

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОВЕРКИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОЙ РАКЕТЫ

Актуальность темы обусловлена критической зависимостью успеха космической миссии и безопасности полёта от безотказной работы бортовой аппаратуры (БА). Стоимость сбоя в космосе, как финансовых потерь, так и репутационных рисков, исключительно высока, что предъявляет уникальные требования к глубине и всесторонности её наземной отработки. Целью статьи является систематизация и описание комплекса методов и технических средств, применяемых для проверки БА космических ракет на всех этапах её жизненного цикла — от разработки до предстартовой подготовки. В работе рассматриваются ключевые классы проверок: функциональные, на надёжность (включая экологические испытания), на электромагнитную совместимость (ЭМС) и сквозные. Особое внимание уделено техническим средствам — специализированным имитационным и испытательным стендам, системам сбора данных и автоматизированного контроля. Делается вывод о том, что современный подход к проверке БА строится на принципах комплексности, автоматизации и максимального приближения испытательных условий к реальной эксплуатации, что позволяет минимизировать риски и обеспечить требуемый уровень надёжности сложных космических систем.

Ключевые слова: космическая ракета, бортовая аппаратура, наземная экспериментальная отработка, функциональный контроль, электрические проверки, имитационные стенды, сквозной контроль, испытания на надёжность, электромагнитная совместимость.

Methods and means for testing on-board equipment of a space rocket

Abstract

The relevance of this topic stems from the critical dependence of space mission success and flight safety on the reliable operation of onboard equipment (OE). The cost of a failure in space, both in financial losses and reputational risks, is exceptionally high, placing unique demands on the depth and comprehensiveness of its ground-based testing. The purpose of this article is to systematize and describe a set of methods and technical means used to test space rocket OE at all stages of its life cycle—from development to prelaunch preparation. The paper examines key classes of tests: functional, reliability (including environmental testing), electromagnetic compatibility (EMC), and end-to-end. Particular attention is paid to technical means—specialized simulation and test rigs, data collection systems, and automated control. It is concluded that the modern approach to OE testing is based on the principles of comprehensiveness, automation, and maximizing the approximation of test conditions to actual operation, which minimizes risks and ensures the required level of reliability for complex space systems.

Key words: space rocket, onboard equipment, ground-based experimental testing, functional control, electrical tests, simulation stands, end-to-end control, reliability tests, electromagnetic compatibility.

Введение

Актуальность. Бортвая аппаратура (БА) ракетно-космической техники представляет собой сложный комплекс систем управления, телеметрии, навигации, энергоснабжения и связи, отказ которых на любом этапе полёта — от старта до выполнения целевой задачи — может привести к катастрофическим последствиям. Это включает потерю уникального космического аппарата, многомиллиардные финансовые убытки, экологический ущерб и, что не менее важно, подрыв доверия к космической программе. В отличие от многих других отраслей, возможность оперативного ремонта или замены оборудования в космосе крайне ограничена или отсутствует. Следовательно, единственным эффективным способом гарантировать надёжность является проведение исчерпывающих, многоуровневых проверок на Земле. Это делает проблему выбора, совершенствования и применения адекватных методов и средств проверки БА одной из наиболее критических в инженерии космических систем.

Цель статьи — осуществить систематизацию и подробно описать комплекс методов и технических средств, применяемых для всесторонней проверки бортовой аппаратуры космических ракет на всех этапах её жизненного цикла, от начальной разработки до запуска.

Задачи, решаемые для достижения поставленной цели, включают:

1. Анализ и структурирование этапов проверок БА в рамках её жизненного цикла.
2. Классификация методов проверок по их целевой направленности (функциональность, надёжность, совместимость).
3. Описание основных технических средств и стендового оборудования, используемого для реализации этих методов.
4. Обозначение современных тенденций в области испытаний, таких как усиление роли цифрового моделирования (Digital Twin) и автоматизации тестовых процедур.

Структура статьи. После введения в работе представлена классификация проверок по целям, где детально рассмотрены функциональные проверки, испытания на надёжность, проверки ЭМС и сквозной контроль. Далее следует раздел, посвящённый этапам проверок в жизненном цикле аппаратуры, включая разработку, производство и подготовку к запуску. В заключительной части подводятся итоги и формулируются ключевые выводы о современном состоянии и тенденциях в области испытаний бортовой аппаратуры.

1. Классификация проверок по целям

Проверки бортовой аппаратуры можно систематизировать по их основной целевой направленности, что определяет методологию, условия и средства их проведения.

1.1. Функциональные проверки. Это базовый класс проверок, целью которого является верификация способности аппаратуры выполнять свои штатные функции в соответствии с техническим заданием. Проверки проводятся в нормальных климатических условиях и включают:

- Проверку электрических режимов: контроль напряжений, токов, потребляемой мощности, стабильности работы источников вторичного электропитания.
- Проверку логики работы и алгоритмов: тестирование процессорных модулей, правильности обработки команд, формирования управляющих сигналов, реакции на внешние воздействия.
- Проверку интерфейсов: тестирование каналов связи (цифровых, аналоговых, шинных) на корректность протоколов обмена, скорость и достоверность передачи данных.
- Моделирование рабочих циклов: выполнение аппаратурой типовых и критических сценариев полёта в ускоренном или реальном времени.

Основным средством являются автоматизированные испытательные стенды, состоящие из управляющего компьютера с тестовым ПО, коммутационной матрицы, измерительного оборудования (осциллографы, мультиметры, анализаторы протоколов) и имитаторов внешних устройств.

1.2. Проверки надёжности (испытания). Цель — подтверждение способности аппаратуры работать в условиях, максимально приближенных к реальным или превышающих их по строгости. К ним относятся:

- Климатические и тепловвакуумные испытания: проверка работоспособности в диапазоне эксплуатационных температур, при тепловых ударах, в условиях глубокого вакуума, имитирующего космическое пространство.
- Механические испытания: вибрационные (для проверки стойкости к нагрузкам при старте и полёте в атмосфере), ударные (имитация отделения ступеней, срабатывания пирозамков), акустические (воздействие звукового давления под обтекателем). [4, с.45]

- Радиационные испытания: облучение компонентов ионизирующей радиацией для оценки стойкости к воздействию космических лучей и радиационных поясов Земли. Для проведения этих испытаний используются климатические камеры, тепловакуумные установки, вибростенды, акустические камеры и облучательные установки.

1.3. Проверки электромагнитной совместимости (ЭМС). Критически важный вид проверок, направленный на обеспечение способности аппаратуры корректно функционировать в общей электромагнитной обстановке ракеты, не создавая при этом недопустимых помех другим системам. Включает:

- Испытания на помехоустойчивость: проверка работы при воздействии кондуктивных и излучаемых помех (импульсных, высокочастотных).
- Испытания на собственные мешающие излучения: измерение уровней паразитных излучений от аппаратуры в широком частотном диапазоне. Проводятся в экранированных безэховых камерах с использованием генераторов помех, измерительных антенн и анализаторов спектра.

1.4. Сквозные (комплексные) проверки. Наиболее интегральный вид проверок, целью которого является отработка взаимодействия всего комплекса БА ракеты-носителя (РН) и космического аппарата (КА) как единой системы. Проверяется:

- Корректность прохождения команд по всем цепям от наземного пульта до исполнительных органов.
- Правильность формирования, передачи и обработки телеметрической информации.
- Слаженность работы систем управления РН и КА, разделения, управления движением. Для этих целей создаются комплексные моделирующие стенды, объединяющие реальную БА, имитаторы систем-смежников (двигателей, датчиков, полезной нагрузки) и мощные вычислительные средства для моделирования динамики полёта («железо в контуре»).

2. Этапы проверок в жизненном цикле

Методы и глубина проверок варьируются в зависимости от этапа жизненного цикла аппаратуры.

2.1. Этап разработки (прототипы). На этом этапе проверки носят исследовательский и отладочный характер.

- Объекты испытаний: инженерные, технологические и квалификационные образцы.
- Цели: отладка схемотехнических и конструкторских решений, верификация алгоритмов, снятие основных характеристик, выявление и устранение скрытых дефектов.
- Средства: используются лабораторные макеты, прототипы стендов, отладочные средства разработчиков (программаторы, внутрисхемные эмуляторы), а также начинается применение специализированных испытательных стендов для функциональных проверок и первых механических/климатических испытаний на технологических образцах.

2.2. Этап производства. Проверки направлены на контроль качества изготовления и сборки.

- Входной контроль: проверка параметров поступающих электронных компонентов (микросхем, резисторов, конденсаторов).
- Контроль монтажа: автоматизированный оптический контроль (АОИ) и рентгеновский контроль (АХИ) печатных плат для выявления дефектов пайки (непропай, короткое замыкание, перекос компонентов).
- Функциональный контроль на уровне модулей (плат): тестирование собранных печатных плат на внутрисхемных тестерах (ICT) и функциональных тестерах.

Контроль готовых приборов: проведение полного цикла функциональных проверок и, в ряде случаев, облегчённых испытаний на воздействие внешних факторов для каждого серийного изделия. Результаты заносятся в формуляры.

2.3. Этап сборки и подготовки к запуску. Заключительный и наиболее ответственный этап, где проверяется работоспособность интегрированных систем.

- На техническом комплексе (ТК): проводятся комплексные электрические проверки собранной ракеты-носителя с установленной БА, включая частичное или полное «прожигание» (циклирование) систем. Отрабатываются взаимодействия между ступенями, системами РН и КА.
- Интеграция на стартовом комплексе (СК): после установки РН на стартовую позицию выполняются проверки связи с наземным оборудованием старта, тесты цепей подготовки и запуска двигателей, финальные функциональные проверки в условиях, максимально приближенных к реальным.
- Предстартовые тесты: непосредственно перед запуском выполняются краткие, но критически важные проверки ключевых параметров систем (давление в магистралях, напряжение бортовой сети, готовность систем управления) для подтверждения готовности к пуску.

Воздействие от срабатывания пиросредств носит случайный характер, и его параметры варьируются с распространением по конструкции в широком диапазоне, что усложняет определение действующих нагрузок в местах крепления БА. В связи с этим измерение ударного импульса и последующее вычисление спектра удара должно относиться только к определённому месту: основанию КА, месту крепления конкретной БА или группы БА, закреплённых в близких местах по конструкции КА, и т. п. Затухание ударных воздействий можно представить как функцию от расстояния, которое проходит возмущение по конструкции от источника воздействия до места крепления БА. Данная зависимость в дискретном виде (расстояния сгруппированы в диапазоны) представлена в табл. 1. Таблица формировалась, исходя из ГОСТ В 24880-81. Для каждой БА (группы БА) необходимо сравнить уровни, которые приходятся на эту БА (или группу БА) от всех источников ударного воздействия с учётом затухания, и на основе этих данных сформировать значение спектра удара, к которому должна быть стойкой данная БА.

Таблица 1

Частота, Гц	100	500	1000	5000	10 000
Спектр удара, g	150	1750	5000	5000	2500

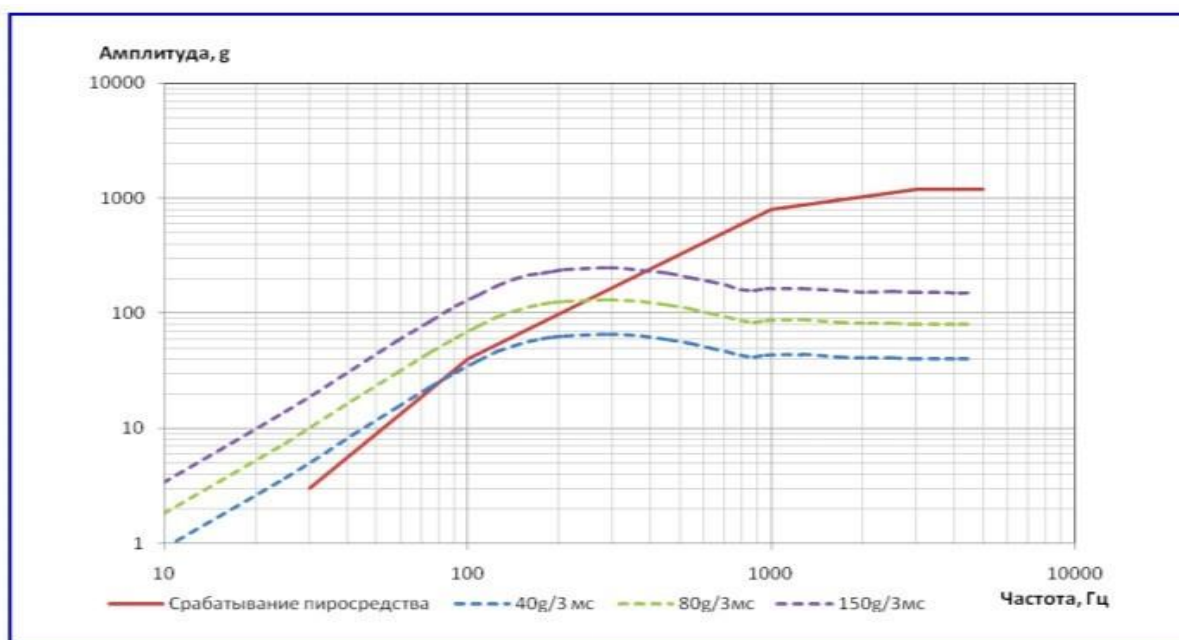


Рис. 1. Типичный спектр удара пиросредств с амплитудой 1200g (срабатывание СО КА «Канопус-В» № 1) и спектр удара от импульсов разной амплитуды

При отсутствии экспериментальных и расчётных данных о характеристиках используемых пиросредств для оценки нагрузки на БА может использоваться максимальное обобщённое значение нагрузок от различных пиросредств по ГОСТ В 24880-81, представленное в табл. 2. Определённые тем или иным способом нагрузки на БА используются для подтверждения её стойкости к ударным нагрузкам.

Таблица 2

Расстояние от источника воздействия, м	<0,7	0,7 – 1,5	1,5 – 3,0
Доля спектра удара, %	100	50 – 20	20 – 10

В случае, если спектр ответа одного импульса не полностью перекрывает требуемый, подбираются дополнительные импульсы другой длительности (и возможно амплитуды) так, чтобы огибающая спектров от этих импульсов перекрывала заданный спектр, как показано на рис. 2. График построен в безразмерных осях, на нём представлена зависимость коэффициента, динамичности K_d от частоты осциллятора, отнесённой к частоте импульса λ .

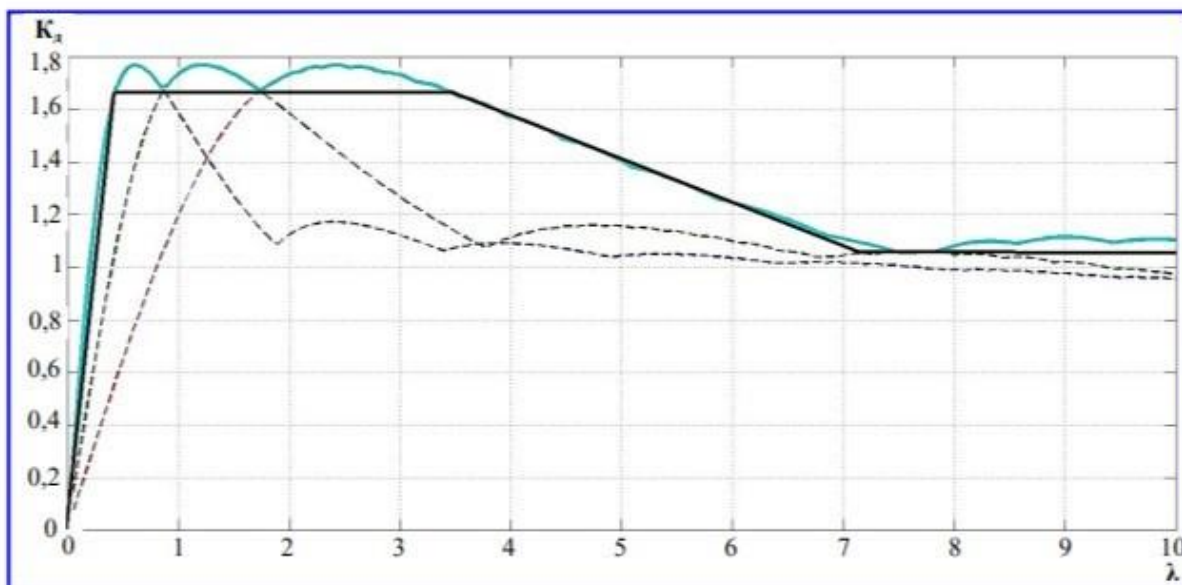


Рис. 2. Спектры ответа ряда из трёх импульсов. Пунктиром показаны спектры ответа от трёх импульсов разной длительности, сплошной – их огибающая (голубая линия), которая охватывает требуемый спектр (черная линия)

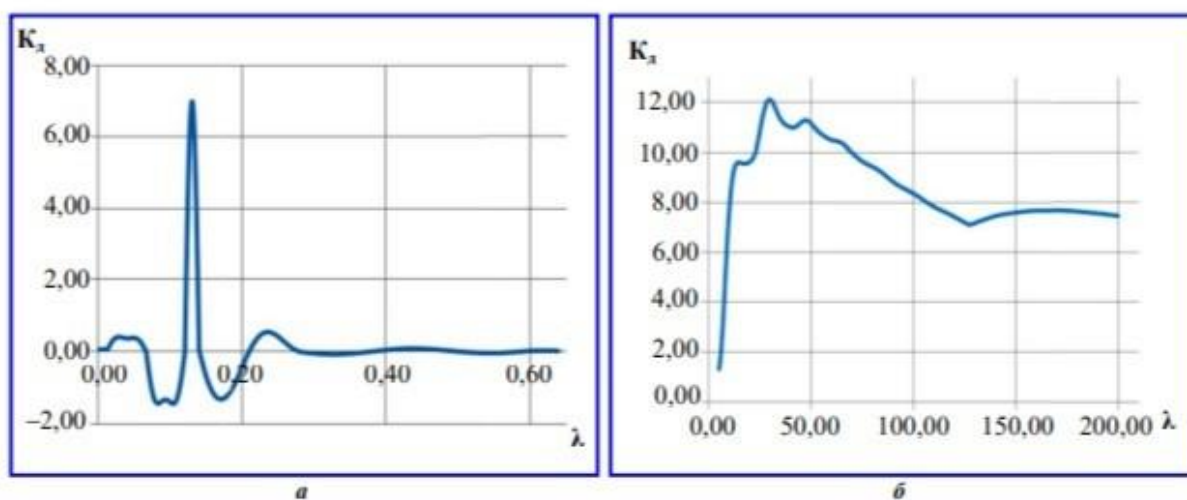


Рис. 3. Эталонный испытательный импульс (а), спектр ответа от воздействия эталонного испытательного импульса (б)

Испытания на вибростенде. При испытаниях на вибростенде ударное воздействие имитируется одним или несколькими полусинусоидальными импульсами. Эталонный полусинусоидальный импульс (рис. 3) состоит из основного импульса, который определяется пиковым уровнем воздействия, а также предварительного и последующего импульса, которые необходимы для правильной работы стенда. Сложность метода состоит в получении высоких уровней воздействий во всём частотном диапазоне.

Суть этих испытаний заключается в сбрасывании испытываемого объекта, установленного на копровую плиту, с высоты, и замера уровней ускорений при его ударе о поверхность. Также допускается проводить удар по плите копра с аппаратурой движущимся ударным молотом. Типичный спектр копровых испытаний представлен на рис. 4 [4].

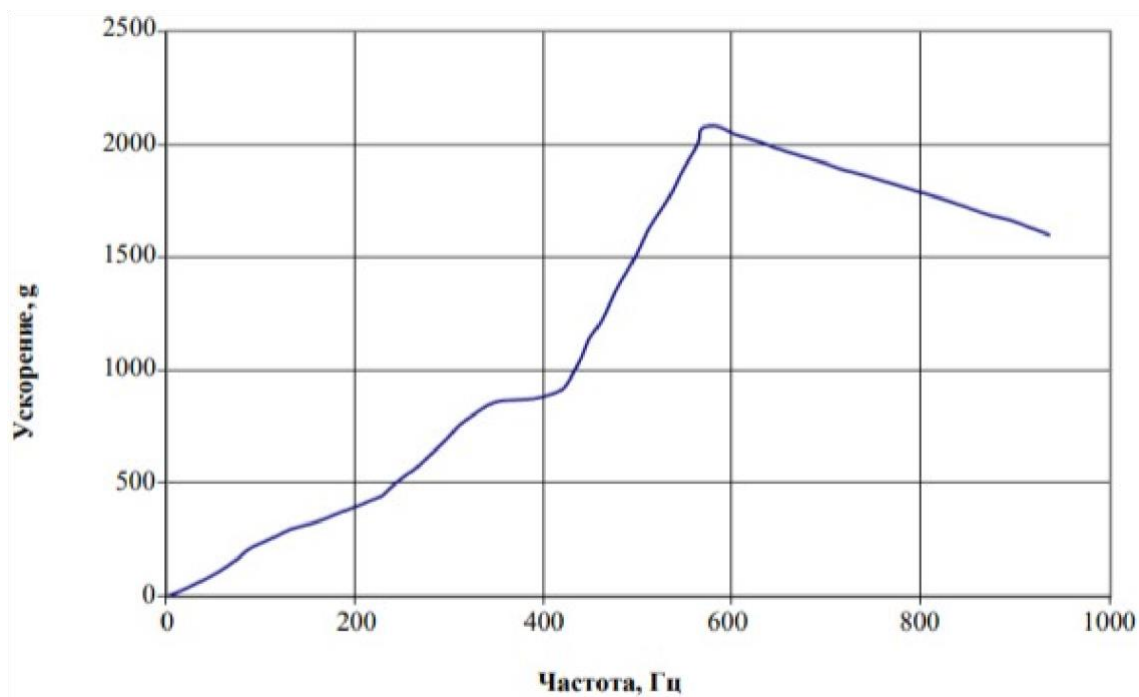


Рис. 4. Типичный спектр ответа для копровых испытаний

Первая схема испытаний, когда объект испытаний имеет начальную скорость, приводит к перегрузкам конструкции БА от скачка скорости, в то время как реальное пиротехническое воздействие имеет другую природу.

