

УДК 629.78.018

А. Ю. Вшивков, Е. Н. Головенкин, С. А. Крат, С. А. Ганенко

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ЭЛЕКТРОТЕРМОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ЧАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ЮБИЛЕЙНЫЙ-2» (МнР)

Представлена методология, позволяющая качественно проводить комплекс электротермовакуумных испытаний с применением источников инфракрасного излучения для поддержания граничных квалификационных температур космических аппаратов (КА). Проведенные испытания показали эффективность использования имитаторов теплового потока раздельного нагрева.

Ключевые слова: электротермовакуумные испытания, имитатор теплового потока, термобарокамера, обезгаживание, термоциклирование.

Из года в год все более сложные задачи решаются с помощью автоматических и пилотируемых КА. Усложняются конструкции КА, при этом особое значение приобретает проблема обеспечения надежности КА, которая во многом определяется его тепловым режимом. Очевидно, что без качественного и всестороннего экспериментального исследования теплового режима спутников в условиях, близких к эксплуатационным, невозможно создать высоконадежные аппараты.

При создании КА в программе комплексных испытаний закладывается этап наземной тепловой отработки, одной из целей которого является проведение электротермовакуумных испытаний (ЭТВИ) в условиях, максимально приближенных к условиям штатной эксплуатации [1].

Компоновочная сложность, многоэлементность, разобщенность и разнохарактерность тепловых требований, наличие развитых пространственных, особенно раскрываемых и развертываемых конструкций характерны для современных космических аппаратов. В этих условиях проблема теплового обеспечения внутри термобарокамеры при проведении ЭТВИ является едва ли не определяющей.

Различное оборудование имеет разные температурные диапазоны и разные рабочие режимы, вынуждающие в жестких условиях четко поддерживать тепловой режим для приборов, расположенных на различных частях сотовых панелей. Включение штатного оборудования, особенно высоковольтного, также предъявляет особые требования к давлению внутри КА. А при наличии газовой составляющей в порах металла, электрорадиоизделий и экранно-вакуумной тепловой изоляции необходимо предусматривать предварительный процесс обезгаживания для исключения электронной волны – стримера – в случае возникновения вакуума низкой степени, что и может произойти, если будет осуществлена подача питания на борт необезгаженного аппарата.

При разработке методики наземных электротермовакуумных испытаний необходимо, как минимум, решить три задачи:

- выбрать технические средства для проведения электротермовакуумных испытаний;
- определить минимальную продолжительность электротермовакуумных испытаний;
- определить минимальную продолжительность режима обезгаживания.

Без решения данных задач всегда имеется опасность возможной потери аппарата на этапах отработки либо большой длительности электротермовакуумных испытаний, что может все испытания, вследствие высоких технических и экономических затрат, завести в тупик.

Чтобы понять, каким образом решать данный спектр задач, нужно знать, что такое электротермовакуумные испытания и какие основные цели при этом решаются.

При проведении ЭТВИ происходит проверка работоспособности оборудования в условиях вакуума и верификация исходящего сигнала бортовой аппаратуры при термоциклировании КА (удержание в гарантированных диапазонах бортовой и служебной аппаратуры в критичных для нее условиях функционирования по температуре) [2].

Основные цели испытаний:

- отработка электрической стыковки приборов и систем КА, а также КА и комплексно-проверочной аппаратуры (КПА);
- отработка логики работы КА и бортовой аппаратуры в соответствии с программой штатной работы КА;
- оценка взаимовлияния бортовых систем;
- отработка методики проведения ЭТВИ КА;
- отработка технической и эксплуатационной документации и программного обеспечения;
- выдача заключения о допуске КА к дальнейшим испытаниям.

Достижение данных целей невозможно без применения следующих основных систем испытательного комплекса: термобарокамеры; системы вакуумной откачки; криогенной системы; панели инфракрасного потока; системы измерения параметров изделия и оснастки; системы управления изделием, оснасткой и стендовыми системами [3].

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

В термобарокамере объемом 120 м^3 (ТБК-120) в 2011 г. были проведены электротермовакuumные испытания малого космического аппарата (МКА) «Юбилейный-2» (МиР).

Испытания проводились при давлении в камере 5×10^{-5} мм рт. ст. Для обеспечения заданного давления применялась система вакуумной откачки камеры, состоящая из двух насосов НВЗ-300, одного насоса ДВН-1500 и одного высоковакуумного насоса ТМНГ-10 000. Контролировалось давление в камере с помощью преобразователя манометрическим термопарным ПМИ2.

Низкая температура в камере обеспечивалась криогенными экранами камеры, имеющими коэффициенты $A_s = 0,95$, $\varepsilon = 0,91$, с возможностью максимального охлаждения в процессе испытаний до температуры минус $(180 \pm 10)^\circ\text{C}$.

Для обеспечения заданной температуры криогенных экранов камеры была задействована криогенная система камеры. Контролировались температуры криогенных экранов термометрами сопротивления, установленными на их поверхностях (6 параметров) с регистрацией показаний на приборе «УИТ-400».

Для имитации внешних тепловых потоков на КА в камеру ТБК-120 устанавливались панели – имитаторы теплового потока (ИТП). Количество панелей – 6. Для контроля внешних условий и управления панелями ИТП в термобарокамере были установлены 8 образцов-свидетелей с датчиками температуры ДТП1–ДТП8 для захлаживания и отогревания термобарокамеры, т. е. во время отсутствия телеметрической информации со штатного оборудования (рис. 1, 2).

Для контроля температуры целевой аппаратуры были установлены датчики в районе прибора «ДОКА-Б»

и астроплаты, а также ряд датчиков для контроля температур сотовых панелей внутри (рис. 3).

В термобарокамере монтировалась кабельная сеть для управления панелями ИТП, а также кабельная сеть системы измерения температурных параметров ДТП1–ДТП8.

При проведении испытаний КА располагался горизонтально таким образом, чтобы тепловые трубы, входящие в состав газорегулируемой тепловой трубы и находящиеся в районе основания прибора «ДОКА-Б», располагались в горизонтальной плоскости.

В процессе испытаний система измерения камеры обеспечивала регистрацию всех задаваемых и контролируемых параметров КА и испытательного оборудования. Погрешность регистрации температурных параметров не превышала $\pm 0,5\%$ от их диапазонов измерения.

В процессе проведения всех режимов ЭТВИ управление ИТП осуществлялось по отдельным регулируемым каналам от стабилизированных источников постоянного тока.

Погрешность измерения потребляемых мощностей составляла не более $\pm 2\%$.

На начальном этапе было произведено вакуумирование и захлаживание термобарокамеры. С начала захлаживания камеры регистрировались все параметры КА с дискретностью не реже одного раза в полчаса.

Управляя подачей питания на ИТП, поддерживались температуры образцов-свидетелей и датчиков в районе бортовой аппаратуры. По окончании этапа в камере были обеспечены условия для проведения режима – обезгаживание.

