

**Министерство Высшего и Среднего Специального  
Образования Республики Узбекистан**

**Ташкентский Государственный Технический Университет  
им. А.Р. Беруний**

на правах рукописи  
УДК 629.735.083 (075.8)

**«Техническая эксплуатация авиадвигателей в степени простых  
аппаратов»**

**дипломная работа  
на соискание степени бакалавриата по специальности  
5А520104 - «Тепловые электрические станции»**

Руководитель: к.т.н. доц. Т.К. Каландаров

Дипломант: Ахмедова Шахло

**Ташкент 2012**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение.....</b>	<b>3</b>
<b>Раздел I ЛЕТАТЕЛЬНАЯ АВИАДВИГАТЕЛЬ КАК ОБЪЕКТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ</b>	
<b>Глава 1 Безотказность авиационной техники</b>	
1.1 Основные термины и определения.....	4
1.2 Классификация отказов.....	6
1.3 Основные показатели безотказности и долговечности.....	9
1.4 Живучесть летательных аппаратов.....	11
<b>Глава 2. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов</b>	
2.1 Факторы эксплуатационной технологичности.....	14
2.2 Основные показатели эксплуатационной технологичности	17
<b>Глава 3 Контролепригодность летательных аппаратов</b>	
3.1 Характеристика контролепригодности и ее оценка.....	20
3.2 Анализ контролепригодности.....	22
3.3 Категории контролепригодности.....	27
<b>Глава 4 Комплексная программа обеспечения надежности</b>	
4.1 Комплексные показатели надежности.....	29
4.2 Обеспечение требований надежности на этапах проектирования и испытаний ЛА.....	32
4.3 Обеспечение надежности в процессе эксплуатации ЛА.....	34
<b>Раздел II СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ</b>	
<b>Глава 5 Структура и принципы построения системы технической эксплуатации</b>	
5.1 Система технической эксплуатации как часть авиационной транспортной системы.....	38
5.2 Система технического обслуживания и ремонта.....	41
5.3 Виды технического обслуживания и ремонта.....	43
<b>Глава 6 Обеспечение эффективности использования летательных аппаратов</b>	
6.1 Основные составляющие годового фонда времени летательного аппарата.....	49
6.2 Нормирование показателей по техническим причинам исправности и простоев ЛА.....	51
<b>Глава 7 Процесс технической эксплуатации летательного аппарата</b>	
7.1 Структура и модель процесса.....	57
7.2 Характеристика отдельных состояний процесса технической эксплуатации.....	61
<b>Глава 8 Стратегия технического обслуживания и ремонта авиационной техники</b>	

8.1	Классификация стратегий.....	65
8.2	Классификация технического обслуживания по состоянию с контролем уровня надежности.....	69
8.3	Стратегия технического обслуживания и ремонта по состоянию с контролем параметров.....	76
<b>Глава 9</b>	<b>Программы технического обслуживания и ремонт</b>	
9.1	Структура программы.....	80
9.2	Техническая документация, оформляемая при обслуживании АТ.....	83
<b>Глава 10</b>	<b>Контроль технического состояния летательных аппаратов</b>	
10.1	Организация и виды контроля.....	87
10.2	Методы и средства контроля.....	89
10.3	Метрологическое обеспечение.....	98
10.4	Автоматизированный контроль.....	99
<b>Глава 11</b>	<b>Заправка летательных аппаратов горюче-смазочными материалами</b>	
11.1	Эксплуатационные требования.....	101
11.2	Заправка ЛА ГСМ, спецжидкостями и газами.....	102
11.3	Влияние обводнения ГСМ на работоспособность систем летательных аппаратов.....	105
	Резюме	111
	<b>Литература</b>	114

## ВВЕДЕНИЕ

Техническая эксплуатация авиационной техники по своей природе является составной частью более широкого понятия - эксплуатация. Она включает в себя такие слагаемые, как подготовку летательных аппаратов (ЛА) к полетам, их техническое обслуживание, ремонт, хранение и транспортирование. Основным предназначением технической эксплуатации является обеспечение надежности, исправности и своевременной готовности ЛА к полетам, а также экономичности при проведении работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р).

В настоящее время развернут комплекс работ по созданию и оснащению Национальной авиакомпании «Узбекистон хаво йуллари» новыми самолетами и вертолетами восточного и западного производства, которые по своим летно-техническим и эксплуатационным характеристикам должны обеспечивать более высокий в сравнении с существующим уровень безопасности, регулярности и интенсивности полетов, экономию авиатоплива, снижение расходов на ТО и Р и себестоимости авиационных перевозок. В данном комплексе работ особое место занимает проблема повышения эффективности технической эксплуатации ЛА. На современном этапе развития ГА эта проблема требует поиска новых решений, эффективных направлений и форм организации практической деятельности.

В жизненном цикле ЛА, как и всякой машины, начиная от его постройки и до списания после отработки назначенного ресурса, значительная доля времени приходится на стадию эксплуатации. Только на ней ЛА выполняет функции, для которых предназначен, проявляет заложенные в нем при создании потенциальные возможности, а также конструктивно- эксплуатационные свойства. Только в процессе эксплуатации ЛА возмещаются все те затраты, которые связаны с его создание. В показателях эффективности эксплуатация ЛА отражается труд многих коллективов ученых, конструкторов, технологов, производственников разных ведомств. Чем лучше эти показатели, тем выше оценивается современный труд коллективов, создающих и эксплуатирующих технику.

# ЛЕТАТЕЛЬНАЯ АВИАДВИГАТЕЛЬ КАК ОБЪЕКТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

## 1.1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Безопасность и регулярность полетов, экономические показатели использования ЛА во многом определяются их безотказностью в работе.

Под *безотказностью* понимают свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Безотказность — одно из свойств надежности изделий. Проблема обеспечения безотказности стала особенно актуальной в настоящее время вследствие усложнения конструкции ЛА и их систем, состоящих из большого числа элементов, блоков и узлов, увеличения выполняемых ими функций и повышения режимов их работы. На безотказность авиационной техники (АТ), а следовательно, и ее свойства влияют различные факторы, определяемые условиями проектирования, производства и эксплуатации. Анализ факторов показывает, что отказы агрегатов и систем ЛА возникают из-за наличия конструктивных и производственных недостатков эксплуатационных повреждений, недостаточной надежности агрегатов и систем ЛА и их силовых установок, неудовлетворительной контролепригодности ЛА, а также недостаточности контроля их технического состояния в процессе обслуживания и перед полетом.

Низкая надежность АТ, заложенная при проектировании и производстве и не поддержанная в процессе эксплуатации, недостаточная проработка вопросов безопасности полетов (БП) при проектировании не могут быть компенсированы в дальнейшем ни самым высоким качеством подготовки экипажей, ни созданием самой совершенной системы организации и руководства полетами. Но, к сожалению, и процесс эксплуатации АТ сопровождается непрерывным

изменением ее технического состояния, что вызывается воздействием на конструкцию ряда эксплуатационных факторов. К их числу можно отнести: аэродинамические нагрузки, действующие на несущие поверхности, рули и фюзеляж ЛА; динамические нагрузки на шасси при взлете и посадке; вибрационные нагрузки от неуравновешенных вращающихся масс; избыточное давление в герметичной кабине; акустическое давление на конструкцию; термические нагрузки на детали горячей части двигателей; пульсации давления в гидравлических и пневматических системах; возрастание массы конструкции при обледенении; солнечная радиация, низкие температуры; атмосферные осадки и т. д.

Воздействие приведенных факторов на ЛА приводит к возникновению необратимых структурных изменений в конструкционных материалах, изнашиванию сопряженных деталей, повреждению защитных покрытий, коррозии и, как следствие, к появлению повреждений, неисправностей, отказов, число которых со временем возрастает. Поэтому, каждый объект в процессе его эксплуатации может находиться: в исправном, неисправном, работоспособном и неработоспособном состояниях.

*Исправное состояние* — такое состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической и (или) конструкторской документации. Если объект исправен, то он всегда работоспособен, а работоспособный объект может быть неисправен».

*Неисправное состояние* характеризуется тем, что объект не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации. В неисправное состояние объект переходит после события — возникновение неисправности. Возникновение неисправности проявляется в виде повреждения или отказа.

*Повреждение* — событие, заключающееся в нарушении исправности состояния объекта. При этом ряд параметров объекта, определяющих его работоспособность, находится в установленных пределах, а некоторые

характеристики объекта, непосредственно не влияющие на его работоспособность, не соответствуют требованиям (нарушение окраски, ржавчина, внешние царапины и т. д.).

*Отказ* — событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Работоспособность характеризуется таким состоянием объекта, при котором значения всех его параметров соответствуют требованиям нормативно-технической документации. В неработоспособное состояние объект может перейти из исправного и неисправного, но еще работоспособного состояния.

По характеру повреждения неисправности и отказы можно разделить на опасные, которые могут привести к предпосылкам авиационных происшествий и требуют, как правило, срочного устранения, и неопасные, которые не требуют перерыва в эксплуатации ЛА и устраняются при очередных регламентных работах. Поддержание ЛА в исправном состоянии в процессе эксплуатации за счет устранения отказов и неисправностей и восстановление их работоспособности в короткие сроки в результате выполнения специальных инженерно-технических мероприятий — одна из главных задач технического обслуживания АТ.

## **1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ**

Причинами отказов, определяющих безотказность ЛА, могут быть: ошибки, допущенные при конструировании, производстве и ремонте; нарушения правил и норм эксплуатации; естественные процессы износа и старения.

В зависимости от характера изменения основного параметра системы до момента возникновения отказы подразделяются на внезапные и постепенные.

*Внезапный отказ* характеризуется скачкообразным выходом значения основного параметра объекта за пределы допусков. Такие отказы вызываются обычно механическими повреждениями (поломками, трещинами, обрывами и т. д.).

*Постепенный отказ* характеризуется постепенным выходом значения основного параметра объекта за пределы допусков. Такие отказы связаны с процессами износа, коррозии, усталости и ползучести материала.

По причинам возникновения отказы разделяются на конструкционные, производственные и эксплуатационные.

В зависимости от механизма возникновения отказы и повреждения АТ могут происходить вследствие:

разрушений усталостного характера, трещин, деформаций, вызванных действием эксплуатационных нагрузок;

выработки подвижных сочленений, ослабления резьбовых соединений и заклепочных швов, потертости и других видов механического износа элементов конструкции;

разрушений и деформаций, вызванных разовым действием нагрузок, превышающих расчетные и связанных с особыми условиями полета (сильная болтанка, гроза, град и т. д.), или нарушений правил пилотирования ЛА (грубая посадка, приземление на повышенной скорости, неправильное руление и т.д.);

потери свойств смазок и специальных жидкостей, используемых в узлах, агрегатах и системах ЛА;

разрушения лакокрасочных и защитных покрытий;

коррозии элементов конструкции ЛА;

механических повреждений (деформации, пробоины, царапины и т. д.), вызванных небрежностью при техническом обслуживании или при выполнении погрузочно-разгрузочных работ.

При анализе причин возникновения отказов и неисправностей с целью разработки профилактических мероприятий по их предотвращению важное значение имеет их классификация по следующим факторам:

моменту обнаружения (на земле при обслуживании АТ, в полете, при испытаниях АТ);

последствиям (без последствий, приведших к задержке рейса, вызвавших

особую ситуацию в полете или предпосылку к авиационному происшествию (АП), и др.);

причинам (конструктивно-производственные недостатки, ошибки инженерно-технического и летного состава, внешние или случайные причины);

способу устранения (при оперативном и периодическом технических обслуживаниях, при ремонте).

Ввиду сложности систем ЛА отказ в процессе эксплуатации какого-либо устройства не всегда приводит к отказу системы в целом, в которую входит это устройство.

По своим последствиям отказы авиационной техники можно разделить на следующие группы:

катастрофические отказы, которые, как правило, заканчиваются авиационным происшествием (разрушение конструкции самолета в воздухе, отказы, следствием которых является взрыв, и т. д.);

критические отказы, имеющие опасный характер и могущие привести к АП. Парирование таких отказов в полете связано с выполнением сложных операций в условиях высокой эмоциональной напряженности и дефицита времени. К ним можно отнести отказы двигателей, систем управления и других важнейших агрегатов и систем ЛА;

граничные отказы, которые могут привести к нарушению полета, ухудшить работу агрегата или какой-либо системы ЛА, но не угрожают безопасности полета. Экипаж успешно справляется с последствиями таких отказов;

безопасные отказы, которые не приводят к опасным последствиям, а лишь создают незначительные затруднения при выполнении полета.

Требования к уровню надежности различных систем самолета или даже их отдельных элементов различны и зависят от опасности отказов. Так, вероятность отказа системы основного управления самолетом не должна превышать  $10^{-7} \dots 10^{-9}$  на 1 ч полета, системы кондиционирования  $10^{-5} \dots 10^{-6}$ , гидравлической системы

### 1.3. ФАКТОРЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Под долговечностью объекта эксплуатации понимают его свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе ТОиР. При этом предельным считается такое состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно. Долговечность зависит от многочисленных факторов, которые можно подразделить на прочностные, эксплуатационные и организационные.

*Прочностные* включают конструктивные, производственные, технологические, нагрузочные и температурные факторы. Они происходят из-за концентрации напряжений в элементах конструкции и остаточных напряжений, возникающих при несовершенной технологии и за счет пластических деформаций при сборке узлов или ремонте, и зависят от свойств материалов и их изменения во время эксплуатации. Решающее воздействие на конструкцию ЛА оказывает внешняя среда, классифицируемая по воздействию на конструкцию одновременно и раздельно действующих факторов, обуславливающих нагрузки. Особое влияние оказывают динамические нагрузки, различающиеся по амплитудно-частотным характеристикам, градиенту напряжений, среднему напряжению длительности воздействия и т.д.

*Эксплуатационные факторы* включают: режимы полета, различающиеся по скорости, высоте, применяемым маневрам, полетной массе ЛА: состояние ВПП; продолжительность руления и буксировки по ВПП; индивидуальные особенности членов экипажа и их профессиональную подготовку; метеорологические и климатические условия полетов, в том числе турбулентность атмосферы, градиенты температуры по высоте, снег, град и др.; квалификацию инженерно-технического состава (ИТС), определяемую, в частности, знанием конструкции ЛА, полнотой обнаружения неисправностей и повреждений, мест начального развития трещин, своевременностью и эффективностью мер по их локализации и устранению; качеством и полнотой профилактических мероприятий, а также

качеством использования применяемых средств контроля технического состояния ЛА и др.

*Организационные факторы* включают: техническую общепрофессиональную и специальную подготовку ИТС; выбор соответствующей стратегии и методов; ритмичность в проведении форм ТО по принятой программе и проведение текущих ремонтов; своевременность в обеспечении производства запасными частями при появлении отказов и выполнении текущих ремонтов; применяемые методы и средства механизации и автоматизации процессов подготовки ЛА к полетам; поиск неисправностей, отказов и их устранение; выполнение других работ, связанных с подготовкой ЛА к полетам, в особенности использования автоматизированных средств контроля технического состояния всех функциональных систем ЛА и др.

Большие затраты на создание современных ЛА обуславливают необходимость обеспечения соответствующей долговечности" и длительности их использования по назначению. Специалисты считают, что экономически выгодная длительность использования современных пассажирских ЛА должна составлять не менее 60-10<sup>3</sup> летних часов. При этом возникают проблемы, связанные с физической, экономической и моральной долговечностью ЛА.

*Физическая долговечность* основывается на прочностных свойствах конструкции и факторах, ее определяющих. В общем, она сводится к выносливости конструкции под действием эксплуатационных факторов и нагрузок. По сути, долговечность определяется, главным образом, усталостной сопротивляемостью конструкции, степенью коррозионной повреждаемости и износоустойчивостью отдельных элементов. Это обуславливает необходимость организации соответствующей системы ТОиР, обеспечивающей требуемую регулярность и высокую безопасность полетов. При этом важно обеспечить такие условия, чтобы затраты на эксплуатацию не превышали допустимых норм, что обуславливает экономическую долговечность.

*Экономическая долговечность* определяется рентабельностью ЛА, которая во

многим зависит от платной нагрузки. При установленной полетной массе она ограничена массой конструкции и топлива. Кроме того, рентабельность зависит от физической долговечности при интенсивной повседневной эксплуатации, а также числа и периодов между ремонтами, плановых и внеплановых простоев на ТОиР и некоторых других факторов.

*Моральная долговечность* обусловлена особенностями протекания научно-технического прогресса в авиации. Действительно, с созданием новых композиционных материалов, совершенствованием технологии производства, совершенствованием расчетов на прочность и использованием концепции «допустимой повреждаемости» конструкций возникла возможность создания более легких конструкций ЛА, но отвечающих возрастающим требованиям безотказности и эксплуатационной технологичности. Одновременно работа по созданию более мощных и экономичных двигателей обуславливает снижение расходов топлива и соответствующих затрат. Все это приводит к тому, что «устаревшая» конструкция ЛА заменяется новой, более совершенной. Моральная долговечность не поддается какому-либо расчету. Это чисто социологическая концепция. Тем не менее при создании новых типов ЛА конструктора приходится учитывать физическую, экономическую и моральную долговечность.

#### **1.4. ЖИВУЧЕСТЬ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

С развитием ЛА и дальнейшим усложнением их систем остро встал вопрос о живучести конструкций и всех функциональных систем. При проектировании ЛА учитывают ожидаемые условия эксплуатации, в которых он будет эксплуатироваться.

При создании ЛА все функциональные системы проектируются таким образом, чтобы возникшие в процессе эксплуатации неисправности, повреждения и даже отказы отдельных узлов или элементов не приводили к возникновению аварийной ситуации в полете. Для этого широко используется резервирование.

Функциональные системы, отказ которых приводит к аварийной или катастрофической ситуации, должны быть сконструированы таким образом, чтобы имеющийся опыт позволял считать отказ практически невероятным событием, или используемое резервирование сохраняло после двух последовательных отказов возможность продолжения полета по крайней мере в режиме ручного управления. *Под живучестью* ЛА или функциональной системы понимают свойство, обеспечивающее нормальное выполнение заданных функций в полете (или в полетах) с отдельными отказами или повреждениями их элементов или узлов. Предельное состояние конструкции обуславливается моментом начала снижения ее несущей способности. В связи с этим используют два основных принципа его определения: «безопасного ресурса», который заключается в прогнозе с весьма высокой надежностью его возникновения на наихудшем в смысле рассеивания экземпляре ЛА; «безопасного повреждения», который заключается в своевременном обнаружении этого момента на любом экземпляре ЛА. В первом случае надежность обеспечивается надлежащим выбором достаточно большого значения коэффициента запаса при выборе назначенного ресурса, а во втором — периодическими осмотрами конструкции с такими интервалами между ними, которые обеспечивали бы практическую невероятность образования повреждения, превышающего допустимую величину трещины  $L_{кр}$ .

Для обеспечения эксплуатационной живучести конструкции должны быть известны опасные зоны, в которых могут происходить усталостные разрушения до отработки назначенного ресурса; все зоны предполагаемых усталостных повреждений должны быть доступны для периодического контроля; остаточная прочность конструкции с трещинами, размеры которых контролируются, должна быть не ниже допустимой; скорость развития усталостных трещин не должна превышать заданных ограничений, которые обеспечивают безопасность полетов; периодичность контроля и разрешающая способность средств контроля должны обеспечивать высокую вероятность обнаружения допустимых повреждений.



## 2 ФАКТОРЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Совершенствование процессов технического обслуживания и улучшение технико-экономических показателей деятельности эксплуатационных предприятий во многом определяются уровнем эксплуатационной технологичности ЛА. Поэтому весьма важным в деятельности инженеров-эксплуатационников является умение анализировать и оценивать эксплуатационную технологичность ЛА для корректирования объемов технического обслуживания, своевременного и обоснованного предъявления требований к промышленности.

Под *эксплуатационной технологичностью ЛА* понимают совокупность свойств его конструкции, характеризующих приспособленность к выполнению всех видов работ по ТОиР с использованием наиболее экономичных технологических процессов. Это означает приспособленность конструкции к прогрессивным стратегиям и методам ТОиР таким, например, как стратегия ТОиР по техническому состоянию и метод регламентированного агрегатно-узлового ремонта, приспособленность конструкции к выполнению отдельных операций ТОиР, в том числе операций по устранению отказов и повреждений.

Эксплуатационная технологичность определяется рядом факторов, которые учитываются при создании ЛА в зависимости от его назначения и условий эксплуатации. Они объединяются во взаимосвязанные группы: конструктивно-производственные и эксплуатационные факторы.

К конструктивно-производственным факторам относятся: доступность, контролепригодность, легкосъемность, взаимозаменяемость, преемственность средств наземного обслуживания и контрольно-измерительной аппаратуры, унификация функциональных систем и агрегатов.

В группу эксплуатационных факторов входят формы организации выполнения ТОиР, состояние производственно-технической базы, квалификация специалистов, полнота удовлетворения требований в запасных частях и материалах, а также полнота и качество эксплуатационно-технической документации.

Конструктивно-производственные факторы определяют свойства самой конструкции и должны учитываться при создании ЛА. Эксплуатационные же факторы определяют среду, в которой проявляются свойства конструкции, и должны учитываться как при создании, так и при эксплуатации ЛА.

Не умаляя роли и влияния на уровень эксплуатационной технологичности эксплуатационных факторов, можно сказать, что требуемые свойства конструкции ЛА в отношении его приспособленности к ТОиР закладываются и обеспечиваются на этапах проектирования и производства. Именно на этих этапах путем соответствующих конструктивно-технологических решений обеспечиваются необходимые эксплуатационные свойства ЛА.

*Доступность к объекту ТОиР* — важный фактор сокращения времени и трудовых затрат при проведении всех плановых видов ТОиР, а также определении мест внезапных отказов, повреждений и их устранении. Под доступностью понимают прежде всего удобство работы (позу) исполнителя при выполнении основных операций ТОиР с минимальным объемом дополнительных работ. От позы, которую вынужден принимать исполнитель при работе, зависит производительность его труда (в среднем 100 .. 30 %), а для выполнения одного и того же объема операций требуются различные трудоемкость и продолжительность.

В понятие доступности, помимо удобства работы исполнителя, входит также пригодность объекта для выполнения целевых операций по ТОиР с минимальными объемами дополнительных работ или вообще без них. При этом к дополнительным работам относятся открытие и закрытие панелей, крышек люков, демонтаж и монтаж рядом установленного оборудования и другие работы.

*Контролепригодность* — важный фактор проведения контроля параметров систем и комплектующих изделий ЛА различными средствами и методами (прежде всего средствами технической диагностики и неразрушающего контроля). Значение проблемы контролепригодности конструкций ЛА в первую очередь определяется требованиями обеспечения их надежной работы. Обеспечение приспособленности конструкций к проведению их проверок теми или иными методами и средствами контроля неизбежно связано с дополнительными затратами. Однако они окупаются за счет повышения надежности, более эффективного использования ЛА и сокращения расходов на проведение ТОиР. Контролепригодность оказывает решающее влияние на внедрение в практику новых, более эффективных методов выполнения ТОиР и, в частности, метода обслуживания и замены изделий по техническому состоянию.

*Легкосъемность* означает пригодность изделия к замене с минимальными затратами времени и труда. Ее не следует смешивать с доступностью. На ЛА встречаются такие детали и изделия, к которым обеспечена отличная доступность, но замена их при эксплуатации затруднена. А так как обычным способом устранения отказов в эксплуатации ЛА является замена отказавшего изделия, то требование легко-съемности имеет важное значение для сокращения времени простоя ЛА и повышения регулярности их полетов. Легкосъемность во многом определяется применяемыми способами крепления изделий, заменяемых в эксплуатации, конструкцией разъемов, массой и габаритными размерами съемных элементов.

*Взаимозаменяемость комплектующих изделий и деталей* означает такое их свойство, при котором из множества одноименных деталей (изделий) можно без выбора взять любую и без подгонки (допускается применение технологических компенсаторов) установить на ЛА. В зависимости от объема подгоночных работ устанавливается соответствующая степень взаимозаменяемости. Чем меньше объем подгоночных работ при замене изделий и деталей, тем выше степень их взаимозаменяемости. Последняя имеет большое значение для сокращения затрат

труда, материалов и простоев ЛА при ТОиР. От этого фактора в первую очередь зависит успешное внедрение агрегатно-узлового ремонта, метода замены и ремонта агрегатов по техническому состоянию.

Под *преемственностью средств наземного обслуживания и контрольно-поверочной аппаратуры* понимают возможность использования для обслуживания нового типа ЛА уже имеющихся средств общего назначения. Чем большее число этих средств будет удовлетворять требованиям технического обслуживания и текущего ремонта нового типа ЛА, тем выше его эксплуатационная технологичность. Этот фактор оказывает значительное влияние на организацию рабочего места и удобство работы обслуживающего персонала, сроки и стоимость ТОиР.

*Унификация функциональных систем и изделий ЛА* является весьма важным фактором не только для повышения его эксплуатационной технологичности, но и повышения эффективности эксплуатации парка ЛА в целом. Увеличение числа одних и тех же изделий на разнотипных ЛА намного упрощает и удешевляет ТОиР, уменьшает номенклатуру запасных частей на складах предприятий, сокращает число видов потребной контрольно-поверочной аппаратуры.

## **2.2. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ**

Для анализа и оценки эксплуатационной технологичности необходимы количественные показатели. Они должны характеризовать конструкцию ЛА с точки зрения эксплуатационной технологичности.

К ним предъявляются требования: максимального учета факторов, определяющих эксплуатационную технологичность; возможности использования показателей при расчетах и задании в требованиях на вновь создаваемые типы ЛА, двигателей и их агрегатов; удобства применения показателей на практике при оценке уровня эксплуатационной технологичности на этапах испытаний и

эксплуатации; чувствительности к изменению факторов, влияющих на уровень эксплуатационной технологичности.

Полноту учета большого числа самых разнообразных факторов, определяющих эксплуатационную технологичность, трудно оценить каким-либо одним показателем. Поэтому используют совокупность показателей, состоящую из обобщенных и единичных показателей.

К числу обобщенных показателей относятся:

*удельная оперативная продолжительность ТОиР  $K_t$*  в часах на 1 ч налета. Этот показатель характеризует приспособленность ЛА к проведению на нем всех видов ТОиР, определяемых характеристиками безотказности и долговечности;

*удельная оперативная трудоемкость ТОиР  $K_m$*  в человеко-часах на 1 ч налета. Она характеризует трудоемкость, потребную для поддержания безотказности работы всех функциональных систем на заданном уровне, а также обеспечения исправности и работоспособности ЛА. Слово «оперативная» в приведенных показателях означает, что в расчет принимаются только те затраты времени и трудоемкости, которые непосредственно связаны с выполнением ТОиР на ЛА без учета различного рода перерывов в работе и связанных с ними дополнительных трудовых затрат;

*удельная стоимость запасных частей и материалов* при выполнении ТОиР  $K_z$  в рублях на 1 ч налета. Она характеризует частоту сменяемости комплектующих изделий на ЛА и стоимость их замен;

*среднее время устранения отказов  $t_y$*  в процессе оперативных видов ТО;

*интенсивность устранения отказов (текущего ремонта)  $\mu$* ;

*вероятность выполнения непланового текущего ремонта  $P_u$*  за заданный интервал времени  $t_z$  его стоянки. Этот показатель представляет собой вероятность того, что случайное время  $t$  устранения отказа не превышает  $t_z$ . Он характеризует приспособленность ЛА к проведению текущего ремонта в процессе оперативных видов ТО при ограниченных затратах времени.

К единичным относят показатели эксплуатационной технологичности,

характеризующие отдельные свойства конструкции ЛА. Номенклатура их выбирается прежде всего с учетом конструктивно-производственных факторов: доступности, легкоъемности, взаимозаменяемости, контролепригодности, преемственности и др. Каждое из свойств конструкции оценивается соответствующим безразмерным коэффициентом, изменяющимся от 0 до 1. Это коэффициенты доступности  $K_d$ , легкоъемности  $K_l$ , взаимозаменяемости  $K_v$ , контролепригодности  $K_k$ , преемственности  $K_{np}$ .

### **3 КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.**

Существенное повышение эффективности технической эксплуатации ЛА достигается при комплексном подходе к решению задач обеспечения приспособленности конструкций к прогрессивным методам ТОиР авиационной техники и, в частности, к методам ТОиР по состоянию. Основное содержание работ при ТОиР по состоянию — техническое диагностирование объектов АТ, связанное с контролем и прогнозированием их работоспособности. Затраты времени и труда на контроль растут с увеличением сложности конструкций ЛА, числа контролируемых объектов и измеряемых параметров, с ростом требований по обеспечению заданной глубины контроля и становятся определяющими в общем расходе времени и труда на проведение профилактических и восстановительных работ.

Если бы совершенствовались только методы и средства контроля, а сами ЛА конструировались бы без учета необходимости их контроля, то невозможно было бы достичь высоких результатов в условиях внедрения ТОиР по состоянию. Для успешного решения этой задачи конструирование современной АТ ведется с учетом требований по обеспечению ее контролепригодности.

Под контролепригодностью ЛА понимается свойство, характеризующее его приспособленность (пригодность) к проведению контроля заданными методами и средствами технического диагностирования. Таким образом, контролепригодность характеризует свойство ЛА как совокупности объектов контроля и диагностирования (прежде всего методами автоматизированного контроля и физическими методами).

Значение проблемы контролепригодности конструкций ЛА в первую очередь отражается в требованиях по обеспечению их надежной работы. В то же время обеспечение приспособленности конструкций к проведению их проверок теми

или иными методами и средствами контроля неизбежно связано с дополнительными затратами. Однако в процессе эксплуатации они окупаются за счет повышения надежности, более эффективного использования ЛА и сокращения расходов на их ТОиР. Одновременно в процессе эксплуатации проводится комплексная оценка контролепригодности АТ, на основе которой разрабатываются рекомендации по повышению эффективности эксплуатации ЛА за счет усовершенствования АТ и применяемых методов и средств контроля. При этом следует иметь в виду, что ЛА имеет наземный и бортовой уровни контролепригодности. Первый из них характеризует соответствие всех функциональных систем, планера и силовой установки ЛА требованиям диагностирования с целью прогнозирования изменения технического состояния АТ, второй — соответствие АТ требованиям оперативного контроля работоспособности и правильного его функционирования на всех этапах полета, а также требованиям к обработке и накоплению полетной диагностической информации для ее использования на земле и прогнозирования.

Комплексная оценка контролепригодности объекта АТ включает (рис.3.1.) оценку контролепригодности конструкции, бортовых приборов контроля, системы сбора и обработки полетной информации (СОПИ), системы наземного контроля. В свою очередь оценка контролепригодности конструкции предусматривает оценку контролепригодности собственно конструкции, встроенных средств контроля, устройств сопряжения объекта контроля со средствами контроля.

Оценка бортовых приборов контроля включает оценку соответствия состава контролируемых параметров заданному, соответствия точности измерения заданной, эргономических свойств комплекса индикаторов (указателей) и

приборов контроля.

Оценка системы наземного контроля предусматривает оценку соответствия состава контролируемых параметров заданному, качества применяемых средств контроля, эффективности применяемых методик контроля технического состояния АТ в условиях эксплуатации.

### **3.2. АНАЛИЗ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

В связи с развитием АТ улучшаются летно-технические и конструктивно-эксплуатационные характеристики ЛА. Повышение технического уровня АТ оказалось возможным благодаря разработке и реализации на современных типах ЛА новых конструктивно-технологических принципов проектирования и конструирования элементов, узлов, агрегатов и функциональных систем, обладающих высоким уровнем контролепригодности. В настоящее время именно те виды АТ, уровень контролепригодности которых в сочетании с заложенными в конструкцию свойствами безотказности обеспечивает безопасную и экономическую эксплуатацию ЛА, переводятся на методы ТОиР по состоянию.

При создании ЛА конструкторы используют два основных принципа решения проблемы повышения надежности и эффективности эксплуатации: «безопасного ресурса» и «безопасной повреждаемости». И в том и в другом случае применительно к конструкции планера проектируемых в настоящее время ЛА его особенностью с позиций контролепригодности является приспособленность к неразрушающим методам контроля и раннему выявлению трещин и коррозии.

Анализ имевших место случаев разрушения и серьезных повреждений конструкции свидетельствует о том, что они могут быть легко предотвращены, если обеспечивается необходимый доступ для контроля и осмотра элементов планера. Так, например, конструкция английского самолета BAe-146 спроектирована с учетом выполнения эффективного осмотра и контроля.

Принято, что длина обнаруживаемой трещины у этого самолета составляет 10,2 см. Допускается, что трещины меньшей длины могут быть и не обнаружены. Вопросы обеспечения доступности для технического контроля конструкции решаются в начальной стадии проектирования ЛА. При этом учитывается, что неразрушающие методы контроля применяются тогда, когда визуальные технические осмотры неэффективны. Для зарубежного самолета А-300, например, около 5 % проверок силовых элементов конструкции требуют обязательного применения методов неразрушающего контроля, а для 15 % они могут быть заменены обычным визуальным осмотром.

Принимая во внимание, что принцип «безопасной повреждаемости» распространяется и на функциональные системы ЛА, надежность которых обеспечивается главным образом за счет резервирования изделий и систем в целом, тем не менее и они нуждаются в высоком уровне контролепригодности.

Контроль технического состояния функциональных систем ЛА обеспечивается наличием штатных систем (приборов) индикации эксплуатационных параметров, систем раннего обнаружения неисправностей, аварийной сигнализации и автоматизированного контроля.

Штатные приборы контроля в форме различных видов носителей информации (стрелочные, цифровые, световые и т. п.) выводятся на приборные доски членов экипажа и обеспечивают контроль работоспособности важнейших агрегатов и функциональных систем ЛА.

Системы раннего обнаружения и сигнализации неисправностей предназначены для выявления предотказового технического состояния агрегатов и систем ЛА. Их контролируемые параметры отражают постепенно накапливающиеся изменения таких характеристик технического состояния, которые объективно свидетельствуют о возникновении неисправности, переходящей в дальнейшем в отказ агрегата или системы в целом.

Системы аварийной сигнализации используют в качестве выходного сигнала: световую индикацию красного цвета на приборных досках и пультах членов

экипажа; звуковую сигнализацию в виде прерывистого зуммера или записанных на магнитную ленту речевых команд. Данные системы реагируют на такие изменения в работе основных систем ЛА, которые угрожают безопасности полета: помпаж двигателя, пожар, падение давления топлива, отключение генераторов и др.

Бортовая автоматизированная система контроля (БАСК) объединяет все бортовые системы контроля и регистрирует весь комплекс параметров, контролируемых на борту ЛА. БАСК имеет в своем составе бортовую ЭВМ. В составе каждой функциональной системы ЛА имеется логическое устройство, сравнивающее фактический выходной сигнал от датчика данного контролируемого параметра с эталонным из блока памяти ЭВМ. При недопустимом рассогласовании этих сигналов на дисплее экипажа появляется информация о неисправности или отказе с необходимыми рекомендациями. БАСК самолетов Б-747 и ДС-10 обеспечивают поиск 95 % неисправных блоков.

Работоспособность основных электроцепей и агрегатов системы кондиционирования воздуха на отечественном самолете Як-42 проверяется с помощью бортовой системы автоматизированного контроля. В различных системах управления ЛА находят применение микропроцессоры. Они устанавливаются в системах управления полетом, автоматического управления тягой двигателей, управления расходом топлива, контроля и оптимизации режимов работы двигателей и др. На базе микропроцессоров разработана система регулирования параметров в кабинах таких зарубежных самолетов, как Б-757 и Б-767 и др.

Совершенствование системы диагностирования ГТД в условиях эксплуатации по состоянию связано в настоящее время с разработкой их конструкции, обеспечивающей с помощью средств объективного контроля доступ к элементам, определяющим состояние двигателей, и разработкой систем автоматизированной обработки информации об изменении технического состояния ГТД. Конструкции современных ГТД позволяют обнаружить большинство повреждений на ранних

стадиях их развития за счет возможности проведения контроля: состояния масла, уровня вибраций, значений термогазодинамических параметров, целостности деталей проточной части двигателя и силовых элементов.

В табл. 3.1. приведены примеры обеспечения контролепригодности современных ГТД.

Примером конструктивного обеспечения контролепригодности может служить выполнение лючков на корпусах ГТД для визуального контроля состояния его проточной части (рис. 3.2). Стрелками на нем показаны места введения эндоскопов и заштрихованы элементы конструкции ГТД, доступные для визуального контроля.

### **3.3. КАТЕГОРИИ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ**

Под категорией контролепригодности понимается качественная характеристика приспособленности изделия к техническому диагностированию заданными средствами. Категорию устанавливают в техническом задании на вновь создаваемое изделие АТ в целом или его составные части. Для того чтобы изделию присвоить определенную категорию контролепригодности, необходимо его оценить с точки зрения конструктивного исполнения по контролепригодности.

Различают шесть групп (1...6) конструктивного исполнения по контролепригодности (рис.3.3.).

Для обеспечения контролепригодности изделий АТ в техническом задании на ее разработку или модернизацию должны устанавливаться конкретные

требования по контролепригодности в виде значений показателей и качественных требований.

Номенклатура и значения показателей контролепригодности изделий АТ задаются с учетом: технических требований на ЛА в целом; требований к эффективности технической эксплуатации ЛА и надежности изделий АТ; вида и назначения системы диагностирования; информации о контролепригодности прототипов или аналогов изделий АТ отечественного или зарубежного производства; требований действующей нормативно-технической документации; обеспечения возможности сравнения контролепригодности однотипных изделий АТ.

Качественные требования по контролепригодности содержат общие требования к параметрам, методам, средствам технического диагностирования и к конструкции изделий АТ. Общие требования к параметрам, методам и средствам в зависимости от вида и назначения систем диагностирования включают требования: к числу диагностических параметров, несущих достаточную информацию о техническом состоянии изделия; к номенклатуре встроенных и внешних средств контроля, их точности и достоверности; к оптимальности алгоритма диагностирования, обеспечивающего наиболее экономичную эксплуатацию ЛА при заданном уровне безотказности его изделий.

К числу общих требований, предъявляемых к самой конструкции АТ, следует отнести: введение в конструкцию АТ встроенных элементов контроля, обеспечивающих визуальный контроль параметров; введение в конструкцию АТ встроенных средств диагностирования, измерительных преобразователей, средств микропроцессорной техники;

применение унифицированных и стандартизированных устройств сопряжения с внешними средствами контроля; обеспечение легкоъемности устройств сопряжения; обеспечение безопасного и однозначного соединения устройств сопряжения с учетом соблюдения требований пожаробезопасности, эргономических и эстетических характеристик.

Формирование требований по контролепригодности вновь создаваемой АТ регламентируется отраслевыми и межотраслевыми нормативными документами, в том числе общими техническими требованиями к контролепригодности отдельных функциональных систем, газотурбинных двигателей и ЛА в целом.

#### **4. КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ**

По мере усложнения АТ, увеличения назначенного ресурса и срока службы все большее значение приобретает проблема обеспечения надежности ЛА в целом, его функциональных систем и отдельных агрегатов.

Поскольку в создании ЛА участвуют многие организации, а эксплуатация его длится несколько десятков лет, возникает необходимость комплексного решения проблемы обеспечения надежности. Важное место при этом занимает комплексная программа обеспечения надежности и безопасности полета на всех этапах его создания и эксплуатации. Впервые подобная программа была разработана для самолета Ил-86. Кроме последовательности этапов и содержания работ она определяет ответственных исполнителей, сроки, конечные результаты и формы отчетности.

Известно, что затраты на устранение конструктивных недостатков на этапах проектирования, серийного производства на порядок меньше, чем на этапе эксплуатации ЛА. Значительное увеличение затрат на разработку ЛА, создание испытательных стендов и прогрессивных средств производства позволяют значительно снизить затраты на эксплуатацию.

Оценка эффективности комплексной программы обеспечения надежности производится на каждом из этапов жизненного цикла ЛА. Но оценка по конечному результату осуществляется в процессе технической эксплуатации с использованием комплексных показателей.

В соответствии с действующей нормативной документацией установлены комплексные показатели надежности.

Коэффициент готовности  $K_r$  — вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не планируется. Следовательно, он представляет собой отношение времени исправной работы к суммарному времени исправной работы и времени восстановления после отказов:

$$K_r = \frac{T_2}{T_2 + T_в}$$

где  $T_в$  — суммарное время восстановления после отказов в течение года;  $T_2$  — годовой налет.

Если известно число отказов  $n_{отк}$ , например, за время  $T_2$ , то, поделив числитель и знаменатель на  $n_{отк}$ , можно получить:

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + t_в}$$

где  $T_o$  — наработка на отказ;  $t_в$  — среднее время восстановления после отказа.

Коэффициент оперативной готовности  $K_{ог}$  используется для оценки вероятности того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени и, кроме того, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени:

$$K_{ог} = K_r P(t)$$

где  $P(t)$  — вероятность безотказной работы после устранения отказа (после восстановления).

*Коэффициент технического использования*  $K_T$  и определяется как отношение математического ожидания интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев на ТОиР за тот же период эксплуатации:

$$K_{ТИ} = \frac{T_z}{(T_z + T_n)}$$

где  $T_n$  — простои на ТОиР.

Кроме указанных показателей, для комплексной оценки эффективности профилактических работ при ТО можно использовать коэффициент сохранения эффективности

$$K_{эф} = K_{ТИ} P_{эф}(t)$$

где  $P_{эф}(t)$  — вероятность безотказной работы после выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту.

## **4.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЙ ЛА**

Проектирование функциональных систем и конструкции ЛА в целом производится с позиций обеспечения требований по надежности с учетом возможных отказов АТ в заданных условиях эксплуатации. Основными документами при проектировании являются Нормы летной годности самолетов (НЛГС) и Техническое задание (ТЗ) на ЛА.

Помимо конструктивных методов обеспечения надежности, проектировщик заранее анализирует возможности технологии изготовления и сборки конструкции, объем предполагаемых экспериментальных исследований и испытаний (рис.4.2.), обосновывает принципы ТОиР создаваемого ЛА.

При создании конструкции нового типа ЛА проектировщик для обеспечения надежности учитывает следующие основные принципы:

использование поэлементного и общего (канала функциональной системы) резервирования;

рациональное проектирование систем для уменьшения числа входящих элементов и агрегатов;

увеличение надежности элементов (агрегатов) за счет использования новых, но уже апробированных принципов действия и материалов; защита агрегатов от воздействия отрицательных факторов (вибрация, повышенная температура, влажность, пыль и т. п.);

введение различных устройств, ограничивающих развитие отказа или повреждения;

обеспечение контролепригодности агрегатов, систем и опасных зон конструкции планера;

предупреждение появления отказов, основанное на оценке и прогнозировании технического состояния.

При проектировании современных ЛА функциональная безотказность систем обеспечивается путем двух-трехкратного резервирования. Рассмотрению видов отказов каждого канала уделяется особое внимание, чтобы резервирование в целях исключения отказа одного вида не приводило к ухудшению функционирования системы из-за появления других видов отказов. Так, увеличение числа насосов перекачки топлива из бака в расходную секцию уменьшает вероятность невыработки топлива, но при этом увеличивает вероятность переполнения расходной секции и появления в ней избыточного давления при отказе насосов подкачки. Для парирования повышения давления устанавливаются различного рода защитные устройства в виде дросселей и клапанов.

Пристальное внимание конструктор уделяет предотвращению накопления отказов в резервированных системах и агрегатах. Это обеспечивается правильным

выбором средств сигнализации об отказах и планированием работ по ТОиР.

Выполнение заданных требований по надежности на этапе проектирования подтверждается не только расчетными и аналитическими методами, но и большим объемом экспериментальных исследований и испытаний. При проведении экспериментов и испытаний решаются задачи проверки правильности конструктивных решений и выявления слабых технологических решений, оценки идентификации математических моделей с натурным объектом.

С точки зрения обеспечения надежности ЛА главная задача испытаний — проверка достаточности заложенных при проектировании запасов работоспособности. Экспериментальные работы и испытания выполняются, начиная с разработки конструктивно-силовых функциональных схем. В процессе создания нового типа ЛА каждый конструкторский отдел выпускает программы испытаний, чертежи образцов, анализирует и корректирует ход экспериментальных исследований. Прочностные характеристики являются критерием надежности большинства элементов конструкции планера ЛА. Поэтому тщательно исследуются образцы материалов схемы крепежа, типы профилей, варианты конструкции панелей, шпангоутов, стрингеров, лонжеронов и нервюр. Проводятся натурные статические и усталостные испытания отдельных зон конструкции планера и ЛА в целом. Испытания на функционирование и подтверждение требуемого ресурса сложных механизмов планера, например навески предкрылков и закрылков, также производятся на специальных стендах.

Экспериментальные исследования влияния внешней среды и условий эксплуатации наиболее полно проводятся в процессе летных испытаний. Оценка влияния на надежность таких факторов, как динамическое нагружение конструкции при рулении, взлете, посадке, а также вибрационное и акустическое нагружение, дается только по результатам летных испытаний.



корректируется в течение длительной эксплуатации и наилучшим образом учитывает изменения условий эксплуатации и технического состояния ЛА.

Тщательность выполнения технологии комплексной подготовки ЛА к полету, эффективный визуальный контроль состояния конструкции обеспечивают надежную эксплуатацию ЛА в полете. Эти работы являются простейшими, но от качества и добросовестности их выполнения во многом зависит безопасность каждого полета. Соблюдение режимов полета и летных ограничений также является неременным условием обеспечения надежной работы конструкции и систем ЛА.

Весьма важную роль в обеспечении безотказной работы выполняет комплекс применяемого при техническом обслуживании ЛА наземного оборудования. Средства механизации и автоматизации технического обслуживания не только снижают трудоемкость и облегчают выполнение регламентных работ, но и определяют качество работ.

Использование средств бортового контроля для анализа и прогнозирования технического состояния функциональных систем ЛА и двигателя в сочетании с применением средств неразрушающего контроля элементов конструкции планера определяет качество технической эксплуатации. По мере увеличения налета постоянно должна решаться задача продления ресурсов агрегатов, подтверждения назначенного ресурса ЛА. При этом должны своевременно и качественно выполняться доработки конструкции ЛА по бюллетеням промышленности.

Учитывая комплексный характер вопросов обеспечения надежности, программа предусматривает техническую и организационную подготовку и переподготовку ИТС и летного состава. При этом должно быть обращено внимание на изучение особенностей эксплуатации данного типа ЛА, создание при необходимости специальных макетов, стендов и тренажеров, обеспечение материальной заинтересованности в освоении новой техники, обеспечении уровня ее надежности и эффективности использования.

Таким образом, высокий уровень надежности обеспечивается

неукоснительным соблюдением требований летной годности путем сохранения летно-технических характеристик ЛА на протяжении установленных ресурсов и сроков службы, предусматриваемых программой ТОиР. С этой целью в процессе эксплуатации реализуется комплекс задач по оценке и анализу уровня надежности ЛА, включающий: статистический и инженерный анализ надежности АТ, находящейся в эксплуатации; разработку технических требований по надежности проектируемых изделий АТ и оценку соответствия надежности изделий, поступающих в эксплуатацию, техническим условиям; обоснование и предъявление требований к промышленности по совершенствованию серийной АТ, оценку эффективности ее доработок; изучение влияния условий и особенностей эксплуатации АТ на показатели ее надежности, разработку и осуществление мероприятий по уменьшению отрицательного их воздействия на надежность АТ; предъявление заводам рекламаций на низкое качество продукции и ремонта АТ; подготовку обоснований для увеличения ресурсов АТ, совершенствования эксплуатационно-технической документации.

При статистическом анализе проводится сравнение фактических значений показателей надежности с нормативными, включенными в эксплуатационную документацию, или контрольными, учитывающими конкретные условия эксплуатации. При этом определяются тенденции изменения значений показателей и степень влияния на них режимов и условий эксплуатации. Инженерный анализ надежности имеет целью определить причины отказов и повреждений, степень их влияния на работоспособность изделий и систем, а также последствия, к которым они могут приводить. На основе анализа определяют мероприятия по предупреждению отказов и повреждений АТ.

Ответственность за проведение анализа надежности АТ на предприятиях несут начальники АТБ и главный инженер, АТК НАК «Узбекистон хаво йуллари».



Рис. 4.3. Содержание работ по программе обеспечения надежности в эксплуатации.

**Раздел II**  
**СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**  
**ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Глава 5. СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ**  
**ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ.**

**5.1. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**  
**КАК ЧАСТЬ АВИАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ**

Гражданскую авиацию, предназначенную для осуществления воздушных перевозок и другой летной работы, можно представить в виде авиационной транспортной системы. Минимальной организационной структурной единицей гражданской авиации, сохраняющей все основные свойства и функции отрасли в целом, является эксплуатационное авиапредприятие, рассматриваемое во взаимодействии с авиаремонтным заводом.

Авиационная транспортная система представляет собой совокупность совместно действующих ЛА, комплекса наземных средств по подготовке и обеспечению полетов, личного состава, занятого эксплуатацией и ремонтом ЛА и наземных средств, и системы управления процессом эксплуатации. Она обладает всеми особенностями, присущими сложным техническим системам, а именно: наличием единой цели, управляемостью системы, взаимосвязью элементов, иерархической структурой. Авиационная транспортная система должна удовлетворять требованиям, совокупность которых направлена на выполнение в полном объеме задач, возлагаемых на рассматриваемую систему. К этим требованиям относятся обеспечение высокой безопасности и регулярности полетов и экономической эффективности эксплуатации ЛА.

Совокупность свойств авиационной транспортной системы, определяющих ее пригодность удовлетворять потребности народного хозяйства в воздушных

перевозках и обеспечивать выполнение перечисленных выше требований, характеризует качество системы. Оно в свою очередь определяется совокупностью и сложной взаимосвязью качества ЛА, наземных средств и личного состава, занятого их эксплуатацией.

Авиационную транспортную систему можно разделить на ряд функциональных самостоятельных систем (рис.5.1): летной эксплуатации; технической эксплуатации; управления воздушным движением; коммерческой эксплуатации; аэродромной эксплуатации.

Каждой из указанных систем соответствует свой процесс функционирования (рис.5.2.): авиационной транспортной системе—эксплуатации; системе летной эксплуатации — использования (ПИ); системе технической эксплуатации — технической эксплуатации (ПТЭ); системе коммерческой эксплуатации — коммерческой эксплуатации (ПКЭ); системе управления воздушным движением — управления воздушным движением (ПУВД); системе аэродромной эксплуатации — аэродромной эксплуатации (ПАЭ). Взаимосвязь этих процессов определяется общей целью и наличием одного объекта эксплуатации — ЛА, который в каждой из названных функциональных систем представляется определенной совокупностью своих свойств.

Особое место в авиационной транспортной системе занимает система технической эксплуатации. Она представляет собой совокупность объектов технической эксплуатации, летного и инженерно-технического состава, системы управления процессом технической эксплуатации, взаимодействующих с целью поддержания и восстановления исправности или работоспособности и обеспечения летной годности ЛА.

Посредством мероприятий, проводимых в процессе технической эксплуатации, обеспечиваются безопасность и регулярность полетов, надежность и исправность ЛА, подготовка их к полетам, правильная летная эксплуатация. Техническая эксплуатация направлена на сохранение характеристик ЛА, их функциональных систем и изделий на протяжении установленных ресурсов и

сроков службы в тех допусках, которые требуют нормы летной годности. Техническая эксплуатация обеспечивает также эффективное использование ЛА при экономных затратах трудовых, материальных и топливно-энергетических ресурсов.

Техническая эксплуатация представляет собой сложный динамический процесс, включающий: подготовку ЛА к полетам; управление работой функциональных систем; выбор и поддержание наиболее выгодных режимов работы двигателей в полете; техническое обслуживание и ремонт; хранение и транспортирование АТ.

Система технической эксплуатации ЛА является по своей сути планово-предупредительной и строится на основе следующих принципов: соблюдения строгой плановости при проведении форм ТОиР; своевременного предупреждения отказов функциональных систем и их наиболее важных изделий; обеспечения экономичности технической эксплуатации. Под принципом плановости понимается соблюдение прежде всего установленной периодичности отхода ЛА на ту или иную форму ТОиР, а также объемов части стандартных регламентных операций и операций по техническому диагностированию и дефектации объектов ТОиР.

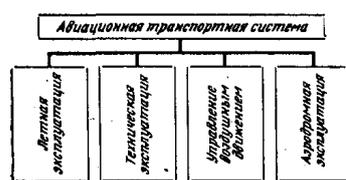


Рис. 5.1. Укрупненная структура авиационной транспортной системы

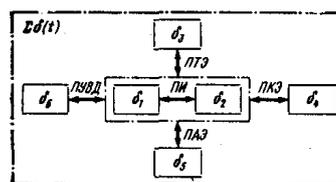


Схема процесса эксплуатации ЛА:  
 $\Sigma\delta(t)$  — процесс эксплуатации (ПЭ);  $\delta_1$  — состояние использования по назначению (полет);  $\delta_2$  — состояние готовности к использованию;  $\delta_3$  — состояние ТОиР;  $\delta_4, \delta_5, \delta_6$  — состояния коммерческой эксплуатации, аэродромной эксплуатации, управления воздушным движением; ПТЭ — процесс технической эксплуатации; ПИ — процесс использования по назначению; ПКЭ — процесс коммерческой эксплуатации; ПУВД — процесс управления воздушным движением; ПАЭ — процесс аэродромной эксплуатации

Рис. 5.2. Схема процесса эксплуатации ЛА

## 5.2. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

*Техническое обслуживание* — это комплекс операций по поддержанию работоспособности, обеспечению исправности ЛА и готовности их к полетам. *Ремонт* — комплекс операций по восстановлению работоспособности изделий функциональных систем ЛА или составных частей изделий.

Весь комплекс операций по ТОиР ЛА условно можно разделить на две группы: плановые профилактические работы, связанные в основном с предупреждением отказов и повреждений; работы по обнаружению и устранению уже имеющих место отказов и повреждений.

Между этими группами работ на практике могут существовать различные соотношения в зависимости от принятых критерия оптимальности и стратегии проведения ТОиР. Но в любом случае основное требование, предъявляемое к процессу технической эксплуатации в целом, состоит в том, чтобы при ограниченных затратах труда обеспечить наибольшую вероятность того, что в необходимый момент времени ЛА окажется работоспособным и выполнит поставленную задачу. Применительно к ЛА гражданской авиации при разработке программ ТОиР основное внимание уделяется плановым профилактическим работам.

Профилактические работы составляют наибольшую часть объема ТОиР ЛА. Они направлены на обеспечение безотказной эксплуатации ЛА в межпрофилактические периоды за счет предупреждения отказов и повреждений узлов и агрегатов и поддержания их технических характеристик в пределах установленных допусков.

Будучи правильно построенной, система ТОиР способствует уменьшению потока отказов и повреждений, увеличивает долговечность ЛА. Однако на проведение профилактических мероприятий и текущего ремонта затрачивается определенное время, в течение которого ЛА могли бы использовать по назначению. И чем оно больше, тем хуже показатели исправности и

использования ЛА. Кроме того, для выполнения профилактики современных ЛА требуются большой штат специалистов, дорогое оборудование и контрольно-поверочная аппаратура, что в свою очередь увеличивает эксплуатационные расходы. Все это должно учитываться при разработке системы ТОиР.

Система ТОиР представляет собой совокупность взаимодействующих объектов и средств ТОиР, исполнителей, соответствующих программ и документации, (рис.5.3). Цель системы ТОиР—управление техническим состоянием изделий в течение их срока службы или ресурса до списания, позволяющее обеспечить: заданный уровень готовности изделий к использованию по назначению и их работоспособность в процессе использования; минимальные затраты времени, труда и средств на выполнение ТОиР изделий.

К числу основных задач системы относятся: установление требований к программам ТОиР конкретных видов техники; обеспечение выполнения обслуживания и ремонта изделий с заданным качеством при минимальных затратах времени, труда и средств; подготовка и реализация технологических процессов обслуживания и ремонта изделий с заданным качеством; обеспечение условий для выполнения ТОиР, в том числе создание и оснащение подразделений необходимыми средствами, подготовка необходимых трудовых ресурсов; оптимизация размещения производственных баз и материальных ресурсов.

Эффективность системы ТОиР определяется степенью ее приспособленности к выполнению функций по управлению надежностью и техническим состоянием ЛА в процессе технической эксплуатации.

В приведенном выше определении системы ТОиР содержатся понятия «объект» и «программа». Раскроем определения этих понятий.

Объектом технического обслуживания (ремонта) являются изделия или их совокупность, характеризующаяся потребностью в определенных работах по поддержанию (восстановлению) исправности или работоспособности в том или ином состоянии технической эксплуатации и приспособленностью к выполнению данных работ. Используемые при этом средства ТОиР включают комплекс

наземных сооружений, средств технологического оснащения и технического диагностирования, необходимых для поддержания исправности или работоспособности объектов ТОиР.

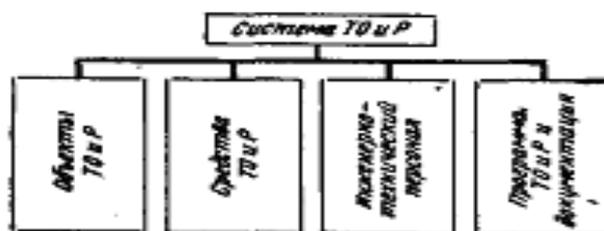


Рис. 5.3. Структура системы технического обслуживания и ремонта.

### 5.3. ВИДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Применительно к ЛА гражданской авиации установлены следующие виды технического обслуживания: оперативное, периодическое, сезонное, специальное, при хранении. Основными из перечисленных видов являются оперативное и периодическое. Каждый из видов технического обслуживания отличается объемом и сложностью работ, потребным временем и периодичностью их выполнения.

*Оперативное техническое обслуживание* выполняется непосредственно перед вылетом и после посадки ЛА в базовых, транзитных и конечных аэропортах. При этом выполняются следующие виды работ: по встрече ЛА, обеспечению стоянки, осмотру и обслуживанию, обеспечению вылета.

Основное назначение оперативного технического обслуживания— устранение возникших в полете отказов и повреждений и подготовка ЛА к очередному вылету. При оперативном техническом обслуживании, как правило, не должно быть работ, необходимость выполнения которых определяется налетом (числом посадок) ЛА или индивидуальной наработкой его отдельных агрегатов и изделий.

Необходимость, частота и последовательность выполнения оперативных форм обуславливаются характером и условиями использования ЛА по назначению. Работы по обеспечению вылета производятся непосредственно перед вылетом ЛА независимо от того, какая форма оперативного обслуживания выполнялась. Работы по обеспечению стоянки выполняются в случаях передачи ЛА от экипажа в АТБ.

Особое место в оперативном техническом обслуживании занимают работы по поиску и устранению отказов и повреждений элементов и изделий функциональных систем ЛА. Учитывая стохастическую природу отказов и повреждений, решение задач поиска их причин и своевременного устранения представляется весьма сложным делом, требующим от исполнителей глубоких знаний конструкции и эксплуатации тех или иных типов ЛА. Качество и своевременность решения этих задач при оперативном техническом обслуживании во многом определяют безотказность работы техники и регулярность полетов.

*Периодическое техническое обслуживание* выполняется через строго установленные интервалы, измеряемые числом часов налета ЛА, числом посадок или календарным временем.

Основное назначение периодического технического обслуживания — выявление и устранение имеющих место отказов и повреждений элементов, изделий и агрегатов функциональных систем ЛА на ранних стадиях их развития, а также проведение профилактических мероприятий по предотвращению возникновения отказов и повреждений при дальнейшей эксплуатации ЛА: замена агрегатов, отработавших ресурс, смазка шарнирных соединений, регулировка изделий по результатам технического диагностирования и другие мероприятия. Выполнение периодических форм технического обслуживания обеспечивает поддержание работоспособности и требуемой исправности парка ЛА. Формы периодического технического обслуживания отличаются значительно большей трудоемкостью и строгой периодичностью выполнения.

Для большинства основных типов ЛА принята следующая периодичность выполнения форм технического обслуживания: форма 1 (Ф-1) — через каждые  $(300\pm 30)$  ч налета, форма 2 (Ф-2) — через каждые  $(900\pm 30)$  ч налета и форма 3 (Ф-3) — через каждые  $(1800:4:30)$  ч налета.

Если ЛА по условиям эксплуатации имеет сравнительно малый налет, то его периодическое обслуживание выполняют по календарным срокам. Для самолета Ту-154, например, через каждые 4 мес $\pm 15$  сут выполняется форма 1К, через  $(12:4:1)$  мес—форма 2К, через  $(24\pm 1)$  мес — форма 3К. Если самолет такого же типа длительно выполняет учебно-тренировочные полеты, то техническое обслуживание шасси, закрылков, предкрылков, интерцепторов и системы управления стабилизатором выполняют по посадкам: через каждые  $(300:4:30)$  посадок в объеме формы 1, через  $(900:4:30)$  посадок—формы 2, через  $(1800\pm 30)$  посадок — формы 3.

Допуск на каждую форму по налету, посадкам, календарным срокам позволяет избежать неоправданных простоев ЛА в тех случаях, когда АТБ вследствие загруженности не может приступить к обслуживанию данного ЛА. Тогда эксплуатация этого ЛА продолжается за счет допуска, который позволяет также выполнить работы по данной форме раньше базового значения, если позволяют условия. Но с каким бы допуском не выполнялись работы по формам периодического технического обслуживания, отсчет всегда ведете'?? от базового значения.

Каждая последующая форма периодического технического обслуживания включает в себя работы, предусмотренные предыдущими формами, а также специфические работы, присущие только данной форме. Так, при выполнении работ по форме 2 производятся также работы по форме 1, при выполнении работ по форме 3 — работы по формам 1 и 2. При замене двигателя по любой причине на ЛА выполняется та форма технического обслуживания, которая требуется по налету планера, производятся работы, непосредственно связанные с заменой двигателей и с осмотром элементов конструкции и систем, доступ к которым

возможен только при снятом двигателе.

Каждая форма периодического обслуживания состоит из предварительных, основных (стандартных) и заключительных работ. Предварительные работы включают приемку ЛА, подготовку необходимого оборудования, инструмента, материалов для обслуживания, изучения задания и документации. Основные (стандартные) работы предусматривают, кроме осмотра, демонтаж ряда агрегатов, инструментальную проверку параметров систем и оборудования, замену смазки в шарнирах, выполнение регулировочных работ. Основные работы группируются по отдельным функциональным системам ЛА: силовая установка, шасси, планер, управление, гидравлическая система, система кондиционирования воздуха, система регулирования давления в кабинах, радиоэлектронное оборудование, приборное, электрическое, кислородное и бытовое оборудование и др. Заключительные работы—уборка рабочего места и передача ЛА в цех оперативного обслуживания для подготовки к полету и выполнения работ по обеспечению стоянки.

*Сезонное техническое обслуживание* проводится 2 раза в год при переходе к эксплуатации в осенне-зимний и весенне-летний периоды. Современные типы ЛА, как правило, не требуют больших затрат труда на выполнение сезонного обслуживания, поэтому оно проводится совместно с очередной формой периодического обслуживания. Сезонное обслуживание предусматривает дефектацию и полное восстановление защитных покрытий, устранение мелких повреждений и коррозии на деталях планера и шасси, регулировку натяжения троссовых проводок, проверку работоспособности противообледенительных систем и сигнализаторов обледенения, дефектацию и ремонт чехлов и заглушек и другие работы.

*Специальное техническое обслуживание* выполняется в случаях возникновения резких отклонений от условий нормальной эксплуатации. К ним относятся: грубая посадка, посадка до взлетно-посадочной полосы (ВПП), выкатывание ЛА за пределы ВПП, полет в турбулентной атмосфере, попадание в

зону грозовой деятельности, попадание молнии в ЛА, превышение перегрузок и т. п. После любого из перечисленных случаев на ЛА выполняется комплекс смотровых и стандартных работ, предусмотренный действующей документацией по техническому обслуживанию, для проверки состояния элементов определенных зон конструкции ЛА и принятия решения о возможности его дальнейшей эксплуатации.

*Техническое обслуживание при хранении* выполняется на ЛА, длительное время не совершающих полеты. Оно обеспечивает снижение вредного влияния атмосферных и других факторов и способствует наилучшему сохранению техники в данных условиях. Обслуживание при хранении выполняется через каждые 10 сут стоянки ЛА. По мере увеличения срока хранения усиливается вредное влияние атмосферных факторов, следовательно, увеличиваются и объемы работ. Поэтому различают работы, выполняемые на ЛА через каждые 10 сут, через каждые (30+3) сут и (90+9) сут.

*Ремонт ЛА*, как и периодическое техническое обслуживание, выполняется по истечении определенных интервалов, измеряемых числом часов налета, числом посадок или календарным временем.

Ремонтные операции на ЛА (за исключением текущего ремонта, который входит структурно в техническое обслуживание), могут выполняться или в виде капитального ремонта, или в виде так называемых ремонтных форм, похожих по принципу построения на формы периодического технического обслуживания. Однако капитальный ремонт в ряде случаев, согласно требованиям стандартов, может быть вынесен за рамки системы технической эксплуатации и рассматриваться как самостоятельный этап эксплуатации ЛА. Ремонт же, выполняемый в виде определенной совокупности ремонтных форм, совмещенных, как правило, с формами периодического технического обслуживания, естественно входит составной частью в систему технической эксплуатации.

Ремонтные формы в отличие от форм периодического технического

обслуживания отличаются значительно большими интервалами времени и трудоемкостью работ. Их основное назначение и отличительная особенность состоят в том, чтобы оценить техническое состояние элементов и узлов конструкции в труднодоступных зонах, выявить и устранить отказы и повреждения на ранних стадиях их развития, восстановить поврежденные участки конструкции планера, лакокрасочное покрытие, бытовое оборудование ЛА, выполнить требуемые доработки конструкции по бюллетеням промышленности. В течение назначенного ресурса на ЛА последовательно выполняют несколько ремонтных форм: Р-1, Р-2, Р-3, Р-4 и другие, усложняющиеся по мере увеличения общего налета ЛА и числа посадок.

## Глава 6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

### 6.1. ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ГОДОВОГО ФОНДА ВРЕМЕНИ ЛА

В годовом фонде времени ЛА  $T_{г.ф}$  наряду с налетом  $T_g$  значительную долю занимают простои по различным причинам. Для удобства анализа и разработки действенных мер по обеспечению эффективности использования ЛА все простои можно объединить в три группы. Это простои ЛА по техническим причинам  $T_{п.т}$ , по различным причинам в исправном состоянии  $T_{п.и}$ , а также в промежуточных и конечных аэропортах при выполнении рейсов  $T_{пр}$  (рис.6.1.).

В простои ЛА по техническим причинам  $T_{п.т}$  входят затраты времени: на техническом обслуживании по периодическим формам регламента и в ремонте; на доработках ЛА по бюллетеням промышленности; на простои по рекламациям и в ожидании новых или отремонтированных двигателей и запасных частей, необходимых для установки на ЛА.

При необходимости каждый из видов простоев можно анализировать в отдельности.

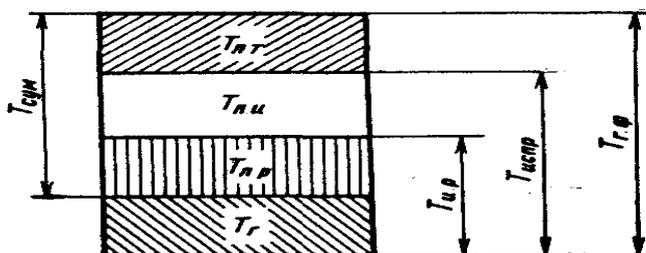


Рис.6.1. Укрупненная структура годового дового фонда времени ЛА:

$T_{испр}$  — время исправного состояния ЛА;

$T_{и.р}$  — время использования ЛА в рейсах

Простои ЛА в исправном состоянии в аэропортах базирования  $T_{п.и}$  включают простои: из-за отсутствия необходимых метеоусловий для выполнения полетов по расписанию; в ночное время, не задействованное расписанием движения ЛА; в

резерве в соответствии с установленными нормативами; из-за отсутствия загрузки, топлива и по другим причинам.

К простоям ЛА в промежуточных и конечных аэропортах при выполнении рейсов  $T_{пр}$  относятся затраты времени на выполнение оперативных форм технического обслуживания (предполетного, транзитного и послеполетного) в соответствии с технологическими графиками, а также простои по разным причинам в ожидании вылета.

Суммарные простои  $T_{сум} = T_{п.г} + T_{п.и} + T_{пр}$ . Принятое деление всех простоев ЛА при эксплуатации на указанные три группы намного облегчает решение задач анализа использования ЛА, поиска имеющихся резервов, определения показателей исправности и использования ЛА в рейсах. При анализе использования ЛА по налету часов в качестве исходных принимаются следующие материалы: сводные отчетные данные о налете парка ЛА, расписание движения ЛА, диспетчерские графики авиационно-технических баз (АТБ) аэропортов, данные почасового учета исправности парка ЛА, отчеты авиационных предприятий о выполнении рейсов.

В результате можно получить распределение фонда времени ЛА по различным состояниям процесса эксплуатации.

Относительно большие простои ЛА в базовом аэропорту и других при выполнении рейсов вызываются главным образом следующими обстоятельствами:

незначительным использованием для рейсовых полетов ночного времени суток;

ограниченностью частоты вылетов и неравномерностью распределения выполняемых рейсов в течение суток, приводящих к необходимости ожидания очередного рейса ЛА, на котором закончено техническое обслуживание;

системой жесткого закрепления ЛА за экипажами только своего авиационного предприятия, что приводит в случаях использования экипажами суточной нормы налета к необходимости «ночевок» ЛА в конечных аэропортах;

невозможностью быстро переоборудовать пассажирские ЛА в грузовой вариант для использования их при необходимости для перевозки срочных грузов (в ночное время суток и при отсутствии пассажиров);

сравнительно большими объемами регламентных и ремонтных работ, а также доработок, которые требуется выполнять на ЛА для поддержания заданного уровня их надежности и обеспечения безопасности полетов;

вынужденными простоями из-за отсутствия в ряде случаев необходимых запасных частей, а также в ожидании начала технического обслуживания по трудоемким формам регламента.

Значения многих видов простоев ЛА непосредственно зависят от деятельности инженерно-авиационной службы (ИАС) аэропортов.

## **6.2. НОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ПРИЧИНАМ ИСПРАВНОСТИ И ПРОСТОЕВ ЛА**

В соответствии с установленным в гражданской авиации порядком для каждого типа ЛА утверждаются нормативные значения показателей исправности и простоев по техническим причинам (таблица 6.1, 6.2). Периодически, с учетом накопленного опыта эксплуатации, эти нормативы пересматриваются.

В последние годы в интересах эксплуатационных предприятий стали утверждаться сезонные нормативы исправности парка ЛА и их простоев по техническим причинам.

Таблица 6.1

Тип	Исправность		Простои на ТО		Использование исправности парка в %
	Норм.	Фактич.	Норм.	Фактич.	
В-757	90	95,05	8	4,9	24,4
В-767	90	95,45	8	3,85	62,4
А-310	90	89,5	8	8,4	60,65
RJ-85	90	91,05	8	7,05	23,05
Ил-86	38	36,55	15	8,9	30,95
Ил-62М	68	58,55	13	10,2	38,65
Ту-154	53	33,05	15	8,45	39,9
Ту-154М	53	39,95	15	10,3	39,4
Ил-76	55	58,2	20	5,8	54,45
АН-12	72	63,2	12	15,75	32,2
Як-40	72	70,4	12	13,3	54,25
АН-24	72	42,8	10	6,1	45,3
Ил-114	72	7,8	10	7,65	25,6

Таблица 6.2.

<b>Тип</b>	<b>Причины снижения исправности</b>	<b>Самолета/ часов</b>	<b>в %</b>
RJ-85	- на техобслуживании	2037	7,8
	- восстановление после повреждения	733	2,8
	- отсутствие запасных частей	288	1,1
Ил-86	- на техобслуживании	4390	5,0
	- отсутствие запасных частей	6385	7,3
	- отсутствие авиадвигателей	51235	58,5
	- доработки по бюллетеням	960	1,1
Ил-62 М	- на техобслуживании	5508	7,9
	- в ремонте	8880	12,7
	- ожидание ремонта	792	1,1
	- отсутствие запасных частей	8141	11,6
	- отсутствие авиадвигателей	7632	10,9
	- доработки по бюллетеням	227	0,3
Ту-154	- на техобслуживании	7418	6,0
	- в ремонте	8808	7,2
	- ожидание ремонта	4840	3,9
	- восстановление после повреждения	713	0,6
	- отсутствие запасных частей	25631	20,9
	- отсутствие авиадвигателей	35784	29,2
	- доработки по бюллетеням	275	0,2
	-		
Ту-154М	- на техобслуживании	2484	6,8
	- в ремонте	744	2,0
	- ожидание ремонта	1035	2,8
	- отсутствие запасных частей	4758	13,0
	- отсутствие авиадвигателей	13903	37,9

	- доработки по бюллетеням	30	0,1
Ан-12	- на техобслуживании	2031	11,8
	- ожидание ремонта	408	2,4
	- отсутствие запасных частей	1344	7,8
	- отсутствие авиадвигателей	51	0,3
	- доработки по бюллетеням	888	5,1
	- рекламация в адрес промышленности	336	1,9
Як-40	- на техобслуживании	12265	9,5
	- в ремонте	7944	6,2
	- ожидание ремонта	10560	8,2
	- восстановление после повреждения	1930	1,5
	- отсутствие запасных частей	1453	1,1
	- рекламация в адрес ремонтного завода	1344	1,0
Ил-114	- на техобслуживании	652	8,8
	- доработки по бюллетеням	2376	32,1
	- рекламация в адрес ремонтного завода	3292	44,5
Ан-24	- на техобслуживании	5854	6,1
	- в ремонте	10944	11,4
	- ожидание ремонта	18677	19,4
	- восстановление после повреждения	827	0,9
	- отсутствие запасных частей	2330	2,4
	- отсутствие авиадвигателей	15140	15,7
	- доработки по бюллетеням	2644	2,7

Нормирование исправности парка каждого типа ЛА на прогнозируемый период ведется на основе анализа статистических данных за прошедший период исходя из требований обеспечения эффективности использования ЛА.

Предприятия во что бы то ни стало стремятся достичь установленный сверху уровень исправности. В ряде случаев (особенно для зимнего периода года) этот уровень оказывается необоснованно завышенным. Для достижения его требуются дополнительные материальные и трудовые затраты.

В новых условиях хозяйствования требуется иной подход к решению задачи нормирования. Суть его заключается в том, что назначенный для того или иного предприятия норматив исправности парка ЛА определенного типа должен быть не выше уровня, *потребного* для надежного выполнения запланированного налета на определенный период времени (квартал, месяц, неделя) при наименьших материальных и трудовых затратах на ТОиР. Другими словами, нормативы должны быть дифференцированными, учитывающими сезонные изменения объемов летной работы и конкретные условия деятельности предприятий (таблица 6.3, 6.4).

### Нормативы сезонной исправности воздушных судов (проценты)

таблица 6.3.

Тип воздушного судна	Месяцы		Среднегодовой процент исправности
	Январь, февраль, март, апрель, май, октябрь, ноябрь, декабрь	Июнь, июль, август, сентябрь	
В-767	90	90	90
А-310	90	90	90
RJ-85	90	90	90
Ил-86	40	35	38
Ил-76	55	55	55
Ил-62	65	75	68
Ту-154	50	60	53
Ан-12	70	75	72
Ан-24	70	75	72
Як-40	70	75	72

Нормативы Нахождения воздушных судов на техническом обслуживании  
(в %% от годового фонда времени)

Таблица 6.4

Тип воздушного судна	Простой на техобслуживании на год в целом	Простой по другим причинам (отсутствие двигателей, запчастей, доработки) на год в целом	По месяцам года			
			Январь, февраль, март, апрель, май, октябрь, ноябрь, декабрь		Июнь, июль, август, сентябрь	
			На техническом обслуживании	Простой по другим техническим причинам (ОТДВ, ОТЗП, доработки)	На техническом обслуживании	Простой по другим причинам (ОТДВ, ОТЗП, доработки)
В-767	8	2	8	2	8	2
А-310	8	2	8	2	8	2
RJ-85	8	2	8	2	8	2
Ил-86	15	47	16,5	43,5	12	53
Ил-62 Ил-76	13	19	13	22	13	12
Ту-154	20	25	20	25	20	25
Ан-12	15	32	15	35	15	25
Ан-24	12	16	12	18	12	13
Як-40	10	18	10	20	10	15
	12	16	12	18	12	13

## Глава 7. ПРОЦЕСС ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛА

### 7.1. СТРУКТУРА И МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА

Качество системы технической эксплуатации проявляется при ее функционировании. Функционирующая система представляет собой процесс технической эксплуатации ЛА, который удобно представить как последовательную во времени смену различных состояний эксплуатации в соответствии с принятой стратегией. К состояниям технической эксплуатации, через которые проходят ЛА, могут быть отнесены: использование по назначению (полет); различные виды и формы ТОиР; диагностирование; готовность к полетам; транспортирование; хранение и ожидание поступления ЛА в каждое из выделенных состояний эксплуатации.

Структура и характер процесса определяются принятой стратегией технической эксплуатации. В общем виде она представляет собой совокупность принципов и правил, обеспечивающих заданное управление процессом технической эксплуатации за счет поддержания наивыгоднейших режимов работы АТ и назначения работ по ТОиР в соответствии с фактическим техническим состоянием ЛА.

Основные закономерности процесса технической эксплуатации ЛА могут быть выявлены на основе анализа статистической информации, собранной на эксплуатационных предприятиях (в частности, на основе диспетчерских графиков).

Обозначим через  $t_1$  момент времени, соответствующий началу некоторого состояния процесса, и  $t_2$  — его концу. Очевидно, что интервал  $x = t_2 - t_1$  есть характеристика состояния, определяющая его продолжительность. Непосредственными измерениями легко убедиться в том, что  $x$  — случайная величина.

Весь процесс характеризуется конечным множеством  $\Delta$  своих состояний  $\delta_j$ , где  $j$  — порядковый номер состояния. Условимся, что состояния  $\delta_j$  процесса технической эксплуатации ЛА возникают последовательно и непрерывно, т. е. моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_N$  «сшиваются», образуя процесс. В каждый из них ЛА переходит из одного состояния в другое. Такие переходы осуществляются мгновенно, поэтому в качестве количественной характеристики можно рассматривать не время перехода в соседнее (смежное) состояние, а относительные частоты  $P_{jk}$  переходов ЛА из  $j$ -го состояния в  $k$ -е, где  $k \in \Delta$ . Для этого на достаточно большом фиксированном промежутке времени наблюдения  $T_H$  за процессом технической эксплуатации определим число  $n_j$  попаданий процесса в  $j$ -е состояние и подсчитаем число непосредственных (прямых) переходов  $n_{jk}$  из  $j$ -го в  $k$ -е состояние. Тогда  $P_{jk} = n_{jk} / n_j$ .

Указанным образом можно подсчитать частоты  $P_{jk}$  для каждого из состояний  $j$ ,  $k \in \Delta$  и составить матрицу частот переходов  $\|P_{jk}\| = P$ , которая будет определять структуру локального процесса технической эксплуатации ЛА. Для того чтобы эта матрица определяла структуру процесса парка ЛА, необходимо показать эргодичность данного процесса на участке времени наблюдения  $T_H$ . Известно, что стохастический процесс называется стационарным, если его вероятностные характеристики, в частности математическое ожидание, дисперсия и корреляционные моменты, не зависят от времени, в которое рассматривается этот процесс. Существенным условием стационарности при этом является независимость корреляционной функции  $B(t, t + \tau) = B(\tau)$  от момента времени  $t$ .

Эргодическим называется стохастический процесс, для которого с вероятностью единица среднее по времени равно среднему по реализациям. Стационарный процесс считается Эргодическим, если при  $t \rightarrow \infty$  нормированная корреляционная функция стремится к нулю.

Для процесса технической эксплуатации, обладающего свойствами эргодичности, в соответствии с матрицей  $\|P_{jk}\| = P$  определяем абсолютные

частоты  $l$ , попадания объекта в  $j$ -е состояние процесса за время  $T_H$ ,  $j \in \Delta$  :

$$n_j = n_j \left| \sum_{k=1}^N n_k \right.$$

где  $N$  — общее число состояний, наблюдаемых в интервале  $T_H$ .

Получив значения  $\pi$ , для всех  $N$  состояний, можно составить однострочковую таблицу частот  $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_k, \dots, \pi_N)$ , которая называется вложенным вектором — строкой частот состояний.

Совокупность матрицы  $P$  и вектора  $l$  определяет так называемую вложенную цепь процесса технической эксплуатации. Совокупность множеств  $\Delta$ ,  $\{x_j\}$ , матрицы  $\|P_{jk}\|$  и вектора  $\pi$  определяет весь рассматриваемый процесс технической эксплуатации ЛА и может служить его моделью. Работа модели представляется следующим образом. Первоначально процесс находится в некотором из состояний эксплуатации  $\delta_j \in D$  случайное время, распределенное по произвольному закону  $F_j(t)$ , затем с вероятностью  $P_{jk}$  мгновенно переходит в состояние  $\delta_k \in D$ , из которого он по аналогичной схеме регенерирует в следующие состояния.

Процесс технической эксплуатации ЛА обладает свойствами полумарковских процессов, так как выполняются следующие необходимые условия:

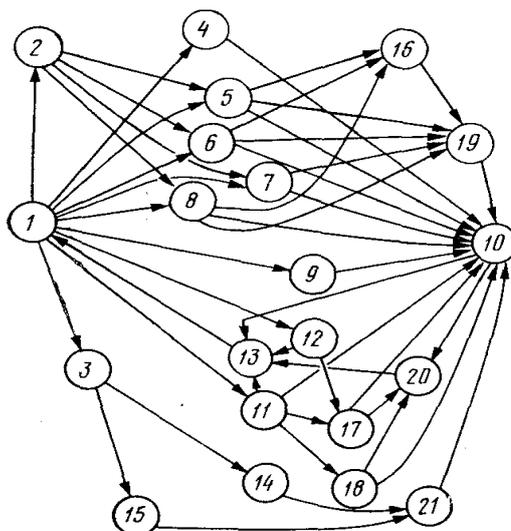


Рис 7.1. График состояний и переходов процесса технической эксплуатации ЛА:

1 — полет; 2 — ожидание периодического обслуживания; 3 — ожидание ремонта; 4, 5, 6, 7, 8 — периодическое обслуживание по формам 1, 2, 3, 4, 5 соответственно; 9 — смена двигателей; 10, 11, 12 — оперативное обслуживание перед вылетом, после прилета. транзитное; 13 — обеспечение вылета; 14, 15 — ремонтные формы 1 и 2 соответственно; 16 — доработки по бюллетеням; 17 — устранение неисправностей; 18 — ожидание запасных частей; 19, 20, 21 — готовность после периодического обслуживания, оперативного обслуживания и ремонтных форм соответственно.

Матрица переходов  $P$  удовлетворяет условиям стохастической или марковской матрицы, а вероятности  $P_{jk}$  зависят от состояний  $j$  и не зависят от более ранних состояний. Данная матрица — квадратная. Она имеет конечный порядок, все ее элементы неотрицательны ( $P_{jk} \geq 0$  для всех  $j$  и  $k$ ), а сумма элементов каждой ее строки равна единице:

$$\sum P_{jk} = 1$$

Такая матрица удовлетворяет условиям марковской матрицы; случайные величины  $x_j$  имеют произвольные функции распределения, используемые для описания процессов восстановления;

вектор  $\pi$  имеет только стационарные составляющие, так как процесс является стационарным и эргодичным на отрезке времени  $T_n$

Факт наличия полумарковости процесса технической эксплуатации дает основания при его исследовании использовать удобный для практики математический аппарат полумарковских процессов.

В работе удобно иметь дело с так называемым графом состояний и переходов  $G$ , который легко построить для каждого типа ЛА, воспользовавшись матрицей вероятностей переходов  $\|P_{jk}\|$ . Идея построения заключается в предварительном преобразовании матрицы  $P$  в матрицу  $P$  смежности вершин некоторого графа путем замены ее ненулевых элементов единицами. Ребро графа  $G$  определяется как элемент декартова произведения  $V * V$  множества его вершин  $V$  и считается, что это произведение задано матрицей  $P$ .

Обозначим на некоторой плоскости все элементы множества  $V$  вершин графа  $G$ , предполагая это множество конечным, и  $i$ -ю вершину из  $V$  соединим с  $k$ -н вершиной того же множества ребром  $E = \{jk\}$ , если элемент  $(j,k)$  в  $P$  равен единице. Ориентацию ребер выполним в направлении от  $j$ -и вершины к  $k$ -и. Если же элементы  $j, k$  и  $k, j$  существуют одновременно, то будем изображать на

плоскости два ориентированных ребра между соответствующими вершинами. В результате такого построения получим неразмеченный граф  $G$  процесса технической эксплуатации ЛА (рис.7.1).

Разметка ребер и вершин графа  $G$  выполняется с помощью матрицы вероятностей переходов  $P = ||P_{jk}||$  и вектора-строки стационарных вероятностей  $\pi$ .

## 7.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В зависимости от поставленных задач исследования процесс технической эксплуатации ЛА можно представить сколь угодно большим числом состояний. Все множество этих состояний, за исключением состояния «полет», можно разделить на несколько групп: состояния ожидания начала обслуживания и ремонта; непосредственного обслуживания и ремонта; готовности и др.

*Состояние «полет».* Время, которое проводит ЛА в полете по маршруту, определяется характеристиками: воздушной трассы (ее протяженностью, топологией, радиообеспечением, метеоусловиями и др.), аэропортов вылета и посадки (расписанием полетов, пропускной способностью и др.), ЛА (режимом полета, величиной коммерческой загрузки, запасом топлива и др.).

Воздействие указанных факторов на продолжительность полета в значительной мере случайно. В связи с этим время в полете  $X_i$  есть величина случайная. Результаты обработки статистических данных показывают, что распределение времени полета  $X_i$  по форме близко к нормальному с различными параметрами для разных маршрутов и типов ЛА.

Из физических предпосылок относительно свойств рассматриваемого состояния становится ясно, что среднее значение продолжительности полета по данному маршруту и дисперсия этого времени будут определяться значением скорости и условиями полета.

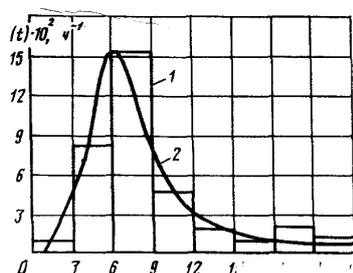
*Состояния ожидания начала обслуживания.* Простои ЛА в состоянии

ожидания начала технического обслуживания объясняются многими причинами и прежде всего отсутствием свободных обслуживающих бригад, недостатками в организации работ, изменениями планов воздушного движения и т. п. В этом случае вновь прибывший ЛА становится в очередь на обслуживание и находится в данном состоянии случайное время  $X_1$ , которое отсчитывается от момента посадки ЛА до начала его обслуживания освободившейся бригадой.

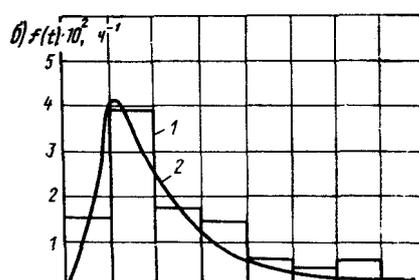
Результаты статистического анализа времени безусловного (независимого от видов и форм технического обслуживания) ожидания начала обслуживания ЛА показывают, что оно распределено по логарифмически нормальному закону с различными параметрами для разных типов ЛА.

*Состояния оперативного обслуживания.* Под оперативным техническим обслуживанием понимается обслуживание предполетное, послеполетное и при кратковременной стоянке. Состояния оперативного обслуживания являются наиболее часто посещаемыми состояниями процесса технической эксплуатации ЛА. Случайная величина времени обслуживания  $X_3$ , отсчитываемая между моментами начала и окончания обслуживания, содержит в себе постоянную и переменную составляющие. Постоянная составляющая определяется объемами стандартных регламентных работ, выполняемых на каждом ЛА, переменная

а)



б)



Примеры распределения продолжительности периодического технического обслуживания ЛА:

а—по форме 1; б—по форме 2; 1 — экспериментальные; 2 — теоретические

объемами работ по поиску и устранению повреждений и отказов элементов систем ЛА, возникших в полете. Естественно, что переменная составляющая характеризуется заметным непостоянством объемов работ, а следовательно, и продолжительности их выполнения на том или ином ЛА.

Результаты обработки статистических данных о продолжительности предполетного, послеполетного обслуживания, а также обслуживания при кратковременной стоянке показывают, что экспериментальные данные хорошо аппроксимируются альфа-распределением с различными параметрами для разных форм технического обслуживания и типов ЛА.

*Состояния периодического обслуживания.* При периодическом обслуживании на ЛА выполняется комплекс обязательных работ, связанных с дефектацией элементов конструкции планера, силовых установок и шасси, а также с осмотром и определением работоспособности функциональных систем и изделий. Кроме того, на ЛА выполняются работы по поиску и устранению обнаруженных отказов и повреждений изделий и элементов конструкции. Здесь так же, как и при оперативном обслуживании, налицо две составляющие объема работ — постоянная и переменная. Но в отличие от оперативного обслуживания доля переменной составляющей в общем объеме периодического обслуживания заметно падает. Постоянная составляющая определяется перечнем обязательных регламентных работ, выполняемых при той или иной форме обслуживания, оснащенностью АТБ средствами механизации, организацией выполнения работ, квалификацией персонала.

Статистической моделью распределения случайной величины  $X_4$  в состояниях периодического обслуживания по формам регламента может быть принято логарифмически нормальное распределение. Примеры распределения величины  $X_4$  приведены на рис. 7.2. Согласие между теоретическим и экспериментальным распределениями остается намного выше, чем для конкурирующего нормального распределения.

*Состояния ремонта.* Капитальный ремонт или ремонтные формы

характеризуются еще большим, чем при периодическом обслуживании, проникновением работ в конструкцию и системы ЛА. Все работы, начиная с обязательного демонтажа значительной части оборудования, выполняются по стандартным технологиям. При этом удельный вес работ, выполняемых по дефектации, в сравнении с периодическим обслуживанием существенно уменьшается. Обработка статистических данных о продолжительности выполнения ремонтных форм (ремонта)  $X_5$  показывает, что лучшей статистической моделью данной группы состояний процесса технической эксплуатации является гамма-распределение.

Учитывая, что среднее квадратическое отклонение случайной величины  $X_5$  по сравнению со средним значением невелико, можно пользоваться и другими законами распределения, в частности логарифмически нормальным. Однако гамма-распределение дает наиболее высокое согласие с экспериментальными данными.

*Состояния готовности к полетам.* После выполнения оперативного обслуживания ЛА в соответствии с матрицей переходов переводится либо в состояние полета, либо готовности.

В состояние готовности переводятся, как правило, все ЛА, на которых выполнялось периодическое обслуживание или ремонт. Результаты анализа свидетельствуют о том, что лучшей статистической моделью распределения случайной величины  $X_6$ , характеризующей продолжительность готовности после оперативного обслуживания, является распределение Вейбулла.

Случайная величина  $X_7$ , характеризующая продолжительность готовности после периодического обслуживания и ремонтных форм, наилучшим образом аппроксимируется гамма-распределением. Получены виды распределения продолжительности пребывания ЛА и в других состояниях, в частности в состояниях «отсутствие запасных частей» и «задержка вылета». Для этих состояний наиболее подходящей статистической моделью является экспоненциальное распределение.

## **Глава 8. СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

### **8.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТРАТЕГИЙ**

В общем случае стратегия представляет собой совокупность правил и управляющих воздействий, объединенных общей целью при решении задач крупной народнохозяйственной проблемы. Стратегия должна отражать прежде всего идеологическую направленность действий и принятую при этом концепцию. Исходя из этого применительно к понятию ТОиР АТ термин стратегия в самом общем виде может быть определен следующим образом.

*Стратегия* — совокупность принятых принципов, правил и управляющих воздействий, определяющих комплексное развитие эксплуатационных свойств конструкции АТ, методов организации и производственно-технической базы ее ТОиР. Данное определение стратегии отражает необходимость системного подхода к решению проблемы повышения эффективности ТОиР, нацеливает на совместные согласованные действия в рамках единой программы всех организаций и предприятий, создающих, эксплуатирующих и ремонтирующих АТ.

В соответствии с действующими стандартами различают следующие стратегии:

технического обслуживания по наработке, при которой перечень и периодичность выполнения операций определяются значением наработки изделия с начала эксплуатации или после капитального (среднего) ремонта;

технического обслуживания по состоянию, при которой перечень и периодичность выполнения операций определяются фактическим техническим состоянием изделия в момент начала технического обслуживания;

ремонта по наработке, при которой объем разборки изделия и дефектации его составных частей назначается единым для парка однотипных изделий в

зависимости от наработки с начала эксплуатации и (или) после капитального (среднего) ремонта, а перечень операций восстановления определяется с учетом результатов дефектации составных частей изделия;

ремонта по техническому состоянию, при которой перечень операций, в том числе разборки, определяется по результатам диагностирования изделия в момент начала ремонта, а также по данным о надежности этого изделия и однотипных изделий.

В качестве основного признака, характеризующего стратегии ТОиР объектов, целесообразно принять характер информации об их надежности и техническом состоянии, которая используется при назначении периодичности объема регламентных работ. Эту информацию можно разделить: по времени получения и использования на априорную (полученную до опыта) и апостериорную (полученную при проведении опыта); по источникам получения на информацию о совокупности объектов и об отдельном объекте. При этом под опытом понимается серийная эксплуатация объекта. Сочетания этих видов информации образуют четыре стратегии ТОиР.

Стратегии ТОиР по состоянию (стратегии по состоянию) существенно отличаются от стратегий обслуживания и ремонта по наработке (стратегии по наработке). Они заключаются не только в самом характере технологических процессов ТОиР, но и в распределении ресурсов, потребных на развитие производственно-технической базы, соответствующей требованиям той или иной стратегии. А требования эти к развитию базы разные.

Стратегия по состоянию предполагает обеспечение высокого уровня эксплуатационно-ремонтной технологичности конструкций, создание в достаточных объемах эффективных средств диагностирования и неразрушающего контроля, развитие производственно-технической и экспериментальной базы эксплуатационных и ремонтных предприятий гражданской авиации. Стратегия же по наработке предполагает развитие экспериментальной базы предприятий промышленности и обеспечение на этой основе обоснованных ресурсов до

ремонта для каждой совокупности однотипных объектов. От своевременного выбора соответствующей стратегии в решающей мере зависит своевременность и правильность выбора требуемой технической политики развития инженерно-авиационной службы отрасли на многие годы.

В зависимости от имеющихся возможностей определения предельного состояния работоспособности изделий в процессе эксплуатации и от принятого критерия для установления сроков их замен на ЛА различают следующие стратегии эксплуатации (использования): до выработки ресурса (срока службы); до отказа; до предотказового состояния.

Стратегии обслуживания и ремонта, естественно, связаны со стратегиями эксплуатации (использования) изделий АТ, . Для каждой из стратегий эксплуатации можно выбрать вполне определенные, отличающиеся наибольшей эффективностью стратегии ТОиР (обозначены знаком + ).

Из таблицы следует, что для стратегии эксплуатации изделий до выработки ресурса (срока службы) наиболее эффективной стратегией технического обслуживания будет, естественно, стратегия по наработке. При ремонте изделий возможны стратегии по наработке и по техническому состоянию, что зависит от вида изделий и уровня его контролепригодности при ремонте.

Если же для изделия принята стратегия эксплуатации до предотказового состояния, то необходимым и обязательным условием ее осуществления на практике является принятие стратегии обслуживания данного изделия по состоянию с контролем параметров и стратегии ремонта по техническому состоянию. Если же, наоборот, то или иное изделие обслуживается и ремонтируется с контролем параметров, то наиболее эффективной стратегией эксплуатации (использования) такого изделия окажется стратегия до предотказового состояния.

Соответственно для изделий, эксплуатируемых по стратегии до отказа, наиболее эффективными стратегиями ТОиР будут: при обслуживании — стратегия по состоянию с контролем уровня надежности, при ремонте возможны

стратегии по наработке и техническому состоянию. Отсюда следует, что отдельные изделия, установленные на современных самолетах, можно эксплуатировать, обслуживать и ремонтировать, как правило, только по одной из указанных стратегий. Для функциональных систем и самолета в целом наиболее вероятно применение всех, указанных в табл. стратегий эксплуатации или так называемой смешанной стратегии.

Таблица 8.1.

### Стратегии ТОиР

Характер информации	Априорная	Апостериорная
О совокупности объектов	По наработке	По состоянию с контролем уровня надежности
Об отдельном объекте	По наработке, установленной для отдельного объекта	По состоянию с контролем параметров,

Таблица 8.2.

### Взаимосвязь стратегий эксплуатации и ТОиР

Стратегия ТОиР	Стратегия эксплуатации (использования)		
	до выработки ресурса (срока службы)	до предотказового состояния	до отказа
<b>Техническое обслуживание</b>			
По наработке	+	—	—
По состоянию с контролем параметров	—	+	—
По состоянию с контролем уровня надежности	—	—	+
<b>Ремонт</b>			
По наработке	+	—	+
По техническому состоянию	+	+	+

## **8.2. СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ С КОНТРОЛЕМ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ**

К характерным особенностям стратегии обслуживания с контролем уровня надежности можно отнести следующие. Каждое из изделий при этой стратегии эксплуатируется (используется) до отказа. Межремонтных ресурсов для этих изделий не устанавливается. Техническое обслуживание каждого конкретного изделия заключается в выполнении необходимого объема работ по регулировке, калибровке, обнаружению возникших отказов и неисправностей и их устранению. Для конструктивно сложных изделий может оказаться целесообразным выполнять замену некоторых из их составных частей по наработке, если она возможна без необходимости разборки изделия в стационарных условиях. Применительно ко всему парку однотипных изделий осуществляется контроль уровня надежности. В случаях когда фактический уровень надежности того или иного типа изделий ниже нормативного, проводится тщательный анализ причин отклонения и осуществляются мероприятия по его повышению.

Внедрение технического обслуживания изделий с контролем уровня надежности предполагает решение ряда организационных и технических задач, в том числе: организацию оперативного сбора и обработки информации о надежности, позволяющую определять фактические уровни надежности эксплуатируемых типов изделий; разработку метода установления нормативных значений уровней надежности для каждого типа изделий; организацию оперативного сравнения фактического уровня надежности с нормативным и выполнение анализа возможных последствий; создание комиссии для принятия решений о возможности продолжения эксплуатации изделий того или иного типа до отказа и разработки мероприятий по поддержанию уровня их надежности. Такими мероприятиями могут явиться: назначение дополнительных работ по ТОиР; изменение периодичности контроля надежности; изменение условий или

режимов эксплуатации; выполнение конструкторских доработок; переход на стратегию ТОиР по наработке.

Важной особенностью стратегии обслуживания с контролем уровня надежности является ее исследовательская направленность, ориентирующая авиапредприятия на регулярную оценку пригодности самолета к безопасной и экономичной эксплуатации. На основании полученных оценок осуществляется единственный для этой стратегии способ управления надежностью путем реализации мероприятий, оказывающих воздействие на весь парк эксплуатируемых изделий данного типа.

Область применения данной стратегии обслуживания целесообразно ограничить изделиями: отказы которых не влияют на безопасность полета, что устанавливается на основании анализа надежности систем при выборе и назначении стратегий технического обслуживания; для которых имеет место экспоненциальное распределение вероятности безотказной работы; надежность которых позволяет обеспечить выполнение требований по регулярности полетов и экономической эффективности процесса технической эксплуатации самолета; обладающими высокой эксплуатационной технологичностью, в том числе легкоъемкостью, доступностью, взаимозаменяемостью; затраты на эксплуатацию которых до отказа (при обслуживании с контролем уровня надежности) не превышают затрат на планово-профилактическое техническое обслуживание; имеющими индикацию отказов бортовыми или наземными средствами контроля с минимальными трудовыми затратами в заданное время.

Стратегия технического обслуживания по состоянию с контролем уровня надежности получила наиболее широкое применение для изделий функциональных систем самолетов, в частности для систем кондиционирования воздуха и регулирования давления, противообледенительной, гидравлической и топливной систем, агрегатов силовой установки. Вместе с тем на практике применение данной стратегии технического обслуживания в ряде случаев еще ограничено возможностью решения организационно-технических задач с учетом

особенностей эксплуатационных предприятий (наличие ЭВМ и обученного персонала,; возможность организации оперативного сбора информации по надежности для совокупности однотипных изделий и др.). При условии снятия этих ограничений целесообразность применения стратегии технического обслуживания с контролем уровня надежности для изделий систем должна определяться с учетом возможности получения экономического эффекта при эксплуатации парка самолетов.

Контроль уровня надежности совокупности однотипных изделий осуществляется статистическими методами. Данным видом контроля охватывается, как правило, большинство агрегатов и узлов независимо от применяемой к ним стратегии ТОиР. Однако только для стратегии технического обслуживания с контролем уровня надежности этот вид контроля является основным механизмом в управлении надежностью изделий.

При данной стратегии обслуживания критерием технического состояния совокупности однотипных изделий систем самолетов является уровень надежности, выражаемый соответствующим показателем. Такой показатель должен нести максимум информации о техническом состоянии изделий, быть удобным для проведения оперативного сравнительного анализа, а также быть критичным к изменениям процесса технической эксплуатации парка самолетов (изменению условий эксплуатации, уровню восстановления функциональных систем). Наиболее полно таким требованиям в условиях эксплуатации АТ отвечают следующие показатели: параметр потока отказов ( $\lambda$ ) и число отказов изделий, приходящихся на 1000 ч налета  $K_{1000}$ .

Требования к информации по надежности предусматривают разработку номенклатуры исходной информации, форм ее представления, организационных форм сбора с указанием места получения и ответственных лиц. Существующая в настоящее время система сбора и учета информации о надежности АТ является еще недостаточно оперативной и не обеспечивает необходимую полноту и достоверность информации для решения поставленных задач. Изучение

зарубежных материалов и отечественной практики контроля уровня надежности изделий АТ позволяет определить номенклатуру исходной информации, которая должна содержать следующие сведения: число изделий в системе; вид отказа; место проявления; причину проявления; последствия, число отказов, выявленных за контрольный период времени; налет наблюдаемой совокупности изделий за контрольный период времени; данные о задержках вылета за контрольный период времени; стоимость замены изделия, стоимость профилактического обслуживания и ремонта.

Для обработки исходной информации используются известные методы математической статистики: оценка параметров распределения по выборке (методы максимального правдоподобия, моментов, разделяющих разбиений); проверка статистических гипотез о законе распределения наработки до отказа и др. При этом учитывается переменность парка (изменяющийся объем выборки). В ряде случаев дополнительно к информации о надежности всей совокупности изделий используется информация о техническом состоянии их отдельных образцов с наибольшей наработкой. Образцы изделий, имеющие наибольшую наработку, периодически снимают с самолетов, полностью разбирают и подвергают всесторонним исследованиям технического состояния. Цель этих мер — заблаговременно выявить слабые места конструкции изделия и предупредить приближение предотказового состояния.

Особое место при применении стратегии технического обслуживания с контролем уровня надежности занимает выбор и назначение нормативного (допустимого) уровня надежности  $R_{\text{доп}}$  который устанавливается для каждого типа изделия с учетом стоимостных затрат на техническое обслуживание и ремонт и зависит от парка контролируемых самолетов (объема выборки). Задача определения  $R_{\text{доп}}$  решается с учетом обеспечения эффективности использования авиационной техники по критерию минимальных затрат  $C = f(R_{\text{доп}})$ .

Фактический уровень надежности изделий  $R_{\text{ф}}$  определяется в соответствии с выбранным показателем надежности. При использовании таких показателей, как

параметр потока отказов  $\omega$  и число отказов, приходящихся на 1000 ч налета  $K_{1000}$ , рекомендуется следующий способ контроля уровня надежности.

В качестве исходной информации служат: наблюдаемое число отказов изделий систем самолетов при эксплуатации  $n_{\phi}$ ; налет парка самолетов, находящихся под наблюдением  $T$ ; число однотипных изделий на самолете  $a$ , уровень надежности которых контролируется.

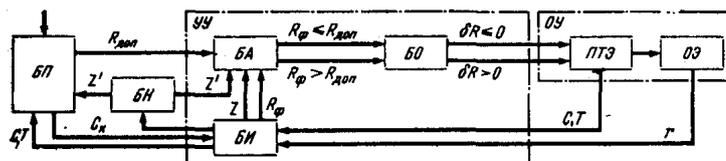


Схема управления процессом технической эксплуатации однотипных изделий при применении стратегии обслуживания с контролем уровня надежности

Рис. 8.1.

Уровень надежности совокупности однотипных изделий контролируют путем сравнения наблюдаемого числа отказов  $n_{\phi}$  с верхней границей регулирования (ВГР), представляющей собой допустимое число отказов. Наблюдаемое число отказов в определенные интервалы времени имеет случайный характер от нуля до ВГР. Значение ВГР определяется с использованием распределения Пуассона:

$$P_{зад} = \sum_{n=0}^{n=ВГР} \frac{(\omega_{пл} T a)^n}{n!} e^{-\omega_{пл} T a}$$

где  $P_{зад}$  — принятое значение вероятности;  $\omega_{пл}$  — плановое значение параметра потока отказов, представляющее собой запланированный уровень надежности.

Для определения ВГР требуется знать значение  $P_{зад}$  — вероятности того, что случайное число отказов не превысит верхней границы. Оно обычно устанавливается исходя из экономических соображений. Наличие на современных самолетах различных видов резервирования отдельных изделий и функциональных систем не исключает необходимости своевременного

устранения отказов. В зарубежной практике, например, для определения ВГР принимают  $R_{зад} = 0,975$ . Это означает, что случайный выброс за верхнюю границу может произойти с вероятностью 0,025, что считается маловероятным, и поэтому в случае превышения наблюдаемым числом отказов ВГР предполагается наличие неслучайных причин. Для их устранения требуется разработать и осуществить конкретные мероприятия. Таким образом, если число отказов (замен) изделий за контрольный период превышает верхнюю границу, то это служит сигналом о снижении их надежности.

Кроме того, определяется тенденция изменения показателя надежности, вычисленного для контрольного периода заданной длительности, включающего текущий месяц. Контрольный период (месяц, квартал, год) является скользящим и ежемесячно смещается. Для анализа полученной последовательности используется регрессионный анализ.

Из схемы управления процессом технической эксплуатации совокупности однотипных изделий при применении стратегии технического обслуживания по состоянию с контролем уровня надежности (рис.8.1) следует, что объектом управления (*ОУ*) является сам объект эксплуатации (*ОЭ*), представленный совокупностью.-однотипных изделий функциональных систем самолетов, и процесс их технической эксплуатации (*ПТЭ*). Информация о надежности изделий  $z$  поступает в блок обработки информации (*Б И*), где происходит вычисление статистических характеристик надежности, определение фактического уровня надежности  $R_{ф}$ , накопление качественной и количественной информации по отказам  $Z$ , информации о наработке объектов  $T$  и экономических показателях  $C$ .

Обработанная информация поступает в блок анализа (*БА*). Там происходит сравнение количественных характеристик надежности  $R_{ф}$  с допустимыми значениями уровня  $R_{доп}$ , а также анализ качественной информации по отказам (вид отказа, место проявления, последствия) с накопленной информацией за предшествующие периоды эксплуатации  $Z'$ , поступающей из блока памяти (*БП*). Блок анализа направляет результаты анализа в оперативный блок (*БО*), где они

преобразуются в команды управления, воздействующие непосредственно на процесс технической эксплуатации, а через него на объект эксплуатации (совокупность однотипных изделий).

Результатом анализа информации является заключением о том, находится ли фактический уровень надежности в поле допуска. Если  $R_{\phi} \leq R_{\text{доп}}$ , то оператор вырабатывает команду на продолжение эксплуатации с контролем уровня надежности ( $\delta R \leq 0$ ). Если же  $R_{\phi} \gg R_{\text{доп}}$ , то в блоке анализа происходит анализ информации  $Z$ , и оператор вырабатывает команду на изменение процесса эксплуатации ( $\delta R > 0$ ), а также мероприятия по дальнейшей эксплуатации: назначение дополнительных работ по техническому обслуживанию; изменение периодичности контроля надежности; изменение условий эксплуатации; выполнение конструкторских доработок; временный переход на стратегию обслуживания и ремонта по наработке.

Программный блок (БП) служит для формирования допустимого уровня надежности  $R_{\text{доп}}$  в зависимости от характеристик наработки  $T$  и экономических показателей  $C$  и в свою очередь формирует для блока обработки информации необходимые требования для статистического контроля  $C_k$  по объему выборки и периодичности контроля.

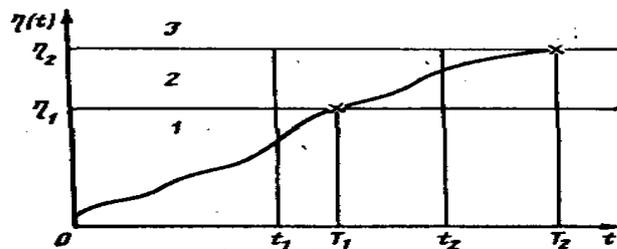
Программный блок, блок обработки информации, блок анализа, оперативный блок представляют единую автоматизированную систему обработки информации по управлению технической эксплуатацией совокупности однотипных изделий. При внедрении стратегии обслуживания с контролем уровня надежности представляется возможным ограничиться отдельным набором программ ЭВМ с привлечением инженерного анализа для качественной оценки технического состояния изделий. При этом принятие решения и выдача команд должны осуществляться ответственными должностными лицами.

Плановые значения показателей надежности  $\omega_{\text{пл}}$  или  $K_{1000}$  определяются в предприятиях предварительно на контрольный период для каждого типа изделия, исходя из требований обеспечения эффективности ПТЭ ЛА.

### 8.3. СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПО СОСТОЯНИЮ С КОНТРОЛЕМ ПАРАМЕТРОВ

Стратегия ТОиР по состоянию с контролем параметров представляет собой совокупность правил по определению режимов и регламента диагностирования изделий и принятию решений о необходимости их обслуживания, замены или ремонта на основе информации о фактическом техническом состоянии. При данной стратегии ТОиР изделия и системы самолета эксплуатируются до предотказового состояния.

Для выявления предотказового состояния изделий может использоваться принцип назначения упреждающих допусков на диагностические параметры. При этом под упреждающим допуском понимают совокупность значений параметров, заключенных между предельным  $\eta_2$  и предотказовым  $\eta_1$  уровнями параметра. Выход параметра за предельный уровень означает отказ. Достижение предотказового уровня означает необходимость выполнения профилактических работ или замены изделий (рис.8.2).



Принцип назначения упреждающих допусков:  
1 — область исправного и работоспособного состояния; 2 — область неисправного, но работоспособного состояния; 3 — область неисправного и неработоспособного состояния;  $t_1$  и  $t_2$  — моменты первой и второй проверок;  $T_1$  и  $T_2$  — моменты пересечения реализацией случайного процесса  $\eta(t)$  уровнями  $\eta_1$  и  $\eta_2$

Рис.8.2

Реализация стратегий ТОиР по состоянию с контролем параметров требует установления количественных связей между значениями упреждающих допусков  $\Delta\eta = \eta_2 - \eta_1$  на каждый из контролируемых параметров изделия и периодичностью их проверок  $\Delta t = t_2 - t_1$ . Очевидно, что при заданных случайном

процессе  $\eta(t)$ , предельном уровне  $\Delta\eta$  и допустимой вероятности отказа каждому фиксированному значению упреждающего допуска  $\Delta t$  соответствует конкретная величина периодичности проверок  $\Delta t$ . При этом чем больше эти величины, тем меньше затраты на проверки (реже проверки) и больше затраты на замену и ремонт (чаще замены), и наоборот. Оптимальный вариант выбирается из условия обеспечения минимальных суммарных удельных затрат  $C_{\min}$  на проверку, замену и ремонт изделия. Для каждого из изделий находятся функции вида  $C = f(\Delta t)$ , которые используются при решении задачи группировки операций технического обслуживания, в том числе и операций диагностирования, в оптимальные формы регламента для ЛА в целом. Область применения стратегии обслуживания и ремонта с контролем параметров целесообразно ограничить системами и изделиями, которые по соображениям безопасности полетов не могут быть допущены к эксплуатации до отказа, а по экономическим соображениям — к эксплуатации до выработки установленного межремонтного ресурса. К ним относятся дорогостоящие системы и изделия с высокой функциональной значимостью, имеющие недостаточную степень резервирования и вместе с тем обладающие высоким уровнем эксплуатационной технологичности и контролепригодности.

Оперативный контроль технического состояния должен обеспечивать: сигнализацию о наличии отказа, о работоспособном состоянии, о необходимости проведения предупредительных работ для обеспечения экстремума выбранного критерия качества; краткосрочное прогнозирование работоспособности на заданный интервал времени в случае сигнализации о необходимости проведения предупредительных работ; поиск съемного функционального элемента, подлежащего замене; оценку технического состояния изделий в интересах сбора информации об их поведении.

Степень применения технического диагностирования определяет глубину и качество оценки технического состояния изделий, а значит, правильность и эффективность принимаемых решений и самой стратегии. Традиционный и

наиболее распространенный подход к определению технического состояния состоит в том, что выбирается некоторая совокупность параметров, проводятся измерения, результаты которых сравниваются с заданными границами области работоспособности. При выполнении условий принадлежности каждого из параметров заданной для него области принимается решение о работоспособности изделия. Если хотя бы для одного из параметров это условие не соблюдается, то объект признается неработоспособным.

При внешней простоте такого подхода его реализация наталкивается на ряд существенных трудностей. Это относится прежде всего к выбору совокупности параметров и определению областей работоспособности для каждого из выбранных параметров. Значительные трудности возникают и при аппаратурной реализации данной стратегии, обусловленные необходимостью применения большого числа разнородных первичных преобразователей и коммутаторов.

Характерная особенность рассматриваемой стратегии ТОиР — отсутствие межремонтных ресурсов изделий. Решение о продолжении эксплуатации до следующей проверки или о необходимости замены (регулировки) изделия принимается по результатам непрерывного (рис.8.3.а) или периодического (рис.8.3.б) контроля параметров, определяющих техническое состояние.

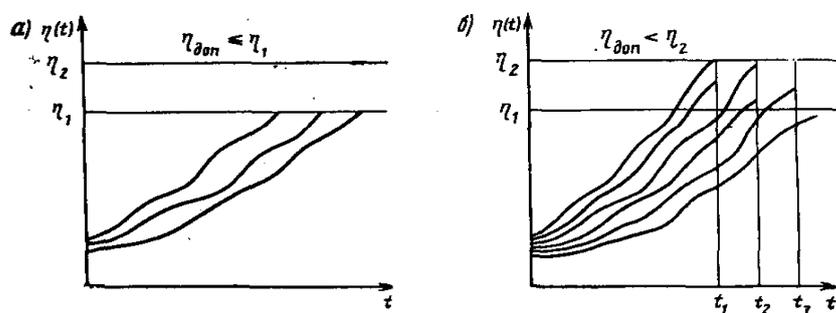
Необходимые условия для применения стратегии ТОиР по состоянию с контролем параметров вытекают из требований по безопасности полетов, регулярности отправок и экономичности эксплуатации (рис.8.4).

Безопасность полетов достигается в результате обеспечения заданного уровня безотказности конструкций повышенной живучести, оценки и прогнозирования уровня работоспособности при эксплуатации, обнаружения отказов и неисправностей на ранних стадиях их развития, индикации отказов и предотказовых состояний, использования методов и средств технического диагностирования.

Регулярность отправок достигается за счет быстрого обнаружения возникших отказов и неисправностей, создания потребных уровней

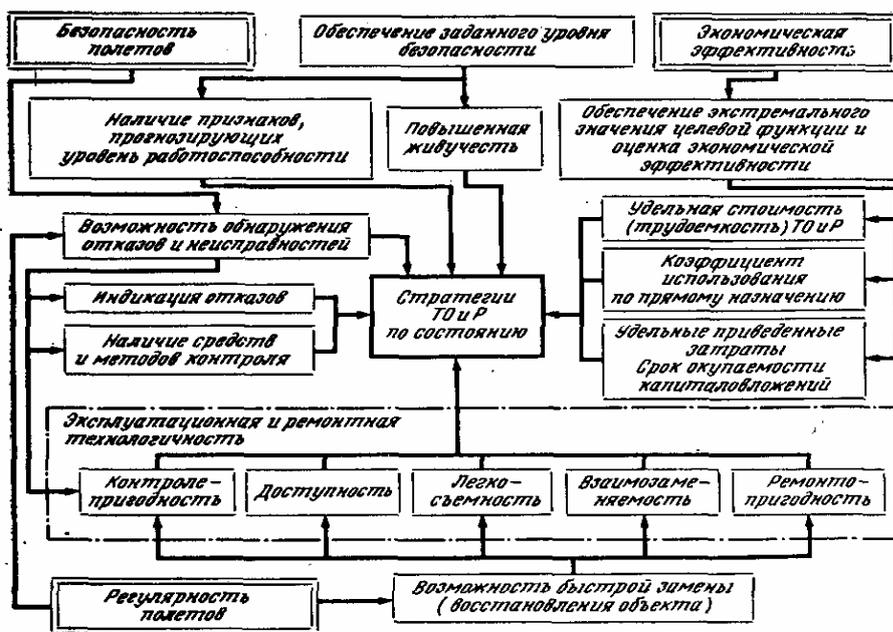
эксплуатационной технологичности (контролепригодности, доступности, легкосъемности, взаимозаменяемости), позволяющих оперативно восстановить работоспособность системы или изделия.

Экономическая эффективность эксплуатации достигается выбором оптимальной стратегии ТОиР, обеспечивающей экстремальные значения целевой функции (минимум удельной стоимости ТОиР и максимум коэффициента использования самолета) при заданном уровне надежности функциональных систем и изделий.



Взаимосвязь стратегий обслуживания по состоянию с непрерывным (а) и периодическим (б) контролем параметров с допусками на диагностические параметры  $\eta_1$  и  $\eta_2$ :  $\eta_{дон}$  — допустимое значение параметра;  $t_1, t_2, t_3$  — моменты проверок

Рис 8.3



Необходимые условия для применения стратегии ТОиР по состоянию

Рис. 8.4

## Глава 9. ПРОГРАММЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

### 9.1. СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ.

Эффективность использования АТ во многом зависит от совершенства применяемых стратегий и программ эксплуатации. В условиях непрерывного увеличения объемов авиационных перевозок, усложнения конструкций ЛА, повышения требований к интенсивности их использования влияние применяемых программ на эффективность эксплуатации становится все более заметным и ощутимым.

Структура программы эксплуатации ЛА определяется в соответствии с иерархической структурой авиационно-транспортной системы (рис.9.1). Цели программы каждого из уровней определяются по принципу иерархии, отражающему внутренние взаимосвязи и соподчинения в виде ярусов целей. Высшему ярусу подчинены цели первого яруса, первому ярусу — цели второго и т. д.

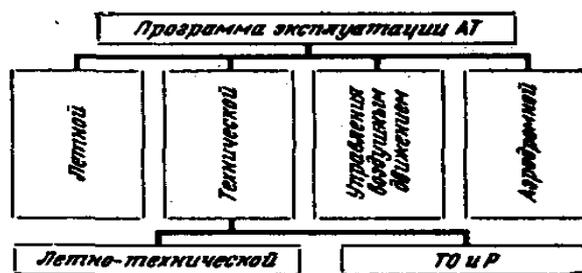


Рис. 9.1. Структура программы эксплуатации АТ

Программа ТОиР — составная часть программы технической эксплуатации, которая в свою очередь является частью программы эксплуатации ЛА. При формировании программы ТОиР конкретного типа ЛА учитываются как цели и

имеющиеся ресурсы на вышестоящих уровнях, так и непосредственные целевые задачи технической эксплуатации, часть из которых реализуется системой ТОиР. Проведенные исследования убедительно показывают, что с внедрением новых, более совершенных программ ТОиР повышается надежность работы ЛА, регулярность их полетов при одновременном существенном сокращении расходов на ТОиР.

Совершенство программы обслуживания и ремонта определяется тем, насколько полно она обеспечивает соответствие процесса технической эксплуатации объективно существующему процессу изменения технического состояния объекта.

Традиционная программа, основанная на выполнении фиксированных объемов профилактических работ через заранее запланированные интервалы времени или наработки на всем однотипном парке ЛА независимо от технического состояния их систем и изделий, как известно, обеспечивает слабое взаимодействие между состояниями объекта и состояниями процесса его эксплуатации. Доказано, что более тесную связь между состояниями объекта и процесса его эксплуатации обеспечивает программа ТОиР по состоянию. Главная особенность такой программы заключается в том, что состояния процесса эксплуатации изделий и объемы работ по обслуживанию и ремонту здесь назначаются в соответствии с возникающими у них техническими состояниями.

Успешная разработка таких программ зависит от согласованных действий всех организаций и предприятий, создающих, эксплуатирующих и ремонтирующих АТ на всех этапах ее жизненного цикла. Работу по обеспечению приспособленности конструкции каждого нового типа самолета к прогрессивным стратегиям ТОиР и разработку самих стратегий рекомендуется выполнять одновременно по единым требованиям, единому плану в рамках соответствующих взаимосвязанных программ. Ими должны стать программы обеспечения безопасности полетов, надежности (безотказности), эксплуатационной технологичности и программа ТОиР самолета. Программа ТОиР представляет собой документ,

устанавливающий стратегии, количественные и качественные характеристики видов ТОиР, порядок их корректировки в процессе эксплуатации.

Рассматривая программу ТОиР как «организм», живущий во времени и пространстве, можно представить ее в трехмерном пространстве, где направление вектора — цель программы, а его значение — показатели эффективности. При этом из всего множества признаков, определяющих программу, выбираются только те, которые действуют в течение длительного периода эксплуатации ЛА. К ним относятся: стратегии, режимы ТОиР, конструктивные особенности летательных аппаратов.

Программа ТОиР ЛА в целом рассматривается как совокупность программ более низкого уровня. В зависимости от применяемых стратегий различают программы ТОиР по наработке, по состоянию с контролем параметров, по состоянию с контролем уровня надежности.

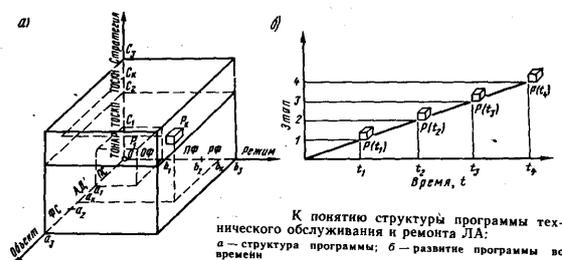
По признаку применяемых режимов ТОиР различают программы по оперативным, периодическим и ремонтным формам. С учетом конструктивных особенностей составных частей ЛА следует различать программы ТОиР планера, двигателя, функциональных систем (гидравлическая топливная, управления и др.).

Графическая интерпретация структуры программы ТоиР приведена на рис. 9.2,а. По осям декартовой прямоугольной системы координат представлены переменные:

по оси абсцисс – режимы ТоиР: оперативные формы (ОФ), периодические (ПФ), ремонтные (РФ);

по оси ординат- стратегии ОТиР: по наработке (НАР), по состоянию с контролем параметров(КП), по состоянию с контролем уровня надежности (КУН);

по оси аппликат- составные части объекта: планер самолета (ПС),



авиадвигатель (АД), функциональные системы (ФС).

Рассмотрим несколько примеров программ различного уровня. Параллелепипед  $P$  представляет, например, элементарную программу с координатами  $a_k, c_k, b_k$ , означающими, что это программа выполнения ремонтной формы для элемента двигателя, обслуживаемого по состоянию с контролем уровня надежности. Параллелепипед с вершиной  $P_1$  и координатами  $a_1, c_1, b_1$ , представляет собой программу оперативного обслуживания по наработке элементов планера самолета.

Сформированная первоначально на этапе проектирования ЛА программа ТОиР в дальнейшем уточняется и совершенствуется. Схема развития программы приведена на рис. 9.2,б.

Оценку программы рекомендуется проводить на этапах:

- 1 — аванпроекта  $P(t_1)$ ;
- 2 — макета  $P(t_2)$ ;
- 3 — заводских испытаний  $P(t_3)$ ;
- 4 — государственных и эксплуатационных испытаний  $P(t_1)$

В дальнейшем программа подлежит корректировке уже на этапах регулярной эксплуатации ЛА. На различных этапах в программе может изменяться доля различных стратегий и режимов ТОиР элементов конструкции ЛА.

## **9.2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ, ОФОРМЛЯЕМАЯ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ АТ**

Документальное оформление выполняемых работ при техническом обслуживании производится в картах-нарядах, нарядах на дефектацию, пооперационных ведомостях, а учет простоев и задержек вылетов ЛА, разборов работы технического состава и других мероприятий — в специальных журналах.

*Карта-наряд* включает в себя задание на выполнение работ, перечень обслуживаемых систем и дополнительных работ, которые не предусмотрены

регламентом. В действие введены следующие три формы карт-нарядов на ЛА: на оперативное, на периодическое ТО, а также на оказание технической помощи при обслуживании ЛА иностранных авиационных компаний.

Для учета выполнения доработок и разовых осмотров АТ на АТБ заводится журнал. Если работы по бюллетеню выполняются представителями завода-изготовителя, то ими составляется технический акт в трех экземплярах за подписями лиц, ответственных за доработку, и начальника ОТК АТБ. Один экземпляр акта прикладывается к карте-наряду на ТО, в процессе которого выполнялась доработка, а два экземпляра передаются представителю завода-изготовителя. О выполнении доработок АТ производятся записи в формулярах ЛА (двигателей), паспортах приборов (агрегатов). Отметки о выполнении доработок в журнале производятся на основании графика оперативного учета доработок и разовых осмотров АТ.

В производственных цехах и участках АТБ ведется журнал *приемопередачи смен*, в котором указываются общие сведения о техническом состоянии передаваемой АТ. Случаи задержки вылетов, повреждений и предпосылок к авиационным происшествиям, которые произошли по техническим причинам, учитываются в специальном журнале по соответствующим актам расследования. Для накопления данных и проведения анализа для улучшения планирования и разработки мероприятий по совершенствованию производственного процесса на АТБ ведется *журнал учета простоев* АТ. Процесс технической эксплуатации ЛА сопровождается различными организационными мероприятиями, для учета которых также ведутся отдельные журналы.

Для обобщения опыта ТО ЛА руководящий состав ИАС проводит технические разборы с ИТС. Содержание разборов и принятые меры регистрируются в *журнале учета разборов технического состава*. Учет изучения ИТС АТБ поступающих документов по вопросам технической эксплуатации АТ ведется в журналах цехов, участков, отделов. Изменение технического и ресурсного состояния АТ в процессе эксплуатации сопровождается оформлением

документации (актами), предусмотренной действующими в гражданской авиации положениями и инструкциями.

В случае повреждения АТ принимаются необходимые меры по ее своевременному и качественному восстановлению и вводу в строй, руководствуясь при этом Положением о порядке восстановления поврежденных самолетов и вертолетов ГА. Восстановление поврежденной АТ может производиться в базовом аэропорту, в промежуточных и конечных аэропортах, в полевых условиях (полевой ремонт) или в заводских условиях. Основанием для выполнения восстановительного ремонта в условиях эксплуатационного предприятия являются акты комиссии по расследованию повреждений или инцидентов, в результате которых произошло повреждение ЛА, при условии, что ремонтные работы будут выполняться по действующим технологиям и чертежам.

Списание АТ сопровождается составлением технического акта, которое производится комиссией предприятия ГА. Авиапредприятиям при необходимости разрешается продлевать ресурсы (сроки службы) АТ до первого ремонта и межремонтные в порядке и пределах, установленных инструкцией МГА. Продление ресурсов ЛА и двигателям производится комиссией под председательством начальника или главного инженера АТБ. Комиссия производит проверку: технической документации по записям в ней — полноту выполнения доработок, регламентных работ, осмотров конструкции; технического состояния АТ; комплектности ЛА и двигателя и соответствия их формулярам и паспортам. ЛА (двигатель) обслуживается в объеме очередной формы ТО, устраняются все неисправности и выполняются другие необходимые дополнительные работы, после чего оформляется *технический акт на продление ресурса*, который утверждает главный инженер УГА. На основании акта ПДО вносит запись в формуляр ЛА (двигателя) о продлении ресурса (срока службы) за подписью председателя комиссии. Акт прикладывают к карте-наряду на ТО, при котором проводилось продление ресурса.

Продление ресурса (срока службы) комплектующим изделиям производится под руководством главного инженера или его заместителей без составления акта. Проверяется документация изделия, его техническое состояние и работоспособность. О продлении ресурса делают запись в *журнале учета продления ресурсов* и формуляре (паспорте) изделия.

Для предъявления претензий поставщикам и восстановления вышедшей из строя ранее истечения гарантийных сроков АТ составляют *рекламационные акты* в случаях несоответствия требованиям стандартов технических условий и договоров поставляемой АТ, тары, упаковки, консервации и маркировки, а также выхода из строя этой техники до истечения гарантийных сроков по причинам, исключаящим вину эксплуатирующих организаций при ее хранении и эксплуатации. В процессе эксплуатации ЛА могут передаваться от завода-изготовителя на эксплуатационное предприятие, от одного авиапредприятия другому, на ремонтное предприятие и обратно. Во всех случаях передача ЛА оформляется *приемо-сдаточными актами*, а также, при необходимости, актами на облет ЛА и выполнение на нем дополнительных работ.

## **Глава 10. КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

### **10.1. ОРГАНИЗАЦИЯ И ВИДЫ КОНТРОЛЯ**

В гражданской авиации существует достаточно сложная по структуре система контроля технического состояния АТ. Контроль может выполняться в наземных условиях: при подготовке к полету, выполнении различных форм ТО и при текущем ремонте, в полете членами экипажа и имеющимися на борту автоматическими устройствами (рис. 10.1).

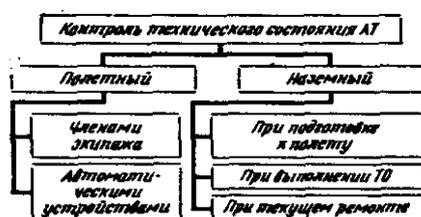
Контроль технического состояния (ТС) ЛА организуется и осуществляется в соответствии с государственными стандартами РУз, а также инструкциями, действующими в гражданской авиации, и требованиями руководства по технической эксплуатации ЛА (РТЭ).

Техническое состояние при этом понимается как совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств ЛА, характеризующихся в определенный момент времени признаками, установленными нормативно-технической документацией на данный тип ЛА. Признаками ТС могут быть определенные значения количественных и качественных характеристик свойств ЛА, для которых определены допустимые области существования. В зависимости от фактических значений этих признаков различают следующие виды технического состояния ЛА: исправное, работоспособное, неисправное, правильное функционирование, неправильное функционирование.

Следует всегда помнить, что в гражданской авиации к исправному состоянию ЛА предъявляются особые требования. Так, в соответствии с НТЭРАТ ГА ЛА считается исправным, если выполнены следующие условия: планер, двигатели и комплектующие изделия имеют остаток ресурса и срока службы, полностью укомплектованы согласно перечню пономерной документации (формулярах,

бортовых журана-лах и др.); на ЛА выполнено очередное ТО, предусмотренное регламентом, устранены все отказы и неисправности, их последствия; оформлена производственно-техническая и пономерная документация; исправность ЛА подтверждена подписями соответствующих должностных лиц в карте-наряде.

Существует определенная система и порядок контроля АТ и качества ТО. На АТБ он возлагается на должностных лиц, предусмотренных эксплуатационной документацией, указаниями НАК «Узбекистон хаво йуллари» руководителей авиапредприятий, начальников АТБ. Осуществляется контроль (рис. 10.1) при использовании ЛА по назначению, т. е. в полете, при их техническом обслуживании, при специальных видах осмотров и контрольных полетах. Контроль необходим также при передаче АТ между сменами ИТС в АТБ с незаконченными работами. В каждой АТБ имеется отдел технического контроля (ОТК), на который возложена ответственность за организацию и проведение контроля состояния АТ и качество ее ТО.



Виды контроля АТ

Рис. 10.1

Деятельность ОТК определяется Типовым положением об авиационно-технической базе авиапредприятия. Должностные лица, обеспечивающие контроль АТ, как и исполнители работ, несут ответственность за качество подготовки ЛА к полету, качество проведенного ТО и устранение обнаруженных при этом неисправностей и отказов. При этом уделяется внимание и дефектам, которые могут внести исполнители при выполнении работы.

К объекту эксплуатации прилагается эксплуатационная документация, в

которой предусматриваются периодичность, объем и технология контроля технического состояния, а также применяемые при этом методы и средства. В отдельных случаях могут назначаться дополнительные виды осмотров с соответствующими специальными указаниями должностных лиц, организующих осмотр. После выполнения того или иного вида контроля контролирующее лицо делает запись в карте-наряде на ТО, наряде на дефектацию на устранение неисправностей и отказов или другом документе. В случае специальных видов осмотра контролирующие и ответственные лица дают общую оценку состояния АТ.

Важным этапом контроля является последующий анализ причин выявленных неисправностей и отказов, а также степени их влияния на безопасность полетов. При этом назначаются мероприятия по выявлению их на других ЛА и предупреждению повторного появления их в полете. Если выявлены неисправности и отказы, угрожающие безопасности полетов, то начальник АТБ обязан немедленно сообщить об этом главному инженеру АТК, который докладывает в НАК «Узбекистон хаво йуллари» и при этом обосновывает целесообразность осмотра всего парка ЛА данного типа. Все должностные лица и руководители АТБ должны постоянно обобщать опыт и изучать причины повреждений и отказов, выявленных при контроле состояния АТ и качества проведения ТО, принимать меры по совершенствованию системы контроля и повышению его эффективности. В условиях научно-технического прогресса и постоянного совершенствования АТ особо важными задачами становятся разработка и внедрение прогрессивных методов и средств контроля, совершенствование системы управления качеством ТО, эксплуатационной надежностью АТ и уровнем безопасности полетов.

## **10.2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ**

Под контролем или техническим контролем понимается проверка

соответствия объекта установленным техническим требованиям. Каждое техническое состояние характеризуется совокупностью значений параметров, описывающих состояние АТ, и качественных признаков, для которых не применяют количественные оценки. Номенклатура этих параметров и признаков, а также пределы допустимых их изменений устанавливаются в НТД на каждый конкретный объект.

Таким образом, контроль технического состояния представляет собой контроль ЛА, всех его систем для получения информации о фактическом значении параметров, характеризующих техническое состояние ЛА, сопоставление ее с заранее установленными требованиями в ТУ, эксплуатационной и ремонтной документации и определение вида технического состояния.

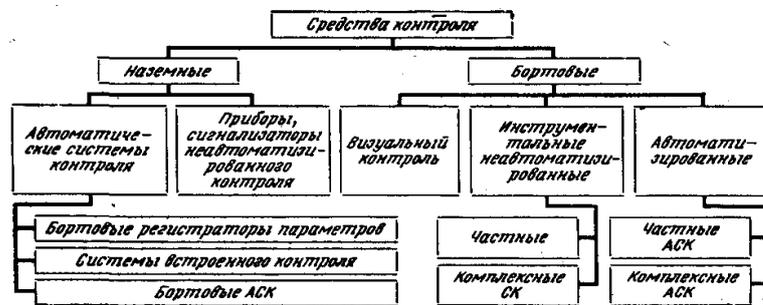
Переход АТ из одного состояния в другое может осуществляться скачкообразно вследствие повреждения или отказа или постепенно вследствие износа, старения, т. е. постепенного или параметрического отказа.

Внезапный отказ, обусловленный повреждением или усталостным разрушением элемента, обычно легко выявляется при визуальном контроле. Значительно сложнее бывает выявить параметрический отказ. В этом случае, если отсутствуют индикаторы отказа, приходится осуществлять проверку работоспособности системы, в процессе которой выявляется предотказовое состояние или сам отказ, если таковой имеет место. Правильно и своевременно организованный контроль исключает функциональные отказы систем в полете.

Каждый из указанных выше видов отказа требует своих методов и средств контроля. Ввиду этого составными элементами контроля могут быть: измерение контролируемых параметров объекта и сравнение их значений с допустимыми; исследование физического состояния и последствий износа, старения, коррозии усталостных процессов; анализ полученной информации для распознавания вида технического состояния и последствий износа, старения, коррозии, усталостных процессов; анализ полученной информации с целью распознавания вида

технического состояния, определения места появления неисправности или отказа с требуемой детализацией и, конечно же, оценка степени утраты работоспособности при этом. Для этой цели при эксплуатации АТ используют бортовые и наземные средства контроля (рис. 10.2).

Совокупность средств контроля, исполнителей, взаимодействующих с объектом контроля по установленным в документации правилам, и действующей нормативно технической документации (ГОСТов, инструкций, положений, технологических указаний и т. д.) называют системой контроля.



Средства контроля состояния АТ

Рис. 10.2.

Изменение технического состояния ЛА в процессе эксплуатации обусловлено воздействием различных эксплуатационных факторов, которые в свою очередь обуславливают протекание физико-химических процессов в элементах конструкции ЛА и его функциональных системах. Обилие разновидностей этих процессов, скорости их протекания и степени утери работоспособности объектом вынуждает на практике применять почти все известные науке методы и средства контроля ТС ЛА.

Различают физические и параметрические методы контроля ТС АТ. Так, физические методы основаны на исследовании физического состояния. Параметрические методы базируются на контроле основных выходных и входных параметров, а также внутренних параметров, характеризующих правильное или неправильное функционирование объекта.

Среди методов неразрушающего контроля известны визуальный, магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, акустический, проникающими веществами, например капиллярный и течеискания. Чаще других методов при ТО используют акустические, магнитные, оптические, радиационные, вихретоковые, проникающими веществами.

*Визуальный метод* является наиболее простым и доступным. Он позволяет выявить неисправности, которые могут быть обнаружены невооруженным глазом (трещины, дефекты элементов конструкций, нарушение контровки или ослабления крепления агрегатов, узлов, деталей, течь топлива или специальных жидкостей и т. д.). При этом виде осмотра успешно применяют увеличительное стекло, микроскоп или перископический дефектоскоп. Визуальному контролю могут

подвергаться лишь детали, узлы и агрегаты функциональных систем, исправность которых, состояние монтажа, работоспособность и правильность функционирования могут быть определены без применения каких-либо инструментальных средств.

Применяется также контроль по органолептическим признакам. Органолептические средства, как правило, эффективны только при внешнем появлении неисправности от отказа. В процессе технического обслуживания, а в ряде случаев и при подготовке к полету, работоспособность некоторых агрегатов, систем и механизмов проявляется в действии, т. е. при включении их в работу. В процессе выполнения крупных форм ТО такая проверка функциональных систем предусмотрена регламентом ТО. Однако с усложнением функциональных систем и оборудования все большее внимание уделяется объективным методам контроля с применением специального оборудования, а также полуавтоматических и автоматических средств. Номенклатура методов и средств контроля предусматривается эксплуатационной документацией. Более сложными и трудоемкими являются методы инструментального контроля технического

состояния АТ.

*Инструментальные методы* базируются на применении при контроле различных приспособлений, стендов, устройств, контрольно-измерительной аппаратуры. При этом наряду с широко известными в технике инструментами и приборами (манометры, динамометры, тензометры) широко применяют и более сложные приборы и аппаратуру, основанную на использовании физических методов и дающую возможность обнаружить скрытые от невооруженного глаза дефекты.

*Метод магнитной дефектоскопии* основан на свойстве магнитных силовых линий деформироваться при прохождении в местах изменения магнитной проницаемости материала. В монолитных участках металла, обладающих постоянной магнитной проницаемостью, магнитные силовые линии проходят без деформации. В тех местах, где имеются дефекты, например трещины, инородные включения, непровары, магнитная проницаемость понижена. Это вызывает деформацию магнитных силовых линий. При этом часть из них даже выходит за пределы детали, образуя над областью дефекта неоднородное поле. Этой неоднородностью поля и фиксируется дефект. Магнитное поле рассеивания обнаруживается с помощью ферромагнитного порошка в виде суспензии. Данный метод применим для контроля деталей, изготовленных только из ферромагнитных материалов. Метод позволяет обнаруживать поверхностные дефекты, трещины шириной более 0,001 мм, а также поверхностные дефекты на глубине до 1 мм. Для выявления дефектов намагниченную деталь покрывают магнитной суспензией. Цвет магнитного порошка должен обеспечить достаточный контраст с поверхностью проверяемой детали. Широкое применение нашли магнитные суспензии, представляющие смесь трансформаторного масла и керосина в соотношении 1 : 1 или чистого керосина с магнитным порошком следующей концентрации: 20...30г/л для темного и 10...20г/л для светлого магнитного порошка. Осмотр деталей следует выполнять при достаточно контрастном освещении, при необходимости применяют подсвет переносной лампы.

Вероятные места дефектов осматривают с помощью лупы 10-кратного увеличения. Дефект выявляется по резко выделяющейся области осевшего магнитного порошка. По завершении контроля деталь подлежит размагничиванию, что исключает вредное влияние намагниченности на бортовые приборы ЛА.

*Метод проникающих красок* основан на свойстве некоторых красителей хорошо смачивать металлы и проникать в мельчайшие трещины, раковины и другие поверхностные дефекты. Метод применим для контроля деталей, изготовленных из любых материалов. Он позволяет выявить поверхностные трещины непосредственно на ЛА. Перед контролем методом красок деталь обезжиривается бензином Б-70, ацетоном или каким-либо другим легколетучим растворителем. Не рекомендуется применять керосин, поскольку он легко заполняет полости дефектов и не пропускает в них основную проникающую жидкость.

После обезжиривания на контролируемый участок наносят жесткой кисточкой цветную проникающую жидкость. Избыток ее удаляют тампоном, смоченным масляно-керосиновой смесью. Затем деталь протирают чистой сухой ветошью и сразу же наносят мягкой кисточкой или пульверизатором тонкий слой белой проявляющей краски. Через 4...6 мин из трещины на белую краску проникает краситель, указывающий на наличие трещины. Для обнаружения трещин применяют также дефектоскопические аэрозоли, представляющие собой распыленные мельчайшие частицы твердого или жидкого вещества в газе. Баллоны с аэрозолями используют комплексно из трех составов: очищенного, индикаторного и проявляющего лаков.

*Метод вихревых токов* применяется для выявления в механических деталях трещин, раковин и других дефектов. Процесс контроля осуществляется следующим образом. На контролируемую деталь накладывают соответствующий датчик, имеющий электромагнитную катушку, питаемую током высокой частоты. При пропускании тока под , катушкой в определенном объеме металла

возбуждаются вихревые токи. Поскольку между индуктивным и активным сопротивлением обмотки катушки, а также между возбуждающимися токами существует определенная зависимость, она и фиксируется приборами. Для токовихревого контроля обычно применяют дефектоскопы со специальными искательными головками.

*Ультразвуковой метод* основан на свойстве ультразвуковых колебаний распространяться в виде направленных пучков или лучей и почти полностью отражаться от границы раздела двух сред, резко отличающихся значением акустического сопротивления. С этой целью применяют специальные дефектоскопы. Дефектоскоп настраивают по эталонной детали с известным дефектом. Для создания акустического контакта наносят масло на контактную площадь искательной головки.

*Импедансный акустический метод* применяется для контроля клеевых, паяных и термодиффузионных соединений. Он основан на принципе определения силы реакции клеевого соединения элементов конструкции на контактирующий с ним колеблющийся стержень. Если совершающий продольные колебания стержень соприкасается с участком изделия, где нет дефекта, то вся конструкция колеблется как единое целое и механическое сопротивление (или механический импеданс), оказываемое изделием стержню, определяется жесткостью всей конструкции. Возникающая сила реакции может иметь большое значение. Если стержень окажется над участком обшивки, имеющим дефекты, то в силу ослабления жесткости конструкции в данном месте сила реакции уменьшается, что и фиксируется индикатором.

*Рентгеновский метод* позволяет выявлять поверхностные трещины, ориентированные вдоль направления луча, раковины, рыхлости, неметаллические и шлаковые включения и другие дефекты. В этом методе для индикации внутренних дефектов в материалах и изделиях, их местонахождения, форм и размеров используется рентгеновское излучение, которым просвечивается объект. Рентгеновская аппаратура дает возможность выявить дефекты тремя способами:

фотографическим, визуальным и ионизационным. При контроле объект просвечивается узким пучком излучения, который последовательно перемещается по контролируемому участку. Промышленность выпускает несколько типов аппаратуры. К наиболее распространенным следует отнести аппарат РАП 150/300, являющийся стационарным, передвижные РИ-10Ф, РЦП-100-10, полевой рентгеновский флюорограф РИ-10ФП и др. При применении этого типа аппаратуры необходимо строго соблюдать правила техники безопасности. Они включают в себя защиту от тока высокого напряжения, ионизирующего излучения и т. д.

*Метод гамма-дефектоскопии* основан на эффекте ослабления излучения, проходящего через бездефектные участки просвечиваемого объекта и участки, где имеются какие-либо дефекты: трещины, раковины, поры, включения, и при наличии указанных дефектов изображение имеет теневые участки, характерные для соответствующего дефекта. В случае использования радиографического метода изображение может быть зафиксировано на радиографической пленке, чувствительной к ионизирующему излучению или к излучению усиливающих экранов, находящихся с ней в контакте. В гамма-дефектоскопии в качестве средств испытания используют излучение радиоактивных изотопов. Источник излучения выбирается в зависимости от материала объекта контроля и его толщины. Так, для стали при толщине 1...15 мм это может быть тулий-170, а при толщине 40...80 мм — цезий-137, для алюминиевых сплавов — тулий-170 и иридий-192 и т. д. Работа гамма-дефектоскопа основана на выпуске рабочего пучка излучения на время просвечивания и последующего его перекрытия на нерабочее время. В целях безопасности в дефектоскопе применяют закрытый источник излучения, где помещен применяемый радиоактивный изотоп. Радиационная головка заключена в герметическую металлическую оболочку, исключающую непосредственный контакт радиоактивного вещества с внешней средой и вредное действие на окружающих людей.

Например, состояние некоторых узлов и деталей самолета Ил-62М

контролируется неразрушающими методами (табл.10.1). Для каждого объекта контроля составляют карты, которые являются руководящими документами для инженерно-технического состава АТБ и удобны при приведений форм ТО и других профилактических работ на АТ.

Таблица 10.1

**Некоторые узлы и детали Ил-62М,  
контролируемые неразрушающими методами и средствами**

Контролируемый объект	Число	Нормативно-техническая документация	Периодичность	Методы и средства контроля
Штоки амортизаторов главных ног шасси	2	Инструкция МГА	В течение года	Проникающих красок
Наружный пояс нервюры № 8 центроплана	2	Инструкция МГА, методические указания	300 ч	Ультразвуковой
Болты заднего узла двигателя	4	Перечень работ при налете 6000 ч	6000 ч	Магнитный (ПМД-700)
Нижняя поверхность крыла в зоне окончания ребер жесткости	2	То же	6000 ч	Вихретоковый (ППД-1, ВД-1-ГА)
Проверка барабанов колес КТ 106/2	8	Бюллетень № 245/106	75±25 посадок	Вихретоковый (ППД-1)

Наряду с наземными методами и средствами на современных ЛА все чаще применяют бортовые средства контроля технического состояния и работоспособности функциональных систем, которые постоянно совершенствуются. В них широко используются магнитные самописцы для регистрации параметров полета и работы систем (МСРП). Так, на самолете Ил-86 установлен сдвоенный комплект типа МСРП-256-1В. Он предназначен для сбора и регистрации в полете измерительной информации, которая фиксируется на магнитных лентах бортовых накопителей. Эта система позволяет не только собирать необходимую информацию о полете и работе экипажа, но и сигнализирует экипажу о повреждениях и отказах, возникающих в полете и угрожающих безопасности полета. Эксплуатация переносных, передвижных и стационарных средств неразрушающего контроля, предназначенных для контроля технического состояния элементов конструкции планера, двигателей, а также лабораторного оборудования, применяемого для анализа рабочих тел, масел,

спецжидкостей для обнаружения в них продуктов изнашивания, возлагается на структурные подразделения АТБ и специалистов по профилю или на специалистов, назначаемых начальником АТБ. При контроле состояния применяются только средства, прошедшие метрологическую проверку и аттестацию, на которые в установленном порядке оформлена соответствующая документация: формуляры, паспорта и т. д. Ответственность за применение неисправных или просроченных проверкой средств несут должностные лица метрологической службы, начальники цехов, участков, лабораторий, отделов и лица, непосредственно использующие эти средства.

### **10.3. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Метрологическое обеспечение — это установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений, выполняемых при техническом обслуживании и ремонте ЛА.

Основными задачами метрологического обеспечения являются:

поддержание инструмента, средств измерения и контрольно-поверочной аппаратуры в рабочем состоянии и постоянной пригодности к применению;

обеспечение требуемой точности измерений параметров изделий и функциональных систем ЛА (к числу важнейших его задач относятся устранение повреждений, отказов и анализ технического состояния средств измерений);

проведение их периодических проверок и метрологической аттестации; метрологическая экспертиза разрабатываемой конструкторской, технологической, эксплуатационной и ремонтной документации;

контроль за внедрением и правильным использованием государственных и отраслевых стандартов;

разработка и внедрение стандартов предприятия, регламентирующих нормы точности измерений, методы их выполнения, и другие положения

метрологического обеспечения.

На каждой АТБ имеется метрологическая лаборатория и соответствующие специалисты (инженеры по метрологии), которые решают практические задачи метрологического обеспечения в цехах АТБ. При этом в каждом цехе приказом начальника АТБ назначаются ответственные лица для выполнения практических работ метрологического обеспечения.

Для повышения качества метрологического обеспечения и большей эффективности специалисты по метрологии проходят специальную подготовку, им выдается соответствующее удостоверение и оформляется допуск на право выполнения соответствующих работ. Весь инженерно-технический состав, эксплуатирующий средства измерения при ТО и ремонте авиационной техники, обязан знать соответствующие правила работы и уметь использовать предусмотренные средства измерения в работе.

#### **10.4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ**

Автоматизированные средства контроля позволяют решать целый ряд задач: сбор, передачу, обработку и анализ информации об объекте контроля для определения его технического состояния. Существенным является то, что большинство операций осуществляется без участия операторов. Это не только обеспечивает достоверность, полноту, объективность контроля, но и значительно повышает скорость всего процесса и сокращает временные и физические затраты на его проведение. В случае применения автоматизированных средств контроля полную проверку всех систем современного ЛА можно осуществить примерно за 4 ч. При отсутствии автоматизированных средств контроля эта же работа выполняется за время, в 9...10 раз большее. К тому же в ней будет принимать участие столько различных специалистов, сколько может одновременно разместиться на объекте. Очевидно, что применение автоматизированных средств является безусловно выгодным. Применение в процессе эксплуатации АТ

автоматизированных средств контроля допускает работу в ручном и автоматическом режимах. Ручной режим проверки применяют при отладке программ контроля, а также регулировке и настройке отдельных средств контроля. При создании автоматизированных средств стараются обеспечить возможность осуществления контроля всех жизненно важных функциональных систем ЛА, обеспечивающих безопасность полета. В случае необходимости они могут также обеспечить проверку по сокращенной программе работоспособности только одной какой-либо функциональной системы.

В целом применение бортовых и наземных средств автоматизированного контроля позволяет объективно оценивать технические состояния ЛА при значительном сокращении времени на проверку работоспособности его систем и уменьшении числа обслуживающего персонала.

## **Глава 11. ЗАПРАВКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ГОРЮЧЕ – СМАЗОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

### **11.1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Работы по заправке ЛА горюче-смазочными материалами (ГСМ), специальными жидкостями и газами осуществляются в соответствии с требованиями руководящих документов МГА (НТЭРАТ ГА, инструкциями и положениями по организации и обеспечению заправки, по применению и контролю качества ГСМ и др.) работниками службы ГСМ, спецтранспорта авиапредприятий и АТБ. На работоспособность и надежность работы функциональных систем ЛА и его сохранность значительное влияние оказывает качество заправки ГСМ. К процессу заправки предъявляется ряд специфических эксплуатационных требований. К ним можно отнести:

1. обеспечение соответствия количества и качества заправляемых ГСМ установленным нормам или расчетам при подготовке ЛА к вылету;

2. обеспечение соответствия заправляемых веществ по физико-химическим свойствам, указанным в паспортах, требованиях ГОСТов и инструкций по эксплуатации данного типа ЛА;

3. отсутствие механических примесей (загрязнений, влаги, кристаллов льда и др.) в заправляемых ГСМ;

предохранение от попадания механических примесей, воды в ГСМ в процессе их заправки;

4. качественное выполнение своих должностных обязанностей (в соответствии с руководящими документами МГА) всех лиц [заправщик службы ГСМ, авиатехник АТБ, бортиженер (бортмеханик)] по соблюдению правил заправки, правил пожарной безопасности (наличие средств пожаротушения, заземление ЛА, заправочного средства, металлизация изделий топливной системы ЛА и др.);

своевременный контроль качества заправляемых ГСМ по паспорту, сливу

отстоя и др;

устройства открытой заправки должны обеспечивать возможность непрерывного заполнения нескольких групп баков топливом при подаче заправочного устройства 5000 л/мин;

5. в случае перелива топливо не должно попадать на агрегаты ЛА;

система закрытой (централизованной) заправки должна обеспечивать заправку и дозаправку топливной системы ЛА в целом и любой группы баков;

при применении закрытой системы заправки должны быть обеспечены надежность контроля заправки каждой группы баков и предохранение их от переполнения;

заборные штуцера на ЛА для заправки должны располагаться в удобных для работы местах, а заправочные трубопроводы и шланги — обеспечены устройством быстрой откачки топлива после заправки;

6. обеспечение герметичности топливной системы ЛА и системы заправки, что исключает возможность воспламенения топлива при заправке от разрядов статического электричества, при разрушении электроагрегатов или нарушении правил заправки (открытая заправка запрещается при сильном ветре с пылью, дожде, а при газовых разрядах запрещается открытая и закрытая заправка ЛА топливом) .

## **11.2. ЗАПРАВКА ЛА ГСМ, СПЕЦЖИДКОСТЯМИ И ГАЗАМИ**

Заправку ЛА ГСМ производят с помощью стационарных централизованных заправочных систем аэропортов, специальных машин (топливозаправщиков — ТЗ или маслозаправщиков — МЗ) и других заправочных средств, которые располагают не ближе 5 м от крайних точек ЛА. Заправочные средства должны быть оборудованы исправными и чистыми фильтрующими и раздаточными устройствами. Крышки фильтров и заливные горловины должны быть опломбированы (после контроля специалистами службы ГСМ).

Топливозаправщики могут выполнять несколько операций: заполнять собственную цистерну топливом; транспортировать топливо;

заправлять ЛА фильтрованным топливом из своей и посторонней емкости; перекачивать топливо из одной емкости в другую, минуя свою цистерну; перемешивать топливо в цистерне. Применяют топливозаправщики типов ТЗ-200, ТЗ-22, ТЗ-22А (таблица 1) (оснащенные системой азотирования заправляемого топлива) и др. Насыщение топлива азотом снижает количество растворенного в топливе свободного кислорода, что снижает пожарную опасность, повышает термоокислительную стабильность топлива. ТЗ большой емкости изготавливают в виде специальных полуприцепов с расположением кабины, агрегатов и управления на полуприцепе за цистерной или на тягаче за кабиной водителя. Независимо от класса все ТЗ оборудованы фильтрующими системами, противопожарным оборудованием и специальными расходомерами топлива.

Заправка ЛА топливом может производиться открытым способом (через заливные горловины, которые после заправки следует тщательно закрывать пробками), и закрытым—через заправочные штуцера. При закрытой заправке распределение топлива по бакам и контроль процесса заправки осуществляется по приборам на специальном пульте путем автоматического или ручного управления заправкой при включенной сети постоянного и переменного тока. Для соблюдения мероприятий пожарной безопасности запрещается включать электрические механизмы, не связанные с процессом заправки.

Контроль качества фильтрации топлива фильтрами топливозаправщика осуществляют по перепаду давления на фильтрах тонкой очистки. При неполной заправке заполнение баков производят на ряде ЛА в порядке, обратном выработке топлива. Масса заправляемого топлива в баках должна быть такой, чтобы оставался некоторый незаполненный объем для возможного температурного расширения топлива.

Маслозаправщики могут выполнять те же операции, что и ТЗ. Но кроме этого, они могут обеспечить циркуляцию масла по замкнутому контуру, производить

подогрев масла в своей емкости и заправку подогретым маслом (табл.11.2). Если масса заправляемого топлива рассчитывается исходя из условий выполнения конкретного рейса, то масса заправляемого масла нормируется для каждой маслосистемы двигателя конкретных типов ЛА.

При заправке или дозаправке ЛА топливом и маслом обращают внимание на чистоту дренажных трубопроводов. Их закупорка (загрязнением или льдом) может привести к отказу топливной системы или повреждению мягких топливных баков. Топливо и масло перед заправкой подвергают лабораторному анализу, а в день заправки руководитель смены службы ГСМ проводит дополнительный анализ и выдает контрольный талон на ГСМ с разрешением заправки (с указанием даты и времени анализа). Осмотр средств заправки проводят на стоянке возле самолета. Кроме того, качество топлива контролируют методом слива отстоя из заправщика (через 10...15 мин после прибытия на стоянку), из баков самолета после прилета из рейса и баков самолета через 10... 15 мин после заправки. При этом сливают из отстойников 0,5...1 л топлива и проверяют его чистоту прибором (типа ПОЗ-Т или др.), специальными индикаторами или визуально, убеждаясь в отсутствии воды, кристаллов льда или механических примесей.

Слив отстоя производят из точек топливной системы, предусмотренных для данного типа ЛА. При обнаружении в отстое воды или механических примесей авиатехник (бортинженер, бортмеханик), начальник смены АТБ совместно с представителем службы ГСМ принимают меры по выявлению причин появления и по удалению примесей и воды вплоть до полной замены топлива в баках ЛА.

В процессе подготовки ЛА к вылету производится заправка (зарядка) специальными жидкостями, водой и газами, используемыми в системах ЛА в качестве рабочего тела, до потребного объема (массы), давления в соответствии с регламентом технического обслуживания и РЛЭ ЛА данного типа.

Дозаправка баков гидравлической системы современных ЛА проводится чистой, профильтрованной жидкостью, например АМГ-10, как правило, закрытым

способом (от установок типа УПГ). Перед заправкой и дозаправкой гидробака стравливают давление воздуха в системе наддува до нуля. Объем жидкости в баках гидравлических систем нормируется для каждого типа ЛА и контролируется при ТО с учетом температуры наружного воздуха и наличия (или отсутствия) давления в системе.

На спецжидкости, дистиллированную воду и газы, подаваемые для заправки (зарядки) систем ЛА, соответствующие службы авиапредприятия представляют контрольный талон (паспорт) с записью о проведенном контроле и соответствии ГОСТу (если это предусмотрено нормативной документацией). Одновременно проверяется документация (формуляры, контрольные талоны) на средства заправки, где указываются даты заполнения средств жидкостью (газом) и контрольного осмотра средств. Емкости с жидкостями (газами) должны быть окрашены в стандартный для данной жидкости (газа) цвет, иметь соответствующую маркировку и надпись наименования жидкости (газа). Зарядка емкости и систем газами должна проводиться через специальные приспособления с редуктором и манометром.

### **11.3. ВЛИЯНИЕ ОБВОДНЕНИЯ ГСМ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СИСТЕМ ЛА.**

Если механические примеси в ГСМ могут привести к отказу агрегатов топливной (масляной) системы, то наличие воды существенно ухудшает свойства этих ГСМ. Отрицательное влияние воды на свойства ГСМ зависит от ее количества в топливе (масле), состояния, в котором она находится, а также химического состава топлива (масла).

В авиационных топливах вода ухудшает низкотемпературные свойства снижает прокачиваемость, понижает температуру начала кристаллизации, приводит к замерзанию фильтров (рис.11.1), понижает термоокислительную стабильность топлив, повышает их коррозионную активность (учитывая наличие в ГСМ органических и неорганических соединений), способствует росту

загрязненности топлив механическими частицами, продуктами окисления и микроорганизмами, а также ухудшает противоизносные свойства.

Вода в авиационных маслах приводит к ухудшению их смазывающей способности, усилению коррозионного воздействия масел на металлы, активизации окисления углеводородов, входящих в масло, образованию веществ, ухудшающих свойства масел, а при повышенных температурах может в ряде систем привести к интенсивному пенообразованию и выбросу части масла через дренажную систему.

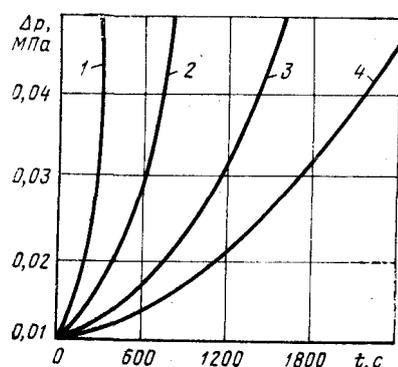


Рис.11.1. Интенсивность забивки фильтров кристаллами льда с тонкостью фильтрации 12...16 мкм при содержании воды в топливе (по массе):  
1—0,0214%; 2—0,01%;  
3— 0,0056%; 4—0,0048%

В процессе хранения, транспортирования, заправки и применения топлива и масла обводняются. При этом попавшая в них влага может находиться в разных видах: в растворенном и эмульсионном состояниях; в виде отстоя (при отрицательных температурах в виде кристаллов льда) и в химически связанном виде, если в результате реакции ГСМ с водой образуются гидраты.

В растворенном состоянии в жидких углеводородах вода может находиться от 0,003 до 0,12 % в интервале температур 0...40°C.

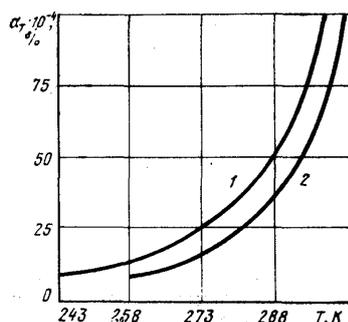


Рис.11.2. Зависимость содержания воды в топливе ТС-1 от температуры воздуха при относительной влажности  $\Psi_{в}=100\%$ (1) и  $\Psi_{в}=75\%$ .

Растворимость воды в ГСМ увеличивается с ростом температуры, атмосферного давления, влажности окружающего воздуха (рис.11.2) и зависит также от химического состава и молекулярной массы топлива (масла). Основным источником обводнения ГСМ является атмосферная влага, содержащаяся в воздухе в виде водяных паров. Между водой, растворенной в ГСМ, и атмосферной влагой существует динамическое равновесие, которое наступает сравнительно быстро при контакте ГСМ с влажным воздухом. Именно поэтому при наборе высоты, снижении давления и температуры часть растворенной воды не успевает выделиться в атмосферу и образует микрокапли по объему топлива.

Свободная вода может образоваться в ГСМ при их контакте с влажным теплым воздухом, конденсируясь на поверхности холодного топлива (масла), а также вследствие конденсации ее из воздуха на охлаждаемых окружающим воздухом стенках бака в надтопливном пространстве (при этом на стенках бака может образоваться и иней).

Учитывая значительное отрицательное влияние воды на свойства ГСМ и работоспособность изделий функциональных систем (топливной, масляной, гидравлической) ЛА, для удаления воды и предотвращения образования льда в авиационных топливах и маслах применяются разнообразные методы.

Для удаления воды из ГСМ применяют различные методы: вымораживание топлива; отстаивание в специальных отстойниках или отделение воды с применением центрифуг; обезвоживание топлива электрическим полем (иногда совместно с центробежным способом); обезвоживание путем массообмена — перехода влаги из топлива в охлажденный воздух (азот) и достижения ее динамического равновесия: фильтрационные методы с применением специальных пористых перегородок; методы, основанные на явлении адсорбции ряда веществ и поглощении растворенной воды и др.

Предотвращение образования льда в топливных баках и функциональной системе ЛА может производиться также разными методами. Наибольшее распространение получил один из физико-химических методов — добавление в

топливо перед заправкой антиобледенительных присадок и теплофизический — подогрев топливных фильтров ЛА. Вводимые в топливо присадки хорошо растворяют воду, растворяются в топливе и повышают растворимость воды в топливе. При этом образуются смеси воды и присадок с пониженной температурой замерзания, что предотвращает возникновение в топливе кристаллов льда при отрицательных температурах.

В качестве таких присадок применяются этилцеллозольв (условное наименование — жидкость И) и тетрагидрофуруриловый спирт (жидкость ТГФ). Масса жидкости, добавляемой к топливу (смешение с топливом производится в резервуарах или топливозаправщиках), зависит от температуры окружающего воздуха, типа самолета, продолжительности его полета и регламентируется соответствующими инструкциями (обычно составляет 0,1...0,3 % по объему).

Для предотвращения образования кристаллов льда в топливе в последние годы применяют подогрев фильтров или других участков топливной системы ЛА, наиболее уязвимых для кристаллов льда. Применяются различные подогреватели топлива: теплообменники, в которых теплоносителем является горячий воздух от двигателя, топливо-масляные радиаторы и др.

## ЛИТЕРАТУРА

Максимов Н.А., Секистов В.А. Двигатели самолетов и вертолетов. М.: Воениздат, 1977, 344 с.

Надежность гидравлических систем воздушных судов / Башта Т.М., Бабанская В.Д., Головки Ю.С. и др.; Под ред. Башты Т.М. М.: Транспорт, 1986, 278с.

Наставление по технической эксплуатации и ремонту авиационной техники в ГА РУ (НТЭРАТ - 97).

Положение об организации работы по охране труда в НАК «Узбекистан хаво йуллари».

Ремонт летательных аппаратов / Голего Н.Л., Алябьев А.Я., Балдырев Ю.М. и др.; Под ред. Голего Н.Л. М.: Транспорт, 1984, 422с.

Техническая эксплуатация летательных аппаратов / Пугачев А.И., Комаров А.А., Смирнов Н.Н. и др.; Под ред. Пугачева А.И. М.: Транспорт, 1977, 440 с.

Техническая эксплуатация летательных аппаратов / Смирнов Н.Н., Владимиров Н.И., Черненко Ж.С. и др.; Под ред. Смирнова Н.Н. М.: Транспорт, 1990, 424 с.

Техническая эксплуатация авиационного оборудования / Воробьев В.Г., Константинов В.Д., Денисов В.Г. и др.; Под ред. Воробьева В.Г. М.: Транспорт, 1990, 296 с.

Рузанов Н.В., Артыков Н.А. О значимости расчетов для повышения качества и надежности механизмов подъема средств наземной механизации аэропортов. Тезисы докладов, V - Республиканской НТК «Передовые технологии и методы в создании и эксплуатации авиакосмической техники». Ташкент, изд. ТГАИ, часть 2, 2001, 8-9 с.

Рузанов Н.В., Артыков Н.А. Стратегия технического обслуживания и ремонта по состоянию с контролем параметров. Тезисы докладов международной НТК «Мониторинг летательных аппаратов». Ташкент, изд. ТГАИ, часть 2, 2001, 8-9 с.

Сайдалиев Ф.Х., Артыков Н.А. Эксплуатационные особенности технического обслуживания топливной системы самолета BOEING 767. тезисы докладов ТГАИ, часть 2, V-Республиканской НТК «Передовые технологии и методы в создании и эксплуатации авиакосмической техники». Ташкент, изд. ТГАИ, часть 2, 2001,14-16с.

Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. М.: Транспорт, 1987, 272с.

Соломонов П.А. Безотказность авиационной техники и безопасность полетов. М.: Транспорт, 1977, 272с.

Учебное руководство по техническому обслуживанию самолета BOEING 767, США, 1991, 850 с.