3. Основные методы проверок и используемые средства

3.1. Методы электрических и функциональных проверок

Электрические и функциональные проверки составляют основу испытательного процесса, начиная с уровня отдельных компонентов и заканчивая комплексными системами. Их цель — верификация корректности электрических схем, статических параметров и динамического поведения аппаратуры в соответствии с техническим заданием.

Статический контроль направлен на проверку целостности монтажа и базовых электрических параметров без подачи рабочего питания или сигналов.

Методы и цели: Проверка на отсутствие обрывов и коротких замыканий (КЗ) в цепях питания, сигнальных и силовых линиях; измерение сопротивления изоляции высоковольтных цепей; контроль падения напряжения на ключевых элементах. [2, с.25]
Используемые средства:

□ Автоматические тестеры цепей (например, на базе Boundary-Scan / JTAG): Позволяют дистанционно, через тестовый доступ, проверять соединения на сложных печатных платах без физического доступа к точкам.

□ Мегаомметры: используются для измерения высокого сопротивления изоляции (порядка сотен МОм – ГОм) между цепями и корпусом, что критически важно для предотвращения пробоев в условиях вакуума и влажности.

□ Мультиметры и микроомметры: применяются для точного измерения малых сопротивлений силовых цепей, контактов разъемов, что позволяет выявить непропаи или ослабленные соединения.

Динамический (функциональный) контроль — это проверка способности аппаратуры выполнять свои алгоритмические функции при подаче рабочего питания и тестовых воздействий.

Методы и цели: Подача на входы аппаратуры стимулирующих сигналов (аналоговых, цифровых, последовательных) и анализ выходных реакций по времени, амплитуде, форме и

логике. Проверка работы процессоров, памяти, шин обмена данными, аналого-цифровых преобразователей.

Используемые средства:

Автоматизированные контрольно-проверочные комплексы (АКПК): это программно-аппаратные стенды, являющиеся основным инструментом регламентных проверок. АКПК включают управляющий компьютер со специализированным ПО (часто на базе LabVIEW, TestStand), коммутационную матрицу для подключения тестируемого объекта, набор измерительных приборов (осциллографы, анализаторы спектра, генераторы сигналов) и источники питания. АКПК позволяет автоматически выполнять сложные циклограммы проверок, регистрировать все данные и формировать протоколы.

Стенды "электрического изделия" (СЭИ) или стенды-имитаторы смежных систем: используются для проверки отдельного прибора (например, блока управления двигателем) в условиях, максимально приближенных к штатным, но без реальных смежных систем. СЭИ имитирует работу всех устройств, с которыми взаимодействует тестируемый прибор: формирует сигналы датчиков, принимает управляющие команды, создает нагрузку на силовые выходы. Это позволяет глубоко и безопасно отработать логику прибора в изоляции от других дорогостоящих систем.

3.2. Методы имитации и моделирования

Для проверки поведения систем в условиях, которые невозможно или крайне дорого воспроизвести физически, применяются методы имитации и моделирования.

Стенды комплексного моделирования (СКМ) представляют собой мощные вычислительные комплексы, решающие уравнения динамики полёта ракеты-носителя (РН) и космического аппарата (КА).

- Принцип работы: На СКМ работает высокоточная математическая модель, включающая модели двигательной установки (тяга, расход), аэродинамики, гравитации, работы системы управления. Эта модель в реальном времени генерирует данные, которые в полёте формировали бы бортовые датчики (гироскопы, акселерометры). [3, с.15]

- Цель: Проверка и отладка алгоритмов системы управления, анализ устойчивости контура управления, моделирование штатных и нештатных ситуаций полета (отказ двигателя, ветровые возмущения) без риска для реального оборудования.

Имитаторы источников сигналов — это специализированное аппаратное обеспечение, которое заменяет реальные датчики и системы во время наземных испытаний.

Типы имитаторов:

- Имитаторы инерциальных измерительных блоков (ИИБ): Формируют высокоточные сигналы, идентичные выходным сигналам гироскопов и акселерометров, соответствующие заданному движению модели из СКМ.