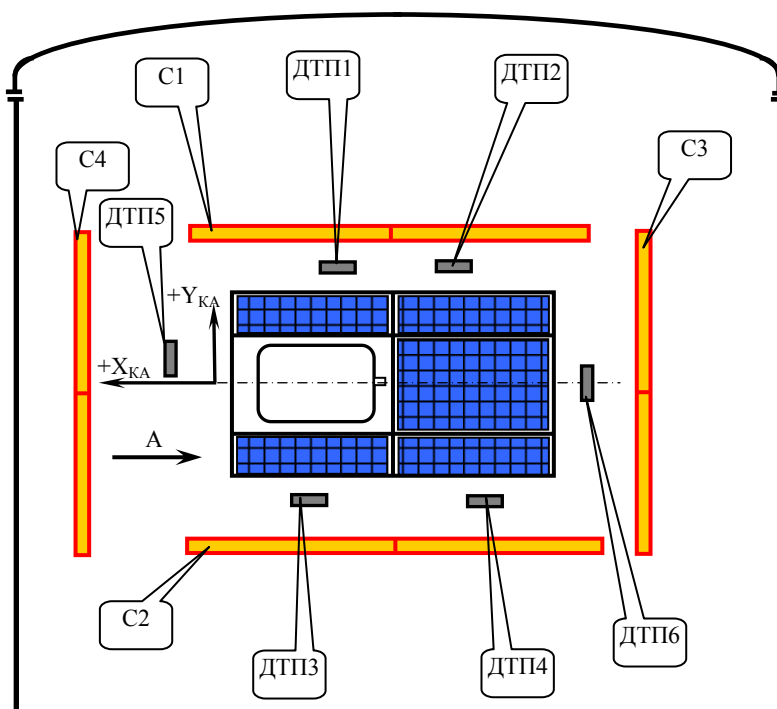


Рис. 1. Общая схема установки ИТП и схема размещения датчиков температуры при проведении ЭТВИ МКА «Юбилейный-2» (МиР)

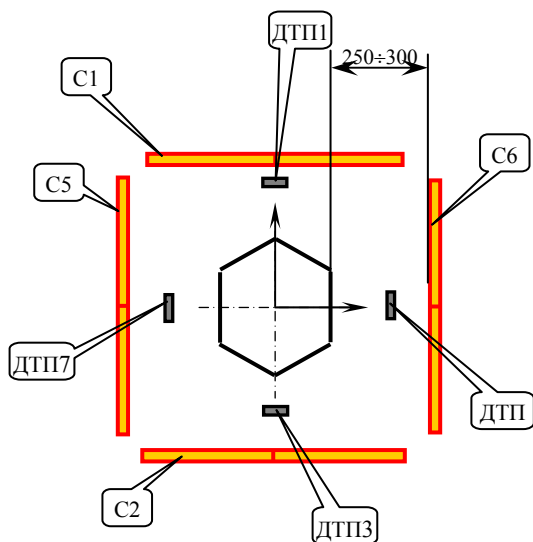


Рис. 2. Установка ИТП и схема размещения датчиков температуры при проведении ЭТВИ МКА «Юбилейный-2» (МиР) (вид сверху)

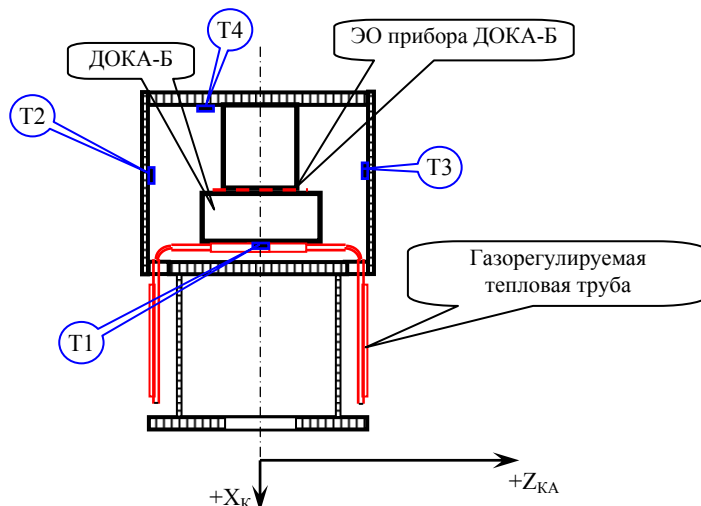


Рис. 3. Схема размещения температурных датчиков внутри корпуса МКА «Юбилейный-2» (МиР)

Ввиду того, что габариты МКА невелики, процесс обезгаживания длился 14 ч, за это время с аппарата были успешно удалены продукты гажения – влага, полициклические аромоуглеводороды (ПАУ) и т. д.

К следующему этапу при проведении испытаний относится термоциклирование целевой аппаратуры аппарата (электрические проверки на верхних и нижних полках аппаратуры)

Критерием выхода на полку считалось достижение диапазона температур на датчиках Т1, Т4 (посадочная поверхность аппаратуры ДОКА-Б и астроплата) (рис. 4):

для ДОКА-Б от -10 до 0 °С для нижней полки (при допустимой минус 20 °С); от 40 до 50 °С для верхней полки (при допустимой 50 °С);

для астроплаты от -15 до -25 °С для нижней полки (при допустимой минус 40 °С); от 25 до 35 °С для верхней полки (при допустимой 50 °С).

