

УДК 620.1.08

А. В. ЧУМАЧЕНКО, Ю. И. ПУСТОВАР

НПП «ХАРТРОН-АРКОС», Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ АППАРАТУРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Проводится исследование возможности расширения диапазона измерений температуры при проведении испытаний аппаратуры систем управления ракетно-космической техники. Рассматриваются особенности построения и функционирования комплекса регистрации температуры. Проведен анализ возможности расширения диапазона измерения для используемых датчиков температуры. Проведен расчет погрешности измеренных значений при заданном диапазоне температур с применением статистических методов обработки результатов экспериментов. На основе полученных результатов и проведенных оценок принят вывод о возможности расширения диапазона измерения комплексом регистрации температуры.

Ключевые слова: *аппаратура, датчики, температура, диапазон, погрешность, комплекс регистрации температуры, статистическая обработка.*

Введение

Неотъемлемой частью процесса разработки и производства аппаратуры систем управления ракетно-космической техникой является проверка ее работоспособности при воздействии климатических и механических факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации или транспортировании аппаратуры.

Такая проверка обеспечивается испытаниями на воздействие синусоидальной или широкополосной вибрации, транспортирования, сейсмостойкости, стойкости к механическим ударам, изменения температуры окружающей среды, повышенной влажности и др. факторами.

Испытания аппаратуры систем управления ракетно-космической техникой проводятся на опытных образцах с целью определения характеристик и предварительной оценки на соответствие требованиям технического задания на разработку аппаратуры. Испытания проводят на образцах аппаратуры, принятой службой контроля качества и разработанных в соответствии с конструкторской документацией [1].

Одним из видов испытания аппаратуры является испытание на воздействие повышенной (пониженной) температуры окружающей среды. В этом случае выполняются испытания на воздействие верхнего (нижнего) значения температуры среды при эксплуатации с целью проверки способности аппаратуры выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах значений, указанных в

нормативной документации на изделие во время и после воздействий [2].

Описание объекта исследования

С целью контроля температуры на элементах аппаратуры при данных испытаниях специалистами НПП «Хартрон-АркоС» разработан и метрологически аттестован комплекс регистрации температуры (КРТ). Данный комплекс позволяет измерять и регистрировать температуру в местах установки датчиков температуры на испытуемой аппаратуре при проведении различных видов испытаний (на воздействие пониженных и повышенных температур, влажности, глубокого вакуума). КРТ является средством измерительной техники и состоит из следующих компонентов:

- персональный компьютер (ПК) с установленным программным обеспечением TempControl версии 1.1 [3] (минимальные системные требования: Pentium II Processor, 400 МГц, 64 Мб ОЗУ, Windows XP, 20 Мб свободной памяти на HDD).

- датчики температуры DS18B20 фирмы Dallas Semiconductor [4];

- подключающее устройство (ПУ), позволяющее подключить необходимое количество датчиков к адаптеру DS9097U (максимальное число подключенных датчиков – 10 шт);

- адаптер DS9097U, предназначен для согласования информации от датчиков температуры с ПК [5].

Структурная схема рабочего места КРТ с объектом испытания представлена на рисунке 1.

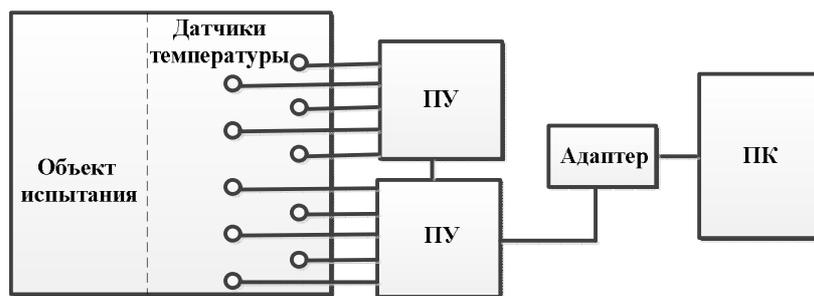


Рис. 1. Структурная схема измерения температуры на объекте испытаний с использованием КРТ

Датчики, примененные в КРТ, аттестованы производителем для измерения температур в диапазоне от минус 40°С до 100°С. Абсолютная погрешность составляет ±0,5°С в диапазоне от минус 10°С до 85°С. Габаритные размеры датчика составляют 2,5*4,5*5 мм, длина кабеля, соединяющего датчики с подключающим устройством, составляет 2 м, диаметр 2 мм. Датчик температуры показан на рисунке 2.



