ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56469— 2015

АППАРАТЫ КОСМИЧЕСКИЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ

Термобалансные и термовакуумные испытания

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева (ОАО «ИСС»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 321 «Ракетно-космическая техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 июня 2015 г. № 707-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Октябрь 2019 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2017, 2019

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 1
4 Термобалансные испытания 3
4.1 Цели и задачи испытаний 3
4.2 Организация, объем и режимы испытаний 4
4.3 Требования к условиям испытаний и испытательному оборудованию 5
4.4 Требования к объекту испытаний 7
4.5 Испытательная документация 7
4.6 Результаты испытаний, критерии успешности 8
5 Термовакуумные испытания летной модели АКА 9
5.1 Общие положения 9
5.2 Требования к условиям проведения испытаний 9
5.3 Обеспечение тепловых условий испытаний 10
Библиография 11

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АППАРАТЫ КОСМИЧЕСКИЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ

Термобалансные и термовакуумные испытания

Automatic spacecrafts. Thermal balance and thermal vacuum tests

Дата введения — 2016—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на автоматические космические аппараты, предназначенные для эксплуатации в околоземном космическом пространстве, и устанавливает требования и порядок проведения термобалансных и термовакуумных испытаний, проводимых по программам наземных испытаний автоматических космических аппаратов.

Стандарт не содержит и не описывает требований к процедурам проверок оборудования в составе автоматического космического аппарата на предмет подтверждения соответствия выходным характеристикам.

Настоящий стандарт применяется при создании, производстве и эксплуатации изделий ракетно-космической техники по международным договорам и в ходе реализации международных проектов и программ при условии и согласовании всех заинтересованных сторон, а также в случаях, когда его применение предписано требованием технического задания на выполнение работ.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 2.106—2019 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы

ГОСТ Р 53802 Системы и комплексы космические. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 53802, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **автоматический космический аппарат:** Космический аппарат, конструктивное исполнение которого не предусматривает в процессе его функционирования наличие космонавтов на борту.

Издание официальное

3.1.2 **верификация:** Подтверждение с помощью объективных данных того факта, что заданные требования выполнены.

3.1.3 **гарантированная температура оборудования:** Допустимая температура, при которой гарантируется выполнение функционального назначения оборудования в течение требуемого времени эксплуатации.

3.1.4 **запас по расчетным условиям внешней среды:** Увеличение предельного значения условий внешней среды для целей проектирования и квалификации сверх уровней, ожидаемых на протяжении срока существования.

3.1.5 **имитатор тепловых потоков:** Система термовакуумной камеры, представляющая собой источники тепловых потоков, позволяющие имитировать необходимую плотность падающих и поглощенных внешних тепловых потоков, воздействующих на внешние поверхности космического аппарата.

3.1.6 **интерфейс:** Общая механическая, тепловая, электрическая граница или граница в части функционирования между двумя элементами системы.

3.1.7 **испытательное изделие:** Автоматический космический аппарат, его система, приборы или их макеты, которые подвергаются испытаниям.

3.1.8 **квалификационные испытания:** Испытания, демонстрирующие, что автоматический космический аппарат (система, оборудование) работает удовлетворительно в прогнозируемых условиях внешней среды с достаточным запасом.

3.1.9 **летная модель:** Модель автоматического космического аппарата с системами и приборами, предназначенная для запуска в космическое пространство и для работы на орбите и подвергаемая приемочным испытаниям.

3.1.10 **максимальные и минимальные прогнозируемые температуры:** Самая высокая и самая низкая температуры, гарантируемые системой обеспечения теплового режима при эксплуатации космического аппарата во всех рабочих и нерабочих режимах при наиболее жестких условиях, равные расчетным по результатам тепловых анализов плюс расчетная неопределенность.

3.1.11 **неопределенность:** Недостаток уверенности вследствие неточности исходных параметров, процесса анализа или того и другого вместе. Расчетная температурная неопределенность — это неточность в вычислении температур из-за неточности знания физики процессов теплообмена, внешних окружающих условий и моделируемых параметров.

