

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космической технологии

Байманова Ажар Булатқызы

«Основы испытания космических аппаратов (КА)»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В074600 – Космическая техника и технологии

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий
Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
«Электроники,
телекоммуникации и
космических технологий»
Таштай Е.
" 25 " 05 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: "Основы испытания космических аппаратов (КА)"

по специальности 5В074600 – Космическая техника и технологии

Выполнил

Байманова А.Б.

Рецензент
PhD, заведующий кафедры
«КИ».
Алматинский университет
энергетики и связи имени
Г.Даукеева
Төлендіұлы Санат
" 25 " 05 2022 г.

Научный руководитель
к.т.н, заведующий
кафедрой «Электроники,
телекоммуникации и
космических технологий»
Таштай Е.
" 25 " 05 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН


Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космическая технологий»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Электроники,
телекоммуникации и
космической технологий»

 Таштай Е.
«21» XII 2021 г

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Дипломнице Баймановой Ажар Болаткызы

Тема: «Основы испытания космических аппаратов (КА)».

Утверждена приказом Ректора Университета ...№489-П/Ө.... от
«24» декабря 2021 года.

Срок сдачи законченной работы «30» апреля 2022 г.

Исходные данные к дипломной работе: 1. Требования международных стандартов СТ РК ECSS E-ST - 10C-2011 "Космический инжиниринг. Космические разработки, проектирование. Системное проектирование"; 2. Требования СТ РК ГОСТ Р 51143-2010 "Комплексы стартовые и технические ракетно-космических комплексов. Общие требования испытаниям и приемке" 3. Требования СТ РК ИСО 15864-2010 "Системы космические. Общие методы испытаний космических кораблей, подсистем и блоков" 4. Требования СТ РК ECSS Q-ST-70-04C -2013 "Гарантия космической продукции. Термические испытания для оценки космических материалов, процессов, механических деталей и узлов"; 5. Требования СТ РК ECSS E-ST-10-03C -2013 "Космический инжиниринг. Испытания

Перечень вопросов подлежащих изучить и представить в дипломной работе:

- а) Обзор видов испытаний стартовых и технических ракетно-космических комплексов
- б) Цели и задачи комплексных испытаний
- в) Программы и методики испытаний космических аппаратов

- г) Особенности программ испытаний на надежность КА
- д) Роль автоматизированной системы испытаний в проектировании КА





ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Обзор видов испытаний стартовых и технических ракетно-космических комплексов	1.09.2021-31.12.2021	Выполнено
2. Анализ цели и задачи комплексных испытаний	1.01.2022-30.01.2022	Выполнено
3. Программы и методики испытаний космических аппаратов	1.02.2022-15.02.2022	Выполнено
4. Анализ особенностей программ испытаний на надежность КА	16.02.2022-31.03.2022	Выполнено
5. Роль автоматизированной системы испытаний в проектировании КА	1.04.2022-15.04.2022	Выполнено
6. Написание дипломной работы	15.04.2022-30.04.2022	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную работу с указанием относящихся к ним разделов дипломной работы

Наименование разделов	Консультанты Ф.И.О. (уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Обзор видов испытаний стартовых и технических ракетно-космических комплексов	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е.	31.12.2021	
Методика испытаний космических аппаратов	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е.	15.02.2022	
Расчеты и программы испытаний на надежность КА	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е.	30.04.2022	
Нормоконтролер	Магистр технических наук, лектор - Ибекеев С.	26.05.2022	

Научный руководитель



к.т.н. Таштай Е

Задание принял к исполнению обучающийся
 “10” декабря 2021 г.



Байманова А.Б.

АННОТАЦИЯ

В данной работе описаны основы испытания космических аппаратов для обеспечения надежности ракетно-космических комплексов на всех этапах ее эксплуатации. Проведен обзор видов испытаний стартовых и технических ракетно-космических комплексов. Описаны цели и задачи комплексных испытаний. Описаны требования к содержанию программы и методики испытаний космических аппаратов, а также приведены примеры для некоторых из них. Перечислены особенности программ испытаний на надежность космических аппаратов и представлена роль автоматизированной системы испытаний в проектировании.

Ракетно-космический комплекс представляет собой сложную техническую систему. Поэтому при экспериментальной отработке таких систем необходимо опираться на теоретические основы планирования, проведения и анализа результатов испытаний сложных технических систем. Но, как результат, позволяет исключить большую часть из возможных неполадок в процессе эксплуатации.

АНДАТПА

Бұл жұмыста зымыран-ғарыш кешендерін пайдаланудың барлық кезеңдерінде оның сенімділігін қамтамасыз ету үшін ғарыш аппараттарын сынау негіздері сипатталған. Ұшыру және техникалық зымыран-ғарыш кешендерін сынау түрлеріне шолу жүргізілді. Кешенді сынақтардың мақсаттары мен міндеттері сипатталған. Ғарыш аппараттарын сынау бағдарламасы мен әдістемесінің мазмұнына қойылатын талаптар сипатталған, сондай-ақ олардың кейбіреулеріне мысалдар келтірілген. Ғарыш аппараттарының сенімділігіне арналған сынақ бағдарламаларының ерекшеліктері келтірілген және жобалаудағы автоматтандырылған сынақ жүйесінің рөлі ұсынылған.

Зымыран-ғарыш кешені Күрделі техникалық жүйе болып табылады. Сондықтан мұндай жүйелерді эксперименттік әзірлеу кезінде күрделі техникалық жүйелерді сынау нәтижелерін жоспарлаудың, жүргізудің және талдаудың теориялық негіздеріне сүйену қажет. Бірақ, нәтижесінде, бұл жұмыс кезінде мүмкін болатын ақаулардың көп бөлігін жоюға мүмкіндік береді.

ANNOTATION

This paper describes the basics of spacecraft testing to ensure the reliability of start and space systems at all stages of its operation. A review of the types of tests of launch and technical rocket-space complexes has been carried out. The goals and objectives of complex tests were described. The requirements for the content of the program and the methodology for testing spacecraft were described, as well as examples for some of them. The features of spacecraft reliability test programs were listed and the role of an automated test system in design was presented.

The rocket-space complex is a complex technical system. Therefore, in the experimental development of such systems, it is necessary to rely on the theoretical foundations of planning, conducting and analyzing the results of testing complex technical systems. But, as a result, it allows you to eliminate most of the possible malfunctions during operation.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Обзор видов испытаний стартовых и технических ракетно-космических комплексов	10
1.1 Состав ракетно-космических комплексов	10
1.2 Описание воздействия факторов космического пространства	11
1.3 Виды испытаний стартовых и технических ракетно-космических комплексов	12
1.4 Цели и задачи комплексных испытаний	16
2 Методика испытаний космических аппаратов	20
2.1 Испытания на воздействие механических факторов	20
2.2 Испытания на воздействие термических факторов	25
2.3 Испытания на воздействие климатических факторов	27
2.4 Испытания на воздействие радиационных факторов	27
2.5 Испытания на воздействие электро-магнитных факторов	28
2.6 Электрические испытания	29
2.7 Роль автоматизированной системы испытаний в проектировании КА	29
3 Расчеты и программы испытаний на надежность КА	31
3.1 Надежность и безопасность космического аппарата	32
3.2 Надежность как вероятность случайного события	36
3.3 Надежность как качество, развернутое во времени	37
3.4 Надежность как вероятностная прочность	38
3.5 Надежность как вероятность невыброса случайного процесса	39
3.6 Техничко-экономическое обоснование	39
Заключение	43
Список использованной литературы	44
Список использованных сокращений	46

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе описаны основы испытания космических аппаратов для обеспечения надежности ракетно-космических комплексов на всех этапах ее эксплуатации. Проведен обзор видов испытаний стартовых и технических ракетно-космических комплексов. Описаны цели и задачи комплексных испытаний. Описаны требования к содержанию программы и методики испытаний космических аппаратов, а также приведены примеры для некоторых из них. Перечислены особенности программ испытаний на надежность космических аппаратов и представлена роль автоматизированной системы испытаний в проектировании.

Согласно Посланию Первого Президента Республики Казахстан – Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050» Казахстан должен расширить свою нишу на мировом рынке космических услуг, а именно сборочно-испытательной комплекс космических аппаратов в Нурсултане, космическую систему дистанционного зондирования, национальную систему космического мониторинга и наземной инфраструктуры, систему высокоточной спутниковой навигации.

К 2030 году Казахстан должен расширить свою нишу на мировом рынке космических услуг и довести до логического завершения ряд начатых проектов. Имеется в виду сборочно-испытательной комплекс космических аппаратов в Астане, космическую систему дистанционного зондирования, национальную систему космического мониторинга и наземной инфраструктуры, систему высокоточной спутниковой навигации. В процессе создания и подготовки к эксплуатации космических аппаратов они подвергаются различным испытаниям от проектно-конструкторских и квалификационных до более трудоемких – протолетных и предстартовых проверочных испытаний.

1 ОБЗОР ВИДОВ ИСПЫТАНИЙ СТАРТОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

1.1 Состав ракетно-космических комплексов

Оборудование, входящее в состав стартового комплекса, обеспечивает транспортировку ракеты, установку на пусковое устройство, предпусковые проверки комплекса, заправку топливными компонентами, газами, а также защиту ракеты от воздействия окружающей среды и ее запуск. Исходные комплексы сложны и разнообразны. Поэтому их проектирование осуществляется с использованием мощных приборов учета, которые сокращают время расчета, оптимизируют конструкции и автоматизируют создание технической документации. Эксплуатация стартовых комплексов и ракетных комплексов сопровождается большим количеством выполняемых операций и объемом передаваемой информации, что требует автоматизации процессов предпусковой подготовки с использованием компьютерных технологий.

Жизнеспособность стартовых комплексов специального назначения обеспечивается защитой их оборудования и конструкций от воздействия ударов с помощью системы амортизации. Для стартовых комплексов, предназначенных для работы в автономных условиях, большое значение имеет обеспечение теплового и влажностного режима, необходимы работы в области систем тепло-массообмена и контроля температуры.

Таким образом, параллельно развивались и взаимно дополняли друг друга работы по освоению космоса и изучению влияния космической среды на стартовые ракетно-космические комплексы и обеспечению их длительной безаварийной работы. Кроме того, методы обеспечения лабораторных и полевых экспериментов необходимыми инструментами и испытательными стендами, вычислительные и теоретические методы и модели, методы обработки информации и т. д. являются общими для обоих направлений.

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в настоящее время в обеспечении устойчивости материалов к воздействию ФКП, исследования в этой области остаются актуальными [1].

Подсистемы ракетно-космического комплекса представляют собой технический комплекс, ракетно-космическую систему, стартовый комплекс и др., показанные на рисунке 1.1. Ракетно-космическая система включает в себя ракетные блоки и ракеты-носители, полезные нагрузки которых-космическая головная часть (или космический корабль). К активным средствам управления относятся технические средства (инструменты, машины, оборудование управления, технические комплексы, крупные технические системы), а также ресурсы (материальные, энергетические, информационные, временные, денежные и др.) [2].

