

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Амурский государственный университет»

(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Управление системами комплексов

Учебно-методическое пособие к лекционным и практическим занятиям

Благовещенск 2024

Составитель : М.А. Аревков

Управление системами комплексов: учеб.- метод. пособие к лекц. и практ. занятиям для направления подг.: 24.03.01 и спец.: 24.05.01 / Амурс. гос. ун-т, Ин-т компьютер. и инж. наук, Каф. стартовые и техн. ракет. комплексы ; сост.: Аревков М.А. – Благовещенск: АмГУ, 2024. – 60 с.

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Организация безопасной эксплуатации ракетно-космической техники» предназначено для подготовки бакалавров и инженеров по направлению 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика» и специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов».

- © Амурский государственный университет, 2024
- © Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы, 2024
- © М.А. Аревков ; составление

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПЛЕКСЕ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	7
1.1. Комплексы ЛА	7
1.2. Летательный аппарат как объект обслуживания	9
1.3. Классификация систем наземного обеспечения и требования, предъявляемые к ним	14
2 ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ТЕХНИЧЕСКОЙ И СТАРТОВОЙ ПОЗИЦИЯХ	22
2.1. Принципиальные схемы технологической подготовки ЛА к пуску	22
2.2. Назначение и структура технической позиции	25
2.3. Назначение и структура стартовой позиции	33
2.4. Организация процесса функционирования технологического оборудования в период предстартовой подготовки ЛА	41
2.4.1. Характеристика объекта подготовки	41
2.4.2. Организация работ на технической позиции	42
2.4.3. Организация работ на стартовой позиции	45
2.4.4. Функционирование наземного оборудования при полете РКТС	51
3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА	54
Тест 1: Основные понятия и компоненты систем наземного обеспечения	54
Тест 2: Технологические процессы и безопасность на стартовой позиции	56
Тест 3: Системы управления и навигации в ракетно-космических комплексах	58
БИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	60

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АВД — Аварийное выключение двигателей;

БКС — Бортовая кабельная сеть;

БЦВМ — Бортовая цифровая вычислительная машина;

КСНО — Комплекс систем наземного обеспечения;

КИПС — Контрольно-испытательная передвижная станция;

ЛА — Летательный аппарат;

МИК — Монтажно-испытательный корпус;

ОКДП — Объединенный командно-диспетчерский пункт;

ПА — Пилотируемый аппарат;

ПН — Полезная нагрузка;

РКС — Ракетно-космическая система;

РН — Ракета-носитель;

СП — Стартовая позиция;

ТП — Техническая позиция.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс подготовки летательного аппарата (ЛА) к пуску включает в себя целый ряд операций, таких, как транспортировка с завода-изготовителя к месту старта, погрузка на транспортные средства и выгрузка из них, проведение технологических проверок и контрольных испытаний, установка на пусковую систему и заправка его компонентами топлива, ориентация по направлению и проведение пуска.

Все перечисленные работы проводятся по строго определенному технологическому плану с использованием большого количества разнообразной сложной техники и специальных инженерных сооружений, которые объединены общим названием - комплекс систем наземного обеспечения (КСНО).

Следует отметить, что объем и характер работ, выполняемых КСНО, а также состав и структура применяемого при этом оборудования могут быть различными в зависимости от класса ЛА и задач, поставленных перед ним. Однако в любом случае системы наземного обеспечения являются одним из наиболее сложных и дорогостоящих элементов современных комплексов ЛА, а степень совершенства КСНО во много предопределяет эффективность применения ЛА, а также возможность решения многих актуальных задач.

В настоящее время ЛА и системы наземного обеспечения рассматриваются как единое целое, поэтому при создании новой конструкции проектанты должны учитывать требования, предъявляемые к КСНО, и возможности наземной подготовки ЛА.

Во втором разделе монографии рассмотрены состав, структура и основы функционирования ракетно-космических комплексов при различных вариантах предстартовой подготовки. Особое внимание уделяется взаимодействию составляющих элементов комплекса, включая и ЛА, с конкретизацией параметров, характеризующих их совместную работу. Изложены принципы представления технологического процесса подготовки ракетно-космических систем как в виде абстрактных операций с возможностью последующего

исследования их на ЭВМ, так и с помощью математического моделирования, позволяющего получить характеристики этого процесса в виде аналитических зависимостей.

Представленные методики определения проектных параметров систем наземного обслуживания базируются на анализе эффективности КСНО как составляющего элемента ракетно-космического комплекса. Проведен выбор рационального принципа структурного построения КСНО, его оптимальных сроков службы и надежности.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПЛЕКСЕ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

1.1. Комплексы ЛА

Под комплексом ЛА понимают совокупность разнородных по условиям эксплуатации основных частей ЛА и систем наземного обеспечения, предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, которые заключаются в решении задач в сроки, предусмотренные документами на проведение подготовки и пуска ЛА.

Система ЛА объединяет все комплексы данного типа. В качестве наиболее характерного элемента системы ЛА обычно рассматривается комплекс, поскольку качество комплекса ЛА определяет качество системы ЛА в целом.

Все комплексы ЛА могут быть классифицированы по следующим признакам:

- по степени подвижности (стационарные и подвижные);
- по месту размещения ЛА в момент старта (наземные, воздушные, подводные, шахтные);
- по кратности использования ЛА (одноразовые и многоразовые);
- по назначению ЛА (ракетно-космические, баллистические и т. п.);
- по виду транспортно-пускового агрегата (колесные, гусеничные, железнодорожные, плавучие).

Комплексы ЛА значительно отличаются друг от друга не только тактико-техническими характеристиками, но и эффективностью применения. Каждый из них имеет свои достоинства и не лишен недостатков.

Так, комплексы ЛА шахтного базирования выгодно отличаются от наземных стационарных комплексов тем, что они обеспечивают возможность длительного хранения ЛА, и системы наземного обеспечения находятся в состоянии высокой готовности при относительной устойчивости шахтных пусковых установок (ШПУ) к воздействию поражающих факторов ядерного

оружия. Однако строительство ШПУ связано с выполнением большого объема земляных работ, что существенно увеличивает стоимость этих комплексов, а также не позволяет создавать ложные позиции при относительно малых затратах.

Наиболее полно требованиям обеспечения постоянной готовности и неуязвимости удовлетворяют подвижные комплексы ЛА различного базирования. Подводные комплексы ЛА, например, удачно сочетают положительные тактические свойства подводных лодок с техническими возможностями ЛА и, несомненно, являются одними из эффективных. Размещение ЛА на подводных лодках имеет и ряд недостатков по сравнению с комплексами, базирующимися на суше. Летательные аппараты, размещенные на подводных лодках, имеют большие круговые вероятные отклонения при сравнительно небольшой полезной нагрузке, вследствие чего на них нельзя установить эффективные средства прохода зоны противоракетной обороны (ПРО). В результате усовершенствования противолодочной обороны противник располагает все возрастающими возможностями обнаружения, сопровождения, контроля и уничтожения комплексов ЛА на подводных лодках.

Наиболее полно решить поставленные задачи, очевидно, можно при комбинированном использовании комплексов ЛА различных видов.

Следует отметить, что системы наземного обеспечения в зависимости от класса ЛА и степени его совершенства существенно отличаются друг от друга как по составу, так и по структуре построения.

Первые комплексы ЛА имели достаточно простую пусковую установку в виде направляющих с несложным пусковым оборудованием.

С появлением комплексов ЛА баллистического типа возникла необходимость в проведении транспортных, подъемно-перегрузочных, заправочных, проверочно-пусковых и других операций, что потребовало создания соответствующих агрегатов для выполнения этих работ.

Запуски современных ракетно-космических систем осуществляются с космодромов, которые представляют собой специально подготовленные земельные участки с сооружениями и оборудованием, обеспечивающими

сборку, подготовку к пуску и пуск ЛА, траекторные измерения, выдачу команд, а также прием и обработку поступающей телеметрической информации. Космодромы являются одним из сложнейших элементов ракетно-космического комплекса. На космодромах производятся не только подготовка и пуски ЛА, но и экспериментальная отработка отдельных систем, испытания различных видов оборудования, подготовка обслуживающего персонала и получение некоторых компонентов ракетного топлива. Затраты на создание космодромов исчисляются миллиардами рублей, что составляет значительную часть государственного бюджета экономически развитых стран, а поэтому немногие государства имеют свои космодромы.

1.2. Летательный аппарат как объект обслуживания

Летательный аппарат функционально, также как и объект обслуживания систем наземного обеспечения делится на две самостоятельные части — аппарат-носитель (ракета-носитель) и полезная нагрузка (космический аппарат, боевая часть). Различаются как состав этих систем, так и методы их испытаний и подготовки. Это определяет необходимость рассмотрения их как двух самостоятельных объектов обслуживания, что, однако, не исключает возможности использования общих технических принципов при проектировании наземных комплексов, обеспечивающих их предстартовую подготовку.

Рассмотрим основные системы аппарата-носителя и полезной нагрузки на примере ракетно-космической системы, состоящей из ракеты-носителя и космического аппарата.

Ракета-носитель (РН). РН состоит из нескольких ступеней, как правило, жидкостных, которые включают в себя пять основных групп систем: двигательную установку; корпус и баки; электротехнические системы; системы управления полетом; телеметрические системы.

Основными системами двигательной установки, взаимодействующими с КСНО, являются: система дренажа и наддува баков; система термостатирования

топлива; система контроля расхода топлива; система захолаживания; система запуска и отсечки.

К электротехническим системам относятся система получения и распределения энергии; бортовая кабельная сеть (БКС); электрическая система термостатирования; аппаратура коммуникации и уплотнения каналов связи; телевизионная система.

Система управления полетом включает в себя бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ); гидростабилизированную платформу; автомат стабилизации; автомат управления дальностью.

Телеметрическая система состоит из датчиков и систем калибровки; усилительно-преобразующей аппаратуры; передатчиков и антенн; автономных регистраторов.

Полезная нагрузка (ПН). Состав системы полезной нагрузки целесообразно рассматривать на примере состава пилотируемого аппарата (ПА), как наиболее распространенной ПН и наиболее сложного по составу систем и методам их проверки.

Состав типового пилотируемого КА представлен на рис. 1.1. Рассмотрим функции основных систем.

Система управления (СУ) обеспечивает стабилизацию, ориентацию, маневрирование ПА и представляет собой замкнутую систему автоматического управления. Наибольшее применение нашли инерциальные системы. В любой инерциальной системе управления осуществляются три измерения, для получения каждого из которых имеются свои приборы:

- 1) гироскопические и оптические приборы для измерения угловой скорости или угловых отклонений;
- 2) акселерометры для измерения линейного ускорения;
- 3) прецизионные источники стабилизированной частоты для измерения времени.

В результате интегрирования этих данных по времени (в БЦВМ) вырабатываются управляющие команды, поступающие в систему управления направлением и величиной тяги двигателей.

Чтобы инерциальная система давала правильные результаты, необходимо точно знать исходное положение ПА перед началом процесса управления. Исходные значения координат и скорости ПА поступают в БЦВМ от системы наведения.