3.1.12 **опорная температура:** Опорная точка — физическая точка, расположенная на автоматическом космическом аппарате, дающая упрощенное представление о тепловом состоянии оборудования.

Примечания

1 В зависимости от размеров оборудования может быть определено более одной опорной температуры.

2 Температура опорной точки измеряется во время испытаний температурными датчиками. Распределение температуры в пределах оборудования и горячих пятен на наружной поверхности под воздействием точечных источников тепла не рассматривается в качестве опорных точек.

3.1.13 **полезная нагрузка:** Полный комплект специфического инструмента, космического оборудования, вспомогательной матчасти и расходуемых материалов, установленных на автоматическом космическом аппарате для выполнения конкретного назначения в космосе.

3.1.14 **протолетная модель:** Предназначенный для запуска автоматический космический аппарат, на котором перед полетом проводятся частичные или полные протолетные квалификационные испытания.

3.1.15 **рабочие режимы:** Сочетание рабочих внешних воздействий, режимов и условий, которые имеют место в течение срока (службы) функционирования автоматического космического аппарата.

3.1.16 **расчетные условия внешней среды:** Различные нагрузки внешней среды, под которые проектируется автоматический космический аппарат.

3.1.17 **режим сохранности автоматического космического аппарата:** Перевод автоматического космического аппарата в состояние, обеспечивающее условия для возможности последующего перевода автоматического космического аппарата в режим использования по целевому назначению.

3.1.18 **срок активного существования автоматического космического аппарата:** Общий заданный срок существования автоматического космического аппарата и его составных частей, начиная с завершения изготовления автоматического космического аппарата и до конца его работы (функционирования) на орбите.

3.1.19 **стабилизированная испытательная температура:** Заданная температура режима испытаний автоматического космического аппарата и его составных частей, которая не менялась более чем на 1 °С в течение предыдущего периода времени, равного одному часу.

3.1.20 **рассмотрение:** Мероприятие, предпринимаемое для определения пригодности, адекватности и результативности предмета обсуждения в целях достижения поставленных целей.

3.1.21 **специфицированные (заданные) требования:** Требования, заявленные в документах, как правило, более высокого уровня.

3.1.22 **система:** Совокупность функционально связанных приборов, предназначенная для создания условий и/или реализации функций, обеспечивающих работоспособное состояние бортового оборудования.

3.1.23 **система обеспечения теплового режима автоматического космического аппарата:** Совокупность бортовых устройств и элементов конструкции космического аппарата, предназначенная для обеспечения требуемого теплового режима.

3.1.24 **система терморегулирования автоматического космического аппарата:** Обеспечивающая бортовая система автоматического космического аппарата, являющаяся частью системы обеспечения теплового режима автоматического космического аппарата, использующая для регулирования теплового режима активные средства, позволяющие менять условия внутреннего и внешнего теплообмена.

Примечание — Например, создание и регулирование необходимых расходов теплоносителей и их температуры, изменение площади излучающих поверхностей с помощью устройств типа жалюзи, управляемые электрообогреватели и т. д.

3.1.25 **спецификация:** Документ, определяющий требования.

Примечание — Спецификация может относиться к работам (например, спецификация на процесс, спецификация на испытания) или к продукту [например, спецификация на продукт, спецификация на рабочие характеристики (технические условия) и чертежи].

3.1.26 **термобалансные испытания:** Экспериментальное подтверждение того, что система обеспечения теплового режима поддерживает заданные эксплуатационные температурные пределы приборов по всему автоматическому космическому аппарату при нормальных и предельных условиях работы.

3.1.27 **термовакуумные испытания:** Проверка электрических характеристик оборудования и функционирования систем автоматического космического аппарата в условиях вакуума при экстремальных или близких к ним значениях температур в условиях эксплуатации.

3.1.28 **функциональные испытания:** Испытания, подтверждающие, что электрическая и механическая характеристики испытуемых изделий отвечают требованиям спецификации (техническим условиям).

Примечание — Функциональные испытания, позволяют дать заключение о допуске изделия с целью использования в дальнейших запланированных испытаниях космического аппарата.