На четырех циклах проверок прибора «ДОКА-Б» измеренные значения мощностей находились в заданных пределах и соответствовали техническому заданию на разработку бортовой аппаратуры.

В соответствии с требованиями методологии при проведении ЭТВИ были получены следующие заданные условия:

– на верхней полке 1-го цикла температура в районе посадочного места «ДОКА-Б» составляла 41 °С, минимальная по изделию – 36 °С; на нижней полке 1-го цикла в районе посадочного места «ДОКА-Б» – -3 °С, максимальная по изделию – минус 3 °С;

– на верхней полке 2-го цикла температура в районе посадочного места «ДОКА-Б» – 41 °С, минимальная по изделию – 31 °С; на нижней полке 2-го цикла в районе посадочного места «ДОКА-Б» – минус 3 °С, максимальная по изделию – 2 °С;

– на верхней полке 3-го цикла температура в районе посадочного места «ДОКА-Б» – 40 °С, минималь-

ная по изделию – 38 °С; на нижней полке 3-го цикла в районе посадочного места «ДОКА-Б» – минус 3 °С, максимальная по изделию – 2 °С;

– на верхней полке 4-го цикла температура в районе посадочного места «ДОКА-Б» – 43 °С, минимальная по изделию – 34 °С; на нижней полке 4-го цикла в районе посадочного места «ДОКА-Б» – минус 3 °С, максимальная по изделию – 3 °С.

Во время проведения электротермовакuumных испытаний были проведены проверки всех подсистем и модулей как целевой, так и служебной аппаратуры. По результатам проверок было выдано заключение о готовности МКА «Юбилейный-2» (МиР) к проведению испытаний на вибростенде и подготовке к отпавке на полигон.

Анализ результатов данных показал, что выбранная методология проведения электротермовакuumных испытаний полностью удовлетворяет требованиям постановки современного эксперимента, о чем свидетельствуют результаты (см. рис. 4).

На сегодняшний день ведется работа по автоматизации средств обеспечения управлением имитаторами теплового потока, которые смогут в дальнейшем сами определять то количество мощности, которое нужно подать на тот или иной участок аппарата, чтобы достичь заданной температуры. Таким образом, мы сможем либо равномерно нагреть нужную сторону КА, что особенно актуально при проведении термобалансных испытаний в части имитации внешнего солнечного потока, либо получить неравномерное тепловое поле по отдельным элементам космического аппарата, в соответствии с квалификационными температурами функционирования бортовой и служебной аппаратуры, что актуально при проведении электротермовакuumных испытаний, где нужно максимально приблизить работу аппаратуры к критическим для нее значениям.

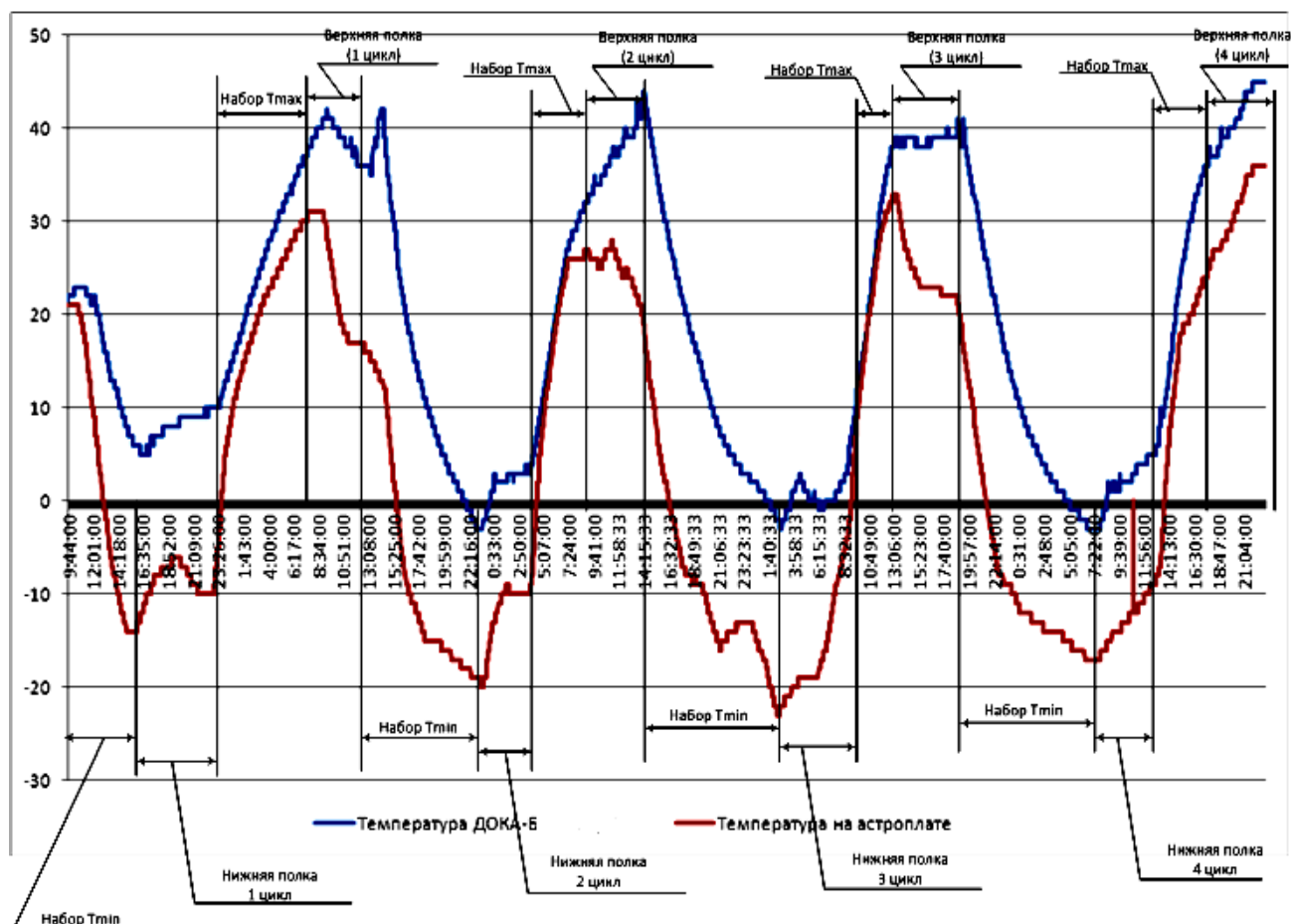


Рис. 4. График изменения температур (ДОКА-Б и астроплата) при проведении ЭТВИ МКА «Юбилейный-2» (МиР)

Библиографические ссылки

1 Нестационарные тепловые режимы космических аппаратов спутниковых систем : монография / М. В. Краев [и др.] ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.

2 Методика проведения электротермовакuumных испытаний на примере изделия «ГЛОНАСС-К» / А. Ю. Вшивков [и др.] // Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем : материалы Всерос. науч.-техн. конф. мо-

лодых спец. ОАО «ИСС», посвящ. 50-летию полета в космос Ю. А. Гагарина. Железногорск, 2011. С. 145–146.

3 Методология имитации внешних воздействий при проведении комплекса термовакuumных испытаний на примере непилотируемого навигационного космического летательного аппарата / А. Ю. Вшивков [и др.] // Новые материалы и технологии в ракетно-космической технике : материалы I Всерос. молодежной конф. М., 2011. С. 91–96.

A. Yu. Vshivkov, E. N. Golovenkin, S. A. Krat, S. A. Ganenko

DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY OF ELECTRIC THERMAL VACUUM TESTING FOR TEMPERATURE CONTROL OF SMALL SPACECRAFT JUBILEE-2 (MIR)

The authors present a methodology for quality electric thermal vacuum testing complex, with usage of sources of infrared radiation in order to maintain the boundary qualification temperatures of spacecrafts. The tests demonstrated efficiency of simulators of two-part heat flux sources.

Keywords: electric thermal vacuum testing, heat flux simulator, vacuum chamber, degassing, thermal cycling.

© Вшивков А. Ю., Головенкин Е. Н., Крат С. А., Ганенко С. А., 2012