Система наведения. Задача системы заключается в определении местоположения ПА, величины и направления скорости его полета относительно выбранных космических ориентиров (Земли, Солнца, планеты и т. д.).

При использовании астрономических методов навигации в состав аппаратуры входят оптические устройства - секстант, следящий телескоп и т. п.

Астроинерциальный метод навигации реализуется с помощью (как и СУ) акселерометров, для коррекции которых применяются оптические устройства. Аппаратура включает в себя три акселерометра, оси чувствительности которых взаимно перпендикулярны, три пары интеграторов, гидростабилизированную платформу (ГСП) с тремя установленными на ней телескопами и три канала вычислительного устройства (БЦВМ).

Система электроснабжения может включать в себя химические источники тока — аккумуляторы (серебряно-цинковые, серебряно-кадмиевые, никель-кадмиевые), топливные элементы (электрохимические генераторы); физические источники тока — фотоэлектрические генераторы (солнечные батареи), термоэлектрические генераторы (термоэлектродвижущая сила полупроводников или термопар), ядерные источники тока.

Система термостатирования состоит из вентиляторов, гидронасосов, управляемых дроссельными заслонками, чувствительных элементов температуры и расхода, теплообменников и системы управления.

Система жизнеобеспечения включает в себя аппаратуру автоматического поддержания заданных параметров воздуха, кондиционирования, водоснабжения, обеспечения питания. Она состоит из отдельных логических

блоков и целой группы датчиков (влажности, температуры, газового анализа и т. д.).

Система аварийного спасения (САС) состоит из автоматической системы обнаружения аварийной ситуации и включения двигателей САС.

Состав радиоэлектронного оборудования и аппаратуры для научных исследований определяется конкретными задачами и назначением ПА.

При испытаниях ПА измеряются, как правило, те же параметры, что и при испытаниях РН. Основная особенность заключается в том, что на одной и той же РН могут запускаться различные ПА, а это вызывает необходимость наличия такой испытательной аппаратуры, с помощью которой на одном и том же рабочем месте можно было бы проверять ПА различного типа. Поэтому, говоря о принципах построения проверочной аппаратуры для ПА, необходимо отметить постоянную тенденцию к ее унификации и обеспечению гибкости изменения алгоритма ее работы. Все это привело к широкому использованию в испытательной аппаратуре для ПА управляющих и вычислительных цифровых машин.

Испытания и подготовка к пуску РН осуществляются с помощью подачи управляющих воздействий и контроля состояния ее систем.

Испытания включают в себя:

- автономные испытания;
- комплексные испытания;
- отбойные испытания.

Эти испытания могут проходить как в статическом, так и в динамическом режимах.

При статической проверке в аппаратуру последовательно подается ряд отдельных сигналов и производится оценка ответных сигналов. Статическая проверка, безусловно, является более простой, чем динамическая. Ее легче осуществлять и проще оценить ее результаты. Однако при статической проверке нет возможности получить все данные, которые бы в полной мере характеризовали работоспособность системы.

При динамической проверке в аппаратуру подаются изменяющиеся сигналы. Как правило, динамическая проверка заключается в имитации штатного режима работы системы. При такой имитации обеспечивается проверка каждой основной подсистемы и таких параметров, как постоянная времени интегрирования, амплитудные и фазовые характеристики, а также переходных характеристик при подаче типовых и граничных сигналов.

В зависимости от наличия в проверяемой системе цепей обратной связи проверки на функционирование делятся на проверки по замкнутой схеме (с обратной связью) и проверки по разомкнутой схеме (без обратной связи).

Особое место в ряду возможных аварийных отключений агрегатов и систем ЛА принадлежит аварийному выключению двигателей (АВД), т.е. выключению двигателя без разрушения его материальной части. В процессе подготовки ЛА к пуску АВД должно обеспечивать возможность повторного запуска двигательной установки без снятия аппарата с пусковой системы, а в процессе полета — не только целостность конструкции ЛА, но и безопасность его дальнейшего функционирования.

Сложность ЛА предъявляет эксплуатационные требования, включающие условия хранения и эксплуатации, а также совокупность параметров, определяющих характер подготовки и проведения пуска (метеорологические условия), время пребывания в складских и полевых условиях, на пусковой системе в незаправленном и заправленном состояниях, комплекс предпусковых проверок, степень автоматизации обработки результатов испытаний и работ по подготовке к пуску, удобство и простоту обслуживания.

На всех этапах наземной эксплуатации конструкция ЛА должна удовлетворять требованиям технологии проводимых предстартовых операций и обеспечивать их выполнение в заданные сроки. Эксплуатационные требования обеспечиваются как схемно-конструктивными решениями ЛА и системы наземного обеспечения, так и соответствующими порядком и временем проведения регламентных работ, проверок и подготовки к пуску.

Система аварийного спасения обеспечивает увод спускаемого аппарата с космонавтами на безопасные расстояние и высоту, необходимую для срабатывания парашютной системы при отклонении от штатного режима функционирования РН на стартовом режиме.

1.3. Классификация систем наземного обеспечения и требования, предъявляемые к ним

Комплекс систем наземного обеспечения представляет собой совокупность сооружений, агрегатов и систем специального технологического оборудования, предназначенных для подготовки к полету и обслуживания ЛА.

Основными операциями, выполняемыми с помощью КСНО, являются: транспортировка; установка; заправка; наведение; проведение предстартовой подготовки; защита от воздействий внешней среды и несанкционированных действий; управление технологическим процессом предстартовой подготовки и работами, проводимыми в случае несостоявшегося пуска; электропитание ЛА, находящегося на пусковом устройстве; обеспечение безопасности обслуживающего персонала; осуществление контроля за полетом ЛА и выдача необходимых команд. К главным факторам, определяющим состав и структуру комплекса систем наземного обеспечения, можно отнести следующее:

- тактико-технические характеристики ЛА, для обслуживания которого предназначен данный КСНО;
- требуемая частота запусков ЛА;
- надежность подготовки ЛА к запуску;
- технологические принципы, положенные в основу предстартовой подготовки ЛА.

Структурная схема комплекса системы наземного обеспечения представлена на рис. 1.2.

Анализ приведенной схемы показывает, что КСНО, предназначенный для обслуживания ЛА любого класса, включает в себя сооружения и оборудование, имеющие разное функциональное назначение.

Сооружения предназначены, во-первых, для размещения оборудования, ЛА и обслуживающего персонала с целью защиты их от неблагоприятных воздействий окружающей среды, во-вторых, для установки ЛА в положение, позволяющее проводить его предстартовую подготовку и пуск. В зависимости от местности, на которой они размещаются, а также от необходимой степени защищенности от воздействия разрушающих факторов взрыва, возможного в аварийной ситуации, сооружения подразделяются на наземные, полузаглубленные и заглубленные (подземные).

Оборудование систем наземного обеспечения предназначено для выполнения работ, непосредственно связанных с эксплуатацией и обслуживанием ЛА. В зависимости от выполняемых функций оборудование подразделяется следующим образом:

- наземная часть бортовых систем, представляющая собой проверочную аппаратуру, которая обеспечивает проведение регламентных работ, автономные и комплексные испытания ЛА, а также запуск двигательной установки;

- специальное технологическое оборудование, работающее в контакте с ЛА и предназначенное для непосредственной подготовки к полету и поддержания режима дежурства ЛА;

- техническое оборудование, обеспечивающее нормальные условия содержания и обслуживания ЛА, которые определяются специфическими особенностями ЛА как объекта обслуживания и техникой безопасности обслуживающего персонала.

Наземная часть бортовых систем состоит из оборудования двух основных видов:

- контрольно-испытательного;
- проверочно-пускового.

Специальное технологическое оборудование в зависимости от назначения подразделяются на следующие группы:

- транспортное;
- подъемно-перегрузочное;

- установочное;
- заправочное;
- аппаратура контроля и управления технологическими процессами;
- вспомогательное.

К техническому оборудованию относится оборудование общепромышленного профиля, включающее системы температурно-влажностного режима сооружений, вентиляции, электросиловое оборудование, связь, системы газового анализа сооружений, водопровод и канализацию. Техническое оборудование, как правило, не находится в непосредственном контакте с обслуживаемым ЛА и разрабатывается организациями, ответственными за проектирование сооружений.

Все элементы комплекса систем наземного обеспечения располагаются на технической и стартовой позициях, которые представляют собой земельные участки, лежащие в непосредственной близости друг от друга и состоящие из комплексов зданий и сооружений с общетехническим и специальным технологическим оборудованием.

Поскольку системы наземного обеспечения предназначены для подготовки к полету и обслуживания ЛА, то все элементы КСНО должны удовлетворять требованиям, которые определяются поставленными перед этими системами задачами.

Требования, предъявляемые к КСНО, могут быть разбиты на следующие четыре группы: функциональные, эксплуатационные, эргономические и экономические.

К группе функциональных требований относятся:

- высокая надежность подготовки проведения пуска ЛА в любое время года и суток при значительных изменениях метеорологических условий;
- минимальное время подготовки ЛА к пуску;
- минимальное количество обслуживающего персонала.

Под надежностью в данном случае понимается способность элементов КСНО сохранять свои выходные параметры в определенных пределах при данных условиях эксплуатации в течение заданного промежутка времени.

Высокая надежность обеспечивается целым рядом мероприятий, основными из которых являются:

- выбор рациональной прочности конструктивных элементов КСНО;
- упрощение применяемой системы или агрегата;
- создание конструктивных схем с наименьшими последствиями отказов элементов;
- резервирование отдельных элементов;
- осуществление постоянного контроля за состоянием исполнительных элементов;
- механизация и автоматизация всех технологических процессов.

Прочность конструкции агрегатов КСНО обеспечивается с помощью расчета наиболее важных узлов и деталей, основанного на изучении условий их эксплуатации; выбора конструкционных материалов; совершенствования технологии производства; автоматизации производственных процессов; контроля качества изготовления; специальных испытаний с имитацией неблагоприятных условий эксплуатации.

Упрощение применяемой системы или агрегата вызвано тем, что более надежной является система, количество исполнительных элементов которой минимально, а конструкция наиболее проста.

При выборе определенного конструктивного решения того или иного элемента КСНО необходимо учитывать возможные последствия отказа этого элемента. При прочих равных условиях предпочтение отдается варианту, обеспечивающему минимальный ущерб при аварийных ситуациях.

Одним из способов повышения надежности агрегатов и систем наземного обеспечения является резервирование наиболее ответственных узлов, что позволяет функции отказавших элементов выполнять дублирующим элементам при сохранении работоспособности всей системы.

Из определения надежности следует, что ненадежной считается не только та система, отказ элемента которой привел к неработоспособности, но и та, значения рабочих характеристик которой выходят за допустимые пределы. В этой связи важным мероприятием, обеспечивающим надежность, является постоянный контроль за состоянием исполнительных механизмов элементов КСНО для своевременного устранения выявленного несоответствия. Для оперативной обработки измеряемых параметров на ЭВМ непосредственно в ходе предстартовой подготовки целесообразно в системах контроля применять устройства и методы преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму. Такой прием обеспечивает высокую степень достоверности контроля необходимых параметров.

