивающее его взаимодействие с внешней сетью. С учетом изложенного структурная схема СИ АКА (рис. 4) может быть уточнена (см. рис. 5).

Рассмотрим перечисленные элементы подробнее. ИМД выполняет функции, необходимые для формирования ответа ППС на его запрос информации датчика и для предоставления ППС сведений о состоянии датчика. При этом стандарт IEEE 1451 не регламентирует порядок согласования сигналов аналоговых датчиков по уровню и форме и их аналого-цифрового преобразования, несмотря на то, что физически компоненты, обеспечивающие решение этих задач, входят в состав ИМД. Таким образом, на схеме ОИС (рис. 5) в состав измерительного преобразователя входят собственно датчик, согласующее устройство и АЦП.

По запросу ППС ИМД упаковывает информацию преобразователя в соответствии с конк-

ретным форматом данных, сведения о котором хранятся в ЭТД. Сформированный пакет через ФИН передается в ППС по командному запросу последнего. Сведения о допустимых для данного ИМД запросах также содержатся в ЭТД. Кроме того, в соответствии со стандартом ИМД должен иметь два 32-разрядных регистра состояния, в которых хранятся данные о состоянии ОИС. Эти данные также могут быть считаны по командному запросу ППС. Стандарт допускает также возможность самостоятельного формирования запросов в ИМД для информирования ППС о потенциальных проблемах ОИС.

ППС фактически является шлюзом между интеллектуальными датчиками и внешней сетью. Он обеспечивает инвариантность СТИ по отношению к типу используемой внешней сети. Стандарт IEEE 1451 не определяет спецификацию соединения ППС с внешней сетью, что позволяет разрабатывать различные модификации ППС и интегрировать СТИ в различные сетевые окружения.

ЭТД хранится, как правило, в энергонезависимой памяти ИМД и содержит информацию о датчике, соединенном с ИМД и о реализации ФИН данного ИМД. Стандарт IEEE 1451.0 определяет широкую номенклатуру данных, хранимых в ЭТД, что позволяет использовать различные типы датчиков. В общем случае ЭТД должна содержать всего четыре поля: метаданные (уникальный идентификатор данного ИМД

и сведения о датчиках, если к ИМД подключено более одного датчика), данные измерительного преобразователя (тип датчика, физическая единица его выходной информации, диапазон ее изменения, тип цифрового представления информации датчика, постоянные времени инициализации датчика и формирования выходной информации), наименование измерительного преобразователя (имя датчика, присваиваемое пользователем СТИ), и параметры ФИН данного ИМД. Дополнительно в состав ЭТД могут быть включены данные о калибровке датчика, его передаточной функции, и другая информация, определяемая изготовителем датчика. Таким образом, ЭТД представляет собой стандартизованный инструмент определения свойств различных датчиков, что позволяет разработчикам программного обеспечения СТИ использовать один и тот же код при изменениях состава и количества датчиков, подключаемых к СТИ в различных проектах.

Стандарт IEEE 1451.2 определяет ФИН как 10-проводный тактируемый последовательный интерфейс, аналогичный последовательному синхронному периферийному интерфейсу SPI. Назначение линий связи приведено в таблице. Тип используемого соединителя стандартом не регламентируется. Как видно, стандарт не предусматривает явным образом резервирования линий интерфейса, однако не исключают его. Учитывая сформулированную выше цель ис-

Сигнальные линии и линии управления физического интерфейса по стандарту IEEE 1451.2
 [<http://www.edtn.com/embapp/emba041.htm>]

