

УДК 681.5.08

**АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕПЛОвого СОСТОЯНИЯ
НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ**© 2012 В.И. Абрашкин¹, Л.В.Курганская², А.В. Щербак³¹ ФГУП ГНП РКЦ “ЦСКБ-Прогресс”, г. Самара² Институт проблем управления сложными системами РАН, г. Самара³ Самарский государственный университет

Поступила в редакцию 17.10.2012

Рассматривается универсальная автономная система мониторинга теплового состояния научной и экспериментальной аппаратур, устанавливаемой на внешней поверхности космического аппарата “Фотон-М”. Система предназначена для регистрации и обработки данных о температуре в локальных зонах конструкции контейнеров научной аппаратуры при проведении экспериментов в условиях открытого космического пространства. Описаны технический облик системы и ее состав, предложено оригинальное схемотехническое решение для преобразователя “температура-напряжение”

Ключевые слова: измерительная система, регистрация температуры, аппаратура для космических экспериментов.

ВВЕДЕНИЕ

Автономные информационно-измерительные системы широко применяются в научных исследованиях, в управления производственными процессами и в других областях практической деятельности. Такие системы на борту научных космических аппаратов (КА) позволяют получать и обрабатывать большие массивы данных о протекании физических процессов в космическом пространстве, о результатах проведения научных и техно-логических экспериментов на КА, а также о функционировании его бортовых служебных систем. При этом дополнительная, послеполетная обработка получаемой измерительной информации не только многократно повышает ее достоверность, но и может приводить к получению новой информации [1]. Тем не менее, часто возникает необходимость в оперативном контроле текущего состояния научной аппаратуры КА для обеспечения качественного проведения эксперимента или даже необходимость в управлении этим состоянием по результатам текущих измерений параметров аппаратуры и (или) изучаемых в эксперименте процессов, свойств объектов и т.п. Последнее предъявляет весьма

высокие требования как к эксплуатационным, так и к метрологическим характеристикам информационно-измерительных систем для современных научных КА. Особое значение это имеет при проведении экспериментов на КА в условиях открытого космического пространства. Во многих случаях проведение космических экспериментов на борту КА и, в особенности, при проведении биологических экспериментов и интерпретации их результатов, как правило, требуется знание теплового состояния конструкции научной аппаратуры и размещаемых в ней объектов исследования. Это обуславливает необходимость в регистрации температуры отдельных элементов конструкции научной аппаратуры в местах размещения объектов исследования. С этой целью для КА “Бийон-М” и “Фотон-М” в настоящее время разрабатывается универсальный автономный многоканальный регистратор температур (МРТ), предназначенный для измерения в течение орбитального полета текущих значений температуры в определенных постановщиками экспериментов локальных зонах контейнеров научной аппаратуры (КНА), размещаемых на внешней поверхности спускаемого аппарата (СА) (рис. 1).

1. ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЛИК СИСТЕМЫ

Технический облик МРТ в первую очередь определяется его составом. В состав МРТ входят совокупность датчиков температуры (типа НRТС-5760-В), которые непосредственно устанавливаются в заданных локальных зонах КНА (на рис. 2, № 1, 2 и 4), в которых требуется прове-

Абрашкин Валерий Иванович, кандидат технических наук, начальник отдела. E-mail: csdb@samtel.ru

Курганская Любовь Викторовна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник.

E-mail: limbo83@mail.ru

Щербак Андрей Владимирович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник.

E-mail: anshch@yandex.ru.

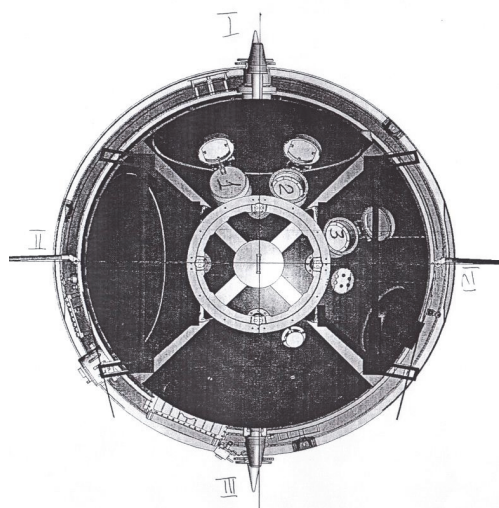


Рис. 1. Вид КА “Фотон-М” со стороны СА и размещение на нем КНА

дение измерений температуры, и блок регистрации данных (БРД), который размещается в герметичном объеме КА, а именно, в его СА [2]. Связь между ними осуществляется с помощью кабеля через герморазъемы, установленные на СА. Указанная измерительная система должна отвечать всем требованиям, которые предъявляются к научной аппаратуре, устанавливаемой на борту КА [1]. К ним относятся требования по живучести и стойкости к внешним воздействиям, обусловленным основными факторами космического пространства, а также ударными, вибрационными, акустическими нагрузками и радиационным воздействием на всех этапах эксплуатации МРТ. В процессе формирования технического облика и эскизного проектирования системы были определены ее следующие основные параметры и характеристики: а) общее время функционирования не менее 65 суток; б) масса – не более 150...200 г (без герморазъемов и кабелей связи); в) диапазон измеряемых температур в пределах $\pm 150^\circ\text{C}$; г) точность измерения во всем диапазоне – до $1,0^\circ\text{C}$; д) количество измерительных каналов – до 32-х. В свою очередь, в состав БРД должны входить следующие основные функциональные узлы (рис. 3): входной коммутатор, предназначенный для переключения измерительных каналов; 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь; микроконтроллер, управляющий режимами работы БРД и процессом обработки первичной измерительной информации; автономный источник питания; энергонезависимая память для хранения информации; интерфейс USB, через который осуществляется тестирование МРТ перед запуском КА и считывание полученных в полете данных из внутренней памяти после завершения полета КА.

С учетом условий эксплуатации и назначения МРТ к данной системе предъявляются весь

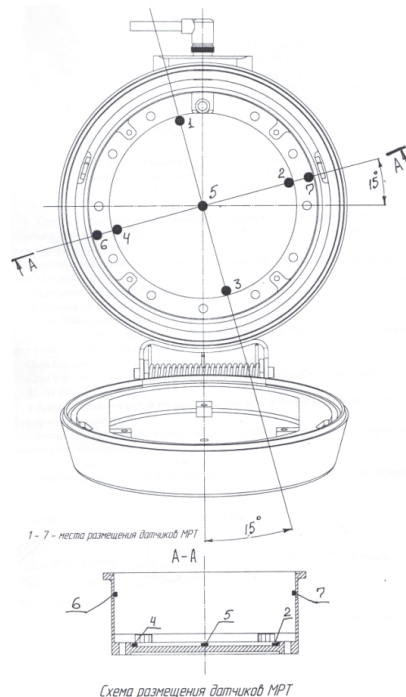


Рис. 2. Размещение датчиков МРТ в КНА

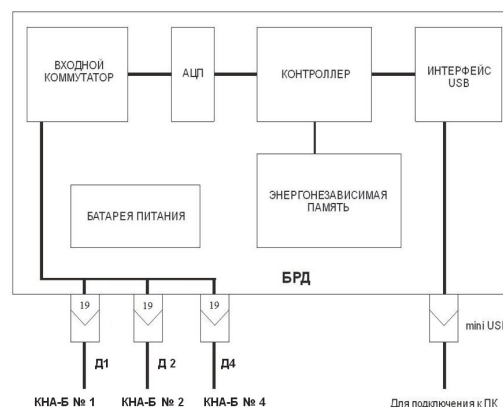


Рис. 3. Функциональная схема БРД

ма жесткие требования по надежности проведения измерений в условиях открытого космического пространства, а также по объему и достоверности получаемой измерительной информации. Выполнение указанных требований было обеспечено на стадии определения технического облика и эскизного проектирования МРТ, включая состав и режимы работы БРД. При разработке опытного образца МРТ дополнительно предусматривается повышение надежности и точности проведения измерений за счет применения специализированного микропрограммного обеспечения, с помощью которого должен осуществляться оперативный и периодический анализ работоспособности основных узлов системы, а также обеспечение сохранности получаемой измерительной информации и восстановления работоспособности системы после сбоев. В связи с этим ответственным этапом является разработка одного из основных

функциональных элементов системы – высоко-точного и надежного преоб-разователя “тем-пература-напряжение” (ПТН), в основе которой должно быть вполне эффективное схемотехни-ческое решение, отличающееся высокой надеж-ностью и простотой реализации.

2. О РАЗРАБОТКЕ ПРЕЦИЗИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ “ТЕМПЕРАТУРА-НАПРЯЖЕНИЕ” ДЛЯ МРТ

Разработку прецизионного преобразователя “температура-напряжение” можно было бы реали-зовать на одной из известных схем включения рас-сматриваемых здесь датчиков температуры (термо-метров сопротивления). Наиболее простой схемой является включение термометров сопротивления в схему моста Уитстона [3, 4] (см. рис. 4а), в одну диа-гональ которого включается источник напряжения, а с другой его диагонали снимается выходной сиг-нал $U_T = U_1 - U_2$, зависящий от температуры датчика, а точнее, от его сопротивления R_T .

Зависимость U_T от R_T для этой схемы (рис. 1а) имеет вид:

$$U_T = U_B \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4 + R_T}{R_3 + R_4 + R_T} \right), \quad (1)$$

где U_B – напряжение питания моста. При вы-полнении условий:

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R; R_T \ll R$, (2)
характеристика датчика линейна с точностью до R_T / R и, стало быть, тогда

$$U_T \cong U_B R_T / 2R. \quad (3)$$

Точность преобразования сопротивления R_T в разность потенциалов (3) зависит от разброса значений сопротивлений $R_1...R_4$, а линейность преобразования – от R_T / R . Приемлемая линейность обычно достигается при $R_T / R \ll 10^{-2}...10^{-3}$, но это обуславливает повышение напряжения питания моста U_B .

Линейная зависимость выходного сигнала $U_T = U_1 - U_2$ от R_T имеет место для схемы

ПТН, приведенной на рис. 4б [4]. В ней постоян-ство рабочего тока датчика обеспечивается за счет стабилизации напряжения на резисторе R_3 , включаемом последовательно с датчиком. Выход-ной сигнал в этом случае будет

$$U_T = -U_B \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_T}{R_3},$$

а коэффициент преобразования здесь зависит как от U_B , так и от R_1, R_2, R_3 . Реализация такого преобразователя требует жесткой стабилизации U_B и тщательного подбора сопротивлений. Недостатком данной схемы является необходимость включения датчика в цепь обратной связи опера-ционного усилителя (ОУ), что усложняет, в свою очередь, схему коммутации каналов МРТ и тре-бует применения коммутирующих ключей с малым внутренним сопротивлением. В связи с этим для разрабатываемого МРТ была предложена схема ПТН с прецизионным источником тока CS (см. рис.4в), которая не требует подбора сопро-тивлений и позволяет исключить влияние внут-реннего сопротивления коммутирующих ключей (RS). Принцип действия этого ПТН состоит в из-мерении падения напряжения U_T непосредствен-но на датчике температуры при протекании через него постоянного тока I_0 , тогда $U_T = I_0 R_T$.

Принципиальная схема ПТН с прецизион-ным источником тока показана на рис. 5. Исто-чник опорного напряжения $A1$ здесь формирует высокостабильное напряжение U_0 , которое по-дается на неинвертирующий вход ОУ $A2$, на вы-ходе которого формируется напряжение, питаю-щее цепь $R2, RT$ так, что напряжение на его ин-вертирующем входе равно напряжению на неинвертирующем входе, т.е. U_0 . На инверти-рующий вход подается напря-жение с выхода дифференциального усилителя $A5$, пропорцио-нальное разности потенциалов на резисторе $R2$. Таким образом, выполняется условие:

$$U_0 = A_5 I_0 R_2,$$

где A_5 – коэффициент передачи дифференциаль-ного усилителя $A5$; I_0 – ток, текущий через последова-

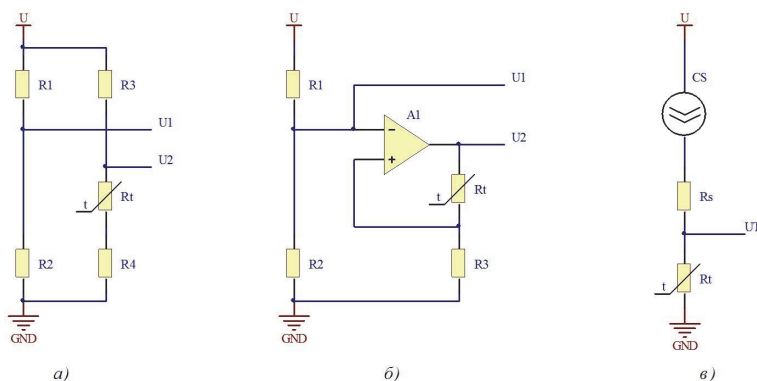


Рис. 4. Схемы включения термометров сопротивления

тельно соединенные элементы R2 и RT. Тогда выходное напряжение преобразователя будет равно:

$$U_T = U_0 R_T / R_2 A_5.$$

т.е. коэффициент преобразования будет определяться значениями опорного напряжения U_0 , сопротивления резистора R2 и коэффициента передачи дифференциального усилителя A5. Проведенные расчеты показали, что здесь относительная погрешность коэффициента преобразования не превышает 0,14%, а абсолютная погрешность измеряемой температуры – 0,35°C, что удовлетворяет требованиям по точности измерений, предъявляемым к МРТ в составе научной аппаратуры КА “Фотон-М”. Предложенный ПТН с прецизионным источником тока обладает высокой линейностью характеристики и позволяет исключить влияние внутреннего сопротивления ключей коммутации. Таким образом, предложенное схемотехническое решение ПТН с прецизионным источником тока удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к МРТ в части как эксплуатационных, так и метрологических характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам эскизного проектирования автономной информационно-измерительной системы в виде МРТ, предназначенного для установки на КА “Бион-М” и “Фотон-М” с целью получения информации о температурных режимах в КНА при проведении научных экспериментов в полете, в настоящее время разрабатывается макетный образец системы для отработки принятых технических решений. Проведение летно-конструкторских испытаний МРТ планируется при полете КА “Фотон-М” №4 (ориентировочно в 2014 году) и по их результатам в дальнейшем будет разработана соответствующая универсальная штатная бортовая система для КА “Бион-М” и “Фотон-М”.

AUTONOMOUS SYSTEM FOR MONITORING OF THE THERMAL CONDITION OF THE SPACECRAFT SCIENTIFIC EQUIPMENT

© 2012 V. I. Abrashkin¹, L.V. Kurganskaya², A.V. Shcherbak³

¹ State Research and Production Space-Rocket Center “TsSKB-Progress”, Samara

² Institute for the Control of Complex Systems of RAS, Samara

³ Samara State University

Autonomous universal system for monitoring of the thermal condition of scientific and experimental equipment, placed on the external surface of the spacecraft “Photon-M” is considered. The system is intended for registration and data processing about the temperature in local zones of the design of the scientific equipment containers in conducting experiments in the conditions of an open space. The technical configuration of the system and its individual characteristics are described, and original schematic for the temperature to voltage converter offered

Key words: measuring system, temperature registration, equipment for space experiments.

Valeriy Abrashkin, Candidate of Technics, Head at the Department. E-mail: csdb@samtel.ru
Lubov Kurganskaya, Candidate of Physics and Mathematics, Senior Research Fellow. E-mail: limbo83@mail.ru
Andrey Shcherbak, Candidate of Physics and Mathematics, Senior Research Fellow. E-mail: anshch@yandex.ru

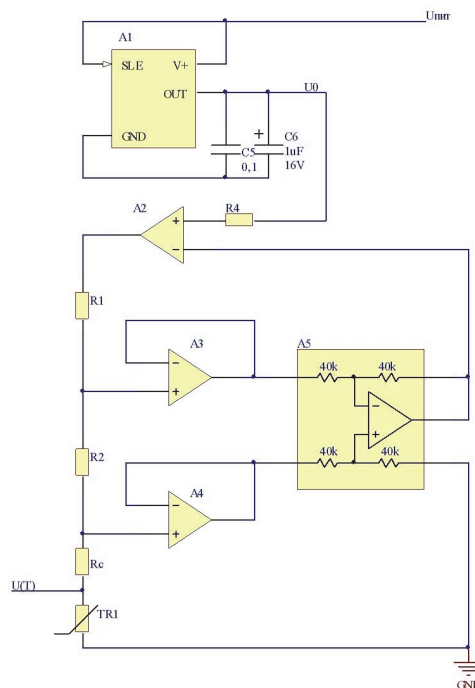


Рис. 5. Принципиальная схема ПТН с прецизионным источником тока

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Н. Кирилин, Г.П. Анишаков, Р.Н. Ахметов, А.Д. Сторож. Космическое аппарато-строение: научно-технические исследования и практические разработки ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс” [под ред. д.т.н. А.Н. Кирилина]. Самара: АГНИ, 2011. 280 с.
2. Абрашкин В.И., Горелов Ю.Н., Курганская Л.В., Щербак А.В. Многоканальный регистратор температур для научной аппаратуры на борту космических аппаратов “Бион-М” и “Фотон-М” // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2012. Т. 19. Вып. 2, 3. С.232-233.
3. Парк Дж., Маккей С. Сбор данных в системах контроля и управления. Практическое руководство: М.: ООО “Группа ИДТ”, 2006. 504 с.
4. Honeywell, Temperature Sensors HRTS Series. Datasheet, № 1-800-537-6945, C.1-3.