

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

И.М. Макаровский

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

*Учебное пособие*

САМАРА 2005

УДК 629.7.658.58.004

**Макаровский И.М.** Технологические процессы технического обслуживания авиационной техники: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2005. 164 с.

**ISBN 5-7883-0342-7**

Излагаются вопросы, связанные с формированием систем технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) авиационной техники (АТ); дана классификация и рассмотрены методики разработки эксплуатационной технической документации (ЭТД); приведена классификация и рассмотрена структура производственных процессов (ПП); рассмотрены методы построения рациональных по оснащённости технологических процессов (ТП) ТО АТ. Рассмотрены содержание ТП ТО основных систем летательных аппаратов (ЛА) гражданской авиации (ГА) и технологии выполнения регламентных работ.

Пособие предназначено студентам очной и заочной форм обучения по специальности 130300. Подготовлено на кафедре ЭАТ СГАУ.

Табл 1. Ил. 50. Библиогр.: 5 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва»

Рецензенты: В.Н. Шубин, А.В. Суслин

**ISBN 5-7883-0342-7**

© И.М. Макаровский, 2005  
© Самарский государственный  
аэрокосмический университет,  
2005

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Формирование системы ТО и Р АТ.....</b>	<b>6</b>
1.1. Общая характеристика системы ТО и Р.....	6
1.2. Организация ТО .....	11
1.3. Организация и содержание ОТО.....	15
1.4. Организация и содержание ПТО .....	19
1.5. Методы ТО .....	22
1.6. Структура производственных процессов ТО.....	27
1.7. Построение рациональных во времени ТП ТО.....	31
1.8. Построение рациональных по оснащённости ТП ТО.....	37
1.9. Эксплуатационная техническая документация.....	42
1.10. Разработка типовой ЭТД.....	47
<b>2. Технологические процессы ТО АТ общего назначения.....</b>	<b>59</b>
2.1. Наружная мойка ЛА.....	59
2.2. Заправка ЛА топливом.....	60
2.3. Контроль технического состояния АТ.....	72
<b>3. Специальные технологические процессы ТО АТ.....</b>	<b>80</b>
3.1. Техническое обслуживание планера.....	80
3.2. Техническое обслуживание системы управления.....	94
3.3. Техническое обслуживание шасси.....	105
3.4. Техническое обслуживание гидросистемы.....	122
3.5. Техническое обслуживание силовой установки.....	138
<b>Список рекомендуемой литературы.....</b>	<b>164</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В процессе всего периода эксплуатации ЛА задача сохранения его лётной годности и готовности к полётам решается путём выполнения комплекса работ в рамках так называемой системы ТО и Р (СТОР), от совершенства которой во многом зависит и эффективность использования ЛА по назначению.

Формирование СТОР начинается задолго до поступления нового типа ЛА в регулярную эксплуатацию и продолжается до окончания его использования по назначению. В ходе регулярной эксплуатации на основе обобщения опыта ТО и Р ЛА проводится комплекс мероприятий, направленных на совершенствование СТОР: корректировка ЭТД, улучшение организации и технологической оснащённости ТП ТО и Р, реализация прогрессивных стратегий ТО и Р, повышение квалификации инженерно-технического персонала (ИТП) и т.д.

Важное место при разработке таких мероприятий занимают работы по сбору и обработке данных об отказах и неисправностях, выявленных в ходе эксплуатации ЛА, так как задача обеспечения надёжности и долговечности АТ входит в число первостепенных проблем технической эксплуатации (ТЭ) ЛА.

При разработке и корректировке ЭТД обычно учитывается и опыт эксплуатации ЛА других типов, что объясняется наличием в структуре ТП типовых работ, содержание и периодичность выполнения которых не зависят от типа ЛА.

В настоящее время при подготовке специалистов по ТЭ ЛА недостаточно внимания уделяется изучению вопросов организации рациональных ТП и совершенствования их технологической оснащённости, что может затормозить процесс освоения новой АТ и реализации стратегий ТО и Р АТ по состоянию.

Предлагаемое пособие является попыткой систематизировать организационно-технические аспекты решения этой задачи. В основу пособия положен курс лекций, читаемых автором для студентов старших курсов факультета инженеров воздушного транспорта СГАУ.

Пособие состоит из трёх разделов, в которых рассматриваются некоторые вопросы, связанные с совершенствованием организации ТП ТО АТ, технологические процессы общего и специального назначения.

При написании пособия были использованы материалы, содержащиеся в учебниках и ЭТД ГА.

## 1. ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТО И Р АТ

### 1.1. Общая характеристика системы ТО и Р

В состав СТОР (рис. 1.1) входит ряд взаимосвязанных структурных элементов, каждый из которых обладает определённой совокупностью свойств и различным образом влияет на эффективность системы.

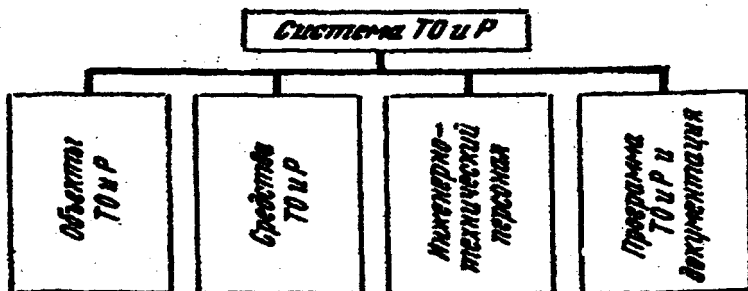


Рис. 1.1. Структура системы ТО и Р АТ

Комплекс работ по ТО и Р АТ выполняется инженерно-техническим персоналом (ИТП) эксплуатационных (АТБ) и ремонтных (АРЗ) предприятий с применением разнообразных средств ТО и Р в соответствии с действующей ЭТД. Объект ТО и Р (АТ), ИТП, средства ТО и Р и ЭТД, взаимодействующие с целью сохранения лётной годности и готовности ЛА к полётам, образуют СТОР ЛА.

Эффективность СТОР, характеризуемая способностью выполнять заданные функции, во многом зависит от того, насколько рацио-

нально подобраны и увязаны между собой характеристики её структурных элементов в процессе формирования. Задача разработки СТОР с заданными технико-экономическими показателями обычно решается на этапе создания нового типа ЛА. В этом случае при поступлении ЛА в регулярную эксплуатацию имеется возможность обеспечить решение поставленных перед СТОР задач в кратчайшие сроки и с минимальными затратами труда и денежных средств.

Уровень совершенства СТОР ЛА оценивается с использованием ряда количественных показателей, в число которых входят:

$K_T$  – удельная трудоёмкость ТО и Р, чел./ч на час налёта;

$K_{II}$  – удельная продолжительность ТО и Р, ч на час налёта;

$K_C$  – удельная стоимость ТО и Р, руб. на час налёта и другие.

Расчёт указанных показателей производят на основе данных, полученных при анализе эффективности ПТЭ ЛА, а оценку эффективности СТОР – путём сопоставления расчётных значений показателей с их нормативными значениями или значениями соответствующих показателей ведущих организаций по ТО и Р АТ.

Важное место при формировании СТОР занимает решение задачи взаимоувязки характеристик её структурных элементов. Так, объект ТО и Р (ЛА) характеризуется совокупностью свойств, определяющих его потребности в ТО и Р, уровень надёжности, эксплуатационной технологичности и контролепригодности; исполнитель работ (ИТП) – номенклатурой специальностей, производительностью труда, квалификацией и численностью; средства ТО и Р – производительностью, удобством применения и стоимостью, документация – полнотой содержания, качеством оформления; доступностью изложения материала, удобством использования при проведении работ и т.д. Так как свойства структурных элементов СТОР взаимосвязаны, при её формировании реализуется системный подход, т.е. свойства каждого структурного элемента подбираются с учётом требований, предъявляемых к системе в целом.

В общем случае СТОР включает в себя комплекс работ, предусмотренных ЭТД и проводимых на этапах использования АТ по

назначению, ТО и Р, хранения и транспортирования. Исходя из содержания и условий проведения, все работы в рамках СТОР (рис. 1.2) условно разделяют на эксплуатационные (ТО) и ремонтные (Р).

*Техническое обслуживание (ТО)* заключается в проведении силами и средствами эксплуатационных предприятий (АТБ) комплекса работ в соответствии с ЭТД по подготовке ЛА к использованию по назначению (полёту) и поддержанию АТ в исправном (работоспособном) состоянии, включая и работы по текущему ремонту. Текущий ремонт АТ заключается в выполнении работ по устранению выявленных неисправностей (дефектов) путём замены повреждённых компонентов, промывки, клёпки, сварки и т.д.

В рамках ТО различают плановые и неплановые работы.

*Плановые (профилактические) работы* регламентируются типовой ЭТД, а их объём и периодичность проведения определяются наработкой АТ. К плановым относятся регламентные работы, выполняемые при всех видах ТО (оперативном, периодическом, сезонном и специальном), а также при хранении АТ.

*Оперативное ТО (ОТО)* проводится в соответствии с типовой ЭТД непосредственно перед вылетом и после посадки ЛА и направлено на обеспечение готовности ЛА к очередному полёту или стоянке. При проведении ОТО выполняется комплекс основных (осмотр и обслуживание) и вспомогательных (по встрече, обеспечению стоянки и вылета) работ, которые группируются в несколько организационных форм (А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, Б и т.д.) и выполняются с учётом интенсивности или календарного времени эксплуатации ЛА.

*Периодическое ТО (ПТО)* проводится в сроки, определяемые наработкой или календарным временем эксплуатации ЛА. Работы при ПТО группируются в несколько организационных форм (Ф-1, Ф-2 и т.д.) и направлены на обеспечение безотказности АТ при отработке установленных ресурсов. Формы ПТО отличаются от форм ОТО повышенной трудоёмкостью и строгой периодичностью их проведения.



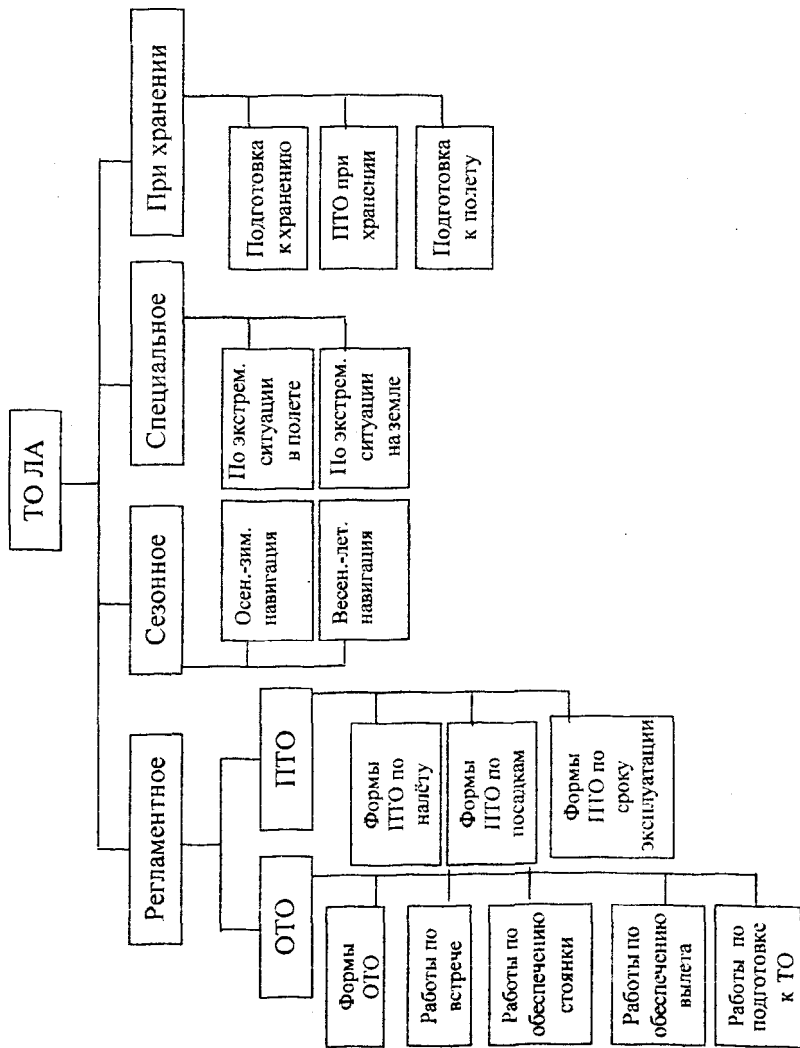


Рис. 1.2. Основные виды и формы ТО ЛА

*Сезонное ТО* проводится в соответствии с типовой ЭТД при переходе к осенне-зимней (ОЗН) и к весенне-летней (ВЛН) навигации. Оно предусматривает выполнение комплекса работ (углублённая дефектация и устранение повреждений конструкции, проверка и регулировка натяжения тросов систем управления, обслуживание аварийно-спасательных средств и т.д.), направленных на обеспечение надёжной работы АТ в заданных климатических условиях. Сезонное ТО обычно совмещается с очередной формой ПТО.

*Специальное ТО* проводится при попадании ЛА в нестандартные ситуации (грубая посадка, выкатывание за границы ВПП, попадание в град, пыльную бурю, полёт при повышенной турбулентности атмосферы и т.д.), которые могут послужить причиной нарушения работоспособности систем или привести к снижению прочности конструкции. При специальном ТО выполняется комплекс работ, предусмотренных типовой ЭТД или программой, разработанной для конкретного случая, и направленных на определение ТС и возможности дальнейшей эксплуатации ЛА.

*Обслуживание при хранении* проводится в соответствии с типовой ЭТД через определённые календарные сроки с целью уменьшения вредного влияния атмосферных и других факторов на ТС АТ. По мере увеличения срока хранения увеличивается и объём выполняемых работ, поэтому в ЭТД предусматривается несколько форм ПТО, отвечающих определённым срокам хранения АТ.

*Неплановые (восстановительные) работы* (текущий ремонт, разовые осмотры, доработки конструкции и т.д.) направлены на предупреждение и устранение неисправностей и отказов АТ. Они выполняются по результатам контроля ТС АТ или в соответствии с руководящей ЭТД (бюллетени, приказы, указания и т.д.).

*Капитальный (средний) ремонт (Р)* выполняется силами и средствами специализированных ремонтных заводов (АРЗ) и направлен на восстановление исправности АТ. Ремонт осуществляется, в основном, путём замены отработавших ресурс и находящихся в предотказном состоянии компонентов конструкций. Одновременно производится и углублённый контроль ТС АТ с последующим устране-

нием выявленных неисправностей (дефектов) путём восстановления (ремонта) изношенных и повреждённых элементов конструкции клёпкой, сваркой, нанесением гальванических покрытий и т.д.

Развитие средств контроля и интенсификация ремонтно-восстановительных работ на эксплуатационных предприятиях (АТБ), связанные с переводом АТ на эксплуатацию по состоянию (ТЭС), в значительной степени сблизили производственные процессы (ПП) ТО и Р как по объёму, так и по содержанию выполняемых работ. При этом ПП ремонтных предприятий (АРЗ) претерпели наиболее существенные изменения, так как значительная часть изделий АТ сегодня переведена на ТЭС, не имеет межремонтных ресурсов и поэтому не требует проведения плановых капитальных ремонтов. Заметные изменения произошли и в структуре ПП эксплуатационных предприятий (АТБ), которые выразились в проведении дополнительных контрольно-восстановительных работ (КВР), выполняемых с большой периодичностью в межремонтный период эксплуатации ЛА.

## 1.2. Организация ТО АТ

Под ТО в общем случае понимается комплекс организационно-технических мероприятий, проводимых в межремонтный период эксплуатации и направленных на обеспечение эффективного использования ЛА по назначению, а также поддержание в эксплуатации необходимых уровней надёжности и долговечности (ресурсов) ЛА и их компонентов. Работы по ТО объединяются в несколько организационных форм с учётом их целевого назначения и периодичности выполнения.

Решение задач по сохранению заданных эксплуатационных характеристик и эффективному использованию ЛА обеспечивает инженерно-авиационная служба (ИАС), основным структурным подразделением которой является авиационная техническая база (АТБ), деятельность которой регламентируется «Типовым положением об АТБ ГА». В силу этого все АТБ вне зависимости от характера и объёма выполняемых работ имеют примерно одинаковую организационную структуру (рис. 1.3.).