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АКА — автоматический космический аппарат;

КПЭО — комплексная программа экспериментальной отработки;

ПОН — программа обеспечения надежности;

САС — срок активного существования АКА;

СОТР — система обеспечения теплового режима;

ТБИ — термобалансные испытания;

ТВИ — термовакуумные испытания;

ТВК — термовакуумная камера;

ТЗ — техническое задание;

ТММ — тепловая математическая модель;

ТУ — технические условия.

4 Термобалансные испытания

4.1 Цели и задачи испытаний

4.1.1 ТБИ — метод проверки, показывающий, что СОТР поддерживает требуемые эксплуатационные температурные пределы приборов и посадочных мест приборов по всему АКА, и обеспечивающий данными для подтверждения расчетной тепловой модели.

4.1.2 Цель ТБИ — завершение наземной тепловой отработки АКА:

- квалификация проекта СОТР АКА;
- подтверждение соответствия теплового интерфейса с другими системами;
- верификация и корреляция (при необходимости) ТММ АКА;
- определение резервов.

4.1.3 По результатам ТБИ должны быть получены данные, необходимые для подтверждения расчетной тепловой модели, и подтверждения способности СОТР АКА поддерживать специфицированные эксплуатационные пределы изменения температуры приборов по всему АКА.

4.1.4 ТБИ подтверждают правильность расчетных моделей, используемых для проектных оценок, прогнозирования орбитальных температур и прогнозирования температур АКА во время ТВИ.

4.1.5 Требуемые характеристики, содержащиеся в ТЗ (спецификациях), сравниваются с характеристиками, полученными при испытаниях. Помимо проверки характеристик испытательные программы позволяют определить:

- перечень исправляющих действий, выполняемых для несоответствий;
- возможность проведения калибровок при моделируемых условиях космоса.

4.1.6 В процессе ТБИ и по их результатам проводятся отработка и уточнение тепловых режимов, подтверждение технических функциональных характеристик оборудования СОТР и их соответствия требованиям ТЗ (спецификаций) и программам испытаний.

4.2 Организация, объем и режимы испытаний

4.2.1 Испытания должны обеспечивать подтверждение заданных в ТЗ (спецификациях), контрактных документах, ТУ требований, в том числе и по надежности, в соответствии с ПОН АКА.

Требования к испытаниям излагаются в ТЗ (спецификации) на ТБИ.

Необходимый объем испытаний определяется планом испытаний АКА (ПОН и КПЭО).

До, в течение и после ТБИ проводятся функциональные испытания оборудования АКА в необходимом объеме.

4.2.2 Рассмотрение готовности к испытаниям и результатов испытаний должно быть проведено перед и сразу после испытаний.

4.2.3 Целью рассмотрения является возможность оценивать готовность к испытаниям и результаты завершенных испытаний.

4.2.4 Рассмотрение готовности к испытаниям направлено на следующее:

- анализ программы испытаний;
- завершение всех испытаний, которые требуется провести до рассмотрений, включая рассмотрение отчетов и результатов всех испытаний и устранение замечаний, отмеченных в процессе этих испытаний;
- соответствие характеристик систем АКА техническим требованиям, устанавливаемым с помощью результатов испытаний и анализов;
- установку контрольно-измерительных приборов;
- состояние готовности средств измерений;
- состояние готовности наземного испытательного оборудования;
- состояние калибровки испытательного оборудования.

4.2.5 Разработка, изготовление и поставка оборудования для испытаний осуществляются в сроки, опережающие срок начала испытаний.

К началу испытаний должен быть выполнен прогноз теплового режима на основании расчетов для условий и конфигурации испытаний.

4.2.6 Испытательное изделие помещают в ТВК, способную к имитации теплового потока, ожидаемого в течение этапов эксплуатации. Тепловой режим испытуемого АКА может быть получен имитацией падающего излучения и/или поглощенного теплового потока. Выбор метода зависит от конфигурации и геометрии испытуемых АКА и отношения внутреннего тепловыделения к внешнему поглощенному потоку и тепловым характеристикам внешней поверхности.

4.2.7 Перед закрыванием ТВК проводят визуальный осмотр. Осмотр проводится после окончания электрических проверок АКА и электрических проверок технологического оборудования.