Линия	Источник	Приемник	Функция
DIN	ППС	ИМД	Передача адреса и данных из ППС в ИМД
DOUT	ИМД	ППС	Передача данных из ИМД в ППС
DCLK	ППС	ИМД	Тактирование данных в линиях DIN и DOUT по переднему фронту
NIOE	ППС	ИМД	Сигнализация активности передачи данных и разделение кадров данных
NTRIG	ППС	ИМД	Стартовый/стоповый сигналы
NACK	ИМД	ППС	Квитирование стартового/стопового сигналов и передачи данных
NINT	ИМД	ППС	Используется ИМД для запроса обслуживания от ППС
NSDET	ИМД	ППС	Используется ППС для обнаружения наличия ИМД на интерфейсе
POWER	—	ИМД	Питание напряжением (5 ± 0.2) В постоянного тока
COMMON	—	ИМД	Общий

пользования информации СТИ для решения задач СОЛО, резервирование линий интерфейса представляется необходимым.

Однако с учетом даже однократного резервирования количество линий ФИН возрастает до 20, что делает его применение нерациональным. Учитывая наличие микроконтроллеров на обоих концах ФИН (ИМД и ППС), представляется целесообразным реализовать ФИН в виде асинхронного полудуплексного интерфейса типа RS-485 на базе унифицированных асинхронных приемопередатчиков, которые физически входят в состав большинства современных микроконтроллеров. Если при этом в качестве протокола использовать протокол YSSP, применяемый для обмена информацией между СУ и смежными подсистемами АКА, то отпадает необходимость использования отдельных сигнальных линий для управления процессом обмена данными, так как протокол YSSP обеспечивает управление с помощью специальных запросов.

С учетом изложенного количество линий связи ИМД с ППС может быть сокращено до трех (прямой и инверсный дифференциальный вход/выход и общий), а с учетом резервирования — до шести. Что касается линии питания ИМД (и ОИС в целом), то стандарт IEEE 1451.2 допускает подачу питания как через интерфейс связи ИМД с ППС (этот вариант показан в таблице), так и по отдельной линии от внешнего источника питания. При использовании предлагаемого интерфейса типа RS-485 организация питания ОИС через интерфейс потребует введения дополнительно двух линий (положительной и отрицательной полярности), поскольку использование на борту АКА однополярного питания относительно общего провода нежелательно с точки зрения электромагнитной совместимости.

Для питания ОИС, встроенных в электрические подсистемы или приборы АКА, предпочтительным представляется использование вторичных источников питания, входящих в состав соответствующих подсистем. ОИС, обеспечивающие контроль параметров конструкции АКА (прежде всего температуры), целесообразно запитывать от ППС (УП СТИ) через интерфейсные кабели RS-485. Ниже будет рассмотрено

на реализация фрагмента СИ с распределенным интеллектом на примере контроля параметров сканера среднего ИК-диапазона (ССИК), входящего в состав полезной нагрузки АКА «Egypt-Sat-1» и «Сич-2».

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ НА ПРИМЕРЕ АКА «СИЧ-2»

Состояние и режимы работы ССИК [1] на борту АКА «Сич-2» контролируется тремя сигнальными и пятью температурными датчиками. Сигнальные датчики, в качестве которых использовались незапитанные контакты электромагнитных реле, обеспечивали контроль наличия включения питания ССИК, включения основного или резервного комплекта системы стабилизации температуры оптико-механического блока прибора. Резервирование сигнальных датчиков не предусматривалось. Каждый датчик подключался к соответствующему входу мультиплексора (на рис. 3 посередине) с помощью двухпроводной линии связи; всего для контроля сигнальных параметров состояния ССИК использовалось шесть проводов.

Для контроля температуры ССИК использовалось пять термометров сопротивления ТМ-232: три из них контролировали температуру оптико-механического блока сканера, а два других — температуру каждого из двух электронных блоков обработки сигналов. Размеры термометра сопротивления ТМ-232 в плане — 10 × 20 мм. Резервирование температурных датчиков также не предусматривалось. Каждый датчик подключался к соответствующему входу мультиплексора (на рис. 3 внизу) с помощью трехпроводной линии связи; всего для контроля температуры ССИК использовалось 15 проводов. Измерение температуры обеспечивалось с погрешностью ±3 % (примерно 1.5 °С).