Одним из главных резервов повышения надежности подготовки и проведения пуска ЛА, сокращения времени, затрачиваемого на предстартовые операции, а также уменьшения количества обслуживаемого персонала и его безопасности является механизация и автоматизация всех технологических процессов. Наиболее актуальной в настоящее время является задача полной автоматизации технологических процессов управления как отдельными агрегатами и системами КСНО, так и процессами предстартовой подготовки ЛА. Автоматизация сложных технологических операций и процессов, как правило, выполняется на основе использования как универсальных, так и специализированных ЭВМ, которые снабжаются пультами, обеспечивающими наряду с автоматическим и ручное управление отдельными наиболее ответственными исполнительными элементами.

Следует отметить, что агрегаты и системы КСНО должны обладать высокой степенью стабильности технических и эксплуатационных характеристик в различных атмосферных и климатических условиях, при резких колебаниях температуры окружающей среды.

В группу эксплуатационных входят требования, при удовлетворении которых достигаются наилучшие условия эксплуатации, сохранности

оборудования с учетом обеспечения его работоспособности и безопасности обслуживающего персонала.

Соблюдение правил эксплуатации оказывает особое влияние на надежность всех элементов КСНО, поскольку исключает возможность поломки оборудования. Важную роль при этом играет своевременное проведение периодических проверок, выполнение профилактических работ и содержание оборудования в технически исправном состоянии.

Конструкция элементов КСНО должна обеспечивать возможность восстановления отказавших в процессе эксплуатации узлов и деталей. Это требование ремонтпригодности связано с тем, что в процессе подготовки ЛА к пуску сам отказ зачастую менее опасен, чем невозможность быстрого отыскания места поломки и ее скорейшего устранения.

Сохранность оборудования характеризуется способностью всех составляющих элементов этого оборудования находиться в исправном состоянии в процессе хранения как важном этапе эксплуатации. К основным мероприятиям, обеспечивающим сохранность оборудования, относятся выбор соответствующих смазок; изготовление агрегатов из специальных материалов, стойких к неблагоприятному воздействию окружающей среды; применение антикоррозионных покрытий; просушка и проветривание агрегатов при длительном хранении и эксплуатации; соблюдением необходимых условий хранения и бережения.

Особо важным требованием, предъявляемым к системам наземного обслуживания, является обеспечение техники безопасности обслуживающего персонала при выполнении всех видов работ. Поскольку техническая и стартовая позиции насыщены большим количеством токсичных и взрыво- и пожароопасных веществ, источников тока, трубопроводов и емкостей высокого давления, а следовательно, являются зонами повышенной опасности. Поэтому даже незначительные нарушения мер безопасности при эксплуатации могут привести не только к аварийной ситуации, но и к катастрофе. С точки зрения обеспечения безопасности и упрощения обслуживания очень важно на агрегатах

КСНО иметь блокирующие устройства, предохранители, конечные выключатели и ограничители, предупреждающие возникновение неисправностей и аварий в работе основных механизмов и агрегатов. Все рабочие места должны быть оборудованы необходимыми средствами для пожаротушения и проведения обмывочно-нейтрализующих работ, а также для надежной защиты от действия взрывной волны и обеспечения эвакуации обслуживающего персонала при аварии.

Эргономические требования учитывают возможности человека, эксплуатирующего современную технику, насыщенную автоматизированными устройствами. Соблюдение основных требований инженерной психологии при разработке агрегатов и систем КСНО способствует правильному восприятию и оценке полученной информации, своевременному принятию решения о необходимых действиях и выполнению принятого решения с помощью воздействия на рабочие элементы агрегата или системы.

Указанные цели достигаются обеспечением наилучших условий для работы оператора, что зависит от многих факторов: удобства расположения приборов и индикаторов; выбора оптимальных углов обзора приборов при неподвижном положении глаз; применения специальной сигнализации для важнейших сообщений о ходе процесса; правильного подбора размеров, формы, освещенности, контрастности и четкости геометрических фигур, букв или цифр; соответствующей окраски сигналов; степени стандартизации указательных надписей на панелях и т. п.

Экономические требования обеспечивают сокращение затрат, связанных с расходами на разработку, создание и эксплуатацию систем наземного обеспечения. Эти требования достигаются широким использованием недефицитных материалов; унификацией отдельных узлов и механизмов; использованием агрегатов общетехнического назначения; простотой устройств; внедрением прогрессивных методов производства, а также его специализацией и кооперированием; сведением к минимуму ручного труда, т. е. максимальной

механизацией и автоматизацией технологических процессов предстартовой подготовки.

Следует отметить, что кроме указанных выше общих для всех агрегатов и систем наземного обеспечения требований к отдельным элементам КСНО в зависимости от функционального назначения и особенностей эксплуатации могут предъявляться и специфические требования. Характерным является то обстоятельство, что соблюдение всех этих требований приводит к увеличению полноты выполнения поставленной перед КСНО задачи по подготовке и проведению пуска ЛА, т. е. увеличению эффективности систем наземного обеспечения.

2 ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ТЕХНИЧЕСКОЙ И СТАРТОВОЙ ПОЗИЦИЯХ

2.1. Принципиальные схемы технологической подготовки ЛА к пуску

Несмотря на большое разнообразие запускаемых ЛА, подготовка их к пуску обязательно включает в себя следующие основные этапы: транспортировка, сборка и испытания на технической позиции (ТП), предпусковая подготовка на стартовой (предполетной) позиции (СП) и пуск.

В зависимости от технологических принципов, положенных в основу подготовки ЛА к пуску, можно выделить четыре схемы, или метода сборки, установки и обслуживания:

— горизонтальная сборка ЛА на ТП, сущность которой заключается в том, что сборка ЛА и комплексные испытания осуществляются на ТП в монтажно-испытательном корпусе (МИК), а затем ЛА в горизонтальном положении транспортируется на стартовую позицию и устанавливается на пусковое устройство (ПУ);

— сборка ЛА на СП, или фиксированный метод подготовки к пуску. Отдельные блоки ЛА, минуя ТП, доставляются на СП, где проводятся сборка, автономные и комплексные испытания и пуск;

— вертикальная сборка ЛА на ТП, или мобильный метод подготовки, заключающийся в вертикальной сборке ЛА и проведении комплексных испытаний в здании вертикальной сборки на ТП с последующей доставкой ЛА в вертикальном положении на СП и установкой его на ПУ;

— совмещенная подготовка, объединяющая элементы фиксированного, мобильного и метода горизонтальной сборки и заключающаяся в том, что в МИК производится вертикальная или горизонтальная компоновка отдельных блоков или ступеней ЛА, а окончательная сборка и последующие комплексные испытания осуществляются на СП.

Выбор той или иной схемы технологического процесса подготовки определяется множеством факторов, основными из которых являются размеры и конструктивно-компоновочная схема ЛА, а также используемые в настоящее время технологические принципы подготовки. Каждая из описанных схем, обладая определенными недостатками, может применяться только в конкретных условиях.

Так, метод горизонтальной сборки ЛА на ТП применим для ЛА, конструкция которых допускает горизонтальную транспортировку в полностью собранном состоянии, что обычно связано с увеличением массы аппарата. При подготовке ЛА по этой схеме нет необходимости в высотном здании вертикальной сборки и в специальных транспортных средствах для доставки аппаратов на СП в вертикальном положении. Сборка и испытания ЛА в этом случае ведутся в оборудованных помещениях при благоприятных условиях, что существенно повышает удобство проведения работ и качество их выполнения. Однако, перевод ЛА из горизонтального положения в вертикальное требует проведения на СП дополнительных операций, связанных с повторными испытаниями, а также с подстыковкой заправочных и других коммуникаций, что, в свою очередь, сопряжено с определенными эксплуатационными трудностями, особенно при неблагоприятных погодных условиях. По этому методу подготавливаются обычно ЛА легкого и среднего классов, а иногда и ЛА, предназначенные для вывода на орбиту космических объектов, например такие системы, как “Скаут”, “Союз”, “Энергия” и др.

Фиксированный метод позволяет проводить предстартовую подготовку ЛА, минуя техническую позицию, на которой имеется большое количество сложных и дорогостоящих зданий и сооружений. Этот метод применяется для подготовки ЛА, находящихся в стадии экспериментальной отработки или использующихся для единичных исследовательских запусков, что связано с длительным пребыванием ЛА на пусковом устройстве и низкой пропускной способностью СП. Наиболее распространен фиксированный метод был в США

в период зарождения космической техники для пусков ЛА “Титан-Г”, “Титан-П”, “Сатурн-1”, “Сатурн-IV” и др.

Увеличение пропускной способности стартовой позиции и необходимость быстрой замены ЛА на пусковом устройстве, связанные с решением сложных задач по организации встреч на орбите космических аппаратов, требуют обеспечения возможности запуска в заданный промежуток времени значительно большего числа ЛА с одной СП. Такая задача решена применением мобильного метода подготовки, при котором стартовая платформа с собранным и испытанным на ТП ЛА доставляется на СП и устанавливается на стенд, снабженный газоотражателем. Проверки ЛА на стартовой позиции в этом случае не носят всеобъемлющего характера и проходят сравнительно быстро, поскольку все заправочные и другие коммуникации через кабель-заправочную башню обслуживания, смонтированную на стартовой платформе, уже подстыкованы к ЛА, а их соединение с наземными коммуникациями осуществляется при установке стартовой платформы на стенд. Недостатками такой схемы являются строительство сложного и дорогостоящего здания вертикальной сборки, а также создание специального транспортного оборудования и путей для доставки ЛА в вертикальном положении с ТП на СП. Мобильный метод подготовки применяется для ЛА тяжелого и сверхтяжелого классов, к которым, в частности, можно отнести “Сатурн-5”, “Титан-Шс”, “Спейс-Шаттл” и др.

Применение совмещенного метода подготовки значительно уменьшает затраты, связанные со строительством монтажно-испытательного корпуса (МИК), и исключает необходимость в изготовлении специальных транспортных средств для перевозки с ТП на СП полностью собранного ЛА. Основными недостатками этого метода является низкая надежность сборки и испытаний. Кроме того, длительное время занята СП, что уменьшает ее пропускную способность. Совмещенный метод лежит в основе подготовки к пуску таких ЛА, как “Тор-Дельта”, “Атлас-Аджена”, “Тор-Аджена”, “Европа-Н” и др.

Возможные и другие технологические схемы предстартовой подготовки ЛА, предназначенных для вывода на околоземную орбиту полезных грузов

большой массы. Например, существует проект применения морской плавучей сборочно-пусковой системы, позволяющей осуществлять сборку и запуск ЛА с высоким тротиловым эквивалентом в открытом море, что существенно повышает безопасность проводимых работ.

2.2. Назначение и структура технической позиции

Техническая позиция представляет собой подготовленный в инженерном отношении земельный участок, на котором располагается комплекс зданий и сооружений с общетехническим и специальным технологическим оборудованием, предназначенный для приема, хранения, сборки, испытаний ЛА и полезных грузов, а также для проведения проверок и регламентных работ с ними.

Техническая позиция занимает промежуточное положение между заводом, на котором изготавливается ЛА, и стартовой позицией, которая является заключительным звеном в одном цикле подготовки ЛА к пуску. На ТП проводятся операции по укомплектованию ЛА и полезных грузов, а также осуществляются автономные и комплексные испытания, заправка объектов компонентами топлива и сжатыми газами, стыковка блоков в единую систему ЛА и подготовка ее к транспортировке на стартовую позицию.

Здания и сооружения ТП оснащаются не только специальным технологическим оборудованием для проведения работ, связанных с предстартовой подготовкой ЛА, но и техническими системами, обеспечивающими нормальные условия для жизнедеятельности и работы обслуживающего персонала. Все они соединяются между собой густой сетью транспортных коммуникаций в виде железнодорожных путей, дорог с твердым покрытием, а в случае необходимости и водными каналами. Обычно в непосредственной близости от ТП строится взлетно-посадочная полоса для приема и отправки транспортных самолетов с ЛА на борту. Для транспортировки собранного ЛА с ТП на СП прокладываются дороги, и используется специальное транспортное оборудование.

Расстояние между ТП и СП определяется условиями безопасности при аварийных ситуациях или при возможном нападении. Однако при этом учитывается и то обстоятельство, что уменьшение этого расстояния, во-первых, сокращает сроки и расходы, связанные со строительством специального пути для транспортно-установочного агрегата, во-вторых, уменьшает время транспортировки ЛА с технической позиции на стартовую, что позволяет исключить применение при транспортировке средств термостатирования.

На состав и структуру элементов КСНО ТП значительное влияние оказывают класс и конструктивно-компоновочная схема ЛА, а также технологические принципы, положенные в основу сборки и подготовки ЛА к полету.

Технические позиции, предназначенные для обслуживания ЛА легкого и среднего классов, занимают относительно небольшие площади, а их сооружения невелики по размерам и универсальны по назначению. Такая ТП состоит из ряда рабочих зон, расположенных в соответствии с технологическим планом технического обслуживания и подготовки ЛА данного типа. Эти рабочие зоны оборудованы различными подъемными, транспортными, контрольно-проверочными и другими устройствами и приспособлениями.

С завода-изготовителя ЛА поступает на площадку, где осуществляются контроль функционирования бортовой аппаратуры и предварительная зарядка воздушных баллонов. После этого ЛА перевозится на площадку, где навешиваются стабилизаторы и устанавливаются пиротехнические средства.

Если ЛА поступает на ТП в неснаряженном состоянии, то на этой площадке производятся их расстыковка и снаряжение с использованием подъемно-перегрузочных и снаряжательных средств.

Снаряженные ЛА перекладываются с транспортных стыковочно-монтажных тележек на транспортно-загружающие машины и перевозятся на место хранения готовых аппаратов, где осуществляется дозаправка воздушных баллонов до нормального давления. Полностью подготовленные и зачехленные

аппараты хранятся на площадке на транспортно-загружающих машинах и по мере надобности доставляются на стартовую позицию.

Основное оборудование, применяемое на технической позиции типового комплекса ЛА класса «поверхность-воздух», можно разделить на следующие группы: транспортно-погрузочные средства; контрольно-испытательная аппаратура для проверки бортовых систем ЛА; снаряжательные средства; средства заправки ЛА данного типа воздухом.

К транспортно-погрузочным средствам относятся:

—автопоезд, состоящий из тягача и полуприцепа, оборудованного комплектом специальных приспособлений для крепления транспортируемого груза и укрытия его от атмосферных осадков;

—автокран, предназначенный для подъема и перекладки ЛА, а также используемый при ремонтных работах и снаряжательных операциях;

—транспортно-установочная машина, используемая для перевозки ЛА на СП и его установки на пусковое устройство. Транспортно-установочная машина оборудована устройствами для питания систем обогрева бортовых батарей, для освещения механизмов и звуковой сигнализации контроля рабочих операций.

Транспортная стыковочно-монтажная тележка предназначена для транспортировки отдельных блоков ЛА и их снаряжения. Она оборудована ложементами, позволяющими надежно закреплять отдельные отсеки.

Контрольно-испытательная аппаратура для проверки бортовых систем ЛА монтируется на самоходном шасси и называется контрольно-испытательной передвижной станцией (КИПС). В состав КИПС входят источники питания бортового оборудования ЛА; центральный распределительный щит с комплектом кабелей; пульт комплексной проверки электрических цепей; пульт для проверки и контроля аппаратуры автопилота; устройства для проверки аппаратуры радиоуправления; пневмооборудование для подачи в пневмосистему ЛА воздуха от воздухозаправщика.

К снаряжательным средствам относится стенд осмотра твердых топлив, который представляет собой стол с поворотной консолью и кареткой для подвески приспособлений.

Снабжается ЛА воздухом с помощью универсального воздухозаправщика, который смонтирован на автоприцепе.

Обслуживание тяжелых и сверхтяжелых ЛА осуществляется на технических позициях, занимающих площади в несколько квадратных километров и имеющих монтажно-испытательные корпуса площадью в сотни тысяч квадратных метров. Для выполнения всех технологических операций по приему с заводов-изготовителей блоков и отдельных узлов; по сборке их в единую систему; по проведению автономных и комплексных испытаний; по заправке объектов высококипящими компонентами топлива; по зарядке и хранению ботовых и наземных химических источников тока, а также по подготовке к транспортировке ЛА на СП тяжелых ЛА имеются следующие здания и сооружения:

- монтажно-испытательный корпус (МИК) для ЛА и полезных грузов;
- заправочная станция;
- компрессорная с ресиверной;
- зарядно-аккумуляторная станция;
- хранилище ЛА;
- хранилище монтажно-стыковочного и подъемного-установочного оборудования;
- подъездные пути с разгрузочными площадками;
- сооружения со средствами энергоснабжения, вентиляции, теплоснабжения, водоснабжения, канализации, системами пожаротушения, связи и т. д.
- административные и служебные здания.

На ТП для ЛА с твердотопливными ускорителями и пороховыми двигателями расположены хранилище пороховых зарядов (помещение для пиротехнических устройств) и здание пристыковки твердотопливных

ускорителей. Обычно эти сооружения выделяются в отдельную зону, так называемую пиротехническую позицию. Технологические принципы, положенные в основу сборки и подготовки ЛА к полету, являются определяющими при выборе схемы структурного построения технической позиции. Если сборка ЛА осуществляется на СП, на ТП производятся только подготовка и испытания отдельных элементов и систем. Роль ТП в этом случае минимальная. Если сборка ЛА и комплексные испытания осуществляются на ТП, значительно увеличивается число зданий, усложняются сооружения и оборудование, необходимое для проведения этих ответственных операций, и роль ТП при этом существенно возрастет.

Рассмотрим более подробно назначение, состав и структуру основных зданий и сооружений ТП, необходимых при использовании различных технологических принципов подготовки ЛА тяжелого класса к пуску.

Монтажно-испытательный корпус (МИК) является основным сооружением ТП, включающим комплект оборудования, который предназначен для приема с завода-изготовителя ступеней, блоков и отдельных узлов ЛА; их разгрузки; расконсервации и хранения, горизонтальной или вертикальной сборки ЛА; автономных и комплексных испытаний; проверки на герметичность; пристыковки головных блоков и перегрузки на транспортные средства для доставки на СП. Монтажно-испытательный корпус, предназначенный для сборки ЛА в вертикальном положении на стартовой платформе, называется зданием вертикальной сборки. В зависимости от количества одновременно подготавливаемых ЛА и их конструктивно-компоновочных схем МИК могут быть как однопролетными, так и многопролетными. Каждый пролет МИК предназначается для подготовки одного ЛА и оснащается всевозможным технологическим оборудованием, состав и структура которого зависят от характеристик обслуживаемого ЛА и принципов, положенных в основу его подготовки.

Для обеспечения высокого качества работ и безопасности обслуживающего персонала в состав МИК входят следующие агрегаты и системы:

— подъемно-перегрузочное оборудование, грузоподъемность которого зависит от принятой технологии работ;

— электросиловое оборудование, предназначенное для питания наземной аппаратуры;

— общетехническое оборудование для поддержания определенного температурно-влажностного режима, необходимого для нормальной работы обслуживающего персонала и функционирования электронной, вакуумной и другой аппаратуры;

— система обеспечения сжатыми газами и пневмовакуумное оборудование для пневматических испытаний отдельных блоков ЛА, зарядки бортовых баллонов и проверки герметичности коммуникаций и отсеков;

— контрольно-испытательные системы, которые включают в себя пульта системы управления, наведения, телеметрии и контроля, предназначенные для автономных проверок отдельных узлов и комплексных испытаний, проводимых для определения правильности функционирования всех систем ЛА в целом;

— система наземного электроснабжения спецтоками, предназначенная для обеспечения постоянным током и током нестандартной частоты систем управления и измерений и включающая преобразователи, токораспределительные устройства, пульта дистанционного управления и т. п.;

— транспортные системы и магистрали для перемещения отдельных блоков ЛА из одного пролета в другой внутри МИК и доставки собранного аппарата на СП.

Все сборочные работы в МИК производятся с помощью монтажно-стыковочного оборудования, обеспечивающего требуемую точность и надежность выполняемых операций.

Монтажно-испытательный корпус полезных грузов предназначен для обслуживания и испытаний полезных грузов и головных блоков ЛА. Он может

представлять собой либо часть МИК ЛА, либо отдельное здание, обычно значительно уступающее по размерам МИК ЛА и состоящее из одного или нескольких залов. Высота этого корпуса определяется габаритами головных блоков ЛА и способом их сборки.

Состав и структура контрольно-испытательной аппаратуры и технологического оборудования МИК полезных грузов зависят от объема и сложности работ, проводимых при приеме с заводов-изготовителей, хранении, нагрузке и выгрузке, проверки на герметичность и сборке полезных грузов и головных блоков.

Так, МИК, предназначенные для обслуживания космических объектов, должны удовлетворять повышенным требованиям к чистоте, поскольку пыль, грязь или посторонние предметы, попавшие в космический объект, в космосе, в состоянии невесомости, вызывают серьезные помехи в работе аппаратуры и жизнедеятельности членов экипажа. Поэтому доступ в МИК космических объектов обычно осуществляется через так называемую камеру чистоты.

Заправочная станция (ЗП) служит для заправки космических объектов и разгонных ступеней ЛА высококипящими компонентами топлива и сжатыми газами. На станции производят заправку горючим, окислителем и газами (азотом, гелием и др.) маршевых, тормозных и двигателей орбитального маневрирования, а также баков последних разгонных ступеней ЛА.

Заправочная станция представляет собой отдельный комплекс сооружений, расположенный на значительном удалении от других объектов ТП и включающий хранилища компонентов топлива и сжатых газов, насосную станцию, дозаторную, пультовые, холодильный центр и другое оборудование, необходимое для проведения заправочных операций. Заправочная станция оборудуется системами вентиляции, промстоков, пожаровзрывобезопасности, стойкими к воздействию агрессивных компонентов и их паров. Хранилища компонентов топлива обычно размещаются на безопасном расстоянии в отдельных сооружениях, соединенных с ВС системой подающих трубопроводов.

Компрессорная станция предназначена для производства, хранения и распределения сжатого воздуха, азота и гелия и представляет собой специальное сооружение, в котором размещаются преобразовательно-компрессорное оборудование, насосы и газификаторы, фильтровально-осушительные установки и распределительные щиты. В состав компрессорной станции входят баллонные батареи для накопления и хранения сжатых газов, называемые ресиверной.

Через систему распределительных устройств сжатые газы по магистралям высокого давления подаются в МИК и хранилище СП. Коллекторы и баллоны ресиверной оснащаются предохранительными клапанами и разрывными мембранами на случай аварийного повышения давления.

Для дистанционного управления выдачи сжатых газов из секций ресиверной и подачи их на ТП и СП служат электропневмоклапаны, смонтированные в пневмоцистах. Основной арматурой пневмосистем являются газовые редукторы, предохранительные клапаны, электропневмоклапаны и вентили.

Зарядно-аккумуляторная станция служит для подготовки и зарядки аккумуляторных батарей, используемых в качестве бортовых источников электропитания полезных грузов и ЛА. Эта станция используется также для зарядки аккумуляторных батарей, заключающейся в проведении нескольких циклов “заряд-разряд”, что способствует принятию большего запаса электроэнергии.

Зарядно-аккумуляторная станция — это, как правило, отдельное помещение или здание с системами, обеспечивающими приготовление и заливку электролита, заряд и разряд батарей, их контроль перед установкой на борт ЛА, а также со специальным холодильным оборудованием для уменьшения саморазряда батарей.

Хранилища агрегатов систем наземного обеспечения и ЛА представляют собой специально оборудованные помещения, предназначенные для хранения элементов КСНО или полностью собранных ЛА в условиях, обеспечивающих готовность их к немедленному применению по назначению.

Обычно ЛА хранятся на транспортно-загрузочных машинах или специальных тележках, на которых они доставляются в хранилище. Все хранилища оборудуются подъемно-перегрузочными механизмами для погрузочных работ, а также системами поддержания температурно-влажностного режима для исключения резких перепадов температур, что особенно важно при хранении твердотопливных ЛА.

Здание пристыковки твердотопливных ускорителей служит для сборки и подстыковки твердотопливных ускорителей к ЛА и представляет собой упрощенное здание вертикальной сборки с необходимым комплектом специального технологического оборудования. Все системы здания пристыковки твердотопливных ускорителей должны быть взрывобезопасными и тщательно заземленными. Поскольку расходы, связанные со строительством такого сооружения, велики, то для пристыковки твердотопливных ускорителей иногда используется МИК ЛА при соблюдении необходимых мер безопасности.

2.3. Назначение и структура стартовой позиции

Стартовая позиция представляет собой подготовленный в инженерном отношении земельный участок с комплексом зданий и сооружений с общетехническим и специальным технологическим оборудованием, предназначенный для приема с ТП, проведения технических проверок, предстартовой подготовки и пуска ЛА.

На СП проводятся заключительные операции, связанные с подготовкой и проведением пуска ЛА, а также снятие ЛА с пускового устройства в случае несостоявшегося запуска. Основными из этих операций являются:

- установка ЛА на пусковое устройство;
- предстартовые проверки ЛА и полезного груза;
- заправка (в случае необходимости) компонентами топлива и сжатыми газами;
- наведение ЛА;
- термостатирование;
- пуск;

- контроль за параметрами предстартовой подготовки;
- слив компонентов топлива и снятие ЛА с пускового устройства в случае несостоявшегося запуска.

Состав и структура элементов КСНО на СП зависят от класса и конструктивно-компоновочной схемы ЛА, для обслуживания которого предназначена данная стартовая позиция; от технологических принципов, положенных в основу подготовки ЛА к пуску, от характера полезной нагрузки и планируемого количества запусков в заданный промежуток времени.

Так, для ЛА легкого класса СП представляет собой спланированный участок местности с расположенным на нем подвижным пусковым оборудованием, в состав которого входят проверочно-пусковые системы, подъемно-транспортные агрегаты, аппаратура контроля и управления, а также вспомогательные машины.

На практике нет строгого разделения функций между технической позицией и стартовой ЛА легкого класса. В зоне расположения СП могут находиться не только системы предстартовой подготовки ЛА, но и оборудование для проведения восстановительных работ, а также хранилища с подготовленными ЛА. Такое расположение зоны ремонта хотя и неудачно с точки зрения технологичности, однако обладает рядом преимуществ в плане живучести и готовности ЛА к пуску при нарушении связи ТП или ее поражении, поскольку расстояние между ТП и СП выбирается из условий невозможности одновременного вывода их из строя в случае нападения или аварии.

В состав СП, предназначенных для обслуживания ЛА тяжелого и сверхтяжелого классов, входит большое количество сложных строительных сооружений заглубленного или полуглубленного типа, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, что связано с защитой их от избыточного давления возможного взрыва и акустического воздействия при работе двигательной установки ЛА на стартовом устройстве.

В зависимости от технологической схемы, положенной в основу подготовки ЛА к пуску, такие СП оснащаются разнообразным спецтехническим и общетехническим оборудованием, таким, как:

— пусковые устройства для приема и удержания ЛА в положении для пуска, обеспечения подвода к нему электрических, заправочных, пневматических, дренажных и других коммуникаций, проведения предстартовой подготовки, наведения и пуска;

— транспортные агрегаты для доставки ЛА и их отсеков с ТП на СП и транспортировки их в пределах СП;

— подъемно-установочные устройства для подъемно-перегрузочных работ при транспортировке, сборке и обслуживании ЛА, а также для установки и сборки ЛА на пусковом устройстве и снятия ЛА в случае несостоявшегося пуска;

— средства обслуживания работ, необходимость в проведении которых возникает в ходе предстартовой подготовки, для обеспечения доступа обслуживающего персонала к отсекам ЛА, находящегося в вертикальном положении, и для удобного подхода к местам стыковки наземных коммуникаций с бортовыми системами;

— заправочные системы для транспортировки, хранения и выдачи дозы на борт ЛА компонентов топлива и сжатых газов, а также слива топлива в случае несостоявшегося запуска;

— системы термостатирования для обеспечения заданного теплового режима элементов ЛА и поддержания необходимой температуры компонентов топлива;

— система дистанционного и автоматического управления технологическими операциями предстартовой подготовки;

— система вертикализации и наведения ЛА по азимуту;

— электросиловое оборудование для питания бортовых систем ЛА, находящегося на пусковом устройстве, а также системы наземного обеспечения спецтоками;

— контрольно-испытательная аппаратура для контрольно-проверочных испытаний приборов, агрегатов и систем ЛА;

— проверочно-пусковое оборудование для предстартовой подготовки и подачи команды на пуск;

— вспомогательные системы для пожаротушения и нейтрализации компонентов топлива, проведения вспомогательных операций, возникающих в процессе предстартовой подготовки ЛА и аварийных ситуациях;

— система водоснабжения для обеспечения водой общетехнических и специальных технологических сооружений, а также для хозяйственных нужд;

— система промышленных стоков для сбора и отвода за пределы стартовой позиции загрязненных сточных вод, их очистки и обезвреживания перед сбросом в водоемы;

— системы отопления, вентиляции и газового анализа для создания нормальных условий работы обслуживающего персонала и основных элементов ЛА и КСНО;

— средства грозозащиты для предохранения ЛА, стоящего на пусковом устройстве, и высотных элементов КСНО;

— средства связи для переговоров обслуживающего персонала и получения команд от руководителя работ по подготовке ЛА.

Стартовые позиции в зависимости от количества пусковых устройств, одновременно обслуживаемых системами наземного обеспечения данной СП, могут быть как одиночными (или одноканальными), так и многоканальными. Многоканальные СП позволяют проводить серию пусков одновременно или через малые промежутки времени.

Характер работ и последовательность предполетной подготовки ЛА различного класса имеют многие общие черты и различаются лишь продолжительностью операций, техническими средствами их обеспечения и некоторой спецификой, вызванной особенностями конструкции ЛА. Это объясняется тем, что, независимо от метода подготовки, цель всех выполняемых операций — обеспечение полета ЛА.

На СП выполняются следующие основные операции:

Установка ЛА на место запуска. С помощью установщика (транспортно-установочного агрегата, установщика лафетного типа и т. д.) ЛА занимает полетное положение так, чтобы он оказался над пусковой системой. Затем механизмами пусковой системы или установщика (или и того и другого) ЛА сближается до соприкосновения опорных элементов с опорами пусковой системы. Масса ЛА передается на пусковую систему, и ЛА закрепляется специальными приспособлениями, после чего захваты установщика разводятся и его стрела опускается в исходное положение.

Если ЛА доставляется на предполетную позицию в вертикальном положении на пусковой системе с помощью транспортера, то эта часть вместе с ЛА опускается на опоры пускового стенда с помощью гидродомкратов транспортера. После закрепления платформы транспортер с помощью тех же домкратов опускается и выходит из-под платформы.

При «фиксированном» методе подготовки системы ЛА к запуску она доставляется на предполетную позицию в виде блоков и собирается на пусковой системе. В этом случае установка блока в вертикальное положение и сборка ЛА выполняются с помощью кранов или башен обслуживания. Технология дальнейших работ с собранной системой ЛА такая же, как и при других методах подготовки.

Ориентация ЛА. Ориентация ЛА заключается в установке ее в вертикальное положение и, при необходимости, повороте по азимуту. Эта установка осуществляется с помощью опор или гидродомкратов пусковой системы.

Поворот по азимуту ранее производился с помощью поворотного круга пусковой системы. Обычно он выполняется сразу после установки ЛА на пусковую систему до заправки, так как последующее подведение средств обслуживания, кабель-заправочных башен, кабель-мачт с коммуникациями (в особенности, если они размещены не на поворотном круге) обычно исключает возможность поворота. Кроме того, заправка увеличивает массу ЛА, требует

наличия более мощного поворотного механизма, что нецелесообразно. Контроль и точность установки в вертикальное положение и поворота ЛА обеспечиваются оптическими приборами и электронными системами ориентации.

Подвод агрегатов обслуживания и подключение связей. Для проведения дальнейших работ к ЛА подводятся агрегаты обслуживания и подстыковываются пневматические, заправочные, дренажные и электрические коммуникации. Агрегаты обеспечивают доступ обслуживающего персонала к различным ярусам, подачу приборов и оборудования, а также защиту персонала от метеорологического воздействия (ветра, осадков, солнечной радиации). Некоторые агрегаты имеют закрытые площадки, снабженные установками для кондиционирования воздуха.

Пневматические коммуникации подстыковываются к наземным частям пневмоколодок, установленных на ЛА, заправочные и дренажные шланги — к заправочным и дренажным горловинам и бортовым разъемным соединениям, электрические кабели — к бортовым штепсельным разъемам и платам.

Если коммуникации отстыковываются заблаговременно (регламентные кабели, кабели проверочной аппаратуры, заправочные и дренажные шланги высококипящих компонентов топлива и т. д.), их прокладывают по башням обслуживания, фермам и другим агрегатам, которые отводятся за определенное время до пуска ЛА, если же коммуникации обеспечивают последние предполетные операции и проведение запуска, то их подводят к ЛА через кабель-заправочные башни, кабель-мачты и механизмы, расстыковываемые ходом ЛА при запуске. При этом на кабель-заправочных башнях и кабель-мачтах связи “земля—борт” могут прокладываться по площадкам и фермам, которые отводятся от ЛА поочередно в разное время.

Некоторые системы ЛА доставляются на предполетную позицию с пристыковываемыми наземными коммуникациями и кабель-мачтами (в частности, при транспортировке ЛА в вертикальном положении вместе с ним доставляется кабель-заправочная башня). В этом случае возникает необходимость лишь в состыковке с ответными частями, расположенными в

наземных сооружениях (например, коммуникаций платформы с ответными частями пускового стенда).

Предполетные проверки аппаратуры и систем ЛА. Предполетные проверки проводятся с помощью проверочно-пускового оборудования и включает в себя автономные и комплексные испытания.

Автономные испытания — это испытания отдельных систем, агрегатов ЛА и наземного оборудования для проверки правильности их функционирования. Комплексные испытания — совокупность операций, проводимых для проверки правильности функционирования всех систем ЛА и наземного оборудования. При комплексных испытаниях в наземных условиях имитируется предполетная подготовка запуска и полета ЛА. Важной особенностью всех этих испытаний является проверка правильности и надежности стыковки коммуникаций.

Результаты испытаний записываются телеметрическими системами и многоканальными регистраторами. После расшифровки и анализа результатов система ЛА заправляется компонентами топлива и сжатыми газами.

Заправка ЛА компонентами топлива и сжатыми газами. Операции заправки относятся к числу необратимых процессов, т. е. после них обязательно должен быть запуск ЛА. Строго говоря, понятие «заправка» может быть применено только к заправке агрессивными токсичными компонентами, так как в случае несостоявшегося пуска компоненты должны быть слиты, ЛА снят с пусковой системы и отправлен для переборки на техническую позицию. Однако и при использовании неагрессивных и нетоксичных компонентов отмена пуска влечет за собой необходимость проведения трудоемких регламентных и профилактических работ. Заправляться ЛА может одновременно всеми компонентами топлива и сжатыми газами, если среди них нет самовоспламеняющихся. При их наличии применяется последовательная заправка с целью исключения возможности смещения случайно пролитых компонентов, при этом обычно сначала заправляются криогенными компонентами нижние баки (как наиболее длительная и опасная операция), затем верхние баки, затем заправляются все ступени горючим и сжатыми газами.

Баллоны и емкости ЛА заправляются сжатыми газами в два приема: вначале предварительная зарядка, затем — после выравнивания температуры и давления газа — дозарядка.

Термостатирование элементов систем ЛА. Термостатирование приборов ЛА, двигателей системы аварийного спасения и других элементов ЛА производится, как правило, в течение всего времени нахождения на предполетной позиции.

Воздушная система обеспечения теплового режима подключается сразу же после установки ЛА в исходное положение и отключается одной из последних, перед отводом башни (фермы) обслуживания. На некоторых предполетных комплексах термостатирование ведется и во время установки ЛА в исходное положение.

Жидкостная система обеспечения теплового режима подключается после установки ЛА в исходное положение и отключается перед отводом агрегатов обслуживания. В некоторых случаях она прокладывается по кабель-заправочной башне (мачте). Термочехлы для двигательной установки системы аварийного спасения и твердотопливных ускорителей, надеваемые на ТП, снимаются обычно также перед отводом агрегатов обслуживания.

Запуск ЛА. Запуску ЛА предшествуют отстыковка и отвод заправочных коммуникаций (некоторые из этих операций выполняются ранее), отвод агрегатов обслуживания на безопасное расстояние. Перед запуском весь обслуживающий персонал покидает предполетную позицию и может находиться только в центре управления полетом.

После набора готовностей всех систем на пульте запуска дается команда. Ключ устанавливается в положение «Запуск», и нажатием кнопки включается автоматическая схема запуска.

При возникновении неисправностей и аварийных ситуаций происходят отмена запуска и возврат ее элементов в исходное положение. При несостоявшемся запуске из ЛА сливаются компоненты топлива, нейтрализуются баки и он снимается с пусковой системы.

Все работы с системой ЛА на СП выполняются по командам системы дистанционного управления технологическими операциями. Большинство операций осуществляется автоматически или дистанционно, при этом нахождение обслуживающего персонала у ЛА исключается. Все операции предполетной подготовки фиксируются на пульте пуска набором транспарантов готовностей [26, 56].

2.4. Организация процесса функционирования технологического оборудования в период предстартовой подготовки ЛА

2.4.1. Характеристика объекта подготовки

Роль КСНО в процессе предстартовой подготовки ЛА целесообразно рассмотреть на примере использования его отдельных элементов в наземном межполетном техническом обслуживании ракетно-космической транспортной системы (РКСТ) “Энергия—Буран”, состоящей из орбитального корабля (ОК) и универсальной ракеты-носителя.

Двухступенчатая ракета-носитель “Энергия” выполнена по схеме “пакет” с продольным разделением ступеней (рис. 2.1).

Первая ступень состоит из четырех боковых блоков. В качестве второй ступени используется центральный моноблок. Стартовая масса ракеты-носителя “Энергия” 2400 т, ее высота около 60 м. Она способна доставлять на околоземную орбиту полезный груз массой более 100 т. Блоки первой ступени ракеты работают на жидком кислороде и углеводородном горючем. Диаметр блока первой ступени около 4 м, длина 40 м.

Вторая ступень работает на жидком кислороде и жидком водороде. Она является основой носителя. С помощью узлов связи к ней крепятся блоки первой ступени и полезный груз. Длина этой ступени около 60 м, диаметр примерно 8 м.

Все двигатели ракеты-носителя “Энергия” начинают работать со старта, создавая в начале полета суммарную тягу около 3600 тс.

Являясь одновременно орбитально-космическим (ОК) и воздушным кораблем, “Буран” соединяет в себе качества, как искусственного спутника

Земли, так и самолета. Кроме этого, ОК “Буран” осуществляет выход на круговую орбиту высотой 250 км после его отделения от РН “Энергия” на высоте 150 км.

В хвостовой части ОК “Буран” находятся двигатели орбитального маневрирования, работающие на жидком кислороде и углеводородном горючем.

Орбитальный корабль “Буран” выполнен по самолетной схеме “бесхвостка” с низкорасположенным треугольным крылом двойной стреловидности и присущими самолету аэродинамическими органами управления (элеронами, рулем направления, балансировочным щитком и пр.).

Выбор крылатой самолетной схемы позволил решить задачу снижения орбитального корабля в атмосфере при изменении скоростей полета до 85-340 км/ч, осуществление бокового маневра в атмосфере на расстоянии до 2000 км и горизонтальной посадки ОК как планера без двигателя на посадочную полосу.

При стартовой массе 105 т ОК «Буран» имеет следующие габариты: общая длина 36,4 м, размах крыльев 24 м, высота на стоянке 16,5 м. В зависимости от решаемых задач ОК может либо доставлять на орбиту грузы массой до 30 т, либо осуществлять орбитальные полеты с возвращаемой полезной нагрузкой массой около 20 т.

2.4.2. Организация работ на технической позиции

Схема ТП и СП комплекса приведена на рис. 2.2.

Рабочий цикл СТО при запуске РКТС начинается с доставки элементов РКС с заводов-изготовителей на ТП. Для предшествующей отечественной РН данного класса (правда, не принятой к эксплуатации) “Н-1” на космодроме были созданы производственные мощности по изготовлению и испытанию крупногабаритных корпусных элементов. Решение это оказалось неэффективным из-за невозможности постоянной загрузки производственного оборудования, сложности обеспечения нормального технологического процесса, необходимости прикомандирования квалифицированных кадров с базовых заводов. Поэтому для РКТС “Энергия” было признано целесообразным изготавливать крупногабаритные элементы и их заводские испытания производить

на соответствующих предприятиях страны, осуществляя на космодроме только сборку этих блоков в единую систему.

Отсутствие водных путей и значительная удаленность космодрома от заводов-изготовителей исключили применение водного и автомобильного транспорта, а обычно применяемый для перевозки на космодром блоков других РН железнодорожный транспорт не позволял обеспечить доставку блоков второй ступени и некоторых видов полезной нагрузки (ОК “Буран”) из-за габаритов. В результате было принято решение о доставке основных блоков РКТС по воздуху.

В настоящее время воздушная транспортировка элементов РКТС обеспечивается специализированным самолетом АН-225 (“Мрия”), который позволяет перевозить на фюзеляже грузы массой до 250 т, диаметром до 10 м и длиной до 70 м. У АН-225 есть все для перевозки элементов РКТС: мощное шасси из 16 двухколесных тележек; узлы крепления груза на фюзеляже (передний воспринимает только поперечные и вертикальные нагрузки, задний еще и осевые); двухкилевое хвостовое оперение, позволяющее перевозить грузы, выходящие по длине за пределы фюзеляжа; система наддува (в том числе и подогретым воздухом) перевозимых грузов.

Погрузка элементов РКС на фюзеляж транспортного самолета и разгрузка их на аэродроме Байконур осуществляются сверху с помощью стационарного подъемного устройства, под которое подкатывается транспортировщик. Этим же устройством элемент РКС укладывается на автомобильный трейлер, который доставляет его в соответствующий МИК. Туда же поступают и другие элементы, доставляемые на космодром в основном по железной дороге. Начинается следующий этап подготовки РКС — сборка поступивших с разных заводов различными путями элементов в единую систему.

Сборка РН производится в МИК РН, где поступившие блоки доукомплектовываются, проверяются и собираются в ступени. Особенность сборки РН “Энергия” заключается в том, что монтаж обеих ступеней ракеты ведется непосредственно на стартово-стыковочном блоке (так называемом блоке “Я”), не являющемся элементом ракеты-носителя. Через блок “Я”

осуществляются все виды связи (механические, пневмогидравлические, электрические) РН с пусковой системой и наземным оборудованием комплекса. Сборка и стыковка производятся в горизонтальном положении: к закрепленному вертикально на стапеле блоку “Я” последовательно пристыковываются два боковых блока первой ступени, затем центральный блок (вторая ступень), к которому пристыковывают еще два боковых блока первой ступени. Работы на стапеле производятся с помощью мостовых кранов.

После сборки проводятся комплексные испытания систем РН, ракета перегружается на транспортно-установочный агрегат и готова к стыковке с полезной нагрузкой.

Сборка “Бурана” осуществляется в МИК ОК: поступающие в него отдельно фюзеляж с крыльями, киль, бортовые системы и другие части, агрегаты и детали корабля тщательно проверяются и собираются в единое целое. Здесь же весь корпус “Бурана” обклеивается теплозащитными плитками. Собранный “Буран” выводится для испытания двигательной установки на площадку огневых контрольных испытаний рядом с МИК ОК. Прошедший комплексные испытания ОК доставляется в МИК РН, где он крепится с помощью специальных пирозамков к центральному блоку РН. Работы на технической позиции заканчиваются испытанием системы “Энергия—Буран” как единого объекта. Система в сборе вывозится с ТП, по пути к СП в монтажно-заправочном корпусе орбитальный корабль с помощью оборудования заправочной станции заправляется горючим. После этого работы по подготовке к пуску переносятся на СП.