При осмотре должно быть проверено:

- отсутствие посторонних предметов;
- отсутствие механических повреждений кабелей, трубопроводов, элементов конструкции;
- соответствие монтажа АКА требованиям ТЗ (спецификации) на испытания и конструкторской документации.

По результатам комиссионной проверки конфигурации ТБИ оформляется акт.

4.2.8 Все работы по выявленным несоответствиям проводятся в соответствии с нормативными документами, действующими на предприятии-изготовителе.

4.2.9 Если система/прибор имеет собственную автономную СОТР, независимую от СОТР АКА, должна быть выполнена проверка теплового баланса уровня системы/прибора.

4.2.10 Имитация внешних факторов орбиты должна включать в себя деградацию оптических характеристик поверхностей, условия, связанные с сезонностью (изменение солнечной постоянной, условия освещенности), тенями, началом/концом САС, и предельные изменения рабочих режимов АКА.

4.2.11 Основные режимы и конфигурация ТБИ определяются в плане испытаний (КПЭО) на СОТР и более подробно представлены в ТЗ (спецификации) на испытания.

4.2.12 Рекомендуемые обязательные режимы:

- участок выведения;
- орбитальное функционирование;
- режим сохранности АКА в непредусмотренных аварийных ситуациях.

4.2.13 При проведении режима орбитального функционирования необходимо имитировать и оценить, как минимум, два крайних режима:

- «горячее воздействие», т. е. максимальное поглощенное тепло, совмещенное с максимальным внутренним тепловыделением;
- «холодное воздействие», т. е. минимальное поглощенное тепло, совмещенное с минимальным внутренним тепловыделением.

Примечание — Испытательные условия и продолжительности для этого испытания зависят в значительной степени от условий на протяжении эксплуатации и от деталей расчетной тепловой модели, которую необходимо подтвердить.

4.2.14 Длительность режимов должна соответствовать условию получения установившегося значения предварительно определенных температур.

В большинстве случаев испытательный режим считается установившимся в тепловом отношении, если изменение характеризующей тепловое состояние температуры не более 1 °С за 5 ч. В случае если объект испытаний содержит элементы с низкой тепловой инерцией, время выхода на установившийся режим может быть уменьшено.

Для определения установившегося состояния может быть использован другой критерий, если он надежно подтвержден ранее выполненными тепловыми испытаниями.

4.2.15 Требования к тепловым характеристикам динамических режимов (стабильность температуры при изменении тепловых воздействий, ограничения по скорости изменения температуры и т. д.) также должны быть подтверждены ТБИ. Процедуры испытаний и требования к режимам испытаний определяются в программе испытаний.

4.2.16 В ходе испытаний должен проводиться анализ различий между фактическими измеряемыми температурами и их расчетным прогнозом. Различия, превышающие допуск, определенный программой испытаний, будет являться предметом промежуточного рассмотрения результатов и при необходимости принятия решения об изменении дальнейшего хода испытаний.

Приближение ключевых температур к границам гарантированных диапазонов, определенных ТЗ (спецификацией) и программой испытаний, является основанием для принятия оперативных действий.

4.2.17 Для ситуаций, требующих оперативных действий по изменению хода испытаний, предусматриваются по возможности конкретные алгоритмы действий.

4.3 Требования к условиям испытаний и испытательному оборудованию

4.3.1 Контрольно-испытательная аппаратура, используемая при испытаниях, должна обеспечивать технически обоснованную точность регистрируемых данных.

4.3.2 При подготовке к испытаниям и после испытаний в испытательном зале обеспечиваются соответствующие условия [1]:

- чистота — класс 8; эксплуатируемое состояние; заданные размеры частиц: 0,5 мкм (3 520 000 частиц/м^3);
- температура (25 ± 10) °С;
- атмосферное давление 670—830 мм рт. ст.;
- влажность — 45 %—60 % при 25 °С.

4.3.3 Материалы, используемые для испытательного оборудования и размещаемые в ТВК, должны отвечать требованиям по величине потери массы и по содержанию летучих конденсируемых веществ,

которые должны быть не хуже требований к материалам АКА (если требования предъявляются); рекомендуемые значения: потеря массы ≤ 0,1 %, содержание летучих конденсируемых веществ ≤ 0,1 %.