- Имитаторы спутниковой навигации (GPS/ГЛОНАСС): Генерируют радиосигналы с задержками, соответствующими положению и скорости моделируемого объекта, позволяя проверять работу бортовых приемников.

- Имитаторы звёздных датчиков, датчиков давления, солнечных датчиков и т.д.

Метод "железо-в-контуре" (Hardware-in-the-Loop, HiL) — это интеграционная технология, объединяющая реальное "железо" (бортовую аппаратуру) с виртуальной средой.

- Принцип работы: Реальный блок управления (например, центральный вычислительный модуль) устанавливается на стенд. Его входные разъемы подключаются не к реальным датчикам и исполнительным органам, а к мощным вычислительным платам реального времени (часто на базе процессоров от dSPACE, National Instruments). На этих платах в режиме жесткого реального времени выполняется модель объекта управления и внешней среды (СКМ). Модель вычисляет, какие сигналы должны прийти с датчиков в ответ

на управляющие команды от реального блока, и подает их через ЦАП и дискретные выходы. Блок управления "считает", что управляет реальной ракетой.

Цель: Максимально достоверная проверка работы реальной аппаратуры в широком диапазоне сценариев, включая критические и аварийные, что значительно повышает уверенность в её корректной работе в реальном полете.

4. Специализированные средства и комплексные проверки

4.1. Средства для испытаний на надежность

Эти средства создают физические условия, моделирующие или превышающие эксплуатационные нагрузки.

- Вибростенды: для воспроизведения вибраций при старте (низкочастотные, высокой амплитуды) и акустических нагрузок под обтекателем (широкополосный случайный сигнал). Электродинамические вибростенды наиболее распространены для широкого частотного диапазона. Гидравлические стенды используются для низкочастотных испытаний крупногабаритных конструкций.

- Термобарокамеры (ТБК, тепловакуумные камеры): Многофункциональные установки, позволяющие создавать глубокий вакуум (до 10^{-6} Па и ниже) и регулировать температуру в диапазоне от -180°C до $+150^{\circ}\text{C}$ и выше. Внутри камеры размещается испытуемое изделие, а на его поверхности устанавливаются термодатчики и нагреватели/охладители для создания заданного теплового режима. Проверяется работоспособность аппаратуры в вакууме, эффективность системы терморегулирования, процессы дегазации материалов.

- Стенды радиационных испытаний: включают источники ионизирующего излучения (ускорители электронов, протонов, гамма-установки на основе кобальта-60). Компоненты и образцы аппаратуры облучаются дозами, соответствующими предполагаемому сроку активного существования на орбите. Оценивается стойкость электронных компонентов (особенно микросхем памяти и процессоров) к сбоям (Single Event Effects) и накопленному дозовому повреждению (Total Ionizing Dose).

4.2. Средства для проверок ЭМС

Проверки ЭМС проводятся в контролируемой электромагнитной обстановке.

- Экранированные камеры: Поглощающие (безэховые) камеры, стенки которых покрыты радиопоглощающим материалом, создают пространство, свободное от внешних помех и отражений. Это позволяет точно измерять излучаемые аппаратурой помехи.

- Измерительное оборудование: Широкополосные измерительные антенны, анализаторы спектра высокого класса, измерители напряженности поля.

- Генераторы помех: Используются для проведения испытаний на помехоустойчивость — на аппаратуру наводятся кондуктивные (через линии питания и связи) и излучаемые (через антенны) помехи заданной мощности и формы (импульсные, CW). [7, с.45]

4.3. Организация сквозных (комплексных) проверок

Это финальный и наиболее интегральный этап испытаний, проводимый на техническом (ТК) и стартовом (СК) комплексах.

- Цель: Верификация корректности электрических, информационных и логических связей между всеми системами РН и КА, отработка совместных алгоритмов работы.

- Средства: На ТК используются стационарные комплексные стенды, к которым подключается вся собранная ракета. На СК применяются мобильные проверочные пункты и кабельные сети стартового сооружения.

- Процесс: выполняется полная электрическая стыковка систем. Проводятся совместные проверки по полетным циклограммам: от предстартовой подготовки (наддув

баков, раскрутка гироскопов) и запуска двигателей (в режиме имитации) до управления полетом, отделения ступеней, сброса головного обтекателя и выведения КА на заданную орбиту. Все команды передаются с наземного пульта, а телеметрическая информация со всех систем считывается и анализируется в реальном времени.