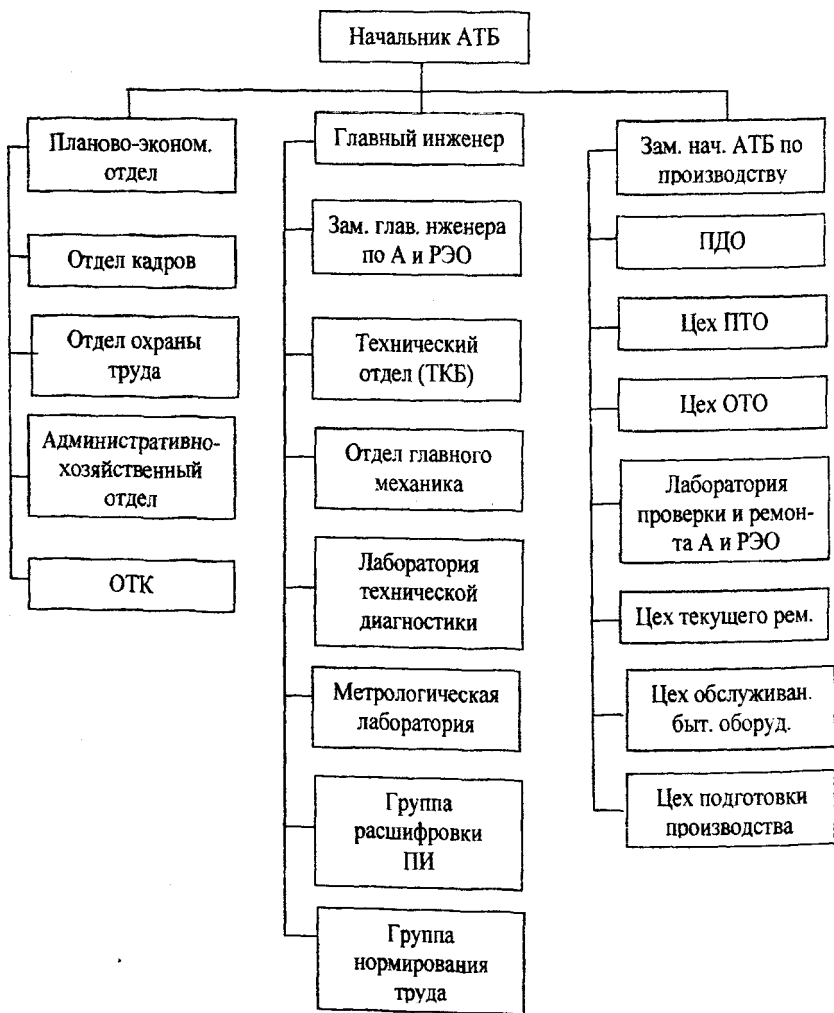


Рис. 1.3. Укрупнённая организационная структура АТБ ГА

Основными производственными подразделениями АТБ являются цеха оперативного и периодического ТО, а также цех текущего ремонта АТ.

*Цех (участок) оперативного ТО* выполняет работы по оперативным формам ТО, непосредственно связанные с подготовкой ЛА к полётам. Формы ОТО имеют относительно небольшую трудоёмкость, поэтому на каждый прибывающий на ОТО ЛА обычно назначается одна бригада исполнителей, которая состоит из нескольких специалистов узкого профиля, или один специалист широкого профиля. Руководят работами начальник и инженер смены, которые совместно с инженером ОТК контролируют и качество подготовки ЛА к полёту.

*Цех (участок) периодического ТО* выполняет работы по периодическим (трудоёмким) формам ТО, замену двигателей и агрегатов, проводит доработки АТ по бюллетеням промышленности, устранение неисправностей и другие виды работ. Смена цеха ПТО состоит из нескольких бригад, каждая из которых, в зависимости от принятого метода организации ПП, специализируется на выполнении определённых работ (на планере, силовой установке, шасси и т.д.). Работами руководят начальник и инженеры смены, которые совместно с инженером ОТК контролируют и качество выполнения работ.

*Цех (участок) текущего ремонта* выполняет комплекс работ по устранению неисправностей (дефектов), выявленных при контроле ТС АТ.

Цех ремонта выполняет слесарно-механические, сварочные, малярные и другие виды работ непосредственно на ЛА или в мастерской после демонтажа повреждённых компонентов с ЛА. Работы выполняются по заявкам начальников цехов (участков), сменных инженеров и ПДО. К выполнению работ привлекается группа исполнителей (мастеров, рабочих), которыми руководит начальник цеха (старший инженер), проводящий совместно с инженером ОТК и заказчиком контроль качества выполнения работ.

*Лаборатория технической диагностики (ЛД)* производит инструментальный контроль ТС АТ при проведении различных видов и

форм ТО, проводит анализ моторных масел и других эксплуатационных материалов, собирает и анализирует информацию об отказах и неисправностях АТ, даёт комплексную оценку ТС и формирует решения о дальнейшей эксплуатации ЛА. В своей работе ЛД тесно взаимодействует со всеми подразделениями АТБ в разработке и реализации мероприятий, направленных на повышение надёжности и качества ТО АТ. Лабораторию возглавляет начальник (старший инженер), который подчиняется непосредственно главному инженеру АТБ.

*Отдел технического контроля (ОТК)* осуществляет контроль качества ТО и текущего ремонта ЛА, проводит анализы причин возникновения отказов и неисправностей, разрабатывает мероприятия по их предупреждению, следит за ведением и выполнением ЭТД, разовых осмотров и доработок на ЛА, контролирует соответствие расходных материалов, готовых изделий и инструмента, применяемых при ТО, соответствующим ТТ.

*Технический отдел (ТКБ)* изучает и обобщает опыт работы АТБ по ТО АТ, разрабатывает на этой основе предложения по совершенствованию ЭТД, осуществляет общий контроль за ТС приписного парка ЛА, ведением пономерной документации, организует передачу АТ в ремонт, ведёт рекламационную и другую работу.

*Производственно-диспетчерский отдел (ПДО)* ведёт учёт использования и планирует отход АТ на ТО и Р, разрабатывает и следит за исполнением сменно-суточных заданий цехов и смен, ведёт пономерную и учётно-отчётную документацию.

Существующие организационные формы и методы ТО в условиях мелких авиакомпаний сегодня не отвечают возрастающим требованиям к качеству выполнения работ, что, в первую очередь, относится к новым типам ЛА и периодическим формам ТО.

Одним из путей совершенствования СТОР в этих условиях является специализация АТБ на базе различных форм кооперирования авиакомпаний.

Специальные АТБ предназначены для выполнения ПТО, КВР и других сложных работ на определённых типах ЛА. Они создаются

на базе крупных АТБ и ремонтных заводов, которые располагают достаточными производственными мощностями и квалифицированным ИТП. Производственная деятельность таких АТБ определяется договорными условиями между кооперирующимися авиакомпаниями. При этом сами авиакомпании выполняют только некоторые виды работ, например, оперативные формы ТО.

Следующая форма кооперирования основывается на интеграции производственной базы АТБ авиакомпаний и ремонтных заводов. Она хорошо отражает новые концепции в формировании СТОР АТ, так как объединяет работы по ТО и капитальному ремонту в единый эксплуатационный комплекс. Эта форма кооперирования считается наиболее перспективной в условиях реализации ТЭС, когда для АТ не устанавливаются межремонтные ресурсы. Ремонт АТ в этом случае производится в несколько этапов, которые совмещаются с периодическими формами ТО ЛА. Таким образом, на каждой форме ПТО, выполняемой работниками АТБ, представители АРЗ выполняют определённую часть работ капитального ремонта. При этом наиболее трудоёмкие формы ПТО, например КВР, выполняются на АРЗ с привлечением (при необходимости) представителей авиакомпании.

По мере накопления опыта эксплуатации ЛА в новой экономической ситуации и, в частности, в условиях ТЭС организационные формы ТО и Р АТ постоянно совершенствуются.

### **1.3. Организация и содержание ОТО**

Оперативное ТО (ОТО) выполняется непосредственно перед вылетом или после посадки ЛА с целью обеспечения их готовности к очередному полёту (стоянке), выявления и устранения неисправностей (дефектов), препятствующих их дальнейшему использованию по назначению.

Содержанием ОТО в общем случае является: осмотр ЛА на предмет отсутствия видимых повреждений конструкции, контроль работоспособности функциональных систем, возобновление запасов ГСМ, специальных жидкостей и газов, а также загрузка (снаряжение) ЛА в соответствии с заданием на полёт. В зависимости от пред-

шествующего состояния ПТЭ (полёт, стоянка, ПТО и т.д.) и наработки ЛА к моменту проведения ОТО объём и содержание выполняемых работ существенно изменяются.

Регламентные работы, выполняемые при проведении ОТО, объединяют в несколько организационных форм, число которых зависит от типа ЛА.

*Типовыми формами ОТО являются:*

1. Послеполётный (межполётный) осмотр и обслуживание ( $A_1$ ), выполняемые в перерывах между двумя полётами (перерыв не более 12 ч), после ПТО или после дозаправки топлива.

2. Предполётный осмотр и обслуживание ( $A_2$ ), выполняемые в начале лётного дня после длительного перерыва в полётах (ночной стоянки), при определённой наработке или по календарному сроку эксплуатации ЛА.

3. Послеполётный осмотр и обслуживание (Б), выполняемые в базовом аэропорту в конце лётного дня, после определённого налёта часов или по календарному сроку эксплуатации ЛА.

В состав ОТО помимо регламентных работ обычно входит комплекс вспомогательных работ, связанных с подготовкой ЛА к ТО, полёту или стоянке. К ним относятся работы по встрече ЛА, обеспечению вылета и стоянки, а также работы по подготовке ЛА к ОТО после длительной (ночной) стоянки.

Различные сочетания типовых и вспомогательных работ образуют несколько типовых комплексов ОТО (рис. 1.4).

*Типовыми комплексами ОТО являются:*

1. Транзитный комплекс, который включает работы по встрече ЛА, по форме ОТО ( $A_1$ ) и по обеспечению вылета. Данный комплекс работ выполняется после каждой посадки ЛА.

2. Предполётный комплекс, который включает работы по подготовке ЛА к ТО, по форме ТО ( $A_2$ ) и по обеспечению вылета. Данный комплекс работ выполняется в начале лётного дня после длительной (ночной) стоянки ЛА.



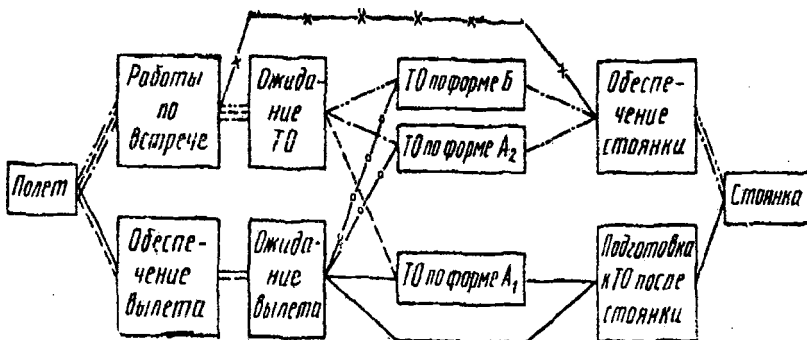


Рис. 1.4. Организационная структура ОТО

3. Послеполётный комплекс, который включает работы по встрече, по форме ТО (Б) и по обеспечению стоянки. Данный комплекс работ выполняется по прилёту ЛА на базу с последующей длительной (ночной) стоянкой.

4. Послеполётный комплекс, который включает работы по встрече, по форме ТО (Б) и по обеспечению вылета. Данный комплекс работ выполняется по прилёту ЛА на базу без длительной (ночной) стоянки.

Указанные формы и комплексы ОТО образуют оперативный цикл ТО ЛА, который реализуется в промежутке между двумя формами ПТО.

Работы, выполняемые при ОТО, можно условно разделить на специальные, типовые и вспомогательные.

Состав и содержание специальных работ регламентируются ЭТД и зависят от типа ЛА и формы ТО.

Состав типовых работ практически не зависит от типа ЛА и в зависимости от формы ТО имеет следующее содержание:

- обслуживание по форме А<sub>1</sub> включает проверку остатка топлива в баках, давления в кислородной и воздушной системах; дозаправку систем в соответствии с указаниями экипажа; наружный ос-

мотр ЛА на предмет выявления видимых повреждений, подтёков топлива, масла и специальных жидкостей; проверку зарядки колёс и амортизаторов шасси (по усадке); уборку помещений и обслуживание бытового оборудования;

– обслуживание по форме  $A_2$  включает работы, выполняемые на форме  $A_1$ , а также проверку количества масла в баках двигателей и гидравлической системы, осмотр лопаток ВНА и первых ступеней компрессоров двигателей, проверку работоспособности замков и сигнализации дверей и люков, осмотр отсеков передней и основной опор шасси с открытием створок;

– обслуживание по форме Б включает работы, выполняемые на формах  $A_1$  и  $A_2$ , а также демонтаж отдельных компонентов для лабораторной проверки, инструментальный контроль элементов конструкции, запуск и опробование двигателей.

*Состав вспомогательных работ* не зависит от типа ЛА, остаётся постоянным при проведении всех комплексов ОТО и имеет следующее содержание:

– работы по встрече (Вс) включают приёмку ЛА на место стоянки, заземление, получение от экипажа сведений о работе АТ в полёте, ознакомление с записями в бортовом журнале, слив и промывка баков бытового оборудования;

– работы по обеспечению стоянки (Ос) включают установку тормозных колодок под колёса ЛА, проверку в кабине экипажа, в бытовых помещениях и отсеках исходного положения органов управления и выключателей, снятие аккумуляторов (при температуре ниже  $-25^{\circ}\text{C}$  и стоянке более 12 ч), закрытие форточек, дверей и люков, установку заглушек, чехлов и струбцин, обработку ЛА противообледенительной жидкостью (при угрозе обледенения);

– работы по подготовке ЛА к ОТО (От) включают расчехление, открытие дверей и люков, снятие заглушек и струбцин, удаление снега, инея и льда, обработку ЛА противообледенительной жидкостью (при угрозе обледенения), установку аккумуляторов, кондиционирование воздуха в кабине экипажа (при необходимости) и заправку баков бытового оборудования.

Оперативное ТО обычно проводит цех (участок) оперативного ТО ЛА. Работы, за редким исключением, ведутся на открытых стоянках, группой исполнителей (бригадой), в состав которой входят специалисты различного профиля (механики, А и РЭО и т.д.). Работы выполняются в строгом соответствии с действующей ЭТД (регламент ТО, технологические указания, руководство по ТЭ ЛА и т.д.). Отклонения от ЭТД по составу и содержанию выполняемых работ, которые могут привести к снижению безопасности полётов, не допускаются.

В силу ограниченного резерва времени на проведение ОТО ЛА при организации работ (ПП) широко используются сетевые (СТГ) и линейные (ЛТГ) технологические графики, которые обеспечивают своевременность выполнения всего комплекса работ при минимальном числе исполнителей.

#### **1.4. Организация и содержание ПТО**

Периодическое ТО (ПТО) проводится с целью поддержания исправности (работоспособности) ЛА и его компонентов в процессе отработки установленных ресурсов. Работы по ПТО выполняются в заданных ЭТД объёмах с периодичностью, выраженной в часах налёта, посадках или в календарных сроках эксплуатации ЛА, и группируются в несколько организационных форм (Ф-1, Ф-2, Ф-3 и т.д.). Формы ПТО отличаются от форм ОТО большей трудоёмкостью и строгой увязкой объёма выполняемых работ с наработкой ЛА.

Для большинства типов ЛА с ГТД принята единая организационная структура ПТО: первая форма (Ф-1) выполняется через каждые 300, вторая (Ф-2) – через 900 и третья (Ф-3) – через 1800 часов налёта с допуском  $\pm 30$ ч. Допуск на срок выполнения форм ПТО позволяет проводить ТО позже или раньше планового срока и тем самым избежать простоев ЛА из-за невозможности его своевременного проведения. Вне зависимости от того с каким допуском была проведена предыдущая форма ПТО, срок выполнения очередной формы должен исчисляться от базовой цифры (300 ч, 900 ч, 1800 ч и т.д.).

В случае, если ЛА имеют относительно небольшой налёт, формы ПТО выполняются по календарным срокам: Ф-1к – через 4 месяца, Ф-2к – через 12 месяцев, Ф-3к – через 24 месяца и т.д. (с допуском  $\pm 15$  суток).

В тех случаях, когда ЛА используются для тренировочных полётов, тушения пожаров и других работ с большим числом посадок, ПТО выполняется по числу посадок: Ф-1 через 300, Ф-2 – через 900, Ф-3 – через 1800 и т.д. (с допуском  $\pm 30$  посадок).

Для некоторых типов ЛА (Як-40, Ан-24, Ту-134 и др.) принята сквозная (без повторений) нумерация форм ПТО в течение всего межремонтного периода эксплуатации.

Каждая форма ПТО состоит из предварительных, смотровых, стандартных и заключительных работ.

Предварительные работы включают приёмку ЛА на стоянку, подготовку необходимого оборудования, инструмента, расходных материалов, изучение задания на ТО ЛА.

Смотровые работы проводятся отдельно по каждой системе ЛА с целью выявления возможных повреждений (дефектов) конструкции и определения объёма текущего ремонта.

Стандартные работы предусматривают проведение инструментального контроля параметров систем ЛА и их компонентов (агрегатов), замену смазки в шарнирных соединениях, промывку фильтров и другие работы в соответствии с ЭТД.

Заключительные работы включают уборку рабочих мест, передачу ЛА в цех ОТО для подготовки к предстоящему вылету (стоянке), а также оформление производственно-технической документации.

Кроме работ, предусмотренных ЭТД, при ПТО обычно выполняется значительный объём неплановых работ, связанных с выявлением и устранением неисправностей функциональных систем, очисткой, заменой и регулировкой агрегатов, наружной мойкой ЛА и т.д.

Формы ПТО, выполняемого с большой периодичностью, обычно включают в себя объёмы работ форм, выполняемых с меньшей периодичностью, поэтому трудоёмкость форм с увеличением периодичности их выполнения возрастает (рис. 1.5).

Периодическое ТО проводит цех (участок) ПТО ЛА. Работы ведутся в закрытом помещении (в ангаре) или на стоянке, имеющей необходимое технологическое оборудование (стремянки, источники питания, подъёмные краны и т.д.).