Оборудование, не удовлетворяющее требованиям, при изготовлении подвергается дегазации в соответствии с методикой, принятой на предприятии — изготовителе КА.

4.3.4 Молекулярная чистота внутри ТВК должна быть менее $2 \cdot 10^{-7}$ г/см^2 за 15 дней внутри камеры.

4.3.5 При проведении ТБИ и ТВИ, испытательный комплекс должен обеспечивать следующие параметры, соответствующие требуемым по ТЗ (спецификации) на испытания:

- размеры ТВК, позволяющие размещение испытуемого объекта;
- вакуум — не хуже $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.;
- азотные криогенных экраны — температура минус (180 ± 10) °С, коэффициент поглощения солнечного излучения не менее 0,95, коэффициент черноты не менее 0,9;
- проведение измерения температурных значений;
- проведение измерения давления окружающей АКА среды;
- управление имитаторами тепловых потоков и технологическими электрообогревателями.

4.3.6 В течение всех испытаний контролируется:

- тепловой поток от имитаторов тепловых потоков;
- температура криогенных экранов ТВК;
- давление в ТВК;
- потребляемая электрическая мощность технологического оборудования;
- температура технологического оборудования;
- мощность электропитания, подаваемая на испытуемый АКА;
- температура в контрольных точках АКА;
- другая необходимая информация, поступающая с испытуемого АКА.

4.3.7 Весь объем информации о внешних воздействующих факторах, действующих на АКА, должен быть зарегистрирован на электронных носителях информации с возможностью наблюдения как в течение испытаний, так и после них в реальном времени.

4.3.8 Испытуемый объект (протолетная модель АКА или тепловой макет АКА) должен быть помещен в ТВК, которая способна имитировать тепловые и вакуумные условия, ожидаемые при эксплуатации.

4.3.9 Во всех режимах процедуры управления и анализ процесса испытаний должны быть основаны на расчетном прогнозе температур оборудования АКА в конкретных условиях испытаний.

4.3.10 В ТВК и на испытуемом АКА в районе оборудования, критичного к высоковольтному пробою при пониженном давлении, должны быть установлены датчики давления среды.

4.3.11 ТВК должна позволять:

- возможность имитации всех этапов эксплуатации, указанных в программе и методике испытаний;
- выполнение всех соответствующих эксплуатационных последовательностей, предусмотренных в программе и методике испытаний;
- непрерывного проведения мониторинга и регистрации температуры.

4.3.12 Тепловое состояние испытуемого элемента получается путем:

- имитации падающего излучения (с помощью источников излучения, формирующего спектры и интенсивности солнечного излучения и альбедоизлучения);
- имитации тепла, поглощенного испытуемым элементом (при помощи изоляционных покрытий и инфракрасных ламп);
- объединение двух вышеперечисленных методов.

Примечания

1 Выбор метода зависит от конфигурации и геометрии испытуемых изделий и отношения внутренне произведенной теплоты к внешнему притоку тепла (теплопритоку) и тепловым характеристикам внешней поверхности.

2 Имитация поглощенного тепла с помощью инфракрасных ламп возможна для простых (плоских и цилиндрических, не имеющих затенений) или теплоизолированных поверхностей при условии знания термооптических характеристик внешнего слоя (покрытия) этих поверхностей. В остальных случаях для исключения больших погрешностей имитации, как правило, используется объединение двух методов.

4.3.13 Перед установкой АКА в ТВК устанавливают съемное технологическое оборудование, используемое только для целей испытаний (дополнительные температурные датчики, электрообогреватели, технологическая теплоизоляция и др.).

4.3.14 После монтажа испытуемого изделия в ТВК должны быть выполнены функциональные испытания, чтобы гарантировать готовность закрывания камеры.

4.3.15 В ТВК должны быть установлены пластины-свидетели для измерения уровня загрязнения. Места установки указываются в ТЗ (спецификации) на ТБИ.