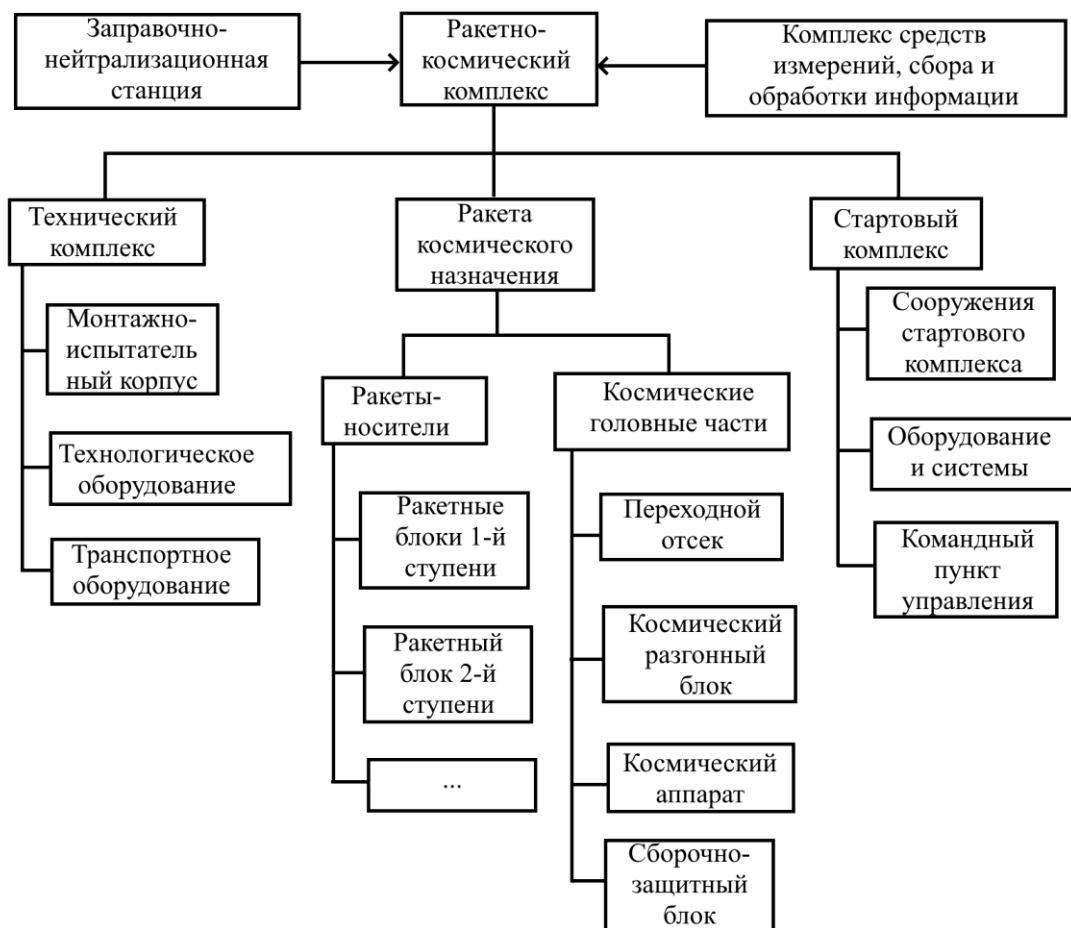


Рисунок 1.1 – Ракетно-космический комплекс

1.2 Описание воздействия факторов космического пространства

Конструкционные материалы и элементы бортового оборудования должны быть устойчивы к воздействию окружающей космической среды. Это играет важную роль и гарантирует безаварийную работу космических аппаратов (КА) продолжительный срок. Отечественные и зарубежные эксперты признают, что причиной больше половины отказов и сбоев в работе бортового оборудования космических аппаратов являются неблагоприятные факторы космического пространства (ФКП) [3].

Их можно выделить в две отдельные группы в зависимости от их воздействия на космические аппараты согласно рисунку 1.2. Факторы, производящие воздействие только на поверхность, опасны для открытых элементов аппаратуры и приповерхностных слоев. К ней относятся ФКП с низкой способностью проникновения. Другие факторы воздействуют на глубокие слои материалов космических аппаратов и даже на элементы оборудования, располагающиеся во внутренних отсеках, относятся ко второй группе.



Рисунок 1.2 – Факторы космического пространства [4]

Интенсивная работа в этой области, стимулированная практическими требованиями космической отрасли, привела к созданию практически нового научного направления-космического материаловедения, в задачи которого входит экспериментальное и теоретическое исследование процессов, происходящих в стартовых и технических ракетно-космических комплексах и элементах оборудования космических аппаратов при действии ФКП, изучение изменений свойств материалов и характеристик бортовых систем, вызванных воздействием ФКП, создание новых материалов, разработка методов и технических средств защиты космических аппаратов от неблагоприятного воздействия ФКП. Важным самостоятельным разделом космической материаловедения является изучение влияния невесомости на течение физико-химических процессов в материалах в различных агрегатных состояниях и создание технологий получения материалов в условиях невесомости [1].

1.3 Виды испытаний стартовых и технических ракетно-космических комплексов

Виды испытаний стартовых комплексов (СК), технических комплексов (ТК) и их агрегатов включают в себя следующие пункты [5]:

- заводские испытания конструкций;
- автономное тестирование агрегатов;
- комплексные испытания СК (ТК);
- испытания СК (ТК) при летных испытаниях ракетно-космического комплекса.

Важной стадией создания СК является прохождение испытаний, чтобы убедиться в её способности обеспечивать качество, эффективность и надежность в процессе эксплуатации.

Надежность – это одна из характеристик системы, комплекса или самолета, а именно характеристики устойчивости системы [6]. В разнице между требованиями к эффективности и надежности системы можно рассмотреть несколько иной аспект, в частности, с точки зрения выбора критериев улучшения систем и проектирования. Эта разница заключается в том, что критерии эффективности используются для выбора оптимальных решений, связанных с обоснованием основных технических характеристик (параметров) сложных изделий и способов их использования, тогда как критерии надежности используются для выбора оптимальных технических решений, связанных с необходимостью соблюдения основных технических характеристик изделий и их элементов в течение необходимого периода времени.

Требования к контролю за космическими системами (или пусковыми установками и ракетно-космическими комплексами) можно разделить на две группы:

- требования (ограничения), определяющие пригодность системы для выполнения ее целевого назначения;
- требования, определяющие выполнение системой или аппаратом указанных функций с максимальной эффективностью с ограничениями по затратам массы и других ресурсов (финансовых, трудовых, временных и др.) Для достижения этой эффективности.

Пригодность системы для выполнения целевого назначения сложной технической системы (СТС), стартовых (СК) и технических (ТК) ракетно-космических комплексов обычно называют временным интервалом от создания до окончания ее эксплуатации.

Жизненный цикл космического аппарата, ракеты-носителя (или комплекса) или ракетно-космического комплекса представлен на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Жизненный цикл КА, РН или РКК

На этапе исследования и обоснования разработки формируются исходные данные и технические условия (ТЗ) для проведения научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР).

На этапе разработки комплекса (космического аппарата, ракеты-носителя) выполняется эскизный проект (ЭП) и составляются технические условия на компоненты космического комплекса, в том числе технические условия (если он вновь создается или модернизируется) на разработку структурно-компонентной схемы космического аппарата и ракеты.

После выпуска эскизного проекта проводится разработка рабочей документации и наземные экспериментальные испытания.

Для любого типа объектов выделяют следующие типы испытаний на основе определяемых характеристик:

- испытания на стойкость и устойчивость. В ходе таких испытаний объекты тестируются на способность сохранять исходные эксплуатационные свойства под воздействием различных внешних факторов: механических, химических, температурных, вибрационных и т. д.

- испытания на прочность. Это испытания, которые направлены на определения значений факторов, воздействие которых приводит к разрушению объекта или выходу его свойств за установленные пределы.

- функциональные испытания. Целью проведения таких испытаний служит определение значений показателей назначения объекта.

- испытания на надежность. В ходе таких испытаний устанавливают уровень надежности объекта в заданных условиях.

- испытания на безопасность. При проведении таких испытаний устанавливается уровень безопасности объекта в заданных условиях.

- испытания на транспортабельность. Целью таких испытаний является определение уровня транспортабельности объекта в заданных

условиях.

На данный момент имеется четкая классификация испытаний КА, но при этом требования к ним могут быть изменены для достижения конкретных целей, как результат договоренности между заказчиком, изготовителем и поставщиком услуг.

К первому виду испытаний относятся проектно-конструкторские испытания. Этот тип испытаний важен для проверки и оценки новых идей проектирования и использования испытанных концептов и способов в новой конфигурации. Они используются для обоснования и подтверждения структурных и эксплуатационных ограничений, оценки возможности производства, оценки ремонтпригодности и надежности, а также получения модели для предсказания срока службы и совместимости с безопасностью. Тесты разработки могут проводиться на макетах, прототипах и доводочных или интеграционных моделях.

Квалификационные испытания проводят, чтобы подтвердить соответствие КА техническим требованиям и имеют необходимый запас прочности. Степень квалификационных испытаний должна превышать максимальные прогнозируемые уровни на требуемый запас надежности. К тому же квалификационные испытания должны подтвердить методы, процедуры, состояние объекта и оборудование для испытания наземной поддержки, которые будут повторно использоваться для приемки.

Приемочные испытания должны продемонстрировать, что изделие не имеет производственных дефектов и ошибок интеграции и что его функции и характеристики, насколько это практически возможно, могут соответствовать установленным требованиям миссии. Приемочные испытания выявляют скрытые дефекты материалов или изготовления, появившиеся в процессе производства и сборки, путем измерения функциональных и рабочих параметров.

Пролетные испытания должны оценить методы проектирования и изготовления аппаратных средств с целью их приемки для полетов. Эта оценка достигается за счет установления более суровых условий окружающей среды, чем условия, ожидаемые во время наземных и орбитальных операций. Эти испытания также выявляют скрытые дефекты материалов и производства и дают представление о характеристиках каждого тестового элемента в условиях, аналогичных условиям миссии.

Предстартовые проверочные испытания космических аппаратов должны проводиться на космодроме, если они необходимы. Эти испытания демонстрируют, что транспортировка и обращение с космическим кораблем не вызывают изменения параметров космического корабля, и подтверждают, что интерфейс космического корабля и ракеты-носителя и испытания на совместимость с системой слежения и управления остаются в установленных пределах в рамках операций на космодроме. В ходе испытаний космический корабль должен испытываться в практических пределах, чтобы гарантировать выполнение всех требований миссии.

В некоторых особых случаях проводится повторное тестирование, к примеру, при несоответствии требованиям, усовершенствованию проекта и изменению КА, после ремонта, во время или после длительного хранения КА [7].

1.4. Цели и задачи комплексных испытаний

После проведения ряда испытаний и получения позитивных итогов испытаний КА перемещается в монтажно-испытательный корпус для стыковки с ракетой носителем. До сборки с ракетой-носителем предусматривается заправка КА компонентами топлива, сжатыми газами, рабочими телами систем терморегулирования, жизнеобеспечения, системы ориентации и др. Заправка происходит на специальной заправочной станции. Монтажно-испытательный комплекс строится с учётом габаритов и технических требований ракеты-носителя или космического аппарата, для которого он создаётся.