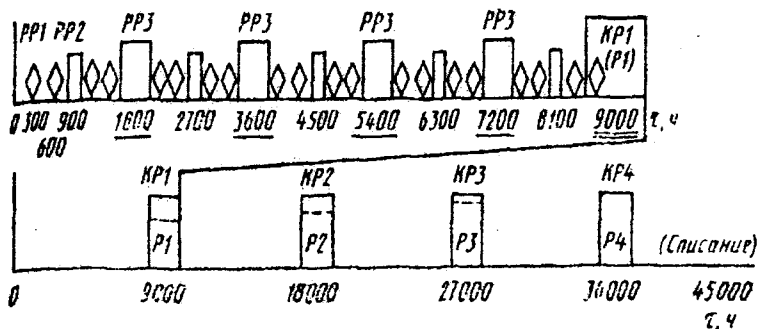


Рис. 1.5. Организационная структура ПТО

В состав цеха ПТО обычно входит несколько групп исполнителей (бригад), специализирующихся на обслуживании определённой системы (планера, двигателя, А и РЭО и т.д.) или части (зоны) ЛА (кабины, гондол шасси, технического отсека и т.д.). При большом объёме работ выделяются участки (группы), специализирующиеся на выполнении определённых работ (предварительный монтаж двигателей, текущий ремонт планера, промывка фильтров, обслуживание колёс шасси, ремонт и испытания агрегатов систем и т.д.).

Работы по ТО (проверке, регулировке и текущему ремонту) авиационного оборудования, снимаемого с ЛА при проведении ПТО, выполняются специализированной лабораторией.

Все работы по ПТО ЛА выполняются в соответствии с типовой ЭТД (регламент ТО, технологические указания, руководство по ТЭ и т.д.). Отклонения от ЭТД по объёму и периодичности выполнения

работ, которые могут привести к снижению надёжности АТ, не допускаются.

При переходе на ТЭС объём и периодичность выполнения работ по ПТО существенно изменяются. Наряду с типовыми регламентными работами при этом выполняется и значительный объём работ, специфичных для капитального ремонта АТ (контроль ТС компонентов конструкции, восстановление ЛКП, ремонт повреждённых и изношенных узлов и т.д.). В связи с этим для некоторых типов ЛА вводятся дополнительные формы ПТО, так называемые контрольно-восстановительные работы (КВР), которые проводятся через 2000....5000 ч налёта с привлечением представителей АРЗ и заводов-изготовителей АТ. Введение КВР позволило уменьшить величину эксплуатационных расходов, связанных с проведением капитальных ремонтов, и повысить интенсивность использования ЛА.

В силу большого объёма работ, выполняемых при ПТО, при организации ПП широко используется метод сетевого планирования и управления (СПУ), который позволяет разработать сетевые (СТГ) и линейные (ЛТГ) технологические графики, обеспечивающие выполнение всего комплекса работ в установленные (директивные) сроки при минимальном числе исполнителей.

## 1.5. Методы ТО

Под методом ТО в общем случае понимается комплекс правил и норм, направленных на решение задач, связанных с организацией ПП. На практике используется несколько методов ТО (рис. 1.6), различающихся принципом распределения состава и объёмов работ по видам и формам ТО, закрепления ЛА за ИТП и т.д.

Распределение состава работ по видам и формам ТО проводится:

- по наработке, выраженной в часах налёта, числе посадок, запусков или включений;
- по календарному сроку эксплуатации, выраженному в сутках, месяцах или годах;
- целенаправленно с учётом особенностей эксплуатации ЛА, времени года, состояния ВПП, особых ситуаций в полёте и на земле.

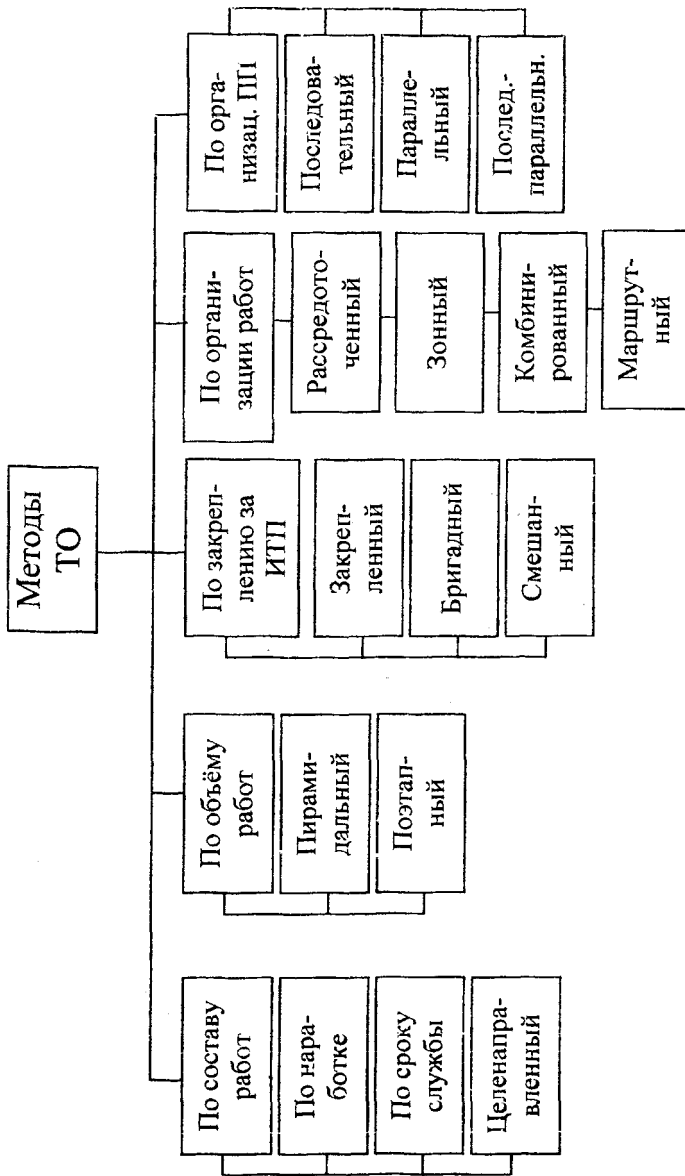
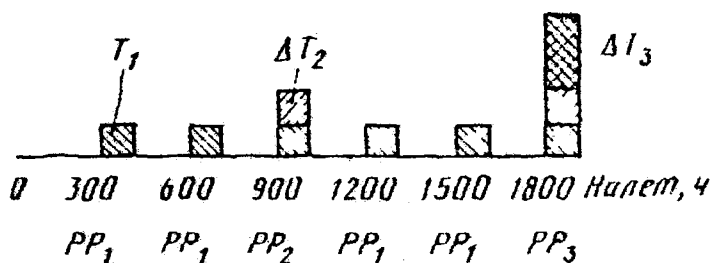
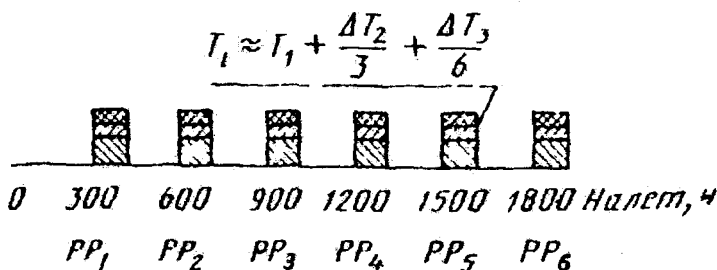


Рис. 1.6. Методы ТО ЛА



а



б

Рис. 1.7. Распределение объемов работ по формам ПТО при пирамидальном (а) и поэтапном (б) методах ТО

Распределение объемов работ по формам ТО проводится по пирамидальному и поэтапному методам (рис. 1.7):

*Пирамидальный (одноразовый) метод* ТО заключается в том, что каждый последующий комплекс работ (форма ПТО) включает в себя объем работ предыдущего комплекса и некоторый объем дополнительных работ, т.е. имеет место нарастающая с наработкой трудоёмкость комплексов (рис. 1.7,а).

*Поэтапный метод* ТО заключается в том, что объем работ, выполняемых на комплексах (формах ПТО) повышенной трудоёмкости, разбивают на несколько частей (этапов), которые поочередно выполняются при проведении меньших комплексов (форм ТО). Тру-



доёмкость образовавшихся при этом комплексов (этапов) примерно одинакова, а суммарная трудоёмкость работ равна общей трудоёмкости ПТО межремонтного цикла. За счёт равномерного распределения общего объёма работ по образовавшимся комплексам (этапам) сокращаются простои ЛА на формах ПТО с большой периодичностью, что, в конечном итоге, позволяет повысить эффективность работы цеха ПТО и интенсивность использования ЛА.

Разработано несколько вариантов поэтапного метода. Наиболее широкое распространение получил метод выполнения форм ПТО с распределённой по нескольким этапам трудоёмкостью (рис 1.7, б).

При использовании данного метода трудоёмкость каждого этапа ( $T_i$ ) состоит из трудоёмкости минимальной формы ПТО ( $T_1$ ) и некоторой части трудоёмкости последующих форм ( $\Delta T_2, \Delta T_3$  и т.д.).

Основным недостатком поэтапного метода является то, что на начальном этапе его реализации некоторые объёмы работ выполняются досрочно, т.е. без технической необходимости. Однако в ходе дальнейшей эксплуатации ЛА сроки выполнения работ постепенно приближаются к нормативным.

По закреплению ЛА за ИТП (экипажем) различают поэкипажный (закреплённый), обезличенный (бригадный) и смешанный методы ТО:

*Закреплённый метод ТО* заключается в том, что каждый ЛА закрепляется за группой лиц (экипажем), которая выполняет все виды работ по ТО. Данный метод получил широкое распространение в лёгкомоторной авиации и в тех случаях, когда для проведения работ не требуются специалисты узкого профиля. Требования к квалификации экипажа при этом предъявляются достаточно высокие.

*Бригадный метод ТО* заключается в том, что весь приписной парк ЛА обслуживается одной (несколькими) бригадой, в состав которой входят специалисты различного профиля (механики, АиРЭО и т.п.). За счёт узкой специализации исполнителей удаётся повысить качество и оперативность выполнения работ, но требуется дополнительная подготовка (специализация) ИТП.

*Смешанный метод ТО* заключается в том, что каждый ЛА закрепляется за определённой группой лиц (экипажем), но отдельные виды работ (АирЭО, ПТО и т.д.) на всём парке ЛА выполняет специализированная бригада.

По организации ПП различают последовательный, параллельный и последовательно-параллельный методы ТО.

*Последовательный метод ТО* заключается в том, что в каждый момент времени на ЛА выполняется только один вид работ (смотровые, наружная мойка, заправка топлива, замена двигателей и т.д.) или обслуживается только один ЛА.

*Параллельный метод ТО* заключается в том, что в каждый момент времени выполняется несколько (все) виды работ или обслуживаются несколько (все) поступившие на ТО ЛА.

*Последовательно-параллельный метод ТО* заключается в том, что одновременно выполняется несколько (но не все) виды работ или обслуживаются несколько (но не все) поступившие на ТО ЛА.

По организации работ на рабочем месте различают рассредоточенный, зонный, комбинированный и маршрутный методы ТО:

*Рассредоточенный метод ТО* обычно используется при хаотичном размещении агрегатов систем на ЛА. Метод заключается в том, что каждую систему (планер, двигатель, шасси и т.п.) обслуживает отдельная бригада (исполнитель). При этом каждый раз исполнителям приходится выполнять большой объём одинаковых подготовительно-заключительных работ (открытие-закрытие люков, створок, панелей, перестановка стремянок, лестниц и т.д.), а также много перемещаться на ЛА, что, в конечном итоге, ведёт к повышению трудоёмкости и времени проведения ТО. Данный метод ТО, в силу узкой специализации исполнителей, также способствует повышению качества выполнения работ.

*Зонный метод ТО* наиболее эффективен в том случае, когда имеет место выраженная группировка агрегатов систем на ЛА (кабина экипажа, технический отсек, гондола шасси и т.п.). При реализации метода ЛА разбивается на несколько зон, каждая из которых

обслуживается отдельной бригадой (исполнителем), что исключает дублирование выполнения подготовительно – заключительных работ, «лишние» переходы исполнителей, перемещения технологического оборудования и т.д. Основным недостатком зонного метода является то, что он требует комплектования бригад специалистами достаточно широкого профиля.

*Комбинированный метод ТО* заключается в использовании комбинации рассредоточенного и зонного методов. При этом требования к квалификации исполнителей и группировке агрегатов систем на ЛА существенно снижаются.

*Маршрутный метод ТО* предполагает распределение всего объёма работ по нескольким равнозначным или одному общему маршруту. Работы по каждому маршруту выполняются бригадой или одним исполнителем широкого профиля. Данный метод широко используется при проведении ОТО ЛА.

## **1.6. Структура производственных процессов ТО**

Эффективность СТОР оценивается по способности протекающих в ней процессов решать поставленные перед системой задачи по обеспечению готовности ЛА к полётам, надёжности и долговечности АТ при минимальных затратах времени, труда и денежных средств.

В общем случае производственный процесс (ПП) ТО представляет собой совокупность работ, выполняемых ИТП АТБ с участием (при необходимости) членов экипажа и представителей завода-изготовителя АТ. С другой стороны, под ПП понимается последовательная во времени смена состояний (подготовка производства, ТО и т.д.) производственной системы. При этом под производственной системой понимается АТБ в целом, цех, участок или группа, в состав которой входит объект производственной деятельности (АТ), средства ТО (технологическое и вспомогательное оборудование), а также ИТП, занятый выполнением основных (технологических) и вспомогательных работ в соответствии с ЭТД.

Принято различать основные, вспомогательные, конечные, встроенные, общие и специальные ПП (рис. 1.8):

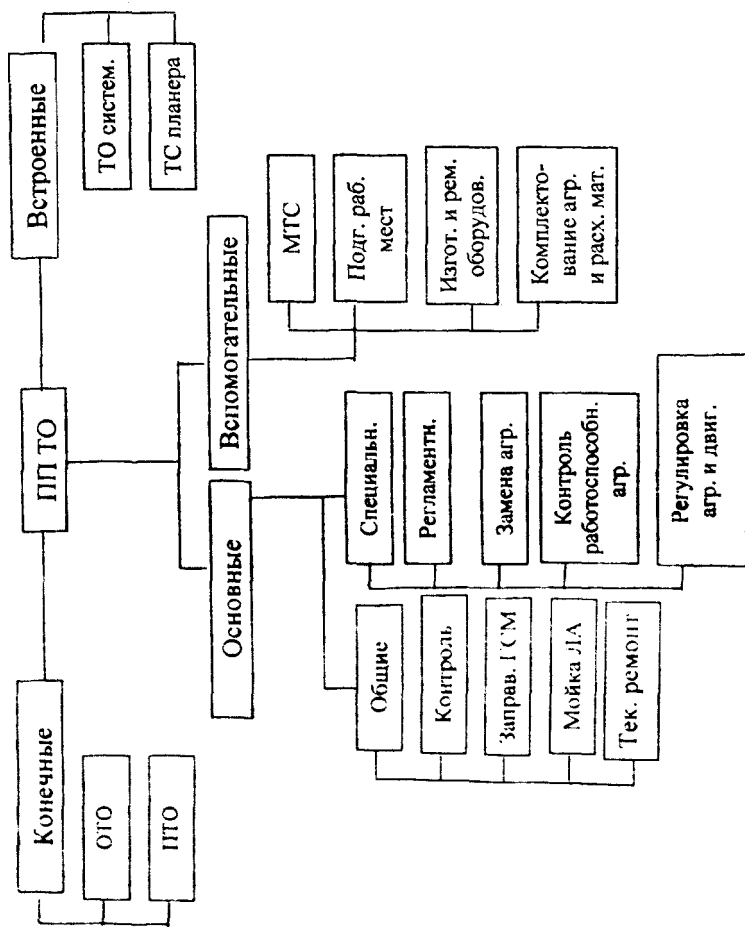


Рис. 1.8 Структура производственных процессов ТО ЛТ

*Основные ПП* (технологические) реализуются непосредственно на АТ и содержат работы, направленные на сохранение или восстановление эксплуатационных свойств ЛА (регламентные работы, текущий, средний или капитальный ремонт).

*Вспомогательные ПП* направлены на материально-техническое обеспечение основных процессов и содержат работы не связанные с изменением свойств объекта производственной деятельности (подготовка рабочих мест, комплектование запасных частей и расходных материалов, изготовление и ремонт технологического оборудования и т.д.).

*Конечные ПП* – это процессы, по завершении которых эксплуатационные свойства объекта производственной деятельности считаются восстановленными и он может быть использован по назначению. Это, например, различные виды и формы ТО, по завершении которых ЛА считается исправным (готовым) к полёту.

*Встроенные ПП* – это процессы которые являются составной частью конечных процессов и по их завершении для использования объекта (ЛА) по назначению требуется проведение дополнительных работ. Это, например, ТП обслуживания шасси, планера, двигателя и т.д.

*Общие (типовые) ПП* содержат много одинаковых по содержанию и применяемому оборудованию работ для различных объектов производственной деятельности (ЛА). Их реализация предполагает специализацию ИТП только по виду выполняемых работ и применяемому оборудованию (наружная мойка, чехление и буксировка ЛА, заправка топлива, текущий ремонт и т.п.).

*Специальные ПП* (регламентные работы, замена и регулировка агрегатов, запуск и опробование двигателей и т.п.) специфичны для каждого объекта производственной деятельности (ЛА) и поэтому их реализация предполагает специализацию ИТП как по виду выполняемых работ и применяемому оборудованию, так и по объекту производственной деятельности (по типу ЛА).