4.3.16 Технологическое оборудование должно позволять при необходимости устанавливать АКА в требуемое положение с требуемой точностью.

Примечание — Например, данное требование необходимо в случае испытаний АКА с тепловыми трубами или с двухфазным контуром охлаждения.

4.4 Требования к объекту испытаний

4.4.1 ТБИ проводят либо на протолетной модели АКА, либо на тепловой модели АКА, подобной летному АКА в тепловом отношении.

4.4.2 Тепловая модель АКА должна использовать конструкцию летной разработки, то есть модель конструкции с полностью летной подсистемой терморегулирования. Приборы АКА могут быть заменены имитаторами. В таком случае имитаторы должны имитировать мощность, тепловыделение, радиационные характеристики, теплоемкость и установочные интерфейсы летного оборудования.

Допускается отсутствие крупногабаритных внешних частей АКА (солнечные батареи, антенны и др.), что может быть вызвано ограничениями испытательной базы.

4.4.3 При наличии в ТБИ режима выведения с сохранением стартовой конфигурации объект испытаний должен включать в себя АКА или тепловой макет АКА в стартовой конфигурации с использованием при необходимости имитатора последней ступени ракеты-носителя или разгонного блока.

Примечание — Если предусмотрен режим выведения с изменяемой конфигурацией АКА, конфигурация испытаний определяется с учетом тепловых анализов.

4.4.4 Испытуемый элемент должен быть оборудован подходящими температурными датчиками, установленными на критичных компонентах и ключевых тепловых узлах, соответствующих расчетной тепловой модели.

4.5 Испытательная документация

4.5.1 Для установления конкретных требований к испытаниям АКА, регистрации процедуры испытаний и результатов испытаний используются следующие основные документы:

- программы испытаний (ПОН, КПЭО);
- ТЗ (спецификации) на испытания;
- программы и методики испытаний;
- данные испытаний;
- отчеты по испытаниям;
- журналы испытаний.

4.5.2 ТЗ (спецификация) на испытания — документ, определяющий требования к испытаниям и соответствующие условия, которые необходимо реализовать для правильной демонстрации характеристик.

Примечание — ТЗ (спецификация) на испытания может быть объединена с планом испытаний и программой и методикой испытаний.

ТЗ (спецификация) на испытания содержит:

- цели испытаний;
- испытательные подходы (в том числе допущения и ограничения);
- разделы испытаний и организацию испытаний;
- требования к технологическому и испытательному оборудованию;
- требования к инструменту;
- условия и последовательность испытаний;
- испытательные возможности;
- критерии успешности проведения испытаний;
- требуемые документы, состав участников и график испытаний.

4.5.3 Программы и методики испытаний содержат цели испытаний в соответствии с утвержденными планами и спецификациями испытаний, где должны быть четко оговорены проверочные критерии и критерии «прошел — не прошел».

Программа и методика включает, как минимум, описание:

- признаков соответствия испытуемого объекта ТЗ (спецификации) на этот объект;
- критериев нормального и аномального процессов испытаний, целей, допущений и ограничений;

- схемы испытаний;
- всех контролируемых и регистрируемых параметров;
- входных данных;
- испытательного оборудования;
- ожидаемых промежуточных результатов испытаний;
- формата выходных данных;
- ожидаемых выходных данных.

4.5.4 Содержание и правила оформления программ и методик испытаний — в соответствии с ГОСТ Р 2.106—2019 (подраздел 4.11).

В разделе «Объект испытаний, его состав и назначение» указывают:

- комплектность испытуемого изделия.

В разделе «Цели и задачи» указывают конкретные цели и задачи, которые должны быть достигнуты и решены в процессе испытаний.

В разделе «Общие положения» указывают:

- перечень документов, на основании которых проводят испытания;
- место и продолжительность испытаний.

В разделе «Объем испытаний» указывают:

- перечень этапов испытаний и проверок, а также количественные и качественные характеристики, подлежащие оценке;
- порядок и последовательность подтверждения требований ТЗ;
- последовательность проведения и режимы испытаний;
- требования к объему измерений.