Ракета-носитель с пристыкованной полезной нагрузкой доставляется на СП железнодорожным транспортно-установочным агрегатом лафетного типа (рис. 2.3). При этом РКС закреплена на опорах — ложементах на стреле агрегата, транспортировка осуществляется по рельсовому двухколейному пути со скоростью 3—5 км/ч с помощью двух двухсекционных тепловозов [26].

2.4.3. Организация работ на стартовой позиции

На космодроме Байконур пуск РКС “Энергия” может быть осуществлен с устройств двух типов. В состав СП входят две одинаковые штатные пусковые системы, удаленные друг от друга на 500 метров. Кроме них на расстоянии около 5 км от СП имеется пусковая система другого типа — универсальный комплекс стенд-старт (УКСС). Последний используется для отработки в наземных условиях блоков первой, второй ступени и “пакета” в целом с включением маршевых двигателей на практически полное полетное время. Именно с этой установки был осуществлен первый пуск “Энергии” в мае 1987 г. Второй пуск “Энергии” с “Бураном” в качестве полезной нагрузки в ноябре 1988 г. произведен со штатной стартовой установки. Стенд-старт имеет односкатный газоотражатель, отводящий продукты сгорания двигательных установок РКС в газопод, заглубленный на 40 м от поверхности. На штатной стартовой установке газы из 20 сопел работающих двигателей устремляются вниз в вертикальный колодец глубиной 23 м и диаметром около 20 м, на дне которого в центре установлен отражатель в виде восьмигранной пирамиды, направляющий газовый поток в три газопода, которые отводят его от пусковой системы.

Транспортно-установочный агрегат с РКС на стреле подходит к пусковой системе СП, пристыковывается к ней и с помощью гидравлического механизма подъема переводит РКС из транспортного, горизонтального положения в пусковое, вертикальное положение, а затем опускает РКС со стартово-стыковочным блоком на восемь металлических опор прямоугольного сечения. Блок “Я” соединяется с опорами с помощью механических замков-фиксаторов, обеспечивая надежное удержание РКС в вертикальном положении на пусковом устройстве. Через опоры и блок “Я” наземная часть электрических, пневматических и гидравлических коммуникаций соединяется с бортовой. После передачи веса РКС на опоры пусковой системы и закрепления РКС на них стрела транспортно-установочного агрегата может быть опущена, а сам агрегат — отведен с СП.

К стоящей на пусковой установке РКС (рис. 2.4) подводится башня обслуживания, имеющая раздвижные площадки обслуживания. Будучи сведены, они охватывают РН со всех сторон и обеспечивают доступ персонала ко всем обслуживаемым и контролируемым визуальным элементам РН. К РН также подводятся подвижные площадки заправочно-дренажной мачты, несущие кабели связи “земля-борт”, а также некоторое оборудование и коммуникации для заправки и дренажа, которые и пристыковываются либо непосредственно к РН, либо через блок “Я”.

Установление связей “земля-борт” по электрическим, гидравлическим и пневматическим коммуникациям дает возможность приступить к решающему этапу предстартовой подготовки РКТС — заправке компонентами топлива и предпусковой проверке всей бортовой аппаратуры РН и полезной нагрузки.

В комплексе РКТС “Энергия” реализованы основные современные принципы обеспечения надежности функционирования и безопасности эксплуатации оборудования сложных технических систем. Сюда следует отнести такие чисто конструкторские мероприятия, как, например, использование новейших материалов с уникальными характеристиками, многократное резервирование критичных элементов комплекса и т. п. Безопасность комплекса повышена за счет введения дополнительных систем, предотвращающих или ликвидирующих аварийную ситуацию. Особое внимание уделено соответствующей организации технологического процесса предстартовой подготовки и пуска, которая предусматривает возможность выполнения большинства операций в случае возникновения внештатной ситуации несколькими различными способами с приведением комплекса в одинаковое конечное состояние.

Чрезвычайная интенсивность процессов при предстартовой подготовке к пуску, обусловленная как габаритами и энерговооруженностью РКС, так и в немалой степени теплофизическими характеристиками топливных компонентов, большим количеством одновременно действующих и, самое главное, взаимодействующих систем вызвали необходимость создания точных,

быстродействующих и надежных систем контроля и управления объектами комплекса, функционирующих, как правило, в автоматическом режиме. По мере выполнения операций технологического процесса предстартовой подготовки, пуска и полета РКС меняются характер функционирования и роль этих систем, подчиняясь строгой иерархии, заложенной при разработке базирующегося на цифровых вычислительных машинах автоматического комплекса.

Характер взаимодействия систем управления комплекса может быть проиллюстрирован участием их в заправке РКС компонентами топлива. Как известно, системы заправки топливных компонентов относятся к специальному технологическому оборудованию комплекса и предназначены для приемки, хранения и выдачи на борт РКС заданного количества компонента требуемой кондиции. Спецификой РКС “Энергия” является то, что два из трех компонентов топлива, заправляемых в бортовые баки РН, являются криогенными, т. е. имеют температуру кипения ниже 120 К: температура жидкого водорода 20 К, а кислорода 90 К. Более того, для повышения плотности и максимальной сохранности топлива в бортовых баках РН на активном участке траектории криогенные компоненты топлива заправляются переохлажденными, т. е. имеющим температуру ниже нормальной температуры кипения. Указанное обстоятельство отразилось на конструкции, составе и функционировании заправочных систем (ЗС). Все элементы ЗС, находящиеся в то или иное время в контакте с компонентами, снабжены самой эффективной на сегодняшний день теплоизоляцией — экранно-вакуумной, уменьшающей теплоприток к жидкости извне. Для отвода тепла, прошедшего через теплоизоляцию или переданного жидкости от каких-либо источников, в состав хранилища компонента введена холодильная установка, работающая на соответствующем низком температурном уровне. А в связи с тем, что степень переохлаждения компонента может меняться в некотором диапазоне в зависимости от полетного задания, ЗС должна включать устройство, за сравнительно небольшое время обеспечивающее понижение температуры компонента непосредственно перед пуском. Таким образом, криогенная ЗС еще задолго до вывода РКС на СП

должна функционировать автономно, практически не взаимодействуя с другими системами комплекса. Работа ЗС осуществляется по командам системы, выполняющей одновременно функции контроля и управления. На основании показаний датчиков давления, температуры и других параметров включаются или отключаются агрегаты и устройства, обеспечивающие поддержание этих параметров на заданном уровне.

После установки РКС на СП и пристыковки ее к наземным коммуникациям начинается подготовка этих коммуникаций к выдаче криогенного компонента, заключающаяся в удалении из внутренних полостей газов, которые могут засорить компоненты или прореагировать с ними, охлаждении стенок этих полостей до уровня, исключающего испарение компонента, и заполнении магистралей компонентом. На данном этапе работа ЗС должна согласовываться с работой других систем комплекса. Взаимодействие осуществляется через работающую в непрерывном режиме автоматическую систему подготовки к пуску (АСУПП), которая координирует работу всех бортовых и наземных систем. Несколько сот датчиков бортовой системы централизованного контроля параметров показывают температуру и давление в различных точках конструкции РН, в отсеках и баках и через наземную аппаратуру и оборудование поддерживают эти параметры в заданных пределах.

Заправка РКС компонентами топлива является самым критическим этапом предстартовой подготовки. Вокруг стартового комплекса установлена зона повышенного внимания радиусом в 15 км. За 13,5 часов до пуска, когда начинается заправка, исключаются любые передвижения по зоне. С началом продувки систем персонал покидает площадки обслуживания, а с началом заправки жидкого водорода, примерно за 6 часов до пуска, на старте не остается ни одного человека — процесс предстартовой подготовки выполняется автоматически.

До начала заправки РКС компонентами топлива в работу включается система пожаровзрывопреждения (СПВП). Она должна срабатывать в нештатных ситуациях, ведущих к образованию в отсеках РН взрывоопасных

смесей. В составе системы имеется несколько десятков высокочувствительных и точных газоанализаторов паров водорода, кислорода, керосина и пожарных извещателей, реагирующих на невидимое невооруженным глазом пламя водорода. Получаемая от датчиков информация обрабатывается и анализируется специализированным цифровым вычислительным комплексом (ЦВК). При возникновении пожаровзрывоопасной ситуации бортовая и наземная аппаратура СПВП подает в соответствующие отсеки газообразный азот или, в случае необходимости, высокоэффективное гасящее вещество - фреон.

Перед заправкой баков РКС топливом начинает работу система контроля заправки. Она использует дискретные и непрерывные датчики уровня, позволяющие измерять уровни компонентов по всей высоте бака. Их показания поступают через наземную аппаратуру в АСУПП и используются для управления процессом заправки.

Заправка бортовых баков РКС начинается с захолаживания и заполнения конечных участков наземных коммуникаций линии заправки (КУЛЗ). Сброс образующегося в КУЛЗ пара осуществляется через дренажные клапаны баков, подача компонентов в магистраль осуществляется на “предварительном” расходе, при котором исключается падение давления в баке. В процессе захолаживания КУЛЗ контролируется температура парожидкостной смеси перед заправочно-сливными клапанами РН. Если температура ее становится ниже определенной, то подача компонента временно прекращается и возобновляется только при повышении ее до температуры, несколько большей температуры кипения компонента. Контроль окончания захолаживания и заполнения КУЛЗ осуществляется по показаниям датчиков наземной системы, установленных на входе в блок “Я”. После получения сигнала об окончании захолаживания и заполнения КУЛЗ при работе в штатном режиме идет команда на подачу в баки компонента на “малом” расходе. Температура компонента при “малом” расходе близка к температуре кипения, заполнение бака сопровождается генерацией пара, что позволяет оценить герметичность бака. После прохождения зеркалом жидкости так называемого минимального нижнего уровня начинается заправка

на “большом” расходе, компонент при этом имеет номинальную температуру. При получении сигнала “предварительный уровень” расход переключается на “малый” и заправка продолжается до получения сигнала “номинальный уровень”. Нужно сказать, что работа ЗС компонентами топлива тесно связана с работой систем газоснабжения. Это объясняется не только необходимостью поддержания в бортовых баках определенного давления газовой среды, но и тем, что в баках криогенных компонентов находятся баллоны, предназначенные для хранения сжатых газов. Размещение газовых баллонов в криогенной жидкости позволяет повысить их вместимость при том же давлении хранения. Заполнение этих баллонов сжатым газом из наземной системы газоснабжения начинается только при погружении их в компонент. В ходе заправки непрерывно отслеживается соответствие параметров компонента и системы в целом заданным, в случае их отклонения выдаются команды на исполнительные органы, изменяющие эти параметры, а если этого не происходит, то следует команда на прекращение процесса. Так, например, если уровни компонента в баках первой ступени (боковых блоках) существенно различаются (что может привести к нерасчетным нагрузкам на конструкцию РН), следует команда на закрытие клапана на входе и команда на его открытие поступает только после выравнивания уровней.

По окончании заправки бортовых баков работа наземной и бортовой систем не прекращается. Вплоть до старта они осуществляют регулирование среднебаковой температуры и уровня переохлажденных компонентов топлива. Все параметры, характеризующие состояние РН и систем, при этом регистрируются, а необходимые — отображаются на пультах операторов.

С завершением заправки РКС компонентами топлива в действие вступают бортовой и наземный комплексы автономного управления (КАУ). Они способны обеспечить полностью автоматический режим предпусковых проверок всей бортовой аппаратуры РКС, выполнить предпусковые операции, осуществить запуск двигателей и управление системами и РКС при автономном полете. Перед пуском РКС в память вычислительной машины КАУ вводятся оперативные

данные полетного задания, которые в определенной степени уточняют ранее размещенный массив информации на пуск: фактические температуры компонентов, последние данные по метеоусловиям и т. д. После этого начинается непрерывный автоматический режим работы РКС. По заданной циклограмме включаются различные системы, контролируется выполнение команд КАУ. При обнаружении неисправности АСУПП выдает команду автоматического прекращения подготовки (АПП). Выполнение дальнейших операций отменяется, и КАУ переходит в исходное состояние. В зависимости от момента выдачи команды АПП возможно принятие решения о повторении предпусковых операций, но уже со сдвигом момента пуска во времени. Если команда АПП поступила после так называемых необратимых операций (отстрела от РКС наземных электропневмо-коммуникаций, выдачи команды на запуск двигателей и т. д.), то необходимы восстановительные работы, выполняемые только при сливе из баков топливных компонентов.

В ходе предпусковых операций на борту РКС включаются бортовые источники электропитания. Вместе с ними свой контроль осуществляет система аварийной защиты двигателей. С помощью специальной системы приводятся в стартовое положение гироскопы. Отводятся площадки заправочно-дренажной мачты за исключением той, где проложена магистраль дренажа водорода. Перед запуском двигателя второй ступени включается система дожигания выбросов непрореагировавшего водорода. Запуск двигателей обеих ступеней осуществляется почти одновременно. Отвод последней площадки заправочно-дренажной мачты производится уже при движении РКС. Перед запуском двигателей начинает работать система шумоподавления, из емкостей которой вода разбрызгивается через форсунки в зоне двигательных установок, создавая защитный экран. РКС уходит со старта.

2.4.4. Функционирование наземного оборудования при полете РКТС

Продолжает работать система пожаровзрывопредупреждения, контролирующая состав среды в отсеках РКС. За безопасностью двигателей следит система аварийной защиты. При отклонении параметров какого-либо

двигателя за установленные пределы выдается команда на выключение аварийного двигателя. Тем самым устраняется опасность его разрушения. В зависимости от момента выключения аварийного двигателя КАУ или продолжает реализацию программы полета, используя энергетику оставшихся двигателей, или автоматически изменяет ее в соответствии с заданием, хранящимся в памяти ЦВК. Для контроля и регистрации работы всех систем и агрегатов РКС в полете, а также параметров среды в отсеках, механических нагрузок на конструкцию используется специальная система измерений, включающая в себя несколько тысяч датчиков и устройств. Получаемая от них информация через радиосистемы передается на наземные измерительные пункты для последующей обработки и анализа.

Блоки первой ступени после выработки топлива попарно отделяются от РКС, затем разделяются и приземляются. Центральный блок — вторая ступень отделяется после набора суборбитальной скорости и приводняется в определенном районе акватории Тихого океана. Двигательная установка “Бурана” включается на высоте 150—160 км. Два импульса позволяют разогнать корабль до космической скорости, и он выходит на орбиту искусственного спутника. Выполнив программу полета, “Буран” разворачивается хвостом вперед. Двигательная установка дает тормозной импульс, и корабль берет курс на Землю. Начинаются планирование, заход на посадку и посадка на полосу.

Посадочный комплекс для “Бурана” расположен в 12 км от стартового сооружения. В его состав входят объединенный командно-диспетчерский пункт (ОКДП) и взлетно-посадочная полоса длиной 4500 м и шириной 84 м. В шестиэтажном здании ОКДП с аппаратным залом обзора размещены станция приема телеметрической и другой информации, главный зал управления и анализа, вычислительный комплекс системы навигации и посадки орбитального корабля, метеорологический центр и служба орнитологии. Задачи ОКДП — обнаружение, наведение, заход на посадку, остановка корабля, его послеполетное обслуживание и отправка в МИК.

Радиотехнические средства посадочного комплекса способны обнаружить возвращающийся корабль на дальности 400 км, на высоте 40 км. Посадочная скорость корабля — около 340 км/ч длина пробега — 1100...2000 м. Для сокращения пробега “Буран” снабжен тремя тормозными парашютами общей площадью 75 м². Они выпускаются при скорости 300 — 330 км/ч, а при уменьшении ее до 50 км/ч — отстреливаются.

После возвращения корабля в МИК производятся диагностические, профилактические и ремонтно-восстановительные работы. Затем после испытаний корабль может быть установлен на новую РН для выполнения другой программы.

3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тест 1: Основные понятия и компоненты систем наземного обеспечения

1 Что включает в себя комплекс ЛА?

- a) Только системы управления
- b) Системы наземного обеспечения и летательный аппарат
- c) Только летательный аппарат

2 Как называется место, где проводится окончательная подготовка ЛА к запуску?

- a) Техническая позиция
- b) Стартовая позиция
- c) Испытательная станция

3 Какие виды комплексов ЛА различаются по кратности использования?

- a) Одноразовые и многоразовые
- b) Наземные и воздушные
- c) Стационарные и подвижные

4 Как называется система ЛА, поддерживающая необходимые параметры воздуха и температуры?

- a) Система управления полетом
- b) Система жизнеобеспечения
- c) Электротехническая система

5 Какие задачи решает система управления ЛА?

- a) Поддержание теплового режима
- b) Стабилизация и ориентация ЛА
- c) Транспортировка ЛА

6 Что обеспечивает система аварийного спасения ЛА?

- a) Повышение скорости на старте

- b) Увод ЛА на безопасное расстояние при аварии
- c) Ускорение двигателей

7 К какому типу ЛА относится "Буран"?

- a) Самолет с пилотом
- b) Орбитально-космический корабль
- c) Баллистическая ракета

8 Какой из методов подготовки ЛА предусматривает его сборку на технической позиции в горизонтальном положении?

- a) Мобильный метод
- b) Фиксированный метод
- c) Метод горизонтальной сборки

9 В состав какой системы ЛА входят гироскопы и акселерометры?

- a) Системы жизнеобеспечения
- b) Системы наведения
- c) Телеметрической системы

10 Какие сооружения используются для хранения ЛА в заправленном состоянии на стартовой позиции?

- a) Пусковые устройства
- b) Хранилища снаряжения
- c) Технические позиции

Ответы:

- | | |
|------|-------|
| 1. b | 6. b |
| 2. b | 7. b |
| 3. a | 8. c |
| 4. b | 9. b |
| 5. b | 10. b |

Тест 2: Технологические процессы и безопасность на стартовой позиции

1 Какой из этапов подготовки ЛА следует после транспортировки и сборки?

- a) Испытания на стартовой позиции
- b) Предпусковая подготовка
- c) Ориентация

2 Что является основным предназначением заправочной станции на стартовой позиции?

- a) Проведение автономных испытаний
- b) Заправка ЛА топливом и газами
- c) Контроль положения ЛА

3 Для какой цели используется система термостатирования на стартовой позиции?

- a) Для контроля ориентации ЛА
- b) Для поддержания теплового режима элементов ЛА
- c) Для транспортировки ЛА

4 Что обеспечивает система вертикализации и наведения ЛА?

- a) Испытания системы аварийного спасения
- b) Установку ЛА в полетное положение
- c) Автоматическое управление заправкой

5 Какую роль играет компрессорная станция в процессе подготовки ЛА?

- a) Поддержание электроснабжения
- b) Производство и хранение сжатых газов
- c) Заправка топливом

6 К какому типу проверок относится имитация штатного режима работы системы на старте?

- a) Динамическая проверка
- b) Статическая проверка

с) Автономная проверка

7 Каким образом осуществляется запуск ЛА?

а) Автоматически по команде из центра управления

б) С ручного пульта на стартовой позиции

с) Механическим запуском системы

Ответ: а

8 Какой фактор определяет расстояние между технической и стартовой позициями?

а) Состав заправочных систем

б) Условия безопасности при авариях

с) Тип топлива, используемого ЛА

9 Как называется оборудование, используемое для подъема и установки ЛА на пусковую систему?

а) Заправочные устройства

б) Подъемно-установочные устройства

с) Электросиловые установки

10 Какие средства безопасности применяются для защиты персонала на стартовой позиции?

а) Система телеметрии

б) Блокирующие устройства и предохранители

с) Система термостатирования

Ответы

1. б

6. а

2. б

7. а

3. б

8. б

4. б

9. б

5. б

10.б

Тест 3: Системы управления и навигации в ракетно-космических комплексах

1 Какую функцию выполняет бортовая цифровая вычислительная машина (БЦВМ) в системе управления?

- a) Стабилизация и ориентация ЛА
- b) Транспортировка топлива
- c) Наблюдение за полетом

2 Какие датчики входят в состав телеметрической системы?

- a) Гироскопы и антенны
- b) Датчики температуры и передатчики
- c) Пусковые устройства

3 В чем заключается роль системы наведения?

- a) В стабилизации полета
- b) В определении местоположения и направления полета ЛА
- c) В контроле за заправкой топлива

4 Какая система отвечает за управление дальностью полета ЛА?

- a) Электротехническая система
- b) Система наведения
- c) Система управления

5 Какое оборудование используется для калибровки систем управления?

- a) Пусковые устройства
- b) Система телеметрии
- c) Система калибровки датчиков

6 Какая функция у инерциальной системы управления?

- a) Определение угловых скоростей и ускорений ЛА
- b) Удержание постоянного теплового режима
- c) Хранение данных о заправке

7 Какие устройства применяются для измерения угловой скорости ЛА?

- a) Гироскопические приборы
- b) Акселерометры
- c) Пневматические датчики

8 Какие источники тока входят в систему электроснабжения ЛА?

- a) Акселерометры
- b) Фотоэлектрические генераторы и аккумуляторы
- c) Стабилизаторы ориентации

9 Какой метод навигации использует телескоп и секстант?

- a) Радионавигация
- b) Астронавигация
- c) Гиронавигация

10 Какая система обеспечивает мониторинг параметров и их передачу в центр управления?

- a) Система управления
- b) Система телеметрии
- c) Система термостатирования

Ответы:

- | | |
|------|-------|
| 1. a | 6. a |
| 2. b | 7. a |
| 3. b | 8. b |
| 4. c | 9. b |
| 5. c | 10. b |

БИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Родченко В.В. Организация и обеспечение полета учеб, пособие / В.В. Родченко – Москва . Изд-во МАИ, 2007 – 220 с.