5. Перспективные направления и тенденции

Современная практика проверок развивается в сторону большей интеллектуализации, интеграции и прогнозируемости.

Цифровизация и IoT-подход: Активное внедрение концепции «цифрового двойника» (Digital Twin). Это высокоточная виртуальная копия физической аппаратуры, которая обновляется в реальном времени по данным телеметрии и испытаний. Двойник позволяет прогнозировать остаточный ресурс, оптимизировать графики технического обслуживания и проводить виртуальные эксперименты для анализа последствий потенциальных отказов.

Автоматизация и AI: Искусственный интеллект и машинное обучение применяются для:

- ▢ **Анализа больших данных испытаний:** Автоматическое выявление слабых корреляций, аномальных тенденций в параметрах, которые могут ускользнуть от внимания человека.

- ▢ **Оптимизации тестовых сценариев:** Генерация наиболее эффективных наборов тестов для максимального покрытия функциональности при минимальном времени. [2, с.28]

- ▢ **Прогнозной аналитики:** Предсказание вероятности отказа на основе истории эксплуатации и данных текущих проверок.

- **Методы неразрушающего контроля (НК):** Использование термографии (для выявления перегрева элементов), акустической эмиссии (для обнаружения микротрещин в конструкциях), вибродиагностики (для оценки состояния механических узлов) позволяет мониторить состояние аппаратуры без её разборки, в том числе на этапе эксплуатации.

- **Унификация и стандартизация:** Стремление к использованию единых стандартных интерфейсов для стендового оборудования (например, на базе Ethernet, SpaceWire, PCIe) и форматов данных (XML, JSON для тестовых протоколов). Это снижает стоимость и сроки разработки стендов, упрощает их интеграцию и модернизацию.

- **Удаленный контроль и диагностика:** Развитие сетевых технологий позволяет специалистам из центра управления проводить углубленный анализ данных проверок и даже дистанционно участвовать в процессах принятия решений на техническом комплексе, что особенно актуально для международных проектов.

6. Заключение

Проверка бортовой аппаратуры космической ракеты представляет собой сложный, многоуровневый и итеративный процесс, являющийся краеугольным камнем обеспечения надежности космических миссий. Как показано в статье, этот процесс строится на системном сочетании методов функционального контроля, физических испытаний на надежность и комплексного математико-физического моделирования, реализуемых с помощью специализированных технических средств — от автоматизированных стендов до уникальных климатических и вибрационных установок.

Ключевой тезис заключается в том, что эффективность проверок определяется не столько совершенством отдельных стендов, сколько строгой, регламентированной системой их применения на всех этапах жизненного цикла аппаратуры. Принципы «от простого к сложному» (от компонента к системе) и «от элемента к комплексу» обеспечивают последовательное выявление и устранение дефектов на самых ранних и наименее затратных стадиях.

Современные тенденции — цифровизация, внедрение искусственного интеллекта, развитие методов неразрушающего контроля — ведут к трансформации процесса проверок из преимущественно реактивного (поиск существующих дефектов) в прогнознопревентивный. Создание цифровых двойников и интеллектуальный анализ данных позволяют не только констатировать текущее состояние, но и прогнозировать его изменение, оптимизируя ресурсы и повышая общую уверенность в успехе миссии. Таким образом, непрерывное развитие методологии и средств проверки бортовой аппаратуры остается неотъемлемым и динамичным условием повышения надежности и экономической эффективности космической деятельности.

7. Список литературы

1. ГОСТ Р 52965-2018 (ИСО 14624-1:2003). Изделия космической техники. Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам. Часть 1.
2. ECSS-E-ST-10-03C. Space engineering. Testing.
3. Мишин, В.П. Методы экспериментальной отработки ракетно-космической техники / В.П. Мишин. — М.: Машиностроение, 2018.
4. Смирнов, Н.Н., Петров, А.В. Комплексные стенды для испытаний систем управления ракет-носителей // Космонавтика и ракетостроение. — 2022. — № 4(105). — С. 45-54.
5. Лебедев, И.В. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование / И.В. Лебедев, М.Н. Фильчаков. — М.: Радио и связь, 2019.
6. Костин, Д.Ю. Применение технологии Hardware-in-the-Loop для отработки бортовой аппаратуры космических аппаратов // Труды МАИ. — 2021. — № 118.
7. *Название стандарта предприятия (СТП) или отраслевого руководящего документа (РД) по методикам испытаний конкретного предприятия-разработчика.*
8. Материалы научно-технических конференций «Пилотируемые полеты в космос», «Авиакосмические технологии».