В разделе «Условия, режимы, порядок, место проведения, виды и этапы испытаний» указывают:

- условия проведения испытаний (с оценкой при необходимости степени их приближения к реальным условиям эксплуатации, заданным в ТЗ), а также имеющиеся ограничения и допустимые отклонения условий испытаний от заданных;
- условия начала и завершения отдельных этапов испытаний;
- условия прерывания (прекращения) испытаний;
- меры по обеспечению безопасности и безаварийности проведения испытаний;
- требования к составу и квалификации персонала.

4.5.5 Данные испытаний должны обрабатываться в количественной форме для возможности оценки характеристик при различных специфицированных испытательных условиях.

4.5.6 Отчет об испытаниях должен содержать полное изложение результатов испытаний, детализировать степень успеха в достижении целей испытаний, утвержденных планов и спецификаций испытаний, а также включать в себя данные о работе имитаторов тепловых потоков, поле плотностей теплового потока от имитатора солнечного излучения, оценку погрешности измерения внешних тепловых потоков, температур элементов испытуемого изделия и других необходимых параметров. На основании оценки погрешности измерений может быть сделан вывод о реальных результатах испытаний, а с учетом их сравнения с результатами расчетов — о корректности тепловой аналитической модели и необходимости ее доработки. В отчет также включают встреченные проблемы и недостатки, описание принятых в ходе испытаний мер для решения возникших проблем.

4.5.7 Проведение испытаний документируется в журнале испытаний.

4.5.8 Журнал испытаний должен идентифицировать персонал и содержать данные о времени проведения испытаний для возможности восстановления события в случае необходимости: время начала, время окончания, аномалии и любые периоды прерываний испытаний, а также содержать краткое изложение результатов испытаний.

4.6 Результаты испытаний, критерии успешности

4.6.1 Рассмотрение результатов испытаний проводится сразу после проведения испытаний.

4.6.2 Целью рассмотрения является обеспечение возможности официально оценить результаты завершенных испытаний.

4.6.3 Для рассмотрения необходимо предоставить данные для подтверждения аналитической тепловой модели и демонстрирования способности подсистемы терморегулирования АКА поддерживать указанные эксплуатационные температурные пределы приборов по всему АКА.

4.6.4 Результаты ТБИ считаются успешными, если:

- условия испытаний соответствуют условиям, определенным в ТЗ (спецификации);

- уровни заданных воздействий соответствуют оговоренным (такие воздействия, как тепловыделение оборудования АКА, тепловыделение аккумуляторной батареи на теневом участке орбиты);
- все параметры (в том числе температуры, градиенты, равномерность) находятся внутри допустимого диапазона.

Примечание — Значения температуры, измеренные в точках, указанных в ТЗ (спецификации), располагаются в диапазоне предсказанных гарантированных температур;

- отклонения между измеренным потреблением и вычисленным для нагревателей и охладителей должны быть внутри допуска по ТЗ (спецификации);
- удовлетворительная степень соответствия между температурными измерениями и прогнозами по расчетной тепловой модели; степень соответствия задается в ТЗ (спецификации) и в программах испытаний.

4.6.5 Могут быть применены следующие критерии соответствия:

- для внутреннего оборудования (отсутствует непосредственное воздействие на поверхность оборудования внешних тепловых потоков) — разность между измеренной и прогнозируемой для условий испытаний температурами не более 5 °С;
- для внешнего оборудования — разность между измеренной и прогнозируемой для условий испытаний температурами не более 10 °С;
- допустимое среднее отклонение разницы $\Delta T_{рс}$ по максимальному уровню температуры между температурами при испытаниях $T_{i\text{изм}}$ (избранные датчики) и по прогнозу ТММ $T_{i\text{прогноз}}$ (соответствующие узлы) должно быть — не более 2 °С.

Среднее отклонение $\Delta T_{ср}$ вычисляется по формуле

$$\Delta T_{ср} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(T_{i\text{изм}} - T_{i\text{прогноз}}\right), \quad (1)$$

где n — количество избранных датчиков, шт.

Примечание — Данное требование применимо для достаточного количества датчиков (рекомендуется 10—20 шт.) на оборудовании, имеющем подобные условия теплообмена и способы обеспечения теплового режима. Для конкретного проекта это значение может быть больше или меньше по результатам анализа уровня неопределенностей.