Рис. 2. Внешний вид датчика температуры DS18B20

С помощью КРТ можно измерять и регистрировать температуру с 80 датчиков (при увеличении количества датчиков – увеличивается количество ПУ). Места установки датчиков температуры в испытуемой аппаратуре указываются в программно-методике испытаний (ПМИ).

Применяемое программное обеспечение позволяет изменять время опроса датчиков, что также указывается в ПМИ. Данные измерения температуры во временном интервале сохраняются в текстовом и графическом форматах. Предусмотрена возможность установления пределов измерений для каждого датчика температуры в отдельности с возможностью сигнализации пользователю в виде звукового и светового сигнала в случае превышения допустимых температур в контролируемых точках. КРТ имеет высокий показатель быстродействия, который позволяет осуществлять 80 измерений в минуту. Это дает возможность определить температурный градиент (характеристика, показывающая направление наискорейшего возрастания температуры, значение которой меняется от одной точки к другой), который должен учитываться при разработке аппаратуры ракетно-космической техники при включении и выходе на стационарный режим аппа-

ратуры, при изменении внешних условий [6]. Значение градиента вычисляется по формуле:

$$\text{grad}(f) = \left(\frac{\partial f}{\partial t_1}, \dots, \frac{\partial f}{\partial t_n} \right), \quad (1)$$

где n – количество переменных;

t_1, \dots, t_n – значения температур;

f – функция переменных t.

Условия эксплуатации КРТ (кроме датчиков и кабеля) следующие:

- температура окружающего воздуха от 15°С до 35°С;
- относительная влажность до 80% при температуре 25°С;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм рт.ст.).

Постановка задачи

Испытание на воздействие повышенной/пониженной температуры с применением КРТ выполняется следующим образом: объект испытания, с установленными датчиками температуры в соответствии с ПМИ, помещают в климатическую камеру (при проведении данного испытания используют климатические камеры, которые обеспечивают диапазон температур от минус 70°С до 125°С, погрешность ±1 °С и прошедшие аттестацию согласно [7]). Температуру в камере понижают/повышают до заданной согласно требованиям ПМИ. На персональном компьютере запускают программу TempControl для отображения и записи измеренных значений с датчиков. При заданной температуре проводится функционирование объекта испытания с сопутствующим измерением значений температуры с датчиков в течение времени, установленного в нормативной документации (НД) и ПМИ на аппаратуру. По окончании выдержки при заданной температуре объект испытания извлекают из камеры и выдерживают в нормальных климатических условиях в течение времени, установленного в НД и ПМИ на аппаратуру, после чего проводят проверку параметров, указанных в НД и ПМИ, визуальный ос-

мотр, а также обработку измеренных значений температуры с датчиков КРТ.

КРТ при проведении испытаний на воздействие повышенной/пониженной температуры представлен на рисунке 3.

В связи с необходимостью проведения измерений при расширенном диапазоне температуры от минус 70°C до 125°C для аппаратуры систем управления ракетно-космической техники были поставлены задачи исследования поведения КРТ в диапазоне от минус 70°C до минус 40°C и от 100°C до 125 °C и определения его метрологических характеристик.



Рис. 3. Контроль температуры при испытании на воздействие повышенной/пониженной температуры окружающей среды с использованием КРТ

Исследование и определение метрологических характеристик КРТ

Для определения погрешности КРТ в диапазоне от минус 70°C до 125°C необходимо рассчитать разность между результатом измерения и истинным значением температуры [8]. При исследовании использовалась выборка термодатчиков в количестве 80 штук.

Датчики помещались в климатическую камеру, температура в которой доводилась до минус 70°C. После выдержки в течение 30 минут проводилось 10 замеров с каждого датчика. Далее температура повышалась с шагом в 5°C до 125°C. Данные измерения температуры во временном интервале сохранялись в текстовом и графическом форматах. После окончания исследования проводилась обработка результатов измерений. Обработка производилась путем сравнения измеренных значений температуры с истинной (устанавливаемой в камере) для каждой из температурных точек.

Определение значения абсолютной погрешнос-

ти проводилось в следующем порядке:

- рассчитывалось среднее арифметическое значение из 10 замеров для каждого датчика в каждой температурной точке;

- рассчитывалось отклонение среднего арифметического значения температуры от истинного.

Учитывая однотипность датчиков, полученные данные, при проведении исследования, допустимо распространить на имеющуюся партию датчиков. Таким образом за значение погрешности принимается максимальное значение отклонения из всех выбранных датчиков в заданной температурной точке. Результаты расчета погрешности приведены в таблице 1 и на рисунке 4.

Таблица 1

Погрешности измерения температуры

Температура, °C	Погрешность измерения, °C
-70	±0,708
-65	±0,646
-60	±0,391
-55	±0,352
-50	±0,458
-45	±0,231
-40	±0,236
-35	±0,432
-30	±0,801
-25	±0,186
-20	±0,179
-15	±0,159
-10	±0,108
-5	±0,589
0	±0,427
5	±0,26
10	±0,265
15	±0,352
20	±0,106
25	±0,375
30	±0,004
35	±0,375
40	±0,708
45	±0,625
50	±0,472
55	±0,341
60	±0,375
65	±0,458
70	±0,099
75	±0,072
80	±0,365
85	±0,489
90	±0,743
95	±0,06
100	±0,186
105	±0,186
110	±0,111
115	±0,352
120	±0,302
125	±0,22

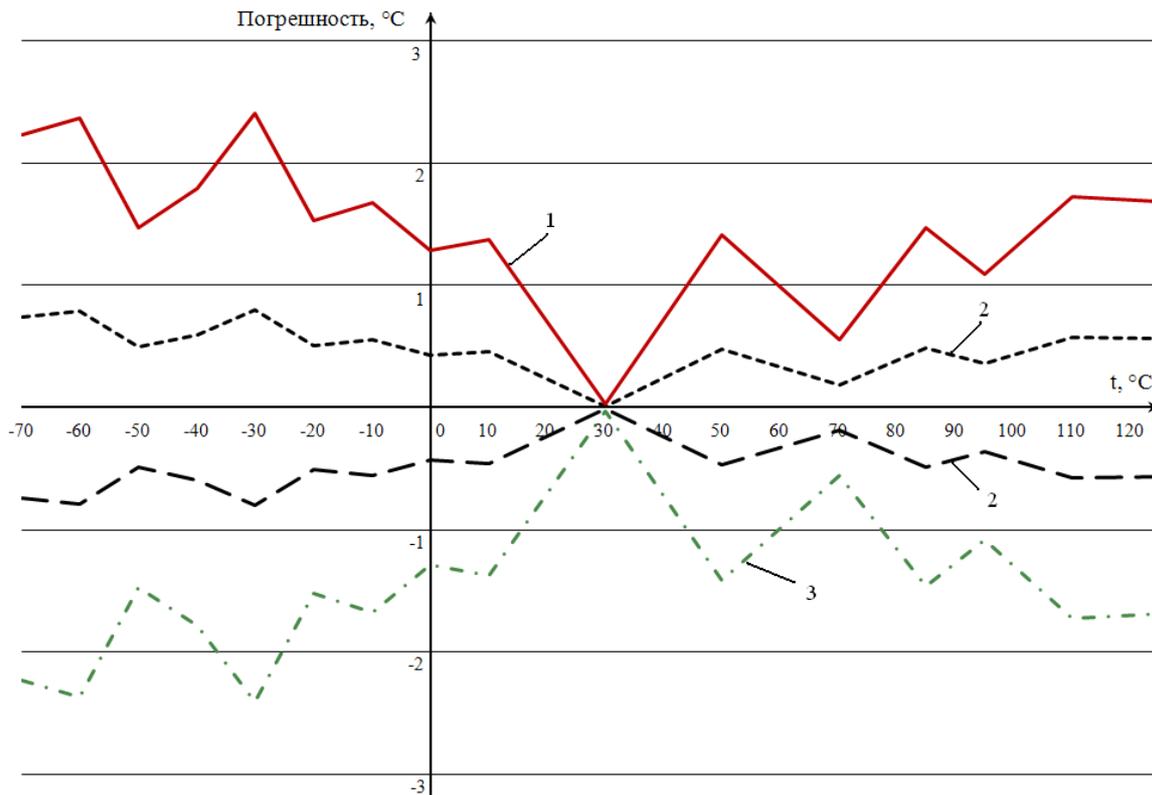


Рис. 4. График максимальной погрешности для датчиков типа DS18B20 при заданном диапазоне:

- 1 – верхнее значение доверительного интервала [8];
- 2 – погрешность измерения;
- 3 – нижнее значение доверительного интервала

Так как завод-изготовитель не дает гарантии на стабильность работы датчиков в рассматриваемом диапазоне при высокой частоте использования КРТ, рекомендовано уменьшить межповерочный интервал датчиков до одного раза в месяц.