Основной (ТП) процесс представляет собой последовательную во времени смену технологических операций, содержание и очерёдность выполнения которых определены действующей ЭТД (регламент ТО, технологические указания по ТО и т.д.) и технологическим графиком (ТГ) выполнения работ.

*Технологическая операция* – законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте, одним и тем же исполнителем (бригадой), с применением одного и того же оборудования (инструмента). Например, замена двигателя на ЛА, осмотр планера и т.д. На каждую технологическую операцию разрабатывается отдельная технологическая карта, которая приведена в технологических указаниях по проведению регламентных работ.

Технологическая операция, в свою очередь, состоит из основных (рабочих) и вспомогательных (подготовительных) переходов, рабочих и вспомогательных ходов и позиций:

*Рабочий переход* – законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством исполнителей, применяемого оборудования и характера выполняемых работ. Например, отворачивание гаек крепления двигателя, осмотр фюзеляжа и т.п.

*Вспомогательный переход* – законченная часть технологической операции, содержащая действия, необходимые для выполнения рабочего перехода. Например, открытие капота для подхода к двигателю, открытие люков для проведения осмотра отсеков фюзеляжа и т.д.

*Рабочий ход* – законченная часть рабочего перехода, содержащая однократное действие исполнителя или однократное применение оборудования. Например, отворачивание одной гайки крепления двигателя, осмотр одного отсека фюзеляжа и т.п.

*Вспомогательный ход* – законченная часть рабочего хода, содержащая однократное действие исполнителя или применение оборудования, необходимые для выполнения рабочего хода. Например, открытие одного замка капота двигателя, открытие одного люка и т.д.

*Позиция* – фиксированное положение, занимаемое исполнителем или объектом производственной деятельности, необходимое для выполнения определённой части (перехода, хода) технологической операции. Например, занятие рабочего места исполнителем на стремянке для открытия капота двигателя, установка стремянки для подхода к люку и т.д.

Формирование рациональных во времени и по технологической оснащённости ТП проводится на основе типовой ЭТД (регламент ТО, технологические указания, руководство по ТЭ и т.д.) с использованием метода сетевого планирования и управления (СПУ) и теории массового обслуживания (ТМО). При этом учитываются интенсивность использования и потребности ЛА в работах по ТО и Р, производственные возможности АТБ, принятый метод ТО и т.д.

### **1.7. Построение рациональных во времени ТП**

В условиях ограниченного резерва времени на реализацию ТП, наряду с решением задач по поддержанию высоких уровней эксплуатационной надёжности АТ, большое внимание уделяется планированию мероприятий, направленных на сокращение простоев ЛА на ТО, которые базируются на совершенствовании организационной структуры процессов. Построение рациональных во времени ТП обычно ведётся в два этапа.

На первом этапе – с учётом заданного состава технологических операций, ограничений на последовательность и совместимость операций, трудоёмкости работ, требований к квалификации и численности исполнителей разрабатывается базовая модель ТП.

На втором этапе – с учётом фактических условий реализации ТП, в частности, числа исполнителей, разрабатывается рациональный во времени технологический график (ТГ) выполнения работ.

Состав, трудоёмкость и другие характеристики технологических операций, входящих в базовую модель ТП, определяются на основе изучения типовой документации, регламентирующей ТО объекта, путём проведения хронометража работ и т.д.

При построении базовой модели ТП обычно прибегают к использованию метода сетевого планирования и управления (СПУ), который позволяет разработать сетевую модель процесса (СТГ) и расчитать его временные характеристики.

В основе СТГ лежат два понятия: работа и событие. При этом термин «работа» может иметь несколько значений:

1. Действительная работа – требующая затрат труда и времени.
2. Ожидание – работа, требующая только затрат времени.
3. Фиктивная работа – работа, не требующая затрат ни труда, ни времени и указывающая только на возможность начала действительной работы.

Всякая работа соединяет два события: начальное (предшествующее) и конечное (последующее). При построении сетевой модели события изображаются кружками, а работы – стрелками, направленными от начального события к конечному. При этом фиктивные работы изображаются пунктирными линиями (рис. 1.9).

В кружках проставляются номера событий, а над стрелками указываются шифры работ. Событие, не имеющее предшествующих работ, называется начальным, а событие, не имеющее последующих работ, – завершающим.

Последовательность работ, в которой конечное событие каждой работы совпадает с началом следующей за ним работы, называют путём. Путь от исходного события до завершающего называется полным путём. Полный путь, имеющий максимальную продолжительность, называется критическим.

Для любого события  $i$  можно рассчитать ранний  $t_p$  и поздний  $t_n$  сроки свершения. Ранний срок свершения события равен продолжительности максимального из путей от исходного события до момента его свершения, а поздний – разности между продолжительностью критического пути и продолжительностью максимального из путей от момента его свершения до завершающего события.



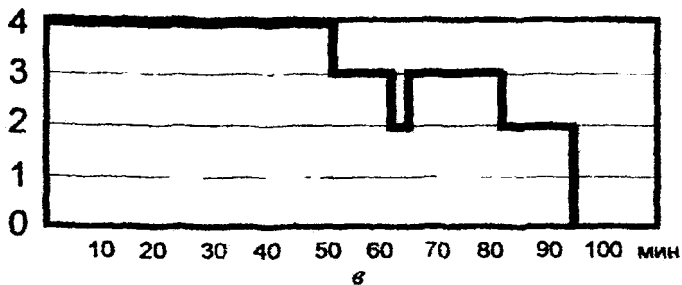
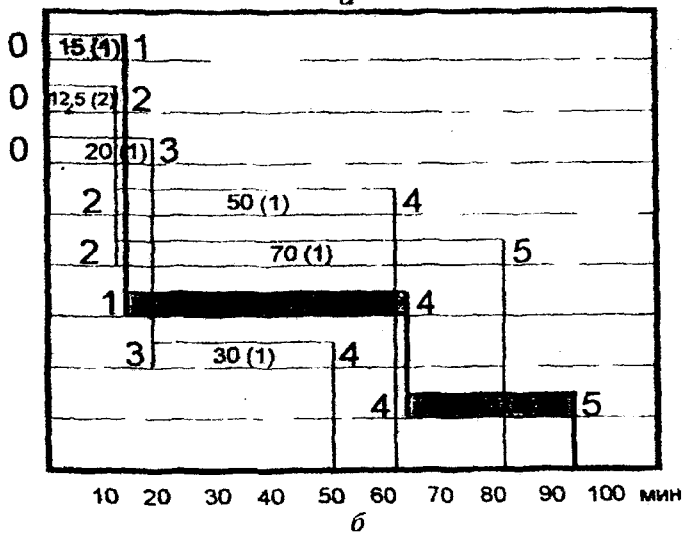
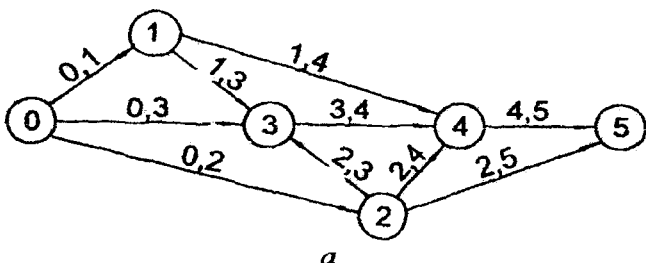


Рис. 1.9. Базовый СТГ (а), рациональный во времени ЛТГ(б) и нагрузка исполнителей (в) для ПН ТО шасси при четырёх исполнителях (N=4)

Разность между  $t_p$  и  $t_n$  определяет резерв времени на свершение события  $i$  и обозначается  $R(i)$ . События, которые находятся на критическом пути, не имеют резервов времени, так как у них  $t_p(i) = t_n(i)$ . Полный резерв времени  $R(i,j)$  работы  $i,j$  равен разности между продолжительностью критического пути и продолжительностью максимального из полных путей, проходящих через данную работу:

$$R(i,j) = t_n(j) - t_p(i) - t(i,j),$$

где  $t(i,j)$  – продолжительность  $i,j$  работы.

Частный (фиктивный) резерв времени  $R_{\phi}(i,j) = t_p(j) - t_p(i) - t(i,j)$  имеют работы, предшествующие событию, в котором пересекаются пути различной продолжительности. Он показывает, какую часть полного резерва времени  $R(i,j)$  можно использовать на увеличение пути от исходного события процесса до события  $j$  при условии, что это увеличение пути не вызовет изменения  $t_p(j)$ .

Основным преимуществом СТГ является то, что он позволяет наглядно представить организационную структуру процесса и взаимосвязь между отдельными технологическими операциями. На практике наряду с СТГ используются и линейные технологические графики (ЛТГ).

Построение ЛТГ (рис. 1.9,б) отличается простотой исполнения, так как в него входят только действительные работы. Разработка ЛТГ обычно ведётся на основе СТГ с учётом реальных условий реализации процесса: числа исполнителей, технологических ограничений и т.д.

Работы-полоски располагаются на горизонтальных линиях (сверху вниз) в порядке возрастания номеров событий. Справа и слева от каждой полоски проставляются номера начального и конечного событий. Каждая работа располагается на отдельной горизонтали так, чтобы её начало совпадало со сроком свершения предыдущей работы, а длина полоски соответствовала длительности работы. Работы-полоски, лежащие на критическом пути, выделяются штриховкой. Внутри каждой полоски проставляются время выполнения работы и число занятых исполнителей.

Линейные ТГ отличаются простотой использования при организации ТП, так как они позволяют в любой момент времени определить очерёдность выполнения и число занятых в работах исполнителей.

Задача построения рациональных во времени ЛТГ относится к классу задач календарного планирования и формулируется следующим образом. Задана базовая модель ТП, представленная в виде СТГ (см. рис. 1.9,а), и её параметры (табл. 1.1). Требуется разработать ЛТГ, обеспечивающий минимум времени выполнения комплекса работ при заданном числе исполнителей (N).

Таблица 1.1

*Параметры СТГ ТО шасси ЛА*

Шифр работы	Трудоёмкость, чел.-ч	Максимальное число исполнителей	Минимальное число исполнителей
0,1	0,25	1	2
1,4	0,83	1	2
0,2	0,42	1	2
2,5	1,17	1	1
0,3	0,33	1	1
3,4	0,5	1	1
4,5	1,0	2	2
2,4	0,83	1	2
1,3	-	-	-
2,3	-	-	-

При построении ЛТГ учитывается специфика выполнения работ по ТО АТ:

1. Выполнение каждой работы не прерывается до её окончания.

2. Время перемещения исполнителей с одного рабочего места на другое не учитывается. Каждый исполнитель имеет квалификацию, достаточную для выполнения любой работы, входящей в состав ТП.

3. Фронт работ по каждой операции ТП ограничен как сверху, так и снизу.

Решение поставленной задачи осуществляется с использованием метода подвижных фронтов, который заключается в следующем.

Промежуток времени выполнения комплекса работ делится на интервалы таким образом, чтобы внутри них не начиналась и не оканчивалась ни одна работа. В начале каждого интервала формируется определённый фронт работ, т.е. определённая совокупность работ, технологически подготовленных к выполнению. Между этими работами распределяются свободные от работы исполнители. В общем случае свободных исполнителей может не хватить для одновременного выполнения всех работ фронта, тогда часть работ, выбранных с соблюдением некоторых правил предпочтения, сдвигается (отсрочивается) до момента формирования очередного фронта. Такой момент определяется по окончании какой-либо работы из числа выполняемых, т.е. как момент появления свободных от работы исполнителей.

При формировании каждого фронта необходимо учитывать ограничения по предшествованию и совместимости технологических операций, числу исполнителей и т.д. Если ограничения не выполняются, то работа подлежит сдвигу во времени до момента формирования очередного подходящего фронта. Процедура формирования фронтов повторяется до тех пор, пока не будут выполнены все работы ТП.

При формировании фронтов обычно придерживаются следующих правил предпочтения:

1. Первыми выполняются работы, имеющие наибольшее время выполнения и требующие наибольшего числа исполнителей.
2. Из работ с одинаковым временем выполнения и числом исполнителей первыми выполняются работы, оказывающие наиболее сильное влияние на дальнейшую реализацию ТП.

При построении ЛТГ стремятся к обеспечению наиболее полной загрузки исполнителей, которая характеризуется показателем  $K_{зи}$ :

$$K_{зи} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i N_i}{N t_{кр}} 100\% \geq 90\%,$$

где  $N_i$  – число исполнителей из общего числа  $N$ , участвующих в работах на  $i$ -м интервале;  $t_i$  – длина  $i$ -го интервала;  $t_{кр}$  – длина критического пути.

Анализ загруженности исполнителей удобно проводить с использованием графика (рис. 1.9,в), построенного на основе ЛТГ с учетом директивного времени  $t_{дир}$  выполнения работ.

Эффективность ЛТГ оценивается по длине критического пути  $t_{кр}$  и значению показателя занятости исполнителей  $K_{зи}$ . Так, при  $t_{кр} \leq t_{дир}$  и  $K_{зи} \geq 90\%$  имеет место рациональный во времени ТП, при  $t_{кр} > t_{дир}$  и  $K_{зи} \geq 90\%$  – ТП с недостаточным числом исполнителей и т.д.

### 1.8. Построение рациональных по оснащённости ТП ТО

В условиях высокой интенсивности полётов существенное влияние на своевременную подготовку ЛА к вылету (регулярность полётов) оказывает уровень технологической оснащённости ТП ТО, под которой понимают состав и количество технологического оборудования (стоянок, буксировщиков, топливозаправщиков и т.д.), а также ИТП (бригад, смен, участков и т.д.), занятого в проведении работ.

Рациональный (погресбный) уровень технологической оснащённости ТП зависит от вида и условий проведения работ, совершенства используемого оборудования, квалификации ИТП, интенсивности полётов и заданной продолжительности ТО ЛА. Его определяют с использованием ряда показателей (критериев), характеризующих эффективность процесса ТО ЛА (регулярность полётов, исправность ЛА, своевременность окончания работ и т.д.).

Разработка рациональных по технологической оснащённости ТП обычно связывается с освоением новой АТ, изменениями объёмов и характера лётной работы, условий проведения работ и т.д. Определение рациональной оснащённости ТП обычно проводят в два этапа:

1. В соответствии с типовой ЭТД определяют состав необходимого технологического оборудования и требования к квалификации ИТП.

2. С учётом планируемого (реально выполняемого) объёма работ и планируемых (имеющихся в наличии) материальных ресурсов определяют количество технологического оборудования и число ИТП (бригад), обеспечивающих заданные значения показателей (критериев) эффективности ТП.

Процессы ТО ЛА, в силу многообразия влияющих на них факторов, не лишены элементов случайности, поэтому при разработке ТП обычно прибегают к использованию элементов теории вероятностей и, в частности, теории массового обслуживания (ТМО). При этом речь идёт об удовлетворении спроса на проведение ОТО, ПТО, устранение неисправностей, заправку ГСМ, буксировку, наружную мойку ЛА и другие работы при достаточно высокой интенсивности поступления заявок (требований).

Теория массового обслуживания позволяет решать задачи максимального удовлетворения спроса при заданных параметрах (числе смен, участков и бригад, количестве технологического оборудования и т.д.) обслуживающей системы. Каждое поступившее в обслуживающую систему требование на проведение тех или иных работ должно быть оперативно выполнено исполнителями (бригадой) с использованием определённого технологического оборудования, которые совместно представляют собой обслуживающую систему.

Поток требований, входящих в обслуживающую систему, называют входящим потоком требований. В большинстве случаев входящие потоки находятся под влиянием большого числа случайных факторов, поэтому для их описания прибегают к использованию вероятностных параметров. От точности определения параметров входящего потока во многом зависит эффективность функционирования обслуживающей системы (загруженность технологического оборудования и ИТП, время ожидания и продолжительность ТО и т.д.) и системы массового обслуживания в целом.

Потоку требований на ТО ЛА также свойственны элементы случайности (отмены и задержки вылетов, возникновение неисправностей, отсутствие запасных частей, выполнение дополнительных работ и т.д.), которые приводят к нерегулярности поступления требований, непостоянству объёмов выполняемых работ и т.д. В силу этого при решении задач, связанных с организацией ТП, входящий поток требований на проведение ТО обычно рассматривается как простейший поток событий, отвечающий условиям стационарности, ординарности и отсутствия последействия. Это означает, что интенсивность потока на рассматриваемом интервале времени остаётся постоянной, одновременное появление двух и более требований невозможно, а поступившие в систему требования взаимно независимы. Такие потоки требований называются пуассоновскими и обозначаются символом М.

Вероятность  $R_n(\tau)$  поступления  $n$ -требований за период  $\tau$  в этом случае рассчитывают по формуле

$$R_n(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^n}{n!} e^{-\lambda\tau},$$

где  $\lambda=1/T_{\text{ср}}$  – интенсивность потока требований или среднее число требований в единицу времени;  $T_{\text{ср}}$  – средняя длина промежутка времени между поступлениями требований.

Вероятность  $R_0(\tau)$  непоступления требований за период  $\tau$  при этом составит:

$$R_0(\tau) = e^{-\lambda\tau}.$$

Интенсивность потока требований на ТО ЛА в течение суток (месяца, года и т.д.) может изменяться в достаточно широких пределах (днём и ночью, летом и зимой и т.д.), поэтому при разработке ТП выделяется несколько периодов времени (рис. 1.10) с относительно постоянной интенсивностью поступления требований и для каждого из них решают задачу определения параметров обслуживающей системы. Параметры обслуживающей системы, отвечающие требованиям наиболее напряжённого периода использования ЛА, принимаются в качестве базовых при установлении параметров рационального по технологической оснащённости ТП. Для описания

потока требований при этом достаточно указать интенсивность  $\lambda$  или среднее время  $T_{\text{ср}}$  между поступлениями требований.

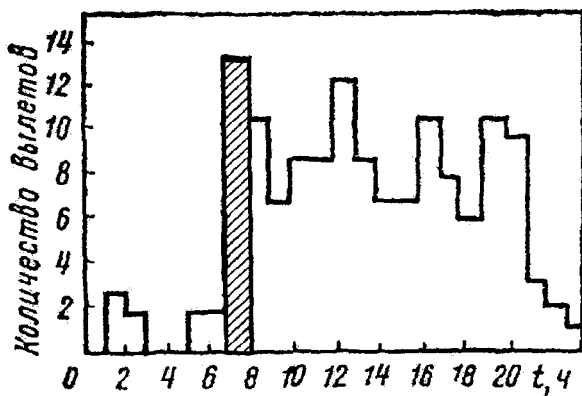


Рис. 1.10. Интенсивность поступления требований на ОТО ЛА ( $A_1$ ) в течение суток

На практике имеют место и другие виды потоков требований: с частичной зависимостью между событиями (GJ), детерминированные (D) и другие. Однако их использование при решении задач массового обслуживания затрудняется отсутствием готового математического аппарата для определения параметров обслуживающей системы. Поэтому на практике обычно прибегают к приведению потока требований к пуассоновскому (M), что упрощает решение задач без внесения существенных погрешностей в результаты расчетов.

При разработке системы массового обслуживания кроме описания входящего потока требований необходимо изучить и описать поток обслуживания, т.е. определить среднее время обслуживания требования  $\mu$ , закон распределения времени обслуживания и число обслуживающих аппаратов S.

Среднее время обслуживания определяется методом СПУ или путём проведения хронометража работ. В силу случайного объёма и времени выполнения работ по ТО ЛА поток обслуживания, как и входящий поток требований, можно считать пуассоновским (M).



В этом случае система массового обслуживания будет иметь вид  $M|M|S$ , где первый индекс определяет входящий поток требований, второй – поток обслуживания, а третий – число обслуживающих аппаратов.

При решении задач массового обслуживания используются статистический и аналитический методы расчёта параметров системы.

Основным преимуществом статистического метода, основанного на анализе результатов натуральных испытаний системы, является то, что он позволяет решать практически любые задачи массового обслуживания. Однако его реализация требует значительных затрат времени и средств на проведение экспериментов, связанных с оптимизацией параметров системы.

Аналитический метод, основанный на использовании математического аппарата ТМО, позволяет по заданным параметрам потоков требований и обслуживания, а также по числу обслуживающих аппаратов провести оптимизацию основных параметров системы, не прибегая к натурным испытаниям. Однако область его применения, из-за отсутствия отработанного математического аппарата, обычно ограничивается системами типа  $M|M|S$ . В силу этого при использовании аналитического метода прибегают к постановке задачи так, чтобы привести систему к виду  $M|M|S$ .

При разработке системы типа  $M|M|S$  используется ряд математических выражений для расчёта её параметров.

Вероятность того, что в системе нет требований:

$$P_0 = \frac{1}{\frac{(\rho s)^s}{s!(1-\rho)} + \sum_{i=0}^{s-1} \frac{(\rho s)^i}{i!}};$$

где  $\rho = \lambda \mu / s$  – показатель загрузки системы.

Вероятность того, что требованию не придётся ожидать начала обслуживания:

$$R = 1 - P_0 \frac{(\rho s)^s}{s!(1-\rho)}.$$

Вероятность того, что время обслуживания меньше заданного:

$$Q(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\mu}} + \frac{1 - R}{s - \rho s - 1} e^{-\frac{s(1-\rho)t}{\mu}} (1 - e^{-(s-\rho s-1)t/\mu}).$$

С использованием приведенных и других подобных выражений решают различные задачи массового обслуживания и, в частности, проводят оценку эффективности системы ТО, определяют необходимое число обслуживающих аппаратов (стоянок, бригад ИТП, средств механизации и т.д.), необходимых для обеспечения требуемых значений показателей эффективности системы и т.д.

### 1.9. Эксплуатационная техническая документация

Эксплуатация ЛА осуществляется в строгом соответствии с действующей нормативно-технической документацией ГА. Эксплуатационная техническая документация (ЭТД) подразделяется на руководящую, пономерную и производственно-техническую (рис.1.11):

*Руководящая ЭТД* регламентирует общие вопросы организации и обеспечения ТЭ ЛА, определяет требования к АТ и правила организации СТОР.

В свою очередь, руководящая ЭТД подразделяется на общую (для всех типов ЛА) и типовую (для определённого типа ЛА).

*Общая руководящая ЭТД* регламентирует решение общих вопросов организации и обеспечения эксплуатации ЛА. Общими руководящими документами по ТЭ ЛА являются: наставление по ТЭ и ремонту АТ (НТЭРАТ ГА), приказы, указания, инструкции, методики и другие нормативные документы ГА. Общая документация разрабатывается на основе действующих нормативных актов, утверждённых постановлениями правительства (воздушный кодекс РФ, государственные стандарты, нормы лётной годности ЛА), и других нормативно-технических документов, регламентирующих эксплуатацию гражданской АТ. Она является обязательной к исполнению для всех должностных лиц ГА, учреждений и организаций, использующих в своей деятельности гражданскую АТ.

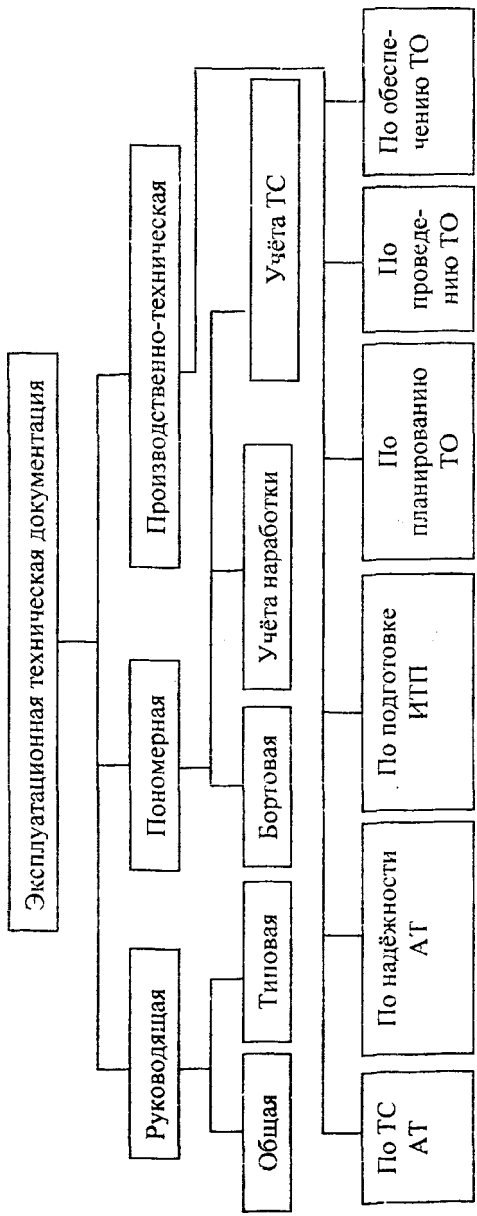


Рис. 1.11. Классификация ЭТД

Основным руководящим документом, определяющим и регламентирующим деятельность организаций и предприятий ГА, является НТЭРАТ ГА. В нём приведены основные положения и правила ТЭ ЛА, связанные с

- организацией ТЭ и Р АТ;
- подготовкой ЛА к полётам;
- эксплуатацией ЛА в полёте и на земле;
- выполнением работ по ТО и Р;
- ведением ЭТД и другие.

*Типовая руководящая ЭТД* включает документы, которыми экипажи и ИТП руководствуется при эксплуатации ЛА конкретного типа. Типовыми руководящими документами для ИТП являются: руководство (инструкция) по ТЭ, регламент ТО, технологические указания по ТО, руководство по ремонту, бюллетени промышленности и другая типовая документация.

*Руководство (инструкция) по ТЭ (РЭ)* содержит сведения, необходимые для выполнения работ по ТО и замене агрегатов, регулировочных и других работ на ЛА.

*Регламент ТО* и технологические указания определяют объекты обслуживания, объём, периодичность и порядок выполнения работ в процессе эксплуатации ЛА.

*Руководство по ремонту* определяет требования по выполнению всех видов ремонтных работ, выполняемых на АТ в условиях ремонтного и эксплуатационного предприятий.

*Бюллетени* определяют объёмы и содержание работ, связанных с устранением конструктивных и производственных недостатков, а также содержат дополнения к действующей ЭТД. Они делятся на эксплуатационные (БЭ), ремонтные (БР), по изменению конструкции ЛА (ИК) и устранению неисправностей (БД).

*Типовая ЭТД* разрабатывается организациями промышленности на основе программы ТО и Р ЛА и принимается к исполнению после

утверждения (ввода в действие) руководящими органами ГА. В эксплуатации принимаются меры по её изучению, своевременному и качественному исполнению.

*Пономерная ЭТД* относится к конкретному изделию (планеру, двигателю, агрегату и т.д.), имеющему заводской номер, присвоенный ему при изготовлении. Пономерная документация подразделяется на бортовую (судовую) и наземную (по учёту работы и ТС АТ).

В полёте на борту ЛА должны находиться свидетельство о регистрации ЛА, удостоверение о годности ЛА к полётам, бортовой журнал и центровочный график, без которых выпуск ЛА в полёт запрещён.

Основными документами, учитывающими работу и ТС АТ, являются формуляры и паспорта. Они хранятся в специальном помещении ПДО и выдаются экипажу при перегоне ЛА в ремонт, на доработку и выполнение других работ с длительным отрывом от базы.

В формуляр ЛА (двигателя) вносятся сведения о его приёмке на заводе – изготовителе, результатах испытаний и установленном ресурсе, приводится перечень комплектующих изделий (КИ) с указанием их номеров и ресурсов. В формуляре ведётся учёт наработки и ТС, выполненных работ, доработок конструкции, изменений в составе КИ, движения, хранения, консервации и т.д. Паспорта КИ при этом являются приложениями к соответствующему формуляру ЛА (двигателя). Пономерная документация сопровождает ЛА (двигатель) в течение всего периода его эксплуатации. Без правильно оформленной пономерной документации эксплуатация ЛА (двигателя) запрещается.

*Производственно-техническая документация* используется для планирования, учёта работ и составления отчётов по эксплуатации АТ и производственно-хозяйственной деятельности АТБ. Она разделяется на группы по назначению (учётно-отчётная, информационная, распорядительная и т.д.), виду (акты, журналы, карты, ведомости, справки и т.д.) и области применения (по контролю за на-

дѣжностью и ресурсами АТ, по подготовке ИТП, по планированию и проведению ТО и Р АТ и т.д.).

Документальное оформление работ, выполняемых при ТО ЛА, производится в картах-нарядах, нарядах на дефектацию, нарядах на проведение трудоѐмких работ (замену двигателя, воздушного винта и других подобных операций) и в пооперационных ведомостях. При этом наряды на дефектацию, замену двигателей и пооперационная ведомость являются приложениями к карте-наряду на ТО ЛА и поэтому выписываются, оформляются и хранятся только совместно.

В карте-наряде на ТО ЛА и в пооперационных ведомостях против каждой операции должны быть подписи исполнителя работ и контролёра. Если отсутствует хотя бы одна подпись, то соответствующая операция ТО считается невыполненной, карта-наряд – неоформленной, а ЛА – неисправным и не может быть допущен к полѣту.

*Карта-наряд* на ТО включает в себя задание на выполнение работ, перечень обслуживаемых систем и дополнительных работ, которые не предусмотрены регламентом. Зарегистрированная и полностью оформленная карта-наряд является документом, подтверждающим исправность ЛА и готовность его к полѣту. Различают карты-наряды на проведение ОТО, ПТО и на оказание технической помощи сторонним авиакомпаниям.

*Наряд на дефектацию (ведомость дефектов)* выписывается отдельно для каждой системы ЛА (планера, шасси, управление и т.д.) и заполняется авиатехником-дефектовщиком по результатам её дефектации. Обнаруженные дефекты вносятся в ведомость с указанием действительной (предполагаемой) причины возникновения. По окончании дефектации системы техник-дефектовщик подписывает ведомость и передаѣт её инженеру смены, который принимает решение на устранение дефектов, организует и контролирует качество выполнения работ.

*Пооперационная ведомость* предназначена для оформления передачи ЛА с неоконченным ТО из одной смены в другую, для учё-

та выполненных работ и повышения ответственности исполнителей и контролёров. Ведомость выписывается только на ПТО и содержит полный перечень работ, входящих в данную форму (этап) ТО, с указанием должностных лиц (Т,И,К), контролирующих качество выполнения работ. В конце ведомости предусмотрены подписи должностных лиц (начальника и инженера смены), передающих ЛА из смены в смену для продолжения ТО.

В случае повреждения АТ принимаются меры по её восстановлению. Основанием для проведения работ служат *акты комиссии по расследованию повреждений (инцидентов)*, явившихся причиной повреждения АТ.

Списание АТ сопровождается составлением *технического акта на списание АТ*. Акт составляет специальная комиссия, состоящая из работников эксплуатационного предприятия (АТБ) на основе изучения пономерной документации и оценки ТС списываемой АТ.

Продление ресурса АТ производится специальной комиссией, состоящей из представителей завода-изготовителя, АРЗ, НИИ ГА, АТБ и других заинтересованных организаций. Комиссия на основе решения о продлении ресурса конкретного типа АТ, изучения пономерной документации и результатов оценки ТС составляет *технический акт на продление ресурса* конкретного изделия.

При предъявлении претензий поставщикам по восстановлению АТ, вышедшей из строя ранее истечения гарантийного ресурса по причинам, исключаяющим вину эксплуатанта, составляется *рекламационный акт*.

При получении ЛА от завода-изготовителя, при передаче на ремонтный завод и обратно, а также при передаче ЛА от одного эксплуатанта другому оформляется *приёмсдаточный акт*.

### 1.10. Разработка типовой ЭТД

В процессе эксплуатации выполняется комплекс регламентных и вспомогательных работ, направленных на поддержание лётной годности и готовности ЛА к полётам. Все работы по ТО АТ выполня-

ются в соответствии с действующей типовой ЭТД. Основными типовыми технологическими документами являются регламент ТО и технологические указания по выполнению регламентных работ.

### *Разработка регламента ТО*

*Регламент ТО (РО)* разрабатывается на основе программы ТО и Р ЛА и постоянно корректируется работниками специализированных организаций (КБ, НИИ и т.д.) с учётом результатов эксплуатационных испытаний и регулярной эксплуатации АТ. Он представляет собой руководящий эксплуатационный документ, определяющий объём и периодичность выполнения регламентных работ (режим ТО) в процессе эксплуатации и хранения ЛА. От того, насколько полно в РО отражены потребности ЛА в профилактических мероприятиях, зависят надёжность работы АТ и величина эксплуатационных расходов, связанных с ТО.

При разработке РО приходится решать комплекс вопросов, связанных с определением количества и периодичности форм ТО, содержания, объёмов и периодичности выполнения регламентных работ, группировки работ в оптимальные формы регламента и т.д. Регламент является рабочим документом, в соответствии с которым ИТП проводит ТО ЛА. Он определяет конкретные объекты ТО (системы, подсистемы, агрегаты), режимы их ТО, а также технологии выполнения регламентных работ. В состав РО входят следующие разделы:

- *общие положения*, в котором приводятся структура ТО и общие требования по выполнению и контролю качества выполнения регламентных работ;
- *меры безопасности*, в котором указываются меры безопасности общего характера при проведении ТО (меры безопасности при выполнении конкретных работ приведены в технологических картах);
- *оперативное ТО*, в котором устанавливаются состав и порядок выполнения работ по подготовке ЛА к полётам, состав и периодичность выполнения работ, входящих в ОТО (А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, Б и другие);



– *периодическое ТО*, в котором устанавливаются состав и периодичность выполнения работ, направленных на обеспечение надёжной работы АТ и входящих в ПТО (Ф-1, Ф-2, Ф-3 и другие);

– *специальное ТО*, в котором устанавливается состав работ, обеспечивающих восстановление работоспособности АТ после попадания ЛА в особые условия эксплуатации (попадание молнии, выкатывание за пределы ВПП и т.д.);

– *обслуживание при хранении*, в котором устанавливается состав работ, выполняемых по календарным срокам и обеспечивающих поддержание работоспособности АТ при кратковременном (до 3 месяцев) или длительном (до 10 лет) хранении.

– *приложения*, в которых приводятся дополнительные сведения, необходимые для выполнения регламентных работ ( типовые ТГ подготовки ЛА к полётам, карты и таблицы смазывания, перечень КИ, после замены, регулировки или ремонта которых производится контрольно-испытательный полёт, схемы размещения на ЛА эксплуатационных люков, перечень разрешённых регулировок агрегатов и т.д.).

На основе РО и другой типовой ЭТД разрабатываются технологические указания по выполнению регламентных работ. При введении изменений в содержание РО соответствующим образом перерабатываются и технологические указания.

Проект первоначального РО представляется Государственной комиссии вместе с опытным образцом ЛА. Проверка и уточнение первоначального регламента производятся в процессе заводских, государственных и эксплуатационных испытаний, а также в ходе регулярной эксплуатации ЛА.