Вместо термометров сопротивления ТМ-232 целесообразно использовать полупроводниковые датчики температуры типа TMP05 [http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/.pdf], серийно производимые компанией AnalogDevices, США, и совместимые со стандартом IEEE 1451. Эти датчики выпускаются в

миниатюрных корпусах Sc70 (размеры в плане 2×2.1 мм), обладают высокой точностью (от 1.0 °С в диапазоне 70 °С до 0.3 °С в диапазоне 25 °С), совместимы по уровням выходных сигналов (CMOS/TTL) с большинством современных микроконтроллеров и допускают последовательное подключение нескольких датчиков к одному контроллеру.

На выходе такой датчик формирует последовательности импульсов высокого уровня Т1 с постоянной длительностью и низкого уровня Т2 с переменной длительностью, которая пропорциональна измеряемой температуре. Длительность импульсов Т1 и Т2 можно подсчитать таймером-счетчиком, который входит в состав практически любого микроконтроллера, после чего температура вычисляется программно по формуле вида

$$T = K_1 + K_2 \frac{\tau_1}{\tau_2},$$

где T — измеряемая температура, τ_1 и τ_2 — измеренная длительность импульса Т1 и Т2 соответственно, K_1 и K_2 — индивидуальные калибровочные коэффициенты датчика, которые хранятся в его локальной памяти.

Датчики TMP05 последовательно подключаются ко входу микроконтроллера, реализующего функции ИМД ССИК, который будет принимать результаты всех температурных измерений прибора. Выход микроконтроллера используется для запуска измерений температуры цепочкой датчиков. Измерение температуры начинается после приема первым в цепочке температурным датчиком стартового импульса с выхода микроконтроллера. Стартовый импульс ИМД поступает на вход CONV/IN датчика. Первый температурный датчик после приема стартового импульса осуществляет измерение температуры, и результат измерения в виде последовательности импульсов Т1 и Т2 пересылает на вход CONV/IN второго датчика. После импульсной последовательности на этот же вход второго датчика первый датчик посылает стартовый импульс для начала измерения температуры вторым датчиком. Таким образом, вход CONV/IN датчика выполняет две функции: он служит для приема импульсной последовательности от предыдущих

датчиков и для приема стартового импульса для проведения собственных измерений. При последовательном подключении каждый температурный датчик, за исключением первого, выступает в качестве буфера для сигналов температурных измерений от стоящих перед ним датчиков. После того как датчик TMP05 передаст ИМД последовательность результатов измерений других датчиков, он добавляет в конец этой последовательности свои результаты измерений. После импульсной последовательности результатов измерений всегда следует стартовый импульс. В итоге на вход микроконтроллера поступают результаты измерений от температурных датчиков со стартовым импульсом от последнего датчика в конце последовательности.

Взамен ранее применявшихся сигнальных датчиков целесообразно использовать оптопары с логическим выходом, например типа HCPL2611 производства компании Fairchild, США, которые достаточно широко используются в бортовом оборудовании АКА «Сич-2». Такие сигнальные датчики подключаются к микроконтроллеру СТИ, вновь вводимому в состав ССИК, который будет формировать готовые телеметрические пакеты с информацией о состоянии датчиков. В итоге необходимость подвода к каждому датчику отдельных линий от коммутаторов исключается, вся информация о состоянии датчиков собирается в приборе, и по одной цифровой линии интерфейса RS-485 передается в систему измерения.

Таким образом, для контроля параметров состояния ССИК потребуется не 21, а всего 6 проводов, при этом будет обеспечено дублирование линий связи, что позволит повысить достоверность измерения и использовать информацию датчиков СТИ для информационного обеспечения СОЛО.