4.6.6 В случае нарушения критериев соответствия по 4.6.5 необходима корреляция ТММ.

Корреляция может считаться успешной, если разность между температурами, полученными в процессе испытаний и по расчетам коррелированной ТММ, в определенных точках не превышает ± 2 °С.

5 Термовакуумные испытания летной модели АКА

5.1 Общие положения

5.1.1 Целью ТВИ является проверка электрических характеристик оборудования АКА в условиях вакуума и при имитации экстремальных или близких к ним прогнозируемых для полета значений температуры.

5.1.2 ТВИ демонстрируют способность испытуемого изделия выполнить требования проекта.

5.1.3 Необходимость испытаний, конфигурация испытаний приводятся в плане испытаний АКА (или в комплексной программе экспериментальной отработки).

5.1.4 Как правило, функциональные испытания, выполненные в течение ТВИ, включают следующие минимальные требования к функционированию:

- при минимальной холодной температуре;
- при максимальной горячей температуре;
- во время переходов между температурами.

Для конкретного проекта АКА ТВИ могут включать режимы:

- имитация участка выведения;
- термоциклирование;
- проверка включения оборудования при минимальной и максимальной температурах.

5.2 Требования к условиям проведения испытаний

5.2.1 Циклограмма работы оборудования по возможности должна соответствовать рабочей при эксплуатации на орбите.

5.2.2 Ограничением при проведении термоциклов является непревышение при выдержках на максимальной и минимальной испытательных температурах полок квалификационных уровней оборудования и конструкции.

5.2.3 Выдержка при крайних значениях температур должна иметь продолжительность, позволяющую проверить работу АКА во всех основных режимах.

Продолжительность выдержки, число циклов, испытательный профиль и испытательная конфигурация должны быть определены в программе и методике испытаний с учетом ряда факторов (испытательные режимы, характеристики инерции теплоты и характеристики испытательного стенда).

5.2.4 ТВИ АКА проводятся для каждого летного АКА, для протолетного — с квалификационными уровнями или близкими к ним, для последующих — с приемочными или близкими к ним (на степень приближения в значительной степени влияют возможности испытательного оборудования, уровень квалификации оборудования АКА, погрешность измерений температур). Конкретные уровни испытательных температур определяются на основе тепловых анализов в программах испытаний разрабатываемого АКА.

5.2.5 Во время испытаний характеристики оборудования, участвующего в испытаниях, должны постоянно контролироваться и регистрироваться в процессе переходов температуры и при предельных температурах.

5.3 Обеспечение тепловых условий испытаний

5.3.1 На всех этапах ТВИ процедуры управления и анализа теплового режима основываются на расчетном прогнозе поведения АКА (контролируемых температурных параметров) в конкретных задаваемых условиях.

Этот расчетный прогноз выполняется как для зачетных режимов ТВИ, так и для технологических режимов (например, захолаживание и отогрев криогенных экранов ТВК).

5.3.2 Для управления работой инфракрасных имитаторов должны использоваться результаты заранее проведенных тарировочных испытаний.

5.3.3 Допускается достигать температурных пределов в определенных местоположениях, изменяя тепловые граничные условия в местном масштабе или изменяя эксплуатационную последовательность, чтобы обеспечить дополнительное нагревание или охлаждение. Смежное оборудование может быть включено или выключено.

Внешнее изменение направлений потока, затенение или нагревание допускается использовать до степени, не приводящей к нарушению требуемого теплового режима в рабочем или нерабочем состоянии.

Библиография

[1] ИСО 14644-1:2001[1)] Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха

[1)] Заменен на ИСО 14644-1:2015.

УДК 629.78:006.354 ОКС 49.090

Ключевые слова: автоматический космический аппарат, термобалансные испытания, термовакуумные испытания

Редактор *Е.И. Мосур*
Технические редакторы *В.Н. Прусакова, И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *А.В. Софейчук*

Сдано в набор 08.10.2019. Подписано в печать 25.11.2019. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,40.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru