

ЛЕКЦИЯ 4

ОСОБЕННОСТИ НАЗЕМНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.

ОСОБЕННОСТИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ КАК ОБЪЕКТА ЭКСПЛУАТАЦИИ.

Эксплуатация – это тот самый этап, ради которого разрабатывается и создается РКТ, как и любые технические устройства.

Характер и объем тех действий, которые человек как рабочее звено системы — человек-машина должен провести для достижения заданной цели, определяет облик изделия как объекта эксплуатации, или его эксплуатационный портрет.

В ряде случаев наземная эксплуатация является более длительным и трудоемким процессом, чем летная. Поэтому человек **вынужден** создавать громоздкие и дорогостоящие технические и стартовые комплексы на космодромах. Эти комплексы предназначены для предстартовой подготовки РН, КА, РБ.

Особенности РН, КА, РБ как объектов эксплуатации:

- ❑ высокая стоимость КСр и связанная с этим высокая цена ошибки, которая может быть допущена при эксплуатации КСр;
- ❑ высокая степень опасности для людей и окружающей среды;
- ❑ необходимость разработки и использования специальных транспортных средств;
- ❑ необходимость проведения сборочно-монтажных работ на космодроме, так как транспортировать РН в собранном виде с завода-изготовителя (арсенала) невозможно;
- ❑ необходимость разработки и внедрения системы подготовки и принятия технических решений, связанных с эксплуатацией РКТ;
- ❑ длительность и трудоемкость технологического процесса подготовки РН, КА, РБ к применению;
- ❑ обеспечение возможности содержания РКТ в технических готовностях для оперативного решения задач по восполнению и наращиванию орбитальной группировки КА;
- ❑ необходимость создания запасов различных видов на космодроме для оперативного решения возникающих вопросов;
- ❑ необходимость оценивания и поддержания на требуемом уровне технического состояния РКТ;
- ❑ необходимость наличия и совершенствования системы подготовки специалистов различного профиля и различной квалификации

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РКК

Ракетно-космический комплекс предназначен для подготовки РН, КА, РБ к применению по назначению и вывода КА (КА с РБ) на околоземную орбиту.

Анализ выполняемых РКК функций показывает, что все они могут быть разделены на две группы:

- приведение бортовых систем РН, КА, РБ в состояние, позволяющее провести пуск ракеты космического назначения (РКН) в установленное время, вывести КА на заданную орбиту и обеспечить функционирование КА в полете;
- проверка технического состояния бортовых систем РН, КА, РБ и устранение обнаруженных неисправностей.

ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ РКК РЕШАЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ЗАДАЧИ:

- транспортирование РН, КА, РБ и комплектующих элементов с завода-изготовителя или арсенала на космодром;
- хранение РН, КА, РБ и комплектующих элементов;
- проведение всего необходимого объема работ по подготовке РН, КА, РБ на техническом комплексе по установленной технологии, включая проверку состояния бортовых систем, установка комплектующих элементов и сборка РКН;
- транспортирование РКН на стартовый комплекс;
- подготовка РКН к пуску на стартовом комплексе, заправка РН (и РБ) компонентами ракетного топлива (КРТ);
- пуск РКН.

В состав РКК входят ракета космического назначения (РКН), технический, стартовый комплексы, а также комплекс средств измерений, сбора и обработки информации и комплекс падения отделяемых частей РКН.

Комплекс средств измерений, сбора и обработки информации (КСИСО) предназначен для обеспечения контроля полета РКН на участке выведения, а также обработки поступающей информации.

Основными функциями КСИСО являются *контроль состояния и оценка качества функционирования бортовых систем РН в полете, прогнозирование мест падения отделяемых частей РКН.*

Комплекс падения отделяемых частей РКН (КПОЧ) предназначен для поиска отделяемых от РКН створок головного обтекателя (сборочно-защитного блока) и отработавших ступеней РН, обследования мест их падения, сбора и утилизации.

На **техническом комплексе** (ТК) должен выполняться максимально возможный объем работ.

Основными сооружениями ТК являются монтажно-испытательный корпус (МИК), хранилище РН, КА, РБ, компрессорная станция, хранилище пиросредств, зарядно-аккумуляторная станция, заправочная станция КА и РБ.

МИК - главное сооружение технического комплекса, в котором размещаются комплекты технологического оборудования ТК.

Стартовый комплекс (СК) – наиболее сложный и ответственный элемент РКК. В его состав входят стационарные и подвижные технические средства и сооружения, предназначенные для обеспечения подготовки и пуска РКН.

В состав технологического оборудования СК входит:

- стартовое и подъемно-транспортное оборудование;
- оборудование заправки, газоснабжения и термостатирования;
- контрольно-проверочное оборудование;
- системы электроснабжения;
- специальные технические системы.

Стартовый комплекс должен быть универсальным (по типам КА, а в перспективе – и по типам РН), многоразового использования.

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПОДГОТОВКИ И ПУСКА РКН

Из формулы Циолковского требуемое значение орбитальной скорости полета v определяется простым соотношением:

$$v = u \cdot \ln \frac{M}{m_{пн} + m_k} \cdot n$$

где M - масса РКН, $m_{пн}$, m_k - масса полезной нагрузки и конструкции ракеты; n - количество ступеней, откуда видно, что m_k должна быть по возможности меньше.

Однако, достичь первой космической скорости (круговой) удастся только при использовании нескольких (**min** двух) ступеней.

□ Из газовой динамики:

$$u = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_0 \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}$$

□ где k , R - коэффициент адиабаты и газовая постоянная; T_0 , p_0 - параметры температуры и давления в камере двигателя; p_a - давление атмосферы, и отсюда видно, что достичь существенных скоростей = 2500-3500 м/с удастся за счет высоких температур и давлений ($p_0 = 20-25$ МПа, $T_0 = 3500-4000^\circ$ К).

ОСОБЕННОСТИ РКН, КАК ОБЪЕКТА ЭКСПЛУАТАЦИИ:

1. Габаритные характеристики ступеней РН не могут входить в противоречие с ограничениями по габаритам для транспортных магистралей страны. Для ж/д магистралей max диаметр 3,9 – 4 м, max $L = 30$ м.

2. Особенностью ракеты является мощная сверхзвуковая, высокотемпературная струя, способная «разрезать» не только саму ракету, но и бетонные и металлические конструкции СК (с температурой плавления 1800 - 1900° К).

3. Большой запас КРТ (иногда самовоспламеняющихся компонент) делает ракету после заправки – потенциально опасным объектом. Как показывает расчет и печальный опыт пусков, ее тротиловый эквивалент достигает 450 тонн ($= 0,5 K_m$), что приближает ракету скорее к ядерному фугасу.

После доставки ракеты к месту размещения комплекса необходимо:

- выполнить проверки ее целостности и работоспособности;
- собрать поставляемые (подчас с разных предприятий) ее элементы;
- оценить качества сборки
- выполнить проверки, имитирующие ее будущее условия функционирования во время полета.

Собранная в единый агрегат РКН требует:

- термостатирования КА;
- наддува баков РН, для придания ей необходимой жесткости;
- обеспечения заданного температурно-влажностного режима внутри баков для криогенных компонентов во избежание появления льда из влажного атмосферного воздуха при заправке;
- создание дополнительных тарированных по реакции опор вдоль корпуса;
- заземления корпуса во избежание повреждений системы управления

ВНУТРИПОЛИГОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ

1. **Транспортировка РКН** на СП важная и самостоятельная технологическая операция.
2. Собранная РКН, как правило, выступает за традиционные транспортные габариты.
3. КА постоянно **термостатируются**, а баки РН либо остаются наддутыми, либо «дышат» через специальные системы абсорбирующие влагу.
4. Перед установкой на ПУ, ракета должна быть **вывешена над его опорами** с точностью до 3-5 мм при общем эффективном диаметре до 15 м, высоте 60-100м и «сухом» весе до 300 т.
5. **Передача веса** ракеты на опоры ПУ должна быть выполнена так, чтобы многоопорная статистически неопределимая система «ПУ – ракета» не испытывала «ножевых» нагрузок.
6. **Установка** же РКН в предстартовое положение, должна выполняться так, чтобы изгибающие ее корпус напряжения от собственного веса не привели к необратимым **деформационным последствиям**.

7. **Точность положения РКН** на старте определяет точность выведения КА.

8. Большие габариты при относительно низкой «сухой» массе ракеты делает ее чрезвычайно **неустойчивой в ветреную погоду**. 9. На борт пилотируемых КА необходимо **доставить экипаж**.

10. Расположенная на СК **ракета должна быть состыкована** с наземными системами проверки и заправки, в ее систему управления необходимо ввести полетное задание, а кроме этого она должна получить команду на запуск своих двигателей.

11. **Выполнение процессов стыковки** магистралей проводится на 5-10 ярусах, по высоте ракеты. Для этого вокруг нее должны быть развернуты **площадки обслуживания, установленные на БО**.

Работа на открытом воздухе на высоте десятков метров зимой (летом при ветре и дожде) требуют создание условий для л.с. С этой целью на БО устанавливаются системы вентиляции, ветрозащиты, пожаротушения, системы экстренной эвакуации и т. д.

12. **Заправка** ракеты компонентами ракетных топлив, особенно криогенных, проводится при условии **герметичности стыка** «земля – борт». 13. **Перед пуском** ракеты от ее борта отстыковываются большинство коммуникаций, причем так, чтобы плети кабельных стволов и магистралей **не ударили о её борт**. Площадки обслуживания отводятся в безопасную зону, чтобы **траектория полета не пересекалась** с их местоположением.

14. **Пуск** – наиболее опасная, сложная и менее всего управляемая с Земли технологическая операция

15. **Заключительными работами** на СК являются послепусковые ремонтно-восстановительные работы и работы по приведению комплекса в готовность к приему очередной РКН.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАКЕТ НОСИТЕЛЕЙ КАК ОБЪЕКТОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

В состав каждой ступени РН входят баковые отсеки. Они очень чувствительны к перепадам давления снаружи и внутри бака. Обязательно должны быть предусмотрены системы дыхания баков.

Небаковые отсеки РН являются негерметичными, но также тонкостенными и, как и баковые отсеки, чувствительны к перегрузкам при транспортировании.

С учетом этих свойств скорость транспортирования должна быть ограничена, а транспортные средства должны быть оборудованы приспособлениями, ограничивающими перегрузки. При проектировании необходимо предусмотреть места для опор ступеней при их транспортировании и хранении.

Двигательные установки представляют собой сосредоточенные нагрузки, значительно превышающие распределенные. Чтобы при длительном хранении эти нагрузки не привели к деформациям силовых элементов крепления двигательной установки к ступени предусматриваются дополнительные тарированные опоры.

Для быстрой замены отказавших элементов должен быть предусмотрен комплект запасных частей, инструмента, принадлежностей (ЗИП).

При транспортировании, хранении ступеней, а также проведении работ необходимо поддерживать установленный температурно-влажностный режим.

Нельзя не отметить особенностей РН, которые обуславливают высокую степень опасности для обслуживающего персонала. К этим особенностям относятся свойства КРТ, сжатых газов, наличие пиросредств (разрывные болты, пирозамки, пиростартеры и т.д.), необходимость выполнения многих видов работ на высоте и др.

ОСОБЕННОСТИ КА КАК ОБЪЕКТОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

Современные КА достаточно компактны и могут транспортироваться в собранном виде.

В состав КА входят хрупкие навесные конструкции, которые должны транспортироваться отдельно от КА в специальных контейнерах.

Жесткие требования предъявляются к герметичности КА. Работы по контролю герметичности КА на ТК являются достаточно трудоемкими.

Для хранения КА и проведения всех работ по его подготовке к применению на ТК должны быть предусмотрены специальные стапелы, а в составе ТК должно быть энергоемкое высокоточное оборудование.

Для КА должен быть предусмотрен комплект ЗИП, предназначенный для оперативной замены отказавших элементов, должен быть обеспечен удобный доступ к бортовым приборам для контроля их состояния и замены в случае необходимости.

Проводится контроль значений характеристик бортовых систем КА на предмет их соответствия заданным.

КА чувствительны к изменениям температуры и влажности окружающего воздуха, высокие требования предъявляются к запыленности воздуха, так как в их состав входят оптико-электронные приборы, значительно снижающие свои характеристики при наличии пыли в воздухе. Поэтому в МИКе (в зоне проведения работ) должны быть предусмотрены системы вентиляции и кондиционирования воздуха, а также системы контроля и очистки одежды и обуви обслуживающего персонала.

СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА И СЖАТЫХ ГАЗОВ КАК ОБЪЕКТОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

Химические ракетные топлива классифицируются по следующим признакам:

а) *по агрегатному состоянию*: жидкие и твердые;

б) *по числу компонентов*: однокомпонентные (унитарные), двухкомпонентные и многокомпонентные;

в) *по способности к воспламенению*: несамовоспламеняющиеся и самовоспламеняющиеся;

г) *по температуре кипения*: низкокипящие (криогенные) и высококипящие.

В большинстве отечественных РН используются жидкие двухкомпонентные ракетные топлива.

Фронт приема-выдачи окислителя «О» (горючего «Г») представляет собой многострелочный тупик железнодорожной ветки, позволяющий определенным образом выставить железнодорожные цистерны с компонентом, состыковать сливные магистрали фронта, слить компонент (принять его в хранилище).

Конструкция магистралей от фронта до хранилищ, от хранилищ до пусковой установки и их протяженность определяется свойствами используемых КРТ, в первую очередь, являются ли КРТ криогенными (низкокипящими) или нет.

Для всех типов КРТ на современных стартовых комплексах предусматриваются системы дожигания паров компонентов.

Основными свойствами КРТ, определяющими особенности работы с ними, являются *токсичность, пожарная опасность и агрессивность*.

Под **токсичностью** КРТ понимается их способность оказывать вредное действие на обслуживающий персонал и окружающую среду. Показателем токсичности может служить предельно допустимая концентрация (ПДК) КРТ в воздухе рабочей зоны. **Предельно допустимые концентрации вредных веществ** – это концентрации, которые при ежедневной работе в течение 8 часов в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья обслуживающего персонала как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни.

По степени токсичности вредные вещества делятся:

- 1 – чрезвычайно опасные (ПДК < 0,0001 мг/л);
- 2 – высоко опасные (ПДК = 0,0001...0,001 мг/л);
- 3 – умеренно опасные (ПДК = 0,0011...0,01 мг/л);
- 4 – малоопасные (ПДК > 0,01 мг/л).

Существует необходимость обеспечения герметичности хранилищ КРТ и всех магистралей, создание систем контроля утечки компонентов в атмосферу, необходимость применения индивидуальных средств защиты, систем сбора и нейтрализации как технологических утечек, так и проливов КРТ.

Пожарная опасность КРТ - это способность КРТ к возгоранию (воспламенению) и горению горючего в смеси с кислородом воздуха, а также в способности окислителя воспламенять и поддерживать горение окружающих горючих материалов. Пожарная опасность горючих определяется горючестью, а окислителей - окислительной способностью. Поэтому необходимо предусматривать постоянный контроль состояния КРТ, систему пожаротушения.

Под **агрессивностью** КРТ понимается коррозионное действие на металлы и их сплавы и разрушающее действие на неметаллические материалы.

Сжатые газы используются в наземном технологическом оборудовании технических и стартовых комплексов, в автоматике двигательных установок РН и КА, в системах наддува топливных баков, в системах отделения КА, а также в качестве рабочего тела двигательных установок систем ориентации и стабилизации КА.

К сжатым газам предъявляются высокие требования, такие как:

- нейтральность газов, используемых для наддува топливных баков,
- по отношению к КРТ;
- малая растворимость газов наддува баков в КРТ;
- отсутствие механических примесей;
- высокая степень осушки.

Благодаря своей сжимаемости газы способны накапливать значительные величины потенциальной энергии.

ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ КАК ОБЪЕКТ ОБСЛУЖИВАНИЯ

ЛА 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).

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.

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

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

Система управления (СУ) обеспечивает стабилизацию, ориентацию, маневрирование ПА и представляет собой замкнутую систему автоматического управления. Наибольшее применение нашли инерциальные системы. 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 КА, величины и направления скорости его полета относительно выбранных космических ориентиров (Земли, Солнца, планеты и т. д.).

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.

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

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.

При статической проверке в аппаратуру последовательно подается ряд отдельных сигналов и производится оценка ответных сигналов.

При динамической проверке в аппаратуру подаются изменяющиеся сигналы. Как правило, динамическая проверка заключается в имитации штатного режима работы системы.

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).

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБЪЕКТАМ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.

Комплекс систем наземного обеспечения (КСНО) 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

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.

Оборудование систем наземного обеспечения предназначено для выполнения работ, непосредственно связанных с эксплуатацией и обслуживанием ЛА.

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.

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.

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.