Рисунок 1.4 – Монтажно-испытательный корпус на космодроме Байконур [8]

КА помещается на заранее подготовленной к сборке ракете-носителе. После установки и стыковки КА и проведения сборочно-монтажных работ

производят автономные и комплексные испытания на уровне сборки ракеты-носителя и КА в целом. В ходе сборочно-монтажных работ при стыковке ракетных блоков и приборного отсека ракеты-носителя и КА целый ряд отдельных блоков с помощью разъемных соединений объединяется в системы ракеты – носителя и КА. Автономным испытаниям подвергаются системы, по которым велись сборочно-монтажные работы, комплексным испытаниям – группы связанных систем и летательный аппарат в целом.

К задачам комплексных испытаний относятся проверки [10]:

- соответствия требований согласно техническому заданию проекта в условиях реального пуска ракеты-носителя;
- выполнения операций по подготовке к пуску;
- корректной совместной работы агрегатов и сооружений;
- времени, необходимого для выполнения технологических операций, и уточнение последовательности их выполнения при подготовке к пуску и отмене пуска;
- внешних интерфейсов, взаимодействия и отладки агрегатов между собой, а также с ракетой носителем, разгонным блоком, блоком выведения и КА;
- состава и квалификации обслуживающего персонала, необходимого для эксплуатации;
- достаточности и эффективности защитных мер и средств защиты;
- достаточности запасных частей, инструментов и принадлежностей, а также расходных материалов;
- полноты и достаточности содержания эксплуатационной документации, в том числе достаточности и эффективности действий обслуживающего персонала, при возникновении нештатных (аварийных) ситуаций;
- удобства обслуживания агрегатов;
- эффективности проведенных мероприятий по исключению появления неисправностей по результатам предыдущих испытаний;
- метрологического обеспечения;
- выполнения результатов эргономической экспертизы.

Некоторые из таких испытаний можно провести в Институте космической техники и технологий. Научно-экспериментальная космическая лаборатория имеет в составе 4 комплекса, имеющих различную аппаратуру, в том числе термовакуумную станцию, безэховую камеру и другие:

- комплекс измерительных приборов и аппаратуры тестирования и испытаний радиоэлектронных систем космических аппаратов;
- комплекс приборов и аппаратуры для разработки радиочастотных трактов приемо-передающих систем для обеспечения каналов связи с КА;
- комплекс приборов и аппаратуры разработки спутниковых навигационных технологий;
- механический участок для изготовления экспериментальных и опытных образцов новых изделий.

Однако комплексные испытания можно проводить на сборочно-

испытательном комплексе космических аппаратов (СБИК КА) Национального космического центра в городе Нур-Султан (см рисунок 1.5). Он используется для проектирования, изготовления, сборки и испытания космических аппаратов, а также компонентов полезной нагрузки и элементов космической техники. Управляется данный комплекс совместным предприятием Акционерного Общества "Национальная Компания "Қазақстан Ғарыш Сапары" и «Airbus Defense and Space» (Франция) - ТОО «Ghalam».

Данный комплекс имеет некоторые ограничения для КА:

- масса КА до 6 тонн;
- габариты не более габаритами 3х3х6 м;
- типы испытываемых КА – телекоммуникационные КА, дистанционное зондирование Земли, научно-технологические.

В состав данного комплекса входят (см рисунок 4):

- зал сборки и функциональных испытаний КА (HIGHBAY);
- участок термовакuumных испытаний (TVAC);
- участок измерения инерционно-массовых характеристик КА (MPM);
- участок вибрационных испытаний (VIB);
- участок акустических испытаний (RevAC);
- участок радиочастотных испытаний (CATR);
- участок испытаний на электромагнитную совместимость (EMC).

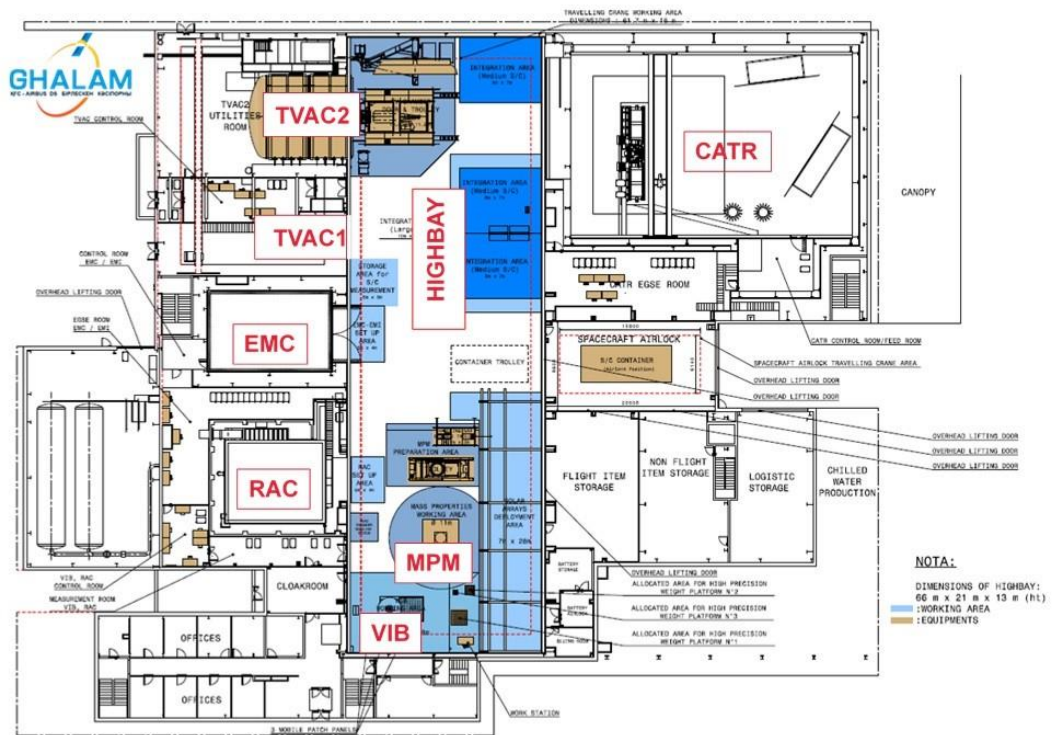
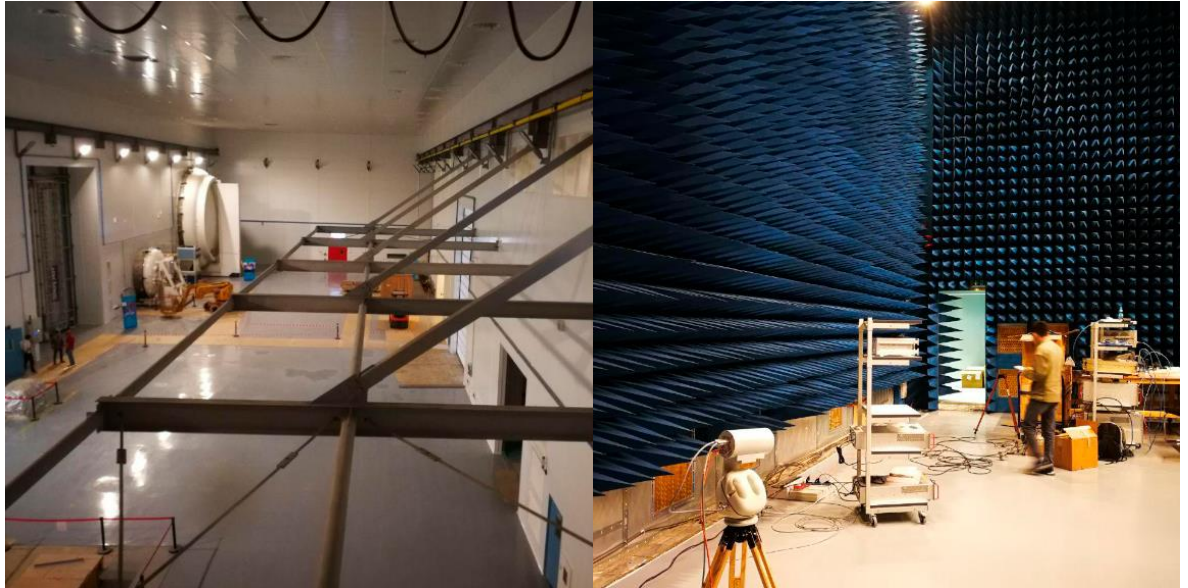


Рисунок 1.5 – Сборочно-испытательный комплекс Космических аппаратов ТОО «Галам», г. Нур Султан , РК [21]



Рисунки 1.6 и 1.7. Сборочно-испытательный комплекс космических аппаратов (СБИК КА) в г. Нур-султан [21]

Выводы раздела. Обобщая сказанное, создание КА является трудоемкой и технически сложной работой, требующей определенной квалификации. Сам процесс разработки и введения в эксплуатацию КА включает ряд испытаний, для оценки готовности КА к эксплуатации и способности сдерживать влияние ФКП на материалы и оборудование аппарата. К основным видам испытаний относятся проектно-конструкторские, квалификационные, приемочные, протолетные и предстартовые испытания.

Целью комплексных испытаний подтверждение готовности функционирования всех систем в условиях максимально приближенных к реальной эксплуатации в соответствии с планом полета. В нашей стране имеется Сборочно-испытательный комплекс космических аппаратов в г.Нур-султан – высокотехнологичный завод для проектирования, изготовления, сборки и испытаний космической техники и её элементов который поможет отечественной космической промышленности выйти на качественно новый уровень. При позитивных итогах испытаний КА готов к отправке на стартовую позицию.

2 МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

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" [11].

Методика включает, как минимум, описание:

- признаков соответствия испытываемого объекта 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.

В мире принято проводить испытания как на натуральных объектах, так и с помощью математического или физического моделирования согласно рисунку 2.1.

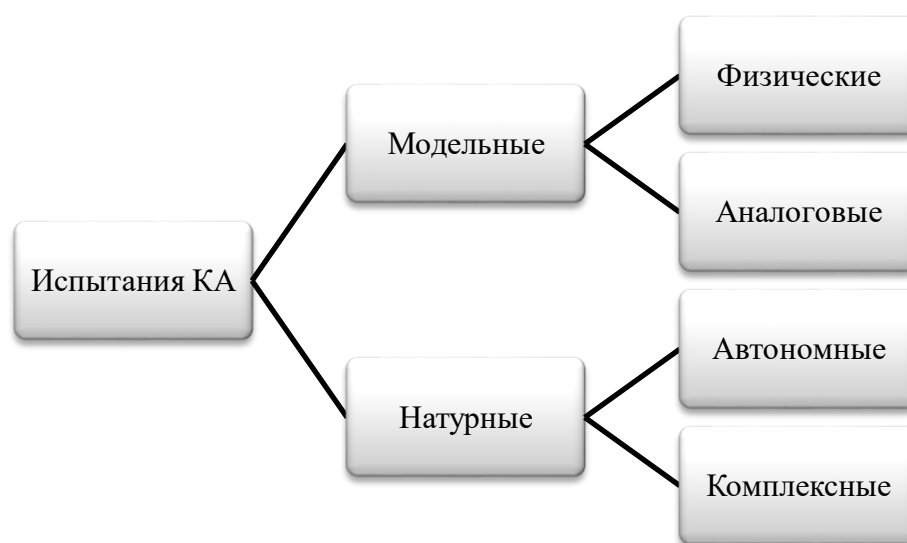


Рисунок 2.1 – Классификация испытаний КА

2.1 Испытания на воздействие механических факторов

При испытаниях космических аппаратов, в качестве воздействующих берут такие механические факторы: линейное ускорение, удар, вибрация и их сочетание. Механические испытания нужны с целью контроля прочности

объектов их устойчивости к вибрациям и ударам, а также к центробежным нагрузкам. Агрегаты и узлы космических аппаратов должны сохранять свои свойства во время и после механических воздействий. Все испытания должны соответствовать штатным условиям эксплуатации. Как правило, всем видам испытаний подвергается один и тот же образец агрегата.

Статические испытания. Под статическими испытаниями обычно имеют в виду проверку в лабораторных условиях объекта в сборе или отдельных его отсеков и узлов испытательными нагрузками, которые имитируют возможные нагрузки, встречающиеся при эксплуатации.

Такие испытания имеют следующие цели:

- определение напряженно-деформированного состояния конструкции при нагружении;
- выявление жесткостных параметров конструкции путем замеров общих и местных перемещений;
- проверку технологии изготовления;
- экспериментальную проверку методов расчета и конструкции на прочность;
- экспериментальное определение разрушающих нагрузок.

В качестве начальных данных для статических испытаний в каждом случае задаются внешние нагрузки, распределение изгибающих моментов, продольных и поперечных сил; давление внешнее и внутреннее по корпусу изделия, локальные нагрузки, приходящие на отдельные силовые узлы конструкции.

Оценка статической прочности в лабораторных условиях может быть разбита на три последовательных этапа:

- статические испытания силовых узлов конструкции и отдельных отсеков на стадии создания аппарата;
- испытания изделия в сборе;
- автономные испытания отдельных конструкций.

По результатам данных испытаний оформляется заключение о прочности и, при необходимости, о внесении доработок, их характере с целью усиления или облегчения конструкции [12].

Вибрационные испытания. Вибрационное испытание представляет собой сложный вид испытания. Во время испытания образец подвергают воздействию случайной вибрации с заданным уровнем в пределах широкой полосы частот. Вследствие сложной механической реакции образца и его крепления вибрационное испытание необходимо проводить с особой тщательностью, как в процессе подготовки, так и на стадии реализации.

Испытания проводят на воздействие различных вибраций:

- на воздействие синусоидальной вибрации;
- на воздействие ударных нагрузок.

Его главной целью является выяснение способности объекта в сборе или отдельных его отсеков и элементов выдерживать воздействие случайной вибрации, возможной при реальной эксплуатации степени жесткости, а также обнаружение возможных механических повреждений и/или ухудшения

начальных характеристик изделия. К тому же производится сравнение полученных результатов с требованиями соответствующей нормативно-технической документации для оценки степени пригодности элементов, аппаратуры и других изделий к реальным условиям эксплуатации.

Степень жесткости испытания определяют сочетанием следующих трех параметров: частотного диапазона, амплитуды вибрации и длительности воздействия вибрации (выраженной количеством циклов качания или временем).

В результате проведения испытания можно оценить наличие механических дефектов и/или возможное ухудшение начальных характеристик. На основе полученных результатов оценивается конструктивная прочность конструкции и его элементов для оценки их качества и пригодности [13].

Инерционные испытания. При испытаниях КА и их систем инерционные нагрузки моделируют таким образом, чтобы они достаточно точно соответствовали нагрузкам в условиях штатной эксплуатации КА. Однако полностью воссоздать условия эксплуатации КА на стендовом оборудовании практически невозможно, хотя бы из-за воздействия на испытуемый объект гравитационных сил, направление действия которых чаще всего не соответствует направлению действия создаваемой в стендовых условиях перегрузки. Поэтому речь может идти только о большей или меньшей степени приближения к реальным условиям.

В качестве основных средств испытаний используются центробежные стенды. Для достижения условий нагружения, максимально приближающихся к эксплуатационным, на центробежных стендах используются следующие способы:

- изменение частоты вращения динамической установки с исследуемым объектом;
- поворот исследуемого объекта на динамической установке;
- линейное перемещение объекта вдоль одной или нескольких пространственных осей на динамической установке [9].

Испытания конструкций и систем КА на воздействие ударных нагрузок. Общая задача испытаний КА на воздействие ударных нагрузок состоит в проверке способности КА и всех его элементов выполнять свои функции в процессе ударного воздействия и после него. При этом ставится целью максимально приблизить результаты испытательного удара к эффекту реального удара в натуральных условиях эксплуатации КА.

Ударные стенды обычно состоят из следующих элементов: испытуемого объекта, закрепленного на платформе или в контейнере вместе с датчиком ударной перегрузки; средства разгона для сообщения объекту необходимой скорости; тормозного устройства; системы управления; регистрирующей аппаратуры для записей исследуемых параметров объекта и закона изменения ударной перегрузки; первичных преобразователей; вспомогательных приборов для регулировки режимов функционирования испытываемого объекта; источников питания, необходимых для работы испытуемого объекта и регистрирующей аппаратуры [9].

Испытания на воздействие акустических нагрузок.

Для изучения акустического воздействия на изделие проводят следующие испытания:

- наземные натурные непосредственно на изделии;
- на открытом стенде с работающим двигателем;
- в закрытых боксах с различными источниками шума;
- в акустических камерах.

Наземные натурные испытания более близки в смысле условий проведения к реальным эксплуатационным условиям и, как следствие, позволяют более точно оценить прочность конструкции и функционирования бортового оборудования. Такие испытания обычно проводятся в последнюю очередь в общей программе отработки КА на акустические воздействия. Однако подобные испытания весьма затратны и полетные условия акустического нагружения в наземных условиях практически не воспроизводятся.

Испытания на открытом стенде с работающим двигателем менее затратны и здесь можно испытывать более крупные изделия. Ускорение испытаний и соблюдение требуемых уровней нагрузки в данном случае достигается выбором положения испытываемых объектов относительно источника шума. Режимы испытаний устанавливаются на основе натуральных измерений звуковых нагрузок и деформаций в контрольных точках поверхности изделия.

Испытания в закрытых боксах позволяют получить более высокие уровни акустических нагрузок, чем на открытом стенде, в результате чего сокращается продолжительность испытаний. Недостатком этих испытаний является некоторое искажение звукового поля по сравнению с натурными условиями.

Испытания в специальных акустических камерах, где создаются условия, близкие к натурным, позволяют получить наиболее достоверную информацию о работоспособности испытываемого объекта. Однако ограниченный объем этих камер не позволяет проводить испытания крупногабаритных объектов [14].

Тепловакуумные испытания. Надежное математическое моделирование теплообмена большинства типов КА связано с рядом трудностей, обусловленных не столько недостатками математических методов и вычислительных средств, сколько сложностью и значительной неопределенностью протекания физических процессов внешнего и внутреннего теплообмена между элементами КА. Поэтому при создании КА большое значение имеет, так называемая, тепловая отработка, представляющая собой совокупность тепловых экспериментов (испытаний) и проводимых на основе их результатов мероприятий по доработке (в случае необходимости) средств обеспечения теплового режима, а иногда и конструкции аппарата.

Тепловая отработка может проводиться на различных стадиях создания КА: начиная с этапа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ до летно-конструкторских испытаний. Для начальной стадии разработки КА характерны эксперименты, связанные с поиском и отработкой новых методов, схемных и конструктивных решений задач обеспечения теплового режима КА в целом или его отдельных частей, а также эксперименты, проводимые для

подтверждения возможности получения требуемых технических характеристик систем КА. На последующих стадиях разработки КА можно выделить следующие три этапа тепловых испытаний:

1) Автономные испытания агрегатов КА для полной их автономной отработки. В качестве агрегатов могут рассматриваться как отдельные приборы, аппаратура, устройства, так и целые отсеки и системы.

2) Комплексные испытания систем КА, включающие ряд образующих взаимосвязанную совокупность агрегатов, работоспособность каждого из которых и условия работы взаимозависимы.

3) Комплексные испытания КА в целом.

Моделирование воздействия на КА электромагнитного излучения Солнца. Основными элементами всякого имитатора солнечного излучения являются источники излучения и спрямляющая система. Последняя предназначена для формирования потока излучения с малорасходящимися лучами и может включать в себя преломляющие, отражающие и поглощающие элементы. В связи с тем, что эти элементы могут применяться в различных сочетаниях, а также в связи с многообразием применяемых источников излучения строгая классификация схем имитаторов затруднена. Однако три группы оптических схем все же можно выделить. В двух из них, называемых осевыми и неосевыми схемами, источники излучения располагаются вне, а элементы спрямляющей системы внутри вакуумной камеры. В третью группу входят системы с внутрикамерным расположением источников излучения.

Моделирование теплового воздействия планет на поверхность КА. Тепловое воздействие планеты на поверхность КА обычно воспроизводится с помощью упрощенных средств, например, совокупности условно линейчатых или точечных диффузных излучателей, а также с помощью излучающих панелей, размещаемых вокруг рабочей зоны экспериментальной установки. При этом речь идет о воспроизведении расчетного теплового воздействия планет на элементы наружной поверхности испытываемого объекта, а не о воспроизведении поля теплового излучения планет по основным параметрам – угловому распределению интенсивности и спектральному составу излучения.

Испытания двигательных установок КА. Испытание ракетного двигателя – проверка на стендах и летных испытаниях работоспособности и основных характеристик двигателя и его агрегатов. Испытания бывают холодные и огневые. При холодных испытаниях ракетного двигателя сгорание топлива (нагрев рабочего тела) не происходит. Обычно под холодными испытаниями понимают проливку жидкостных и продувку газовых полостей жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) соответственно компонентами топлива или модельными жидкостями (например, водой, жидким азотом) и газами (например, воздухом, хладоном). При этом отрабатывается взаимодействие элементов ЖРД, корректируется циклограмма работы, уточняются гидравлические характеристики отдельных элементов и узлов в целом, исследуются гидродинамические процессы, проверяется настройка ЖРД. При холодных испытаниях двигательной установки (ДУ) отрабатываются

дополнительно операции наддува баков, захлаживания и т.д.

Огневые испытания проводятся со сгоранием топлива (нагревом рабочего тела). Тяга, развиваемая ракетным двигателем, воспринимается конструкцией испытательного стенда. Огневые испытания являются важной частью программы разработки двигателя, предшествующей его летно-конструкторским испытаниям. На начальном этапе огневых испытаний ставится лишь задача обеспечения надежного запуска ЖРД на установившийся режим работы (который может быть ниже номинального). При этом продолжительность испытаний исчисляется немногими секундами. Постепенно программа огневых испытаний усложняется. Проведение огневых испытаний ракетных двигательных установок имеет ряд характерных особенностей:

1) Продолжительность работы двигателя за одно включение – от нескольких секунд до нескольких минут. В связи с этим необходима максимально возможная автоматизация процесса управления и измерения.