Выводы

В связи с необходимостью проведения испытаний аппаратуры систем управления ракетно-космической техники в расширенных диапазонах была рассмотрена возможность проведения таких испытаний, разработанным НПП «Хартрон-Аркас», с использованием комплекса регистрации температуры. Данный комплекс имеет высокие характеристики, что позволяет снимать и регистрировать измерения с высокой точностью и быстродействием.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- погрешность измерения датчиков в диапазоне температур от минус 10°C до 85°C не превышает заявленных заводом-изготовителем $\pm 0,5^\circ\text{C}$;

- при расширении диапазона температур от минус 70°C до 125°C погрешность датчиков не превы-

шала $\pm 0,8^\circ\text{C}$, что удовлетворяет требованиям при проведении испытаний аппаратуры систем управления ракетно-космической техники;

- в связи с достаточно высоким быстродействием есть возможность измерять градиенты температур.

Литература

1. *Проектування систем управління об'єктів ракетно-космічної техніки [Текст] : моногр. / Ю. С. Алексєєв, О. І. Батирєв, Б. І. Батирєв [та ін.]*. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ», НВП «Хартрон-Аркас», 2012. – Т. 3. – 472 с.

2. *ГОСТ 20.57.406-81. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний [Текст]*. – Введ. 01.01.1982. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1991. – С. 59, 64.

3. *Описание программного обеспечения Temp-Control версии 1.1 [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <http://evm.wallst.ru/program/tcontrol/index.htm>. – 12.12.2013.

4. *Описание датчика типа DS18B20 [Электронный ресурс]*. – Режим доступа:

<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. – 10.12.2013.

5. Описание адаптера сети MicroLan DS9097U-DS9097U-S09 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS9097U-DS9097U-S09.pdf>. – 10.12.2013.

6. Математический анализ в вопросах и задачах [Текст] / Ф. В. Бутузов, Н. Ч. Крутицкая, Г. Н. Медведев, А. А. Шишкин. – М. : Физико-математическая литература, 2001. – С. 385-386.

7. ГОСТ 24555-81 Система государственных испытаний продукции. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения [Текст]. – Введ. 01.01.1982. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1991. – 9 с.

8. Чинков, В. М. Основы метрології та вимірювальної техніки [Текст] / В. М. Чинков. – Харків : НТУ «ХПИ», 2002. – 76 с.

Поступила в редакцію 19.03.2014, рассмотрена на редколлегии 19.05.2014

Рецензент: канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела 13010 А. Е. Лукьянович, Научно-производственное предприятие «ХАРТРОН-АРКОС», Харьков.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАНЬ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВИПРОБУВАНЬ АПАРАТУРИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

О. В. Чумаченко, Ю. І. Пустовар

Проводилось дослідження можливості розширення діапазону вимірювань температур при проведенні випробувань апаратури систем керування ракетно-космічної техніки. Розглядаються особливості побудови та функціонування комплексу реєстрації температури. Проведено аналіз можливості розширення діапазону вимірювань для використаних датчиків температури. Проведено розрахунок похибки вимірюваних значень при даному діапазоні температур з використанням статистичних методів обробки результатів експериментів. На основі отриманих результатів і проведених оцінок прийнято висновок про можливість розширення діапазону вимірювання комплексом реєстрації температури.

Ключові слова: апаратура, датчики, температура, діапазон, похибка, комплекс реєстрації температури, статистична обробка.

RESEARCHING OF POSSIBILITY OF EXPANDING OF MEASUREMENTS TEMPERATURES RANGE AT CARRYING OUT OF TESTS OF ROCKET AND SPACE OBJECTS

A. V. Chumachenko, Y. I. Pustovar

Research of possibility of expanding of measurements temperatures range at carrying out of tests of rocket and space objects. Features of construction and functioning of temperature registration complex. Analysis of possibility of expanding of measurements temperatures range for used temperature sensors is carried out. Error calculation of measured values at specified temperature range with using of statistical methods of measurements results processing is carried out. On the basis of the got results and conducted estimations a conclusion is accepted about expanding of measurements temperatures of temperature registration complex.

Key words: apparatus, sensors, temperature, range, error, temperature registration complex, statistical processing.

Чумаченко Алексей Валентинович – канд. техн. наук, доцент, начальник отд. 13060, Научно-производственное предприятие «ХАРТРОН-АРКОС», Харьков, Украина.

Пустовар Юлия Игоревна – инженер, отд. 13060, Научно-производственное предприятие «ХАРТРОН-АРКОС», Харьков, Украина, e-mail: PustovarYlia@mail.ru.