Для измерения малых токов в тех приборах АКА, где это необходимо (например, для контроля мощности выходного сигнала в радиопередающих устройствах), вместо используемых в настоящее время аналоговых датчиков различных типов также целесообразно перейти к применению полупроводниковых датчиков, таких как датчики тока серии MAX471 со встроенным

шунтом и усилительной схемой производства компании Maxim-Dallas, США.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ГПКБ «Южное» имеет достаточно большой опыт применения полупроводниковых датчиков для создания систем измерения АКА. Однако такие датчики до последнего времени применялись преимущественно в составе измерительной части СУ [2]. Применение полупроводниковых датчиков носило несистематический характер, т. е. датчики подключались к мультиплексорам СТИ индивидуальными линиями связи аналогично «традиционным» датчикам, что не позволяло реализовать их потенциальные преимущества. Более того, такая несистематичность сдерживает распространение полупроводниковых датчиков, поскольку каждый датчик представляет собой функционально более сложное устройство. Например, температурный датчик ТМР05 имеет пять контактов и требует питания напряжением 3—5 В постоянного тока, тогда как «традиционный» температурный датчик ТМ232 имеет всего два контакта и питания не требует (кроме интервала опроса).

С другой стороны, как было показано выше, применение системы полупроводниковых датчиков в соответствии со стандартом IEEE 1451 позволяет существенно повысить эффективность системы измерения АКА. Повышение эффективности СИ при этом достигается как с точки зрения улучшения физических показателей (прежде всего, за счет уменьшения массы кабельной сети СТИ — в рассмотренном примере в семь раз без учета резервирования), так и с точки зрения улучшения функциональных показателей (прежде всего, повышения точности и достоверности измерения). Это, в свою очередь, позволяет упростить интеграцию СТИ и СОЛО, и в конечном итоге создает предпосылки для повышения уровня отказоустойчивости АКА и автономности его функционирования.

1. Система «Січ-2». Космический аппарат МС-2-8. Сканер среднего ИК-диапазона. Документ контроля интерфейсов. MS2 CON ICD 006 03. ГНИП «Конэкс», 2007. — 37 с.
2. Пат. 37505 С2 Україна, МПК (2002) G 01 R 31/02. Електромагнітна система формування керуючих моментів космічного апарату / Большакова І. А., Гладілін В. С., Дмитрієв Б. В. и др.; Заявник і власник патенту — Державне конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля. — № 9904 2336; Заявл. 24.04.1999; Опубл. 15.11.2002, Бюл. № 11.
3. IEEE standard for a smart transducer interface for sensors and actuators — common functions, communication protocols, and transducer electronic data sheet (TEDS) formats, IEEE 1451.0-2007 Standard, <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1451.0-2007.html>.
4. IEEE standard for a smart transducer interface for sensors and actuators — transducer to microprocessor communication protocols and transducer electronic data sheet (TEDS) formats, IEEE 1451.2 Standard, <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1451.2-1997.html>.

Стаття надійшла до редакції 29.03.13

О. Л. Макаров, О. Г. Меланченко, В. С. Нагорнов

ПРО ОДИН НАПРЯМОК УДОСКОНАЛЕННЯ БОРТОВИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

Розглядаються питання використання систем вимірювань з розподілим інтелектом у складі перспективних автоматичних космічних апаратів (АКА) розробки ДП «КБ «Південне». Представлено результати аналізу застосовності стандарту IEEE 1451 для створення бортових систем вимірювань АКА. На прикладі АКА «Січ-2» показано можливі переваги реалізації запропонованого підходу.

A. L. Makarov, A. G. Melanchenko, V. S. Nagornov

ONE APPROACH TO IMPROVEMENT OF SPACE- CRAFT ON-BOARD MEASUREMENT SYSTEMS

We consider some questions of the use of measurement systems with distributed intelligence on-board advance spacecrafts developed at the Yuzhnoye SDO. Some results of an analysis of IEEE 1451 standard applicability to design spacecraft on-board measurement systems are presented. Based on the example of the Sich-2 spacecraft, some possible advantages of the proposed approach implementation are shown.