2) Применяемые в ЖРД высокоактивные топливные компоненты являются источником повышенной опасности испытаний. При высоких температурах в камерах сгорания двигателя во время испытаний могут проявиться всевозможные дефекты, которые могут привести к аварийному исходу испытаний – пожару, взрыву.

3) Высокая стоимость испытаний, обусловленная большими расходами компонентов топлива и использованием уникального испытательного оборудования.

В связи с отмеченными обстоятельствами огневые испытания должны быть высокоинформативными. Число измеряемых параметров должно быть достаточно большим – исчисляться сотнями. Огневые испытания ракетных двигателей осуществляются на специально оснащенных испытательных станциях (испытательных комплексах). Испытательные станции состоят из стендов для установки двигателей; наблюдательных бункеров, из которых осуществляется управление процессом испытаний; емкостей для хранения компонентов топлива; химических, измерительных, вычислительных и других лабораторий; производственных и приборных мастерских, монтажных помещений для проведения работ с двигателем до и после испытаний; различных энергетических систем для обеспечения стендов и производственных служб водой, паром, воздухом, инертными газами высокого давления; административных и бытовых помещений, а также вспомогательных служб (ремонтных, транспортных и т.д.) [15].

2.2 Испытания на воздействие термических факторов

Широкий диапазон температурных нагрузок, действующих на различные элементы КА в процессе эксплуатации, влияет как на прочностные характеристики конструкции, так и на процессы его функционирования.

Особенно сложной является задача проведения экспериментальных исследований при нестационарных температурных полях. Выбор метода нагрева конструкции при стендовой отработке связан с возможностью воспроизведения максимальных уровней температуры и их перепадов. В связи с этим к нагревательным системам в высокотемпературных установках для испытаний элементов конструкции предъявляют следующие основные требования:

- Возможность получения высоких (заданных) температур и тепловых потоков с большой (заданной) плотностью.
- Обеспечение заданного температурного поля на поверхности испытуемого объекта или получение заданного закона распределения плотности теплового потока по нагреваемой поверхности или закона ее изменения по времени полета.
- Отсутствие побочных эффектов влияния нагревательного устройства на испытуемый объект (например, химического взаимодействия).
- Отсутствие ограничения для деформаций испытуемой конструкции.
- Возможность приложения силовых нагрузок к испытуемой конструкции и измерения ее перемещений, деформаций и температур.
- Возможность наблюдения за поведением конструкции в процессе нагревания.
- Экономичность процесса нагрева и применение дешевого, простого и надежного в эксплуатации оборудования [9].

Термобалансные испытания. Термобалансные испытания – метод проверки, показывающий, что система поддерживает требуемые эксплуатационные температурные пределы приборов и посадочных мест приборов по всему космическому аппарату, и обеспечивающий данными для подтверждения расчетной тепловой модели.

Целью термобалансных испытаний является завершение наземной тепловой отработки КА:

- оценка проекта системы обеспечения теплового режима;
- подтверждение соответствия теплового интерфейса с другими системами;
- верификация и корреляция (при необходимости) тепловой математической модели КА;
- оценка температурных резервов.

По результатам данных испытаний будут получены данные, необходимые для подтверждения расчетной тепловой модели, и подтверждения способности системы обеспечения теплового режима поддерживать специфицированные эксплуатационные пределы изменения температуры приборов по всему КА.

Термобалансные испытания подтверждают правильность расчетных моделей, используемых для проектных оценок, прогнозирования орбитальных температур и прогнозирования температур АКА во время термовакуумных испытаний [16].

Термовакуумные испытания. Целью термовакуумных испытаний является проверка электрических характеристик оборудования КА в условиях

вакуума и при имитации экстремальных или близких к ним прогнозируемых для полета значений температуры.

Как правило термовакуумные испытания включают следующие минимальные требования к функционированию:

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

В некоторых случаях могут включать следующие режимы:

- имитация участка выведения;
- термоциклирование;
- проверка включения оборудования при минимальной и максимальной температурах [13].

2.3 Испытания на воздействие климатических факторов

Климатические испытания заключаются в выдерживании изделия в течение установленного времени в климатической испытательной камере во включенном или выключенном состоянии. Испытания проводят обычно после испытаний при нормальных атмосферных условиях, механических и электрических испытаний. В реальных условиях эксплуатации изделие подвергается одновременному воздействию комплекса климатических факторов (температуры, влажности, давления, солнечной радиации, микроорганизмов – плесневых грибков, пыли и песка, морского тумана). Искусственное создание таких условий при испытаниях представляет значительные трудности, и поэтому часто климатические испытания проводят на установках по каждому климатическому фактору в отдельности или же одновременно по двум-трем климатическим факторам. Особенно распространены комбинированные камеры тепла и влаги, позволяющие воспроизводить условия тропической влажности, камеры холода и давления для воспроизведения условий верхних слоев атмосферы и более сложные камеры тепла, холода и давления. Степень воздействия климатических факторов определяется не только абсолютными значениями температуры, влажности, давления, но и скоростью их изменения [17].

2.4 Испытания на воздействие радиационных факторов

Искусственный радиационный пояс в основном состоит из электронов, источником которых является бета-распад осколков деления ядер, при этом каждый осколок деления в течение нескольких секунд испускает примерно один электрон, а в течение нескольких сотен секунд – три электрона. Таким образом,

радиационная обстановка на борту околоземных космических объектов будет определяться в основном протонами внутреннего радиационного пояса и электронами искусственного радиационного пояса Земли.

Для исследования радиационной стойкости радиоэлектронной аппаратуры в качестве источников нейтронного, электронного, протонного и гамма-излучений широкое применение получили различные исследовательские ядерные реакторы импульсного и непрерывного действия, импульсные генераторы нейтронов, импульсные реакторы, импульсные рентгеновские установки, ускорители электронов и гамма-установки непрерывного действия.

В каналах ядерных реакторов на изделия и материалы кроме ионизирующих излучений одновременно могут воздействовать температура, влажность, ионизированная окружающая среда. Чтобы исключить влияние этих побочных факторов, применяют различные контейнеры (пеналы), охлаждение изделий с помощью обдува, заливку открытых контактов изделий и т.д. Поэтому экспериментальные каналы реакторов, предназначенные для проведения испытаний и исследования материалов и изделий электронной техники на воздействие радиации, должны обеспечивать:

- дистанционные измерения параметров изделий в канале работающего реактора, а также возможность помещения измерительной аппаратуры на входе канала, быструю смену аппаратуры и ее регулировку;
- быстрое помещение контейнеров с объектом облучения и измерительными линиями внутрь канала и перемещение их в канале с помощью дистанционных ручных или автоматизированных механических приспособлений, а также возможность быстрой смены контейнеров;
- охлаждение объекта облучения в канале реактора и проведение низкотемпературных исследований;
- установку сменных фильтров и коллиматоров в канале (для уменьшения гамма-фона и фильтрации тепловых нейтронов) [9].

2.5 Испытания на воздействие электро-магнитных факторов

Электромагнитное излучение Солнца вызывает фотоионизацию или фотоэлектронную эмиссию, ведущую к электрической зарядке КА или к утечке заряда, если аппарат заряжен до высоких потенциалов.

Испытания проводят путем воздействия на КА полей электромагнитных излучений с параметрами, соответствующими нормам испытаний, оговоренным в программе испытаний, с регистрацией и контролем определяющих параметров аппаратуры.

Испытания на стойкость к воздействию электромагнитного импульса рекомендуется проводить до проверки работоспособности при воздействии механических нагрузок и температур [9].

2.6 Электрические испытания

Электрические испытания приборов и систем проводятся с целью проверки электрической прочности, сопротивления изоляции и с целью проверки нормального функционирования электрических цепей КА при отклонении напряжения и частоты питания от номинальных значений. Под электрической прочностью понимается способность электрической изоляции выдерживать действие приложенного к ней электрического напряжения. Она определяется значением напряжения, при котором наступает пробой, пробивным напряжением.

Изделие считается выдержавшим испытание, если при измененных значениях напряжения питания (увеличении или уменьшении) его характеристики находятся в пределах норм, установленных в технических условиях на изделие. Аналогичным образом проводят испытания на воздействие отклонения частоты питания.

2.7 Роль автоматизированной системы испытаний в проектировании КА

Важной, трудоемкой и довольно длительной частью создания КА являются его испытания. И, в первую очередь, автоматизация должна затронуть этап разработки документации, сопровождающей испытания, этап проведения самих испытаний и этап выпуска отчетной документации по результатам испытаний [4].

Этапы этого процесса следующие. Прежде всего – это определение последовательности операций с объектом испытаний (назовем так прибор или модуль в составе КА, на примере которого будут разрабатываться типовые процедуры испытаний). При описании порядка операций лучше всего руководствоваться рекомендациями разработчика прибора (модуля), но это не говорит о том, что ни в коем случае нельзя отступать от порядка, приемлемого для разработчика. Какие-то отступления всегда возможны. По окончании этого этапа получим глобальный алгоритм испытаний.

Вторым этапом является систематизация перечня инструментов управляющего воздействия на объект испытаний (команд, заданий командно-программной информации). Идентификационные номера команд могут меняться от изделия к изделию, но для этого существует структура запросов в системе управления базой данных команд. Базы данных управляющих воздействий должны содержать в себе следующую информацию: идентификационный номер команды (массива) либо номер функциональной группы команд; наименование; действие; гиперссылка, запускающая малый тест оборудования, и

примечание/дополнительная информация.

Третьим этапом будет упорядочивание данных контроля объекта испытаний и правильности его функционирования. Это большой объем значений технических характеристик, значений всевозможных регистров, телеметрических параметров объекта испытаний. Базы данных параметров должны содержать в себе следующую информацию: номер; наименование; прибор (модуль); электрический соединитель; цепь; тип кабеля; значение при нормальных условиях; значение при повышенной температуре; значение при пониженной температуре; дополнительная информация.

В-четвертых, необходимо установить логические связи между операциями, определенными на первом этапе, с информацией, характеризующей объект испытаний (третий этап). Т. е. задать условия: в какой момент выполнения действий над объектом какой параметр контролировать и в какой момент выводить результат контроля на монитор оператора.

В-пятых, система должна анализировать полученные значения измерений, значения с телеметрических датчиков и все другие параметры на предмет «норма» и «ненорма». Для этой задачи потребуются база данных, содержащая значения, требуемые в соответствии с Техническим заданием на прибор (модуль), которые прописаны заказчиком аппаратуры (изделия).

В-шестых, для имеющихся точек останова процедуры испытаний (они должны быть проставлены на этапе определения конкретных операций) должны быть директивы (сообщения) для оператора испытаний, предназначенные для сигнализирования о «норме»/«ненорме» параметров объекта испытаний, содержащие краткое заключение о допуске аппаратуры к дальнейшим испытаниям и возможный перечень дальнейших действий оператора.

В-седьмых, все операции должны отражаться в виде документа, описывающего порядок работ, который можно было бы предоставить заказчику и по которому удобно было бы ориентироваться по ходу проведения испытаний.

В-восьмых, необходимо заложить возможность проведения каких-то операций повторно, прописав два варианта: повтор без потери имеющихся данных и повтор с записью новых полученных данных.

Выводы раздела. Для проверки готовности КА к эксплуатации необходимо провести ряд испытаний на воздействие механических, термических, климатических, радиационных и электромагнитных факторов, а также электрические испытания. Для каждого вида испытаний подготавливается программа и методика в зависимости от проекта и длительности полета КА. Они включают полное описание всех этапов испытаний, критерии, исходные данные и др. Результатом соблюдения программы и методики будет оценка готовности для эксплуатации в частности и в целом.

3 РАСЧЕТЫ И ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ КА

Довольно продолжительное время понятие надежности являлось интуитивным, субъективным и качественным понятием. Метод расчета надежности для оценки вероятностной прочности конструкции был создан в 1926–1929 гг. Н. Ф. Хоциаловым и М. Майером, но развивался слабо [16]. Первые научные работы в данной области не получили вотум доверия от научного сообщества, не нашли применения в практической области и имели только дискуссионный характер. Первые публикации по оценке надежности систем энергетики, в научной среде были опубликованы только в середине 30-х годов 20 века, после чего это направление стало сразу бурно развиваться. Потребность в количественной оценке надежности как никогда стала ощущаться в военные 1939–1945 гг, что было связано с течением второй мировой войны. Интерес к этому виду анализу появился в связи с разработкой в начале 40-х годов 20-го века радиоэлектронных систем. Этого требовали военные разработки.

Первые количественные оценки надежности баллистических ракет, по данным работы [17], была проведена немецкими специалистами в конце Великой Отечественной войны. В декабре 1944 г. Каммлер выпустил публикацию с оценкой надежности ракет А-4 (V-2). В войсковые части за рассмотренный им период было доставлено 625 ракет. Из них 12,3% были сразу возвращены заводу из-за неисправностей в системе управления. Из оставшихся 538 ракет были пущены 495. Но 44 пуска прошли неудачно. При этом на отказы системы управления приходилось 41%, двигательной установки – 13%, на пожары в хвостовой части – 13%, взорвались на старте 2,9 % ракет. Таким образом, из 625 ракет явно непригодными к пуску были 131. То есть надежность составила 79%. Но это не учитывало аварии и разрушения ракет на нисходящем атмосферном участке. Была проведена оценка пуска ракет А-4 в Капустином Яре в 1947 году, согласно которой аварии на этом последнем участке траектории у немцев должны были составлять не менее 15–20%. Что приводит к выводу, что до цели дошло не более 400 ракет. То есть надежность ракет была не более 64%. Последующие исследования в этой среде относятся к началу 60-х годов и связаны с развитием космических исследований. В частности, в США теория надежности сложных систем стала существенно развиваться после ряда катастроф с космическими объектами.

Основным нормативным документом требований является СТ РК ГОСТ Р 51143–2010 «Комплексы стартовые и технические ракетно-космических комплексов. Общие требования испытаниям и приемке» [18], требования СТ РК ИСО 15864–2010 «Системы космические. Общие методы испытаний космических кораблей, подсистем и блоков» [22], требования СТ РК ECSS E-ST-10-03С -2013 "Космический инжиниринг. Испытания" [23].

3.1 Надежность и безопасность космического аппарата

Под надежностью КА понимается его свойство выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в установленных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям эксплуатации.

КА и его бортовые системы относятся к классу сложных технических систем, неремонтируемых и невозстанавливаемых в процессе их использования по целевому назначению.

К надежности КА предъявляются следующие требования:

- Вероятность безотказной работы КА за время срока его активного существования на орбите по штатной циклограмме в течение 1 года с учетом времени хранения от последней электрической проверки до запуска не менее 3-х месяцев должна быть не менее 0,85, в том числе модуля служебной аппаратуры - не менее 0,89, модуля научной аппаратуры – не менее 0,95.

- Критерием отказа КА является безвозвратное нарушение работоспособного состояния КА, приводящее к невозможности получения полезной информации.

- Срок службы КА должен составлять не менее 2-х лет (при САС 1 год) и обеспечивать:

- хранение и эксплуатацию в наземных условиях в течение 1 года;
- натурную эксплуатацию КА на орбите в течение срока активного существования (гарантийного) 1 года.

- Мероприятия по обеспечению надежности КА и его составных частей должны планироваться и выполняться в рамках ПОН, КПЭО и АВПКО. Результаты выполнения этих мероприятий должны быть отражены в итоговом отчете о готовности изделия к ЛИ.

- Бортовые системы должны сохранять свою работоспособность при отказе одного любого ЭРИ (при необходимости двух отказов ЭРИ), а также иметь защиту от сбоев, несанкционированных команд, заикливания бортовых вычислительных машин и не терять после указанных воздействий свою работоспособность.

- Бортовые системы должны быть спроектированы с учетом обеспечения полного контроля работоспособности основных и резервных цепей и каналов без разборки системы и изделия в целом.

Под безопасностью КА понимается его способность не переходить во всех заданных режимах эксплуатации и при применении в состоянии, угрожающее жизни эксплуатирующего персонала, сопрягаемым объектам и природной среде.

Основные составляющие понятия «безопасность» представлены на рисунке 3.1.

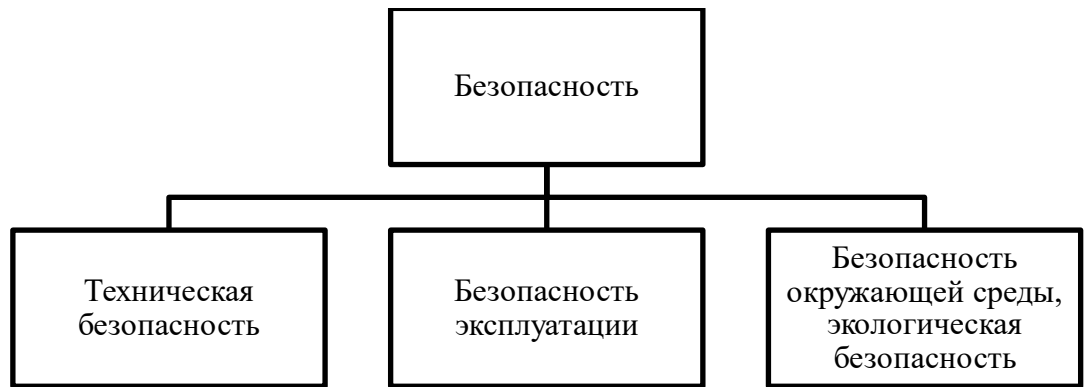


Рисунок 3.1. Основные составляющие безопасности

Обеспечение безопасности осуществляется за счет использования защитных мер различного характера. Каждому направлению (составляющей) безопасности свойственны свои меры защиты и, в том числе:

1) безопасность КА как технической системы обеспечивается методами защиты конструктивного характера, закладываемыми при проектировании КА и состоящими в

- обеспечении достаточных конструктивных запасов по отношению к внешним и внутренним воздействующим факторам;
- выявлении (путем проведения АВПКО) критичных элементов КА и определении мероприятий по снижению их критичности;

2) безопасность эксплуатации КА обеспечивается следующими методами:

- разработкой тщательно продуманных инструкций по эксплуатации КА, содержащих в том числе четкое описание действий обслуживающего персонала в случае возникновения нештатных и аварийных ситуаций;
- подготовкой квалифицированных кадров, их обучение и аттестация;
- контролем технологического цикла работ с КА;

3) безопасность окружающей среды, экологическая безопасность обеспечиваются:

- определением (выявлением) источников повышенной опасности;
- определением объектов контроля;
- разработкой обязательных методик, инструкций по порядку действий, в том числе в условиях экстремальных ситуаций;
- определением действий по ликвидации последствий аварий.

3.1.1 Общие принципы обеспечения безопасности

Безопасность КА обеспечивается на всех этапах его жизненного цикла выполнением требований СТ РК ГОСТ Р 51143-2010, СТ РК ИСО 15864–2010, СТ РК ECSS E-ST-10-03C -2013.

Требования безопасности, предъявляемые к КА, направлены на:

- исключение поражений и травм обслуживающего персонала, а также населения в районе позиционирования космодрома выведения КА;

- исключение повреждений элементов КА и сопрягаемых объектов;
- исключение аварий и катастроф;
- исключение или сведение до допустимых пределов вредного воздействия КА на окружающую природную среду (в том числе околоземное космическое пространство).

Обеспечение безопасности КА и его составных частей должно осуществляться преимущественно конструктивными методами и средствами.

При невозможности парирования конструктивными методами потенциальной опасности до допустимых норм или при экономической нецелесообразности ее устранения должны быть использованы технологические приемы – за счет выбора технологии и режимов эксплуатации.

При невозможности исключить возникновение опасности за счет конструктивных решений и технологических приемов их снижение до минимально возможного уровня обеспечивается комплексом организационно-технических мероприятий, направленных на парирование критичных моментов.

На этапе разработки эскизного проекта анализ вопросов безопасности направлен на решение следующих задач:

- предварительный анализ схемных и конструктивных решений с целью определения возможных нештатных/аварийных ситуаций в случае появления предполагаемых отказов КА из-за внутренних и внешних воздействующих факторов, определенных в техническом задании;
- проработка вопросов защиты окружающей природной среды, в том числе при возникновении аварийных ситуаций;
- рациональное распределение основных функций между обслуживающим персоналом и автоматизированными системами при функционировании КА;
- выделение временных ресурсов на парирование аварийных ситуаций, а также для достижения наибольшего уровня безопасности при функционировании КА;
- проведение предварительного анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) КА с Перечнем критичных элементов, и мероприятиями, направленными на парирование или снижение их критичности;
- разработку Программы обеспечения безопасности (ПОБ) КА.

На данном этапе методы анализа безопасности эксплуатации КА направлены, в основном, на получение качественной оценки проекта с точки зрения безопасности в целом.

3.1.2 Порядок проведения работ по обеспечению безопасности

Меры по обеспечению безопасности принимаются постоянно на всех этапах жизненного цикла КА. Организационно-методическим документом, определяющим работы и мероприятия по обеспечению безопасности на всех стадиях жизненного цикла КА, является Программа обеспечения безопасности КА.

Программа включает в себя:

- требования безопасности;
- требования экологической безопасности;
- перечень основных мероприятий по обеспечению безопасности для каждого этапа жизненного цикла КА;
- состав исполнителей по каждому мероприятию;
- отчетность и сроки выполнения по каждому мероприятию.
- В качестве исходных данных для разработки ПОБ КА:
- СТ РК ГОСТ Р 51143-2010, СТ РК ИСО 15864–2010, СТ РК ECSS E-ST-10-03C -2013;
- конструкторская документация;
- перечень потенциальных источников опасности;
- основные принципы и технические решения, направленные на предотвращение или сведение к минимуму воздействия опасных и вредных факторов;
- перечень возможных нештатных ситуаций, а также мероприятия по их предупреждению, локализации и выходу из НШС;
- перечень критичных элементов для организации контроля качества их изготовления, отработки и подготовки к применению.

Все системы, агрегаты и приборы составных частей КА должны отвечать требованиям ПОБ.

3.1.3 Отчетность

На этапе рабочего проектирования будут выпускаться:

- Программа обеспечения безопасности КА;
- технический отчет «Анализ видов, последствий и критичности отказов» КА.

По завершении работ с КА выпускается Отчет о выполнении мероприятий, запланированных ПОБ и АВПКО, а также Заключение по безопасности эксплуатации КА.

Для количественной оценки надежности применяют различные методы. В настоящее время распространение получили формальные методы и методы, учитывающие причины отказов, как это схематично показано на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Методы расчета показателей надежности.

Методы первого направления определяют надежность как вероятность случайного события. Методы второго направления – надежность как качество, развернутое во времени. Существуют также два метода, учитывающие причины отказов: один из них рассматривает надежность как вероятностную прочность, оперируя случайными величинами, другой как вероятность невыброса случайного процесса за заданный уровень. При расчетах надежности различных частей космических аппаратов (бортовых систем, конструкции корпуса и т.д.) используется тот метод, который наиболее приемлем для расчетов.

3.2 Надежность как вероятность случайного события

Этот метод используется, если изучаемое устройства срабатывает срабатывающим мгновенно и однократно. Для этого метода нет возможности применять характеристики надежности относительно времени. Поэтому надежность определяется в эксперименте как вероятность $P(A)$ реализации случайного события A , заключающегося в том, что устройство не откажет. Обозначим вероятность $P(A)$ через H (надежность).

Экспериментально надежность определяется следующим образом:

$$H = \frac{n}{N}, \quad (3.1)$$

где n - число неотказавших элементов; N - число элементов, поставленных на эксперимент.

Специалистами в области надежности количественная оценка надежности по формуле (3.1) используется редко, так как отражает лишь среднюю, так называемую точечную оценку надежности. Специалистом чаще требуется знать

верхнюю и нижнюю границы надежности. Эти доверительные границы находят с использованием методов математической статистики [19].

3.3 Надежность как качество, развернутое во времени

Методы, изучающие надежность, как качество, развернутое во времени, считают, что изменение надежности подчиняется некоторым статистическим закономерностям, которые определяются лишь экспериментально. При этом не ставится задача выяснить причины отказов и определить возможность их устранения, а констатируется лишь факт отказа.

Пусть в момент $t = 0$ элемент начинает работу, а в момент $t = T$ происходит его отказ. Тогда T – это время "жизни" элемента, которое является случайной величиной с законом распределения

$$F(t) = P(T > t), \quad (3.2)$$

где $F(t)$ – функция распределения времени отказа; P – символ вероятности.

На основе исследований строится экспериментальная функция надежности. Время работы элемента разделяют на некоторые временные интервалы и в каждом из них оценивается надежность по формуле (3.3) для какого-то характерного времени t из интервала.

$$H(t) = \frac{n(t)}{N}, \quad (3.3)$$

где $n(t)$ - число неотказавших элементов к моменту времени t .

Примерный вид экспериментальной функции надежности показан на рисунке 3.3.

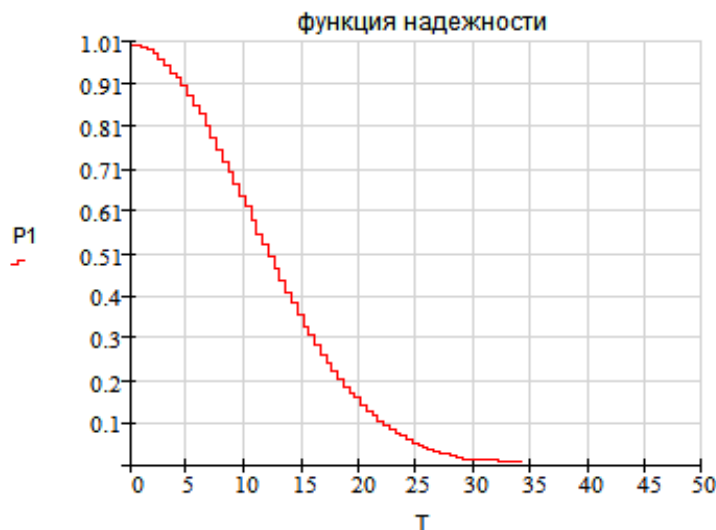


Рисунок 3.3 – Пример построения экспериментальной функции надежности.

Если какое-то изделие состоит из большого количества элементов и если отказы элементов независимы, а изделие невосстанавливаемое, то для него можно построить график интенсивности отказов по результатам экспериментов и/или эксплуатации. Типичный график интенсивности отказов сложного изделия показан на рисунке 3.4, где четко видны три периода: период приработки, период нормальной работы и период старения [19].

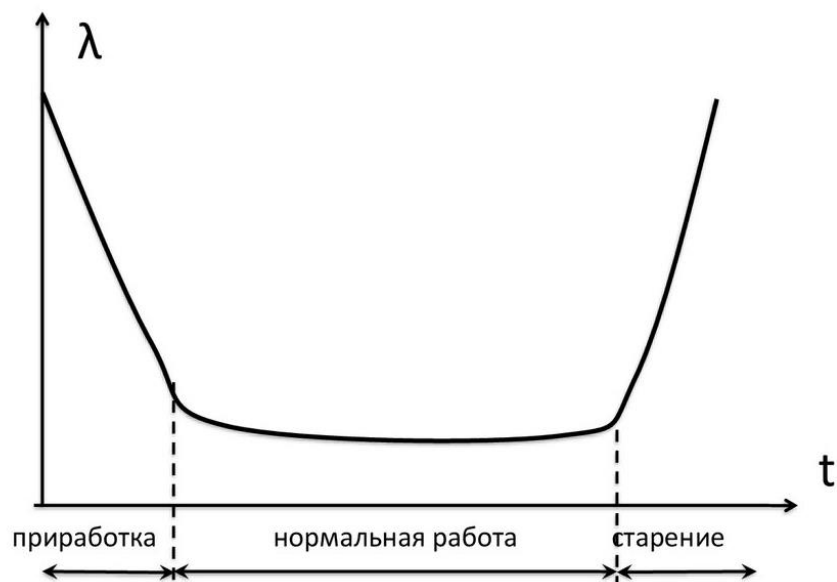


Рисунок 3.4 – Пример построения экспериментальной функции надежности.

3.4 Надежность как вероятностная прочность

Показателем надежности в этом методе является вероятность превышения несущей способности конструкции (элемента) R над действующими нагрузками N .

$$H = P(R > N), \quad (3.4)$$

В данном методе под прочностью R подразумевается любая случайная величина, которая определяет предельные возможности работы элемента (несущую способность), превышение которых означает отказ элемента. Понятие внешней нагрузки N – это случайная величина, воздействующая на элемент от внешних источников.

Под внешней нагрузкой имеется в виду растягивающая, сжимающая или перерезывающая силы, изгибающий или крутящий моменты, напряжение, внутреннее давление в баках, продольную или поперечную перегрузки и т. п., в том числе и их комбинации, эксплуатационную нагрузку. Причем ее не

умножают ни на какие коэффициенты безопасности, как при расчете по детерминированным величинам, а рассматривают как вероятностную категорию.

Под несущей способностью понимается сила, изгибающий или крутящий моменты, напряжение, давление, перегрузка, деформация и т.д., характеризующие предельное состояние элемента, ограничивающее его дальнейшее использование [19].

3.5 Надежность как вероятность невыброса случайного процесса

Выход траектории изменения качества элемента во времени $r(t)$ из области допустимых состояний Q в пространстве качества V называется отказом элемента и/или системы.

Для отыскания функции надежности необходимо определить числовые характеристики случайных процессов из области допустимых состояний, в частности, математическое ожидание положительный пересечений $N(t)$ векторным процессом $v(t)$ предельной поверхности Γ в пространстве качества и среднее число выбросов в единицу времени [20].

3.6 Техничко-экономическое обоснование

Космический аппарат имеет формат наноспутника с массой до 10 кг и проектируется преимущественно с использованием готовых компонентов стандарта CubeSat. Современные наноспутники отличаются относительно большой функциональностью, несмотря на свой малый размер.

Космический аппарат состоит из служебной платформы и полезной нагрузки. Полезной нагрузкой космического аппарата является научный высокоточный трёхкомпонентный феррозондовый магнитометр для измерения параметров постоянного магнитного поля Земли.

Частота измерений определяется скоростью передачи информации с приёмно-передающего устройства КА и периодичностью сброса целевой информации на НКУ и составляет 1 Гц. Измерительная информация, передаваемая на средства приёма, дополнена параметрами пространственно-временной привязки данных (время, координаты КА, ориентация в пространстве) для совместной обработки наземными средствами.

Управление наноспутником осуществляется по командной радиолнии по сформированной в ЦУП программе. Работы по планированию, приёму и обработке телеметрической информации, управлению университетским космическим аппаратом – осуществляются силами университета.

Космический аппарат должен решать следующие задачи:

- измерение магнитного поля Земли;
- формирование телеметрических кадров с целевой информацией;
- формирование телеметрических кадров служебной информации;
- передачу телеметрической информации по радиолинии «борт-Земля»;
- приём командной информации;
- отработку циклограммы на каждый виток.

Срок активного существования космического аппарата не менее 1 года.

3.6.1 Порядок стоимостной оценки опытно-конструкторских работ(ОКР)

Общую модель расчета стоимости ОКР можно представить в следующем виде:

$$C_{P_OKP} = \sum_{i=1}^{I=N} C_i + C_{\text{приб.}} , \quad (3.5)$$

где:

C_{P_OKP} - суммарная стоимость ОКР;

C_i - себестоимость i -го этапа СЧ ОКР;

N - число этапов;

$C_{\text{приб.}}$ - прибыль.

Структура затрат представлена формулой:

$$C_i = C_M + C_{\text{ФОТ}} + C_{\text{СН}} + C_{\text{пр.прямые}} + C_{\text{НР}} + C_{\text{ОЗ}} + C_{\text{СО}} + C_{\text{стор.орг}} + C_{\text{приб.}} \quad (3.6)$$

где:

C_M - затраты на материалы;

$C_{\text{ФОТ}}$ - затраты на оплату труда;

$C_{\text{СН}}$ - отчисления на социальные нужды;

$C_{\text{пр.прямые}}$ - прочие прямые затраты $C_{\text{НР}}$;

$C_{\text{НР}}$ - накладные расходы;

$C_{\text{ОЗ}}$ - затраты опытного завода;

$C_{\text{СО}}$ - затраты на спецоборудование;

$C_{\text{стор.орг}}$ - затраты по работам, выполняемым сторонними организациями и предприятиями;

Цена работ определяется как сумма всех затрат, включенных в себестоимость и прибыли.

Стоимостная оценка ОКР осуществлена по этапам работ в текущих ценах с использованием метода калькулирования, применяемых при формировании договорных цен по госконтрактам и договорам.

Трудоемкость по видам работ приведена в табл. 3.1

Таблица 3.1 Трудоемкость по видам работ

№ этапа по теме	Наименование работы	Трудоемкость, чел.-мес.
1	Разработка ЭП на КА	22,17
2	Технический проект на КА	17,5
3	Изготовление и испытания моделей КА	51,5
ВСЕГО		91,4

Затраты на материалы определены с использованием статистического анализа затрат по подобным проектам, которое составляет 10 % от фонда оплаты труда.

Фонд оплаты труда производственных рабочих определен в соответствии с уровнем заработной платы и трудоемкости работ по годам.

Фонд оплаты труда рассчитан путем перемножения объема работ (трудоемкости) и соответствующей ему среднемесячной ставки заработной платы.

Размер отчислений на социальные нужды определен в пределах норм, установленных законодательством Республики Казахстан, и составляет 8 935,5 тыс. тенге за период проведения работ.

Накладные расходы рассчитываются путем перемножения ФОТ и соответствующего ему норматива накладных расходов.

Сумма накладных расходов за период проведения работ составит 52 157,8 тыс. тенге.

В результате выполненных расчетов прогнозируемая прибыль за время проведения работ может составить - 16 580,7 тыс. тенге.

Общая стоимость ОКР в текущих ценах составит 186 553 295 тенге.

Итоговая оценка стоимости создания космического аппарата в текущих ценах без учета НКУ, ТК и СК, ЛИ, средств выведения и штатной эксплуатации приведены в табл. 3.2. Оценка является ориентировочной и подлежит уточнению на последующих этапах проведения работ.

Таблица 3.2 Технико-экономические показатели КА

№ этапа	Сокращенное наименование этапа	Стоимость, \$	Стоимость, KZT
1	Разработка ЭП на КА	88 222,5 *	38 318 322*
2	Технический проект на КА	78 664 *	34 166 709*
3	Изготовление и испытания моделей КА	262 626,0 *	114 068 265*
ВСЕГО ОКР		429512,5 *	186 553 295*

* - по курсу на 01.01.2022 г.

Выводы раздела.

Методы первого направления определяют надежность как вероятность случайного события. Методы второго направления – надежность как качество, развернутое во времени. Существуют также два метода, учитывающие причины отказов: один из них рассматривает надежность как вероятностную прочность,

оперируя случайными величинами, другой как вероятность невыброса случайного процесса за заданный уровень. При расчетах надежности различных частей космических аппаратов (бортовых систем, конструкции корпуса и т.д.) используется тот метод, который наиболее приемлем для расчетов.

Результаты испытаний на надежность оформляются в виде графиков и сравниваются с данными производственных испытаний, по которым прогнозируется оставшийся ресурс системы. Контрольные испытания проводятся на образцах. Цель этих испытаний состоит в обнаружении возможных отказов. Контрольные испытания проводят при нормальных условиях и требуют полного демонтажа изделия .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного дипломного проекта поставленная цель была выполнена успешно. Были описаны виды испытаний космических аппаратов стартовых и ракетно-космических комплексов. Они являются методом проверки того, что космический аппарат соответствует всем требованиям согласно техническим заданиям проекта КА. К основным видам испытаний относятся проектно-конструкторские, квалификационные, приемочные, полетные и предстартовые испытания.

Разработка, создание и эксплуатация КА связаны с необходимостью взаимной увязки функционирования элементов сложных ракетно-космических комплексов. Для детального изучения был описан состав ракетно-космических комплексов, программы и методики испытаний космических аппаратов, надежность и безопасность космического аппарата, также было предоставлено технико-экономическое обоснование и сделан расчет стоимости опытно-конструкторских работ.

Итоги комплексных испытаний оценивают готовность КА к реальной эксплуатации в условиях максимально приближенных в соответствии с планом полета. При позитивных итогах испытаний КА готов к отправке на стартовую позицию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков Л. С. Настоящее и будущее космического материаловедения. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 4:254, 2010 – 26 с.
2. Баранов, Д. А., Еленев, В. Д., Смородин, А. В. Принципы построения систем и объектов космического ракетного комплекса среднего класса повышенной грузоподъёмности. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва, (2 (33)). 2012. – 25-34 сс.
3. Семкин Н.Д., Телегин А.М., Калаев М.П. Космическое пространство и его влияние на элементы конструкций космических аппаратов. – Самара: СГАУ им. С.П. Королева, 2013. – 3 с.
4. Никольский Ю.В. Факторы, определяющие надёжность и долговечность конструкций бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов / Новые исследования в разработке техники и технологий, 2, 2014. – 16-21 сс.
5. СТ РК ГОСТ Р 51143-2010 (ГОСТ Р 51143-98, ИДТ) «Комплексы стартовые и технические ракетно-космических комплексов. Общие требования к испытаниям и приемке».
6. Куренков В. И., Капитонов В. А. Методы расчета и обеспечения надежности ракетно-космических комплексов: учеб. пособие – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 26-37 сс.
7. ISO 15864:2021 Space systems – General test methods for spacecraft, subsystems and units.
8. Байпаков К. «Надо связать культурной нитью комплекс Коркыт-ата и космодром Байконур» // Qazaqstan Tarihy, 26.06.2013.
9. Афанасьев В.А., Барсуков В.С., Гофин М.Я., Захаров Ю.В., Стрельченко А.Н., Шалунов Н.П. Экспериментальная отработка космических летательных аппаратов– М.: Изд – во МАИ, 1994. – 412 с.
10. СТ РК ГОСТ Р 51143-2010 (ГОСТ Р 51143-98, ИДТ) «Комплексы стартовые и технические ракетно-космических комплексов. Общие требования к испытаниям и приемке».
11. ГОСТ 19.301-79 Единая система программной документации (ЕСПД). Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению.
12. Тестоедов Н. А. Особенности статических испытаний космических аппаратов. Сибирский аэрокосмический журнал, (1 (18)), 2008 – 91-94 сс.
13. Бакулин Я.Ю., Журавлев В.Ю. Виброиспытания изделий ракетно-космической техники. Решетневские чтения, 1 (18), 2014 – 123-124 сс.
14. ГОСТ Р 56469-2015 Аппараты космические автоматические. Термобалансные и термовакуумные испытания.
15. Ли В. А. Основы теории испытаний. Экспериментальная отработка ракетно-космической техники .

16. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений – М.: Стройиздат, 1982.– 351 с.
17. Черток, Б. Е. Ракеты и люди 3-е изд. – М.: Машиностроение, 2002. – 416 с.
18. СТ РК ГОСТ Р 51143-2010 "Комплексы стартовые и технические ракетно-космических комплексов. Общие требования испытаниям и приемке"
19. Куренков, В. И. Методы расчета и обеспечения надежности ракетно-космических комплексов [Электронный ресурс] : [учеб. пособие] / В. И. Куренков, В. А. Капитонов ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. – Самара : [Изд-во СГАУ], 2007.
20. Александровская Л. Н. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем : учеб. пособие / . М. : Логос, 2003. – 736 с.
21. https://www.gharysh.kz/aboutSbIK_KA/
22. Требования СТ РК ИСО 15864–2010 "Системы космические. Общие методы испытаний космических кораблей, подсистем и блоков"
23. Требования СТ РК ECSS E-ST-10-03С -2013 "Космический инжиниринг. Испытания"

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АВПКО	Анализ видов, последствий и критичности отказов
ДУ	двигательная установка
ЖРД	жидкостный ракетный двигатель
КА	космический аппарат
НАСА	Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства
НИР	научно-исследовательские работы
НШС	нештатная ситуация
ОКБ	опытно-конструкторское бюро
ОКР	опытно-конструкторские работы
ПОБ	программа обеспечения безопасности
РПЗ	радиационные пояса Земли
СК	стартовые комплексы
СТР	система терморегулирования
СТС	сложная техническая система
ТРП	терморегулирующие покрытия
ТК	технические комплексы
УФ	ультрафиолетовое
ФКП	факторы космического пространства
ЭП	эскизный проект

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Байманова Ажар Булатқызы

5B074600 – Космическая техника и технологии

Тема «Основы испытания космических аппаратов (КА)»

В дипломной работе Баймановой Ажар кратко представлены основные виды испытания космических аппаратов для обеспечения надежности ракетно-космических комплексов на всех этапах ее эксплуатации. Проведен литературный обзор основных видов испытаний стартовых и технических ракетно-космических комплексов. Подробно описаны цели и задачи комплексных испытаний. Перечислены особенности существующих программ испытаний на надежность космических аппаратов и представлена роль автоматизированной системы испытаний в проектировании.

Необходимо отметить, что в дипломной работе предоставлено технико-экономическое обоснование и сделан расчет стоимости опытно-конструкторских работ. Считаю, что полученные результаты будут интересны для будущих студентов и молодых специалистов космической отрасли.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ.

Дипломная работа выполнена на оценку «хорошо», а студент, Байманова Ажар Булатқызы достойна степени бакалавра по специальности 5B074600 – Космическая техника и технологии.

Рецензент

PhD, заведующий кафедры «КИ».

Алматинский университет энергетики и связи имени Г.Даукеева

Төлендіұлы Санат

« 27 »

2022 г.



**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломную работу
(наименование вида работы)

Байманова Ажар Булатқызы

(Ф.И.О. обучающегося)

5B074600 – Космическая техника и технологии

(шифр и наименование

специальности)

Тема: «Основы испытания космических аппаратов»

В настоящей дипломной работе рассмотрены основы испытания космических аппаратов для обеспечения надежности ракетно-космических комплексов на всех этапах ее эксплуатации. Проведен обзор видов испытаний стартовых и технических ракетно-космических комплексов. Описаны цели и задачи комплексных испытаний. Описаны требования к содержанию программы и методики испытаний космических аппаратов, а также приведены примеры для некоторых из них. Перечислены особенности программ испытаний на надежность космических аппаратов и представлена роль автоматизированной системы испытаний в проектировании.

В расчетной части диплома представлена методика и программа испытаний космических аппаратов на надежность по показателям прочности и расчет технико-экономического обоснования испытания моделей КА.

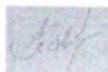
Все поставленные задачи в ТЗ дипломником выполнены в полном объеме и при этом Ажар Байманова показала себя трудолюбивым и ответственным студентом.

Дипломная работа **Байманова А** оценивается на 90 баллов и автор заслуживает академической степени бакалавр техники и технологий по ОП «Космическая техника и технологий».

Научный руководитель

К.т.н., ассоциированный профессор

(должность, уч. степень, звание)



Таштай Е.

(подпись)

« 27 » мая 2022 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Байманова Ажар Булатқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Основы испытания космических аппаратов (КА)

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 8.1

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 108

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

25.05.2022
Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Байманова Ажар Булатқызы

Тақырыбы: Основы испытания космических аппаратов (КА)

Жетекшісі: Ерлан Таштай

1-ұқсастық коэффициенті (30): 8.1

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 1.2

Әріптерді ауыстыру: 2

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 108

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

25.05.2022
Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Байманова Ажар Булатқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Основы испытания космических аппаратов (КА)

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 8.1

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 108

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

25.05.2022
Дата


проверяющий эксперт