В ходе регулярной эксплуатации проводятся работы по совершенствованию типовой ЭТД в направлении оптимизации режимов ТО (введение или исключение отдельных технологических операций, изменение периодичности выполнения работ и т.д.). Необходимость такой корректировки ЭТД обусловлена изменением ТС АТ в процес-

се эксплуатации, проведением конструктивных доработок систем и агрегатов, накоплением опыта эксплуатации ЛА и, в частности, опыта ТО, совершенствованием методов и средств контроля ТС, реализацией прогрессивных методов ТЭ и стратегии ТО и Р АТ и т.д.

В целях качественного и своевременного проведения работ по совершенствованию типовой ЭТД в ходе регулярной эксплуатации ЛА постоянно ведутся работы по сбору и обработке информации о надёжности АТ и обобщению опыта эксплуатации ЛА.

В общем случае можно выделить три этапа формирования РО (рис. 1.12).

*Государственные и эксплуатационные испытания ЛА.* Этап продолжается 300...500 лётных часов и является началом практической проверки и уточнения первоначального регламента. В этот период на основе данных эксплуатации группы ЛА, проходящих эксплуатационные испытания, производится сбор и анализ данных по отказам и неисправностям, уточнение показателей надёжности изделий, определение необходимости, периодичности и технологий выполнения отдельных работ, корректировка структуры ОТО и ПТО. По завершении этого этапа формируется уточнённый РО.

*Начало регулярной эксплуатации ЛА.* Этап продолжается 1-2 года и служит главным образом для приведения структуры ОТО и ПТО к заданным стандартам техническим требованиям. Эффективность регламента и его изменений в этот период оценивается на основе информации об отказах и неисправностях всего действующего парка ЛА, полученной от организаций по ТО и Р в форме карточек учёта отказов и неисправностей АТ (КУНАТ).

С целью получения опережающей информации о надёжности АТ в этот период обычно выделяется группа ЛА, проходящих подконтрольную эксплуатацию с увеличенной периодичностью и сокращённым объёмом регламентных работ. На основе полученных при этом данных устанавливается необходимость и возможность дальнейшей корректировки типовой ЭТД. По завершении этого этапа формируется постоянный РО ЛА.

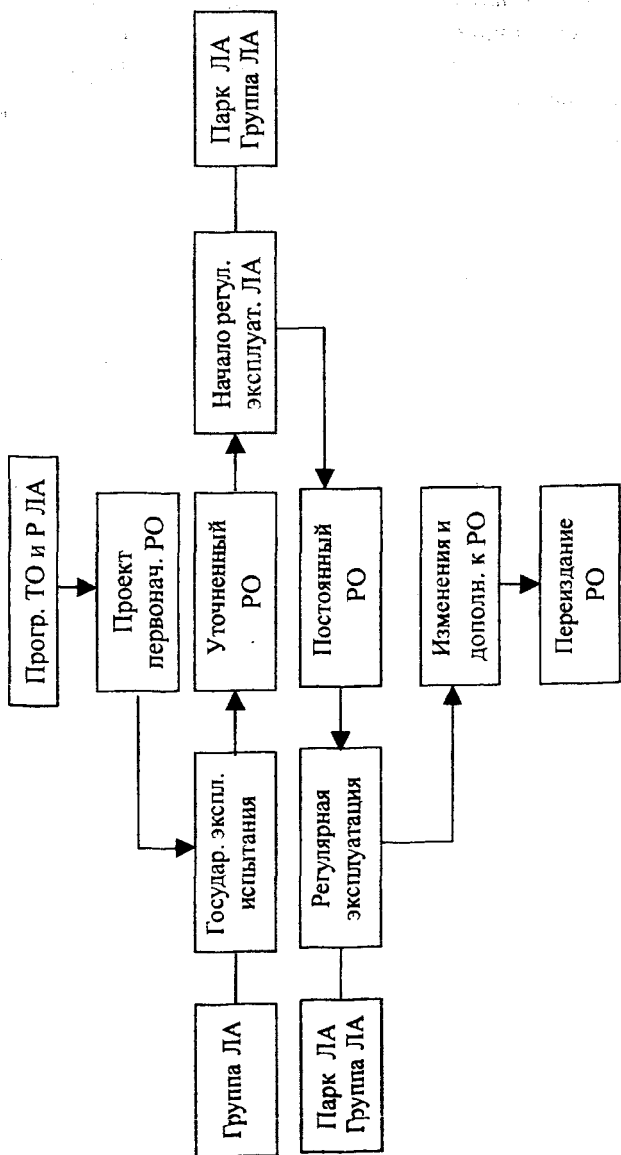


Рис. 1.12. Структура работ при разработке РО ЛА

*Регулярная эксплуатация ЛА.* Этап продолжается до полного завершения регулярной эксплуатации ЛА и заключается в дальнейшей корректировке режимов ТО и Р и приведении их в соответствие с изменяющимся ТС АТ. В этот период из-за большого числа изменений, внесённых в ЭТД, проведенных доработок систем и агрегатов, накопления опыта эксплуатации ЛА и ряда других причин может возникнуть необходимость в полном пересмотре (переиздании) РО и других документов. Как правило, РО без переиздания действует не более четырёх-пяти лет.

Во всех случаях основой для корректировки типовой ЭТД служит опыт эксплуатации ЛА и, в частности, данные об отказах и неисправностях АТ, выявленных в условиях эксплуатации. При этом каждое изменение регламента включает:

- сбор данных о выявленных отказах и неисправностях АТ;
- качественный анализ надёжности АТ;
- расчёт и оценку показателей надёжности АТ;
- разработку изменений к действующей документации;
- обоснование объёмов и периодичностей выполнения дополнительных работ;
- распределение дополнительных работ по формам ТО;
- ввод в действие и проверку на практике изменённой документации.

Введение изменений в РО во всех случаях должно быть направлено на обеспечение безопасности полётов и повышение эффективности эксплуатации ЛА. Это достигается введением дополнительных или исключением утративших актуальность технологических операций, увеличением периодичности и уменьшением трудоёмкости выполнения регламентных работ и т.д.

Кратко остановимся на содержании работ, выполняемых при внесении изменений в РО.

*Сбор и обработка данных об отказах и неисправностях АТ* проводятся с целью обеспечения организаций по ТО и Р достоверной информацией о надёжности АТ, проведения мероприятий, направленных на предотвращение аварийных ситуаций и снижения тяжести их последствий, сокращения простоев ЛА в неисправном состоянии и экономии материальных ресурсов. Эти сведения являются основным источником информации и для решения задач отраслевого уровня, связанных с повышением надёжности АТ, своевременной корректировкой типовой ЭТД, и разработки требований к промышленности.

Своевременное получение полных и достоверных данных об отказах и неисправностях АТ, кроме того, позволяет:

- сократить продолжительность и трудоёмкость работ по поиску и устранению неисправностей;
- повысить регулярность полётов;
- сократить количество неоправданных замен изделий и связанные с ними трудозатраты;
- увеличить размер материальной и денежной компенсаций за отказы гарантийной АТ;
- сократить размеры оборотных средств, необходимых для поддержания исправности АТ;
- разработать и оценить эффективность мероприятий, направленных на повышение надёжности АТ.

Работы по сбору и обработке данных о надёжности АТ проводятся в процессе регулярной и подконтрольной эксплуатации ЛА путём заполнения типовых форм-носителей информации, к которым относятся: карточки учёта отказов и неисправностей (КУНАТ), карты-наряды на дефектацию, журналы учёта отказов и неисправностей АТ, бортовые журналы ЛА, акты расследования авиационных происшествий, результаты расшифровки записей бортовых самописцев (МСРП), результаты исследований отказавших изделий, проведенных НИИ ГА, АРЗ и промышленностью.

Важнейшим документом в системе сбора и обработки данных о надёжности АТ являются КУНАТ. Предварительная обработка содержащихся в КУНАТ сведений (группировка по системам, кодирование, перенос данных на магнитный носитель и т.д.) производится с использованием автоматизированной системы, выполненной на базе ЭВМ, оснащённой программой учёта и обработки статистических данных. Обработанные данные на магнитных носителях ежеквартально передаются в Государственный центр безопасности полётов (ГЦБП) для ввода в отраслевой банк данных и дальнейшего использования всеми заинтересованными организациями. Сведения об отказавших в полёте изделиях направляются в ГЦБП немедленно после их получения.

Работы по сбору и обработке данных об отказах и неисправностях АТ выполняются должностными лицами, назначенными начальником АТБ. Порядок прохождения КУНАТ в АТБ при этом устанавливается так, чтобы обеспечить своевременность получения, качество обработки и соблюдение сроков передачи информации. Он зависит и от способа восстановления отказавшего изделия. Если восстановление (ремонт) изделия производилось без демонтажа с ЛА, то заполнение КУНАТ заканчивается в цехе ТО, а если восстановление производилось после демонтажа изделия, то заполнение карточки производится с участием работников соответствующих подразделений (лаборатории АиРЭО, участка текущего ремонта АТ и т.д.). Заполненная КУНАТ передаётся в службу надёжности для регистрации, дальнейшего оформления и использования содержащейся в ней информации.

В системе сбора и обработки данных о надёжности АТ учёту подлежат:

- все отказы и неисправности АТ, обнаруженные экипажем на земле и в полёте;
- отказы и неисправности планера, обнаруженные при ТО (деформации и трещины силовых элементов, повышенный износ, заедания и заклинивания подвижных соединений, нарушения крепления агрегатов и другие дефекты, влияющие на прочностные характеристики конструкции);

- отказы и неисправности, приведшие к нарушению регулярности полётов и простоям ЛА в неисправном состоянии;
- отказы и неисправности, приведшие к досрочному съёму изделий с эксплуатации.

На каждый отказ и неисправность, подлежащие учёту, оформляется отдельная КУНАТ.

Данные, содержащиеся в КУНАТ и других носителях информации, позволяют провести качественный анализ и определить количественные характеристики надёжности АТ, определить необходимость и периодичность проведения дополнительных работ при ТО ЛА.

*Качественный анализ надёжности АТ* позволяет установить степень влияния различных отказов и неисправностей на работоспособность различных систем ЛА. Для этого для каждой системы составляют схему причинно-следственных связей, оценивают последствия, к которым могут привести встречающиеся неисправности, выявляют наименее надёжные компоненты, намечают мероприятия, необходимые для предупреждения неисправностей и восстановления работоспособности системы в случае их возникновения.

По результатам качественного анализа надёжности делаются предварительные выводы о возможности исключения или необходимости введения дополнительных работ в регламент ТО и периодичности их выполнения. Эти данные используются также при принятии решений о необходимости проведения доработок АТ.

*Расчёт показателей надёжности АТ* производится только для наиболее опасных и часто повторяющихся отказов и неисправностей, которые лимитируют дальнейшее увеличение периодичности выполнения регламентных работ на ЛА. Расчёты проводятся с целью оценки достигнутого уровня надёжности систем, изделий и ЛА в целом, определения периодичности выполнения дополнительных работ, обеспечивающих поддержание заданной эксплуатационной надёжности АТ.

При проведении расчётов на основе статистических данных об отказах и неисправностях АТ определяют закон распределения на-

работки объекта до отказа и его параметры. На их основе определяют характер отказов, содержание и периодичность проведения работ (проверок ТС изделий, промывок фильтров, регулировок агрегатов и т.д.), направленных на их предупреждение.

*Распределение работ по формам ТО* проводится с учётом необходимой периодичности их выполнения. Работы, выполнение которых влияет на уровень надёжность АТ, включаются в форму ТО, выполняемую с периодичностью, которая меньше необходимой и ближе к ней, чем все другие. Остальные работы совмещаются с формами ТО, при которых обеспечивается минимум затрат на ТО с учётом дополнительных простоев ЛА.

*Ввод в действие и проверка изменённого РО* проводятся после согласования со всеми заинтересованными организациями (разработчики, НИИ ГА, заводы-изготовители АТ и т.д.) и утверждения руководящими органами ГА.

Проверка изменённого РО обычно проводится на немногочисленной группе ЛА, выделенных для подконтрольной эксплуатации. В процессе эксплуатации ЛА определяется влияние изменений РО на надёжность АТ, производится сбор и обработка данных об отказах и неисправностях изделий, определяется технико-экономическая эффективность предложенных мероприятий. На основе результатов подконтрольной эксплуатации ЛА вносятся необходимые уточнения в РО, принимается решение о целесообразности введения в действие изменённого РО.

### ***Разработка технологических указаний по ТО***

В соответствии с основными задачами ТО, направленного на обеспечение безопасной, регулярной и интенсивной эксплуатации ЛА, работы по ТО делятся на пять групп: технологические, профилактические, контрольно-проверочные, восстановительные и вспомогательные (рис.1.13).

Большая часть работ, выполняемых при ТО, повторяется на всех или большинстве типов ЛА, т.е. относится к *типовым работам*. В



то же время, в силу особенностей конструкции и условий эксплуатации, некоторые работы выполняются только на конкретной АТ, т.е. относятся к специальным (*нетиповым*) работам. Наличие типовых работ в структуре РО существенно упрощает задачу разработки технологий ТО АТ.

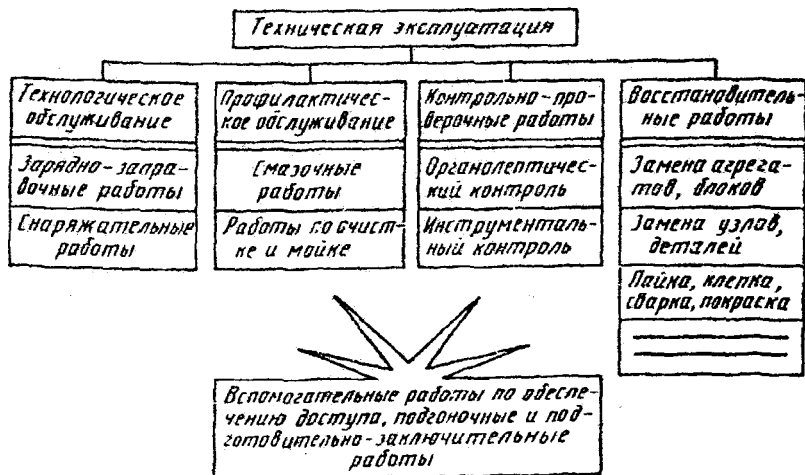


Рис. 1.13. Структура и содержание работ по ТО ЛА

Работы, входящие в РО, обычно группируются по системам, подсистемам и характерным агрегатам. При этом каждая работа представляет собой отдельную технологическую операцию. Полная совокупность технологических операций по системе (агрегату) ЛА является содержанием соответствующих технологических указаний.

*Технологические указания* представляют собой документ, определяющий последовательность, порядок и способ выполнения работ по ТО, текущему ремонту и замене изделий на ЛА. В указаниях приводятся технические требования к объекту ТО и выполняемым работам, методы устранения выявленных дефектов и отклонений ТС объекта от технических требований (ТТ), перечень необходимого

инструмента, оборудования и расходных материалов. В указаниях каждая технологическая операция представляется в виде отдельной технологической карты, составленной по типовой форме.

Основным источником информации при разработке технологий ТО служит опыт проведения работ, полученный в ходе эксплуатационных испытаний, подконтрольной и регулярной эксплуатации ЛА. Разработку технологий ТО осуществляют ТКБ ведущих АТБ и других организаций, специализирующихся на разработке и корректировке ЭТД. Работы ведутся на основе РО, инструкций по ТЭ ЛА, бюллетеней промышленности и результатов обобщения опыта ТО и Р ЛА. Технологические карты сводятся в технологические указания, которые согласовываются с КБ и НИИ ГА, а затем утверждаются и вводятся в действие руководящим органом ГА.

---

## 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТО АТ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

### 2.1. Наружная мойка ЛА

Наружная мойка является необходимой и обязательной составной частью ТО ЛА. Её основными задачами являются:

- обеспечение необходимых условий для проведения контроля ТС АТ;
- уменьшение лобового сопротивления ЛА;
- придание ЛА ухоженного и аккуратного внешнего вида.

Планер и другие компоненты современного ЛА изготовлены в основном из высокопрочных алюминиевых сплавов (дюралей), отличительной особенностью которых является склонность к образованию коррозии (точечной и межкристаллической) и высокая чувствительность к концентраторам напряжений (рискам, царапинам, очагам коррозии и т.д.).

С целью повышения коррозионной устойчивости на наружные поверхности обшивки, силового набора и других элементов конструкции планера наносят защитные покрытия (ЛКП) и подвергают специальной физико-химической обработке (плакированию, созданию оксидных плёнок и т.д.).

Присутствие в загрязнениях органических (керосин, моторное масло, битум, следы насекомых и т.д.) и пылесолевых отложений, в состав которых входят химически активные соединения (кремния, серы, хлора и т.д.), способствует разрушению защитных покрытий,

увеличению шероховатости и шелушению ЛКП, а также ускорению коррозионных процессов.

Характерной особенностью эксплуатационных повреждений планера является то, что они практически не отражаются на внешнем виде конструкции и для их выявления обычно приходится прибегать к использованию средств инструментального контроля (дефектоскопии). Результативность такого контроля в значительной степени зависит от качества подготовки (чистоты) контролируемой поверхности.

Шероховатость обтекаемых воздухом поверхностей планера оказывает сильное влияние на величину лобового сопротивления ЛА, скорость полёта и расход топлива. Это явление особенно характерно для больших скоростей полёта, когда высота микронеровностей на обтекаемой потоком воздуха поверхности становится меньше толщины ламинарного слоя. Допустимую высоту микронеровностей  $R_z$  (мкм) с учётом вязкости воздуха  $\nu$  и скорости полёта  $V$  можно приближённо оценить, используя выражение

$$R_z = 100 \nu / V.$$

Из приведенного выражения следует, что для скоростей полёта более 700 км/ч шероховатость обшивки не должна превышать 10...20 мкм. При средней высоте микронеровностей (35 мкм) дополнительный расход топлива достигает 3% и более, что для самолёта Ту-154 при дальности полёта 1000 км составляет около 500 кг.

Ухоженный и аккуратный вид ЛА является дополнительным фактором психологической разгрузки пассажиров и экипажа, а также хорошей рекламой деятельности авиакомпании.

Поверхности ЛА загрязняются во время стоянки, руления, взлёта и посадки, а также во время полёта.

На стоянке загрязнение конструкции происходит за счёт запылённости воздуха, осадков, содержащих твёрдые примеси, пролива топлива, масла и спецжидкостей, а также насекомыми и птицами.

При движении ЛА по земле происходит загрязнение конструкции брызгами воды и грязи, отработанными газами и т.д.

В полёте загрязнение ЛА происходит, в основном, за счёт пылесолевых отложений, следов разбившихся насекомых и отработанных газов.

Оседая на поверхностях конструкции, загрязнения образуют достаточно прочную плёнку, которая прочно сцепляется с защитным покрытием (ЛКП). Сцепление (адгезия) плёнки загрязнений обусловлено действием молекулярных и электростатических сил и зависит от физико-химических свойств загрязнений и покрытий. Силы сцепления увеличиваются при увеличении шероховатости поверхности, температуры и влажности воздуха и могут достигать 15 кПа и более.

Обычно на обшивке ЛА можно обнаружить все виды загрязнений, однако преобладающими являются пылесолевые отложения, которые составляют около 80% массы всех загрязнений и покрывают практически всю поверхность планера. Основными показателями загрязнённости поверхности служит масса загрязнений на единицу площади ( $\text{мг}/\text{м}^2$ ) и их укрывистость (% загрязнённой поверхности).

Для определения чистоты ЛА используется несколько методов контроля: визуальный (эталонный), массовый, по смачиваемости, по шероховатости, по толщине отложений и другие. Наиболее широкое распространение получили эталонный и массовый методы.

*Эталонный метод* основан на сопоставлении укрывистости загрязнений с соответствующими эталонами ( в виде набора фотографий). Метод отличается высокой производительностью (оперативностью), но низкой объективностью оценки чистоты ЛА, так как результат контроля сильно зависит от квалификации и опыта исполнителя.

*Массовый метод* основан на определении массы загрязнений на единицу площади контролируемой поверхности. Определение массы загрязнений на ЛА производится путём взвешивания бумажной салфетки, смоченной легколетучим растворителем (спиртом), до и после очистки контролируемого участка поверхности. Основным недостатком массового метода является то, что он не даёт общей

оценки загрязнённости ЛА. В силу этого он используется в основном для оценки загрязнённости и качества очистки отдельных участков поверхности ЛА.

В ГА действует шестирядная шкала чистоты ЛА: чистый, практически чистый, загрязнённый, грязный, сильно грязный и полностью загрязнённый. Каждый разряд имеет соответствующие количественные характеристики (по массе и укрывистости загрязнений). Практикой установлено, что после 5...10 дней эксплуатации ЛА имеет 4-5 разряд чистоты, что соответствует 90% укрывистости и  $0,5 \text{ мг/м}^2$  отложений. В силу этого через каждые 3...15 дней эксплуатации ЛА их необходимо подвергать полной мойке. Полную мойку ЛА (планер, шасси и т.д.) обычно совмещают с ПТО, сезонным ТО или инспекторским осмотром.

В силу значительных площадей очищаемых поверхностей полная мойка ЛА отличается значительной трудоёмкостью (до 50 чел-ч) и длительностью (до 8 ч), которые зависят от уровня механизации работ и применяемых моющих средств.

Периодичность полных моек  $\tau$  можно определить с учётом стоимости моечных работ  $C_M$  и дополнительного расхода топлива  $C_T$  при полётах на загрязнённых ЛА. Так как увеличение периодичности моек приводит к снижению затрат на их проведение (уменьшается общее число моек ЛА) и увеличению затрат на топливо (снижается скорость полёта) можно определить периодичность моек  $\tau_{\text{опт}}$  при которой эксплуатационные расходы  $C_3$  будут минимальными. Для этого составляют и решают систему уравнений  $C_3(\tau) = C_M(\tau) + C_T(\tau)$  или строят графики указанных функций (рис. 2.1), из которых находят оптимальную периодичность мойки.

Технологический процесс наружной мойки ЛА обычно включает следующие операции (рис. 2.2):

- подготовительные работы (ввод ЛА в ангар, установка заглушек, размещение и подготовка к работе средств механизации и т.д.);
- мойка (планера, СУ, шасси и т.д.);

- сушка (общая, местная);
- контроль качества мойки (обычно не ниже второго разряда чистоты);
- заключительные работы (вывод ЛА из ангара, удаление заглущек, уборка средств механизации и т.д.).

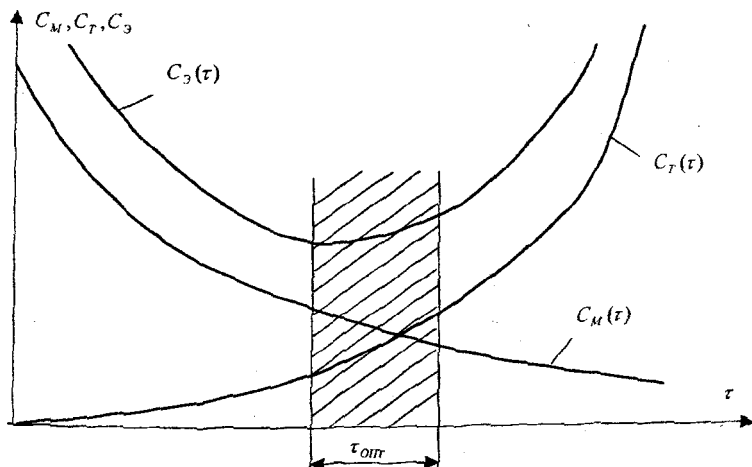


Рис. 2.1. Определение оптимальной периодичности наружной мойки ЛА

Наружная мойка, в зависимости от степени и характера загрязнённости ЛА, производится при помощи различных моющих средств (МС) и средств механизации работ. Современные МС, используемые для мойки ЛА, весьма разнообразны по назначению, составу и способу применения. Это может быть горячая или холодная вода, синтетические моющие средства (СМС), органические растворители (ОР) и т.д.

Вода в чистом виде для наружной мойки ЛА используется редко, так как она плохо удаляет загрязнения, особенно жировые плёнки. Она служит технологическим компонентом, в котором растворяются СМС.

СМС применяются для удаления пылесолевых отложений и жировых плёнок (следов пролива моторного масла и т.д.). Они облада-

ют способностью снижать поверхностное натяжение воды и эмульгировать жиры, т.е удалять загрязнения, не растворимые в воде. Основой СМС служат разнообразные поверхностно-активные вещества (ПАВ).

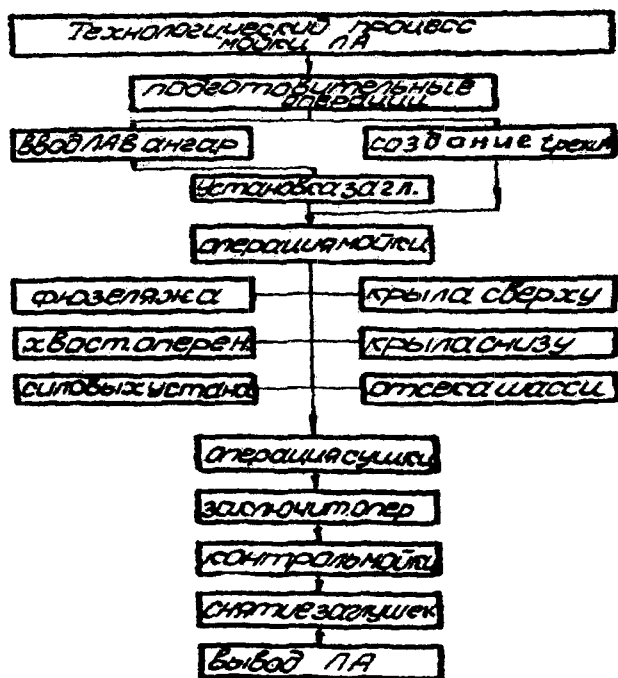


Рис. 2.2. Последовательность работ при наружной мойке ЛА

К ПАВ, в частности, относится хозяйственное мыло, стиральные порошки и эмульгаторы типа ОП-7 и ОП-9. В настоящее время для наружной мойки ЛА обычно используется комбинированное СМС (типа «Аэрол», «Полинка» и другие), которое перед применением смешивается с водой (до 2%), а при отрицательных температурах в полученный раствор добавляется ещё и этиловый спирт (до 50%).

ОР (бензин, керосин и другие органические растворители) используются для удаления жировых плёнок с отдельных, наиболее



загрязнённых участков ЛА (двигатель, шасси и т.д.), где СМС мало эффективны. Применение ОР ограничивается в основном их вредным воздействием на защитные покрытия (ЛКП), органические стёкла, резину и другие неметаллические материалы. Кроме того, они огнеопасны, токсичны, плохо утилизируются и имеют высокую стоимость.

Наружная мойка ЛА производится с использованием разнообразных средств механизации работ (механические щётки, струйные насадки и их комбинации).

*Механические щётки* изготавливаются из различных материалов (щетина, синтетические волокна и т.д.) и приводятся в действие (вращение или возвратно-поступательное движение) при помощи гидро-, пневмо- или электродвигателей. Эффективность мойки при этом зависит от скорости движения и силы прижатия щётки к очищаемой поверхности ЛА.

Основным недостатком механической мойки является сложность конструкции и большой вес моющего органа. Производительность труда при механической мойке достигает  $5...8 \text{ м}^2/\text{мин}$  (против  $1 \text{ м}^2/\text{мин}$  при ручной мойке). Расход моющей жидкости при этом не превышает  $0,5 \text{ л}/\text{м}^2$ .

*В струйных насадках* для удаления загрязнений используется энергия струи моющей жидкости, вытекающей из специальной форсунки под давлением до 1 МПа. Эффективность струйной мойки зависит от скорости жидкости в струе, удельного давления жидкости на поверхность, расстояния до форсунки, степени распыла жидкости и т.д. Производительность труда при струйной мойке одной форсункой достигает  $2 \text{ м}^2/\text{мин}$ , а расход моющей жидкости – до  $2 \text{ л}/\text{м}^2$ .

*Комбинированная мойка* (рис. 2.3) основана на совмещении механического и струйного методов. При этом щётка служит для механического размывания загрязнений, а струя жидкости – для их удаления с очищаемой поверхности. Производительность труда при комбинированной мойке достигает  $10...12 \text{ м}^2/\text{мин}$ .

В ряде зарубежных авиакомпаний (США, Япония) используют автоматизированные установки для наружной мойки, которые обес-

печивают качественную мойку ЛА без участия человека. Время полной мойки ЛА при этом не превышает одного часа.

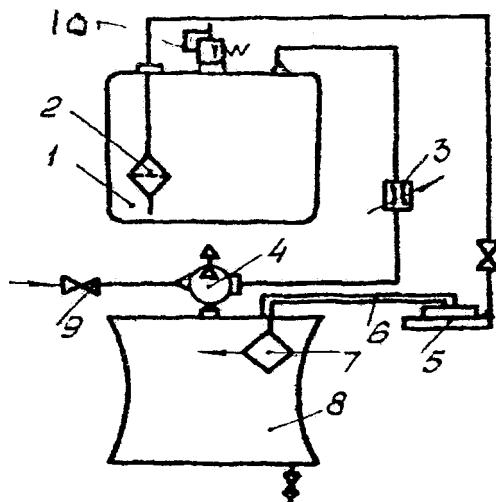


Рис. 2.3. Принципиальная схема установки с вихревой моющей головкой (ВМГ): 1 – бак с моющей жидкостью; 2 – фильтр; 3 – воздушный редуктор; 4 – вакуумный насос; 5 – ВМГ; 6 – гибкий шланг; 7 – гидроциклон; 8 – сливной бак; 9 – воздушный кран; 10 – предохранительный клапан

## 2.2. Заправка ЛА топливом

Увеличение взлётной массы и дальности полётов ЛА влечёт за собой увеличение запасов топлива в баках. Так, самолёт Ил-76 имеет баки ёмкостью 115 м<sup>3</sup>, Ту-154 – 50 м<sup>3</sup>, Ту-134 – 16 м<sup>3</sup> и т.д. В полёте всё топливо проходит через фильтры грубой и тонкой очистки, имеющие ограниченную грязеемкость, т.е. допустимый объём осаждаемых загрязнений. В силу этого присутствие в топливе даже относительно небольших количеств механических примесей (более 0,0002%) приводит к быстрому засорению фильтров и исключению их из работы.

Большую опасность из-за возможного забивания фильтров кристаллами льда представляет и повышенное (более 0,0012%) содер-

жание свободной воды (рис. 2.4). Кроме того, вода существенно ухудшает физико-химические свойства топлива и, в частности, прокачиваемость, стабильность и противозадирные.

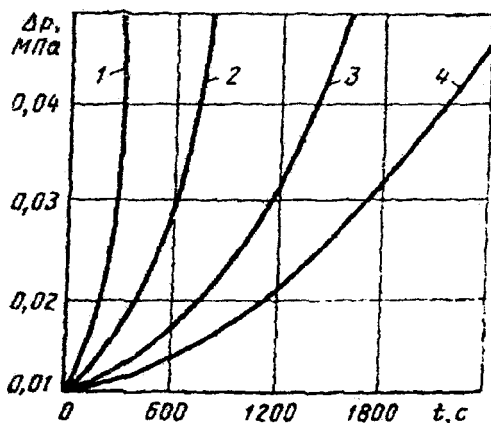


Рис. 2.4. Интенсивность забивки фильтров кристаллами льда с тонкостью фильтрации 12...16 мкм при содержании воды в топливе (по массе): 1—0,0214%; 2—0,01%; 3—0,0056%; 4—0,0048%

Вода попадает в топливо главным образом при хранении в ёмкостях на складе и в баках ЛА. В топливе она может находиться в свободном (в виде капель и кристаллов льда), эмульсионном (в виде взвеси мелких капель) и растворённом состоянии (рис. 2.5). Количество растворённой воды зависит от температуры, давления и влажности воздуха, с которым соприкасается топливо. В нормальных условиях содержание растворённой воды может достигать 0,12% и более.

При снижении температуры и атмосферного давления свободная вода выделяется из топлива в виде взвешенных капель (эмульсии) и топливо мутнеет. Затем мелкие капли объединяются в более крупные и постепенно оседают на дно бака с образованием свободной воды.

Свободная вода может образоваться и из-за конденсации влаги, содержащейся в тёплом воздухе при его соприкосновении с охлаж-

дёнными поверхностями топлива и открытыми участками баков. При отрицательных температурах свободная вода замерзает с образованием кристаллов льда (в виде снега).

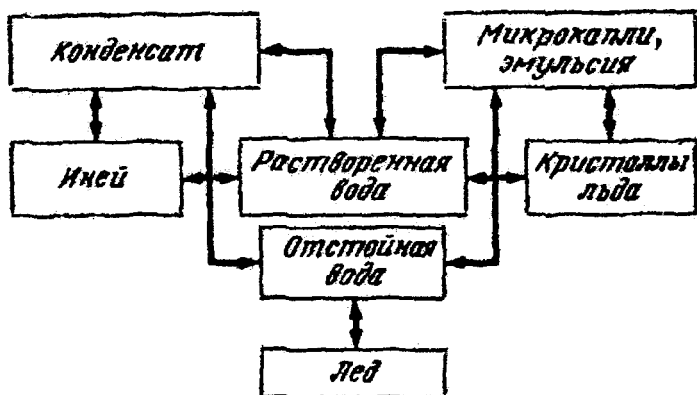


Рис. 2.5. Фазовые переходы воды в топливе при различных сочетаниях температуры, влажности воздуха и размеров капель влаги

Наиболее эффективным методом борьбы с образованием кристаллов льда является добавление в топливо (до 0,3%) противообледенительной жидкости ("И-М", "ТГФ-М" и т.д.), которая хорошо растворяется в воде и понижает температуру её замерзания. Температура замерзания воды при этом зависит от концентрации в ней противообледенительной жидкости. Так, при концентрации противообледенительной жидкости более 50% температура замерзания воды понижается до  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже.

### **Порядок заправки ЛА топливом**

Перед каждым полётом ЛА должен быть заправлен необходимым количеством топлива определенного сорта и качества. Заправка топлива включает комплекс работ, выполняемых службами ГСМ, спецавтотранспорта, лётным и техническим составом.

Служба ГСМ осуществляет подготовку топлива на складе, выдачу топлива со склада, заправку топлива в топливозаправщик и баки ЛА.

Спецавтобаза осуществляет транспортировку топлива от склада до места заправки и процесс заправки топлива в баки ЛА.

Лётный и технический состав контролирует качество и количество заправляемого топлива, участвует в проведении заправки с использованием оборудования ЛА.

Высокие требования к безопасности полётов предусматривают заправку в баки ЛА только чистого топлива в условиях, исключающих попадание в него загрязнений, воды и кристаллов льда (снега). Для обеспечения необходимой чистоты топлива заправка производится только после длительного отстаивания и проверки чистоты топлива.

После залива топлива в топливозаправщик и 15-минутного отстаивания прибором ПОЗ-Т контролируется содержание воды и механических примесей. На кондиционное топливо выписывается паспорт (контрольный талон).

После транспортировки топлива на стоянку ЛА и 15-минутного отстаивания производится повторный контроль чистоты топлива в топливозаправщике (ПОЗ-Т). По результату проверки в контрольном талоне делается отметка о пригодности топлива к заправке в баки ЛА.

Непосредственно перед заправкой в баки ЛА бортинженер (техник-бригадир цеха ОТО) вновь проверяет чистоту топлива в топливозаправщике (визуально), а также наличие оформленного контрольного талона (срок действия талона 12 ч), пломбировку агрегатов топливозаправщика (фильтров, горловин, кранов и т.д.).

В ходе заправки постоянно контролируются количество и давление заправляемого топлива, а также качество его фильтрации (по величине перепада давления на фильтре топливозаправщика).

После заправки (через 15 мин) сливается по 0,5 литра топлива из каждой сливной точки баков и производится контроль его чистоты (визуально). В случае обнаружения свободной воды производится повторное отстаивание (до 1 ч) и контроль чистоты топлива в баках.

К процессу заправки топлива предъявляется ряд специфических требований, которые подлежат обязательному исполнению:

- обеспечение строгого соответствия сорта, качества и количества заправляемого топлива;
- исключение попадания в топливо загрязнений и воды, особенно при открытом способе заправки;
- своевременный контроль чистоты заправляемого топлива;
- обеспечение герметичности систем ЛА и средств заправки, исключающей пролив топлива на землю и конструкцию ЛА;
- обеспечение надёжного заземления и металлизации ЛА и топливозаправщика для исключения воспламенения топлива от статического электричества.

Заправка топлива в баки ЛА производится с помощью подвижных (топливозаправщики) и стационарных (централизованные системы) средств заправки. Наиболее эффективной считается централизованная система заправки, которая обеспечивает высокую оперативность и качество выполнения заправочных работ.

Порядок заправки топлива во многом зависит от конструкции топливной системы ЛА и, в частности, от наличия системы централизованной заправки, используемых средств заправки и условий проведения заправочных работ.

В качестве примера рассмотрим порядок централизованной заправки топливом самолёта Ту-154 с помощью топливозаправщика.

Система централизованной заправки позволяет производить автоматическую заправку топлива по пяти вариантам (11 т, 15 т, 20 т, 25 т и полную “П”) с распределением заправляемого топлива по соответствующим группам баков.

Заправка топлива при этом ведётся в следующем порядке:

1. Убедиться:

- что на самолёте имеются противопожарные средства;
- самолёт и топливозаправщик надёжно заземлены и металлизированы;

- под колёса самолёта установлены тормозные колодки;
- сняты заглушки с дренажных заборников баков;
- сорт топлива соответствует требуемому и имеется правильно оформленный контрольный талон;
- топливо, слитое из баков самолёта и отстойников топливозаправщика, чистое.

## 2. Произвести заправку топлива:

- для чего подать электропитание на борт самолёта;
- открыть крышки горловин централизованной заправки;
- подсоединить к заправочным горловинам наконечники заправочных шлангов топливозаправщика;
- открыть крышку люка пульта управления централизованной заправки самолёта;
- подать электропитание на систему управления и контроля централизованной заправки, включив соответствующие выключатели на пульте управления;
- установить переключатель варианта заправки в положение, соответствующее количеству заправляемого топлива;
- открыть краны заправки, установив выключатели кранов в положение “Заправка”;
- подать команду топливозаправщику на подачу топлива (давление топлива в процессе заправки не должно превышать 0,45 МПа);
- проследить по топливомеру самолёта и счётчику топливозаправщика за количеством заправляемого топлива;
- после окончания заправки (автоматического закрытия кранов заправки) подать команду на прекращение подачи топлива.

## 3. Выполнить заключительные работы:

- для этого выключить все выключатели на пульте управления заправкой;
- откачать остатки топлива из заправочных шлангов;

- отсоединить шланги от заправочных горловин; закрыть горловины крышками; закрыть крышки лючков горловин и пульта управления заправкой;
- отсоединить металлизацию топливозаправщика и источник электропитания;
- через 15 минут слить отстой топлива из всех сливных точек баков и произвести его визуальный контроль.

### 2.3. Контроль технического состояния АТ

Регламентом ТО предусмотрен комплекс контрольных операций, обеспечивающих оценку исправности (работоспособности) и локализацию неисправностей функциональных систем, а также контроль ТС силовых элементов конструкции планера, двигателя и других компонентов ЛА. При этом используются различные виды, методы и средства контроля (рис. 2.6).

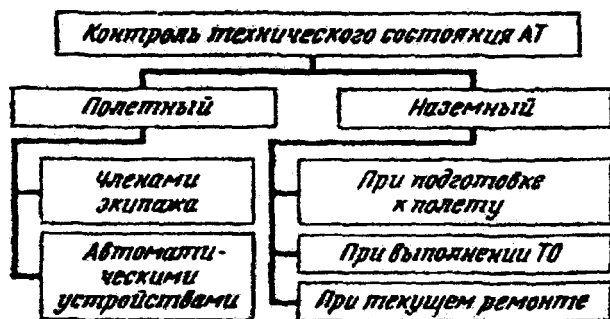


Рис. 2.6. Виды контроля ТС АТ

Ответственность за организацию и проведение контрольных операций, а также за качество выполнения работ по ТО ЛА возлагается на орган контроля качества АТБ (ОТК).

Контроль качества и полноты выполнения работ по ТО, а также ТС АТ производят авиатехник-бригадир (Т), инженер смены (И), инженер-дефектоскопист (ИД) и инженер ОТК (К). Контроль ТС АТ



в полёте производится членами экипажа ЛА (бортинженером) и автоматическими устройствами.

К каждому объекту ТО прилагается типовая ЭТД, в которой оговариваются периодичность и объём контроля, технологии его проведения, а также применяемые методы и средства контроля. В некоторых случаях для ЛА назначаются и специальные виды контроля (инспекторские и разовые контрольные осмотры, контрольные полёты и т.д.), каждый из которых преследует определённую цель и решает конкретные задачи.

*Разовые осмотры* проводятся по инициативе руководства АП или вышестоящих органов управления ГА с целью детальной проверки ТС отдельных систем, агрегатов и узлов. Работы выполняются силами ИТП АТБ с привлечением (при необходимости) специалистов сторонних организаций (НИИ, КБ, АРЗ и заводов-изготовителей АТ). О результатах осмотра начальник цеха (участка или лаборатории, проводивших работы) докладывает должностному лицу, отдавшему распоряжение на его проведение.

По каждому разовому осмотру составляется специальная технология (технологическая карта) и ведётся контрольная карта, в которую заносятся результаты контроля по каждому ЛА.

*Контрольные осмотры* проводятся с целью проверки ТС ЛА при продлении удостоверений о годности к полётам, при продлении ресурсов ЛА и его компонентов, после восстановления и ремонта ЛА и в других случаях, когда необходима информация о фактическом ТС ЛА или его компонентов. Осмотры проводятся комиссией, назначенной руководителем АТБ. Он же определяет сроки проведения осмотра и объём работ.

*Контрольные полёты* (облёты ЛА) проводятся с целью проверки работоспособности изделий (систем), которую невозможно провести в наземных условиях. Перечень работ на ЛА, после которых проводится контрольный полёт, устанавливается руководящей ЭТД (ИТЭРАТ ГА). О выявленных в контрольном полёте отказах и неисправностях делается запись в бортовом журнале, карте контрольного полёта и формуляре ЛА.

*Инспекторские осмотры* проводятся с целью оценки ТС ЛА, а также организации и качества подготовки ЛА к полётам. К ним привлекаются руководители авиапредприятий (АТБ) и региональных управлений ГА. Осмотры проводятся в заранее установленные сроки (по графику) или по специальному распоряжению должностного лица, ответственного за их организацию и проведение. Результаты осмотров отражаются в отчётах руководителя АТБ по анализу ТС и качества ТО ЛА, а также в его приказах по устранению выявленных недостатков в работе.

Причиной возникновения большинства отказов АТ служат разнообразные дефекты: конструктивно – производственные недостатки (КПН), нарушения технологий ремонта (Р) и правил эксплуатации (Э), возникающие в процессе изготовления, ремонта и использования ЛА по назначению (в полёте), при подготовке ЛА к полётам, проведении ТО и в других ситуациях. В связи с этим одной из важнейших задач эксплуатационного контроля является своевременное выявление дефектов и предотказных состояний конструкций, что достигается обоснованным выбором режимов и средств контроля.

Важной задачей, решаемой при установлении режимов контроля, является сбор и обработка информации о повторяемости, проявлениях и влиянии дефектов на безопасность полётов и на изменение ТС изделий, а также инженерный анализ причин возникновения дефектов и разработка мероприятий по их своевременному выявлению и предупреждению. Основными источниками информации о надёжности АТ при этом служат дефектные ведомости, журналы учёта отказов и неисправностей и другая учётно-отчётная документация АТБ.

Согласно действующей руководящей ЭТД (НТЭРАТ ГА) к полёту допускаются только исправные ЛА, которые отвечают следующим требованиям:

- ЛА и его компоненты имеют остаток ресурса (срока службы);
- ЛА полностью укомплектован пономерной документацией;

– на ЛА выполнено очередное ГО, устранены дефекты и их последствия;

– на ЛА оформлена и подписана должностными лицами необходимая производственно-техническая документация.

В связи с этим важной задачей эксплуатационного контроля является комплексная оценка исправности ЛА, которая производится при подготовке ЛА к полёту. По результатам контроля вырабатываются управляющие воздействия на процесс ТЭ (ПТЭ), определяющие постановку ЛА в то или иное состояние эксплуатации (рис. 2.7).

Формирование управляющих воздействий на ПТЭ (решений) по результатам контроля ТС ведётся в следующей последовательности:

1. Проводится проверка соответствия ТТ всех компонентов ЛА (1):

– при соответствии всех контролируемых параметров ТТ (“да”) принимается решение “Выпустить ЛА в полёт”(2);

– при несоответствии ТТ хотя бы одного контролируемого параметра (“нет”) принимается решение “Проверить аппаратуру контроля”(3);

2. Проводится проверка соответствия контрольной аппаратуры ТТ (4):

– при несоответствии аппаратуры ТТ (“нет”) принимается решение “Заменить аппаратуру контроля и повторить контроль”(5);

– при соответствии ТС аппаратуры ТТ (“да”) принимается решение “Дать оценку влияния выявленной неисправности на безопасность полётов”(6);

3. Дается оценка влияния выявленной неисправности на безопасность полётов (7):

– если неисправность не может привести к возникновению отказа в полёте (“нет”) – принимается решение “Выпустить ЛА в полёт с постановкой под особый контроль”(8).

– если неисправность опасна (“да”) – принимается решение “Провести ТД для определения причины неисправности”(9);

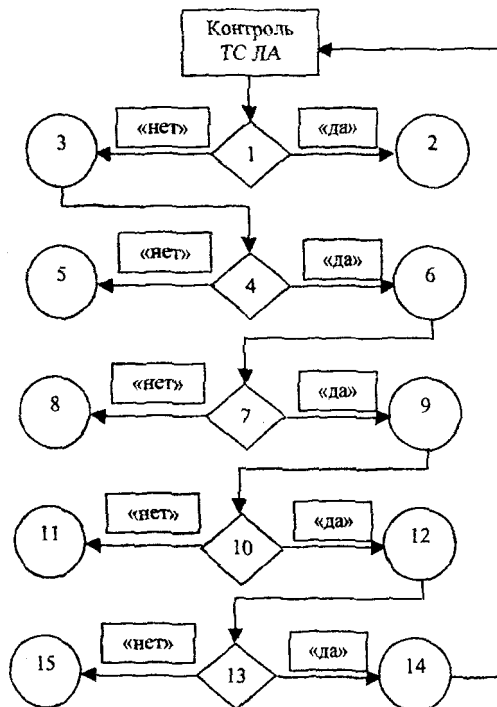


Рис. 2.7. Алгоритм принятия решений по результатам предполётного контроля ТС ЛА

#### 4. Проводится анализ результатов ТД (10):

– если дефект не определен (“нет”) – принимается решение “Отстранить ЛА от полётов до установления причины неисправности”(11);

– если дефект определен (“да”) – принимается решение “Оценить возможность оперативного устранения дефекта” (12);

5. Проводится анализ возможности устранения дефекта за время предполётной подготовки ЛА (13):

– если дефект устранимый (“да”) – принимается решение “Устранить дефект и повторить контроль”(14);

– если дефект неустранимый (“нет”) – принимается решение “Отстранить ЛА от полётов до устранения дефекта” (15).

Контроль ТС является наиболее ответственной и трудоёмкой операцией ТО ЛА, а к его проведению привлекается наиболее квалифицированный и прошедший специальную подготовку ИТП. Сегодня на долю работ, связанных с проведением контрольных операций приходится около половины общей трудоёмкости ТО, поэтому мероприятия, направленные на совершенствование контроля АТ, имеют первостепенное значение для решения проблемы повышения эффективности ПТЭ ЛА.

Совершенствование эксплуатационного контроля ЛА сегодня идёт по пути повышения контролепригодности АТ, внедрения прогрессивных методов и средств контроля в ТП ТО, использования современной вычислительной техники для сбора и обработки диагностической информации, разработки эффективных алгоритмов поиска дефектов функциональных систем и установления оптимальных режимов контроля АТ.

В общем случае под контролем понимается проверка соответствия ТС объекта установленным ТТ, т.е. определение ВТС объекта. Каждое ТС объекта характеризуется совокупностью значений контролируемых параметров и признаков, не имеющих количественных оценок. Номенклатура параметров и признаков, а также пределы их допустимых изменений и проявлений, определяющих ВТС объекта, оговариваются в типовой ЭТД.

В силу того что каждый параметр и признак ТС объекта имеет свою физическую природу, для их измерения и выявления необходимо применять различные методы и средства контроля. Для этой цели используется комплекс бортовых и наземных средств контроля (рис. 2.8).

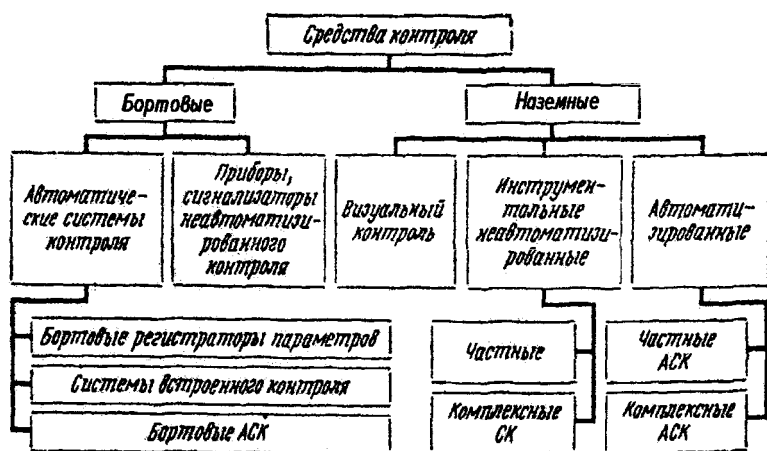


Рис. 2.8. Средства контроля ТС АТ

Совокупность объекта, средств контроля и исполнителей, взаимодействующих между собой по установленным в ЭТД правилам, образует систему эксплуатационного контроля ЛА. В общем случае различают параметрические и физические методы контроля ТС.

**Параметрические методы контроля** (допусковый, по тенденции изменения параметров, знаков, невязок и другие) базируются на анализе результатов измерений функциональных параметров объекта. Методы позволяют проводить проверку исправности (работоспособности) систем ЛА, детализировать их неисправности, определять фактическое и предотказное ТС изделий. Контроль ТС обычно включает измерение контролируемых параметров (частот вращения роторов, температуры газов, давления топлива и масла, уровня вибрации и т.д.) с заданной точностью, математическую обработку результатов измерений на ЭВМ по заданной программе, сопоставление результатов измерений параметров с установленными ТТ и принятие решений по результатам контроля.

При параметрическом контроле АТ обычно используют информацию, полученную путём ручной (экипаж, ИТП) и автоматической (МСРП) регистрации показаний бортовых (встроенных) средств контроля ЛА, поэтому его эффективность (полнота, достоверность и

оперативность) во многом зависят от уровня контролепригодности ЛА. На качество контроля сильное влияние оказывают также его метрологическое и программное обеспечение, квалификация исполнителей и другие факторы.

**Физические методы контроля** (органолептический и инструментальный) основаны на анализе реакции объекта на воздействие на него физических полей или механических сил.

*Органолептический метод контроля*, основан на способности органов чувств человека (зрения, слуха и т.д.) обнаруживать различные отклонения ТС объектов от установленных ТТ. Данным методом производится контроль практически всех компонентов ЛА. Метод отличается доступностью применяемого оборудования (осветители, зеркала, лупы и т.д.), прост в освоении и реализации. К недостаткам метода следует отнести низкую чувствительность к дефектам и субъективность оценки ТС объектов, так как результативность контроля во многом зависит от квалификации и личных качеств исполнителя, а также от условий проведения работ.

*Инструментальный метод* базируется на использовании разнообразных контрольно-измерительных приборов и средств неразрушающего контроля (НК). Результативность контроля при этом определяется в основном техническими характеристиками используемых технических средств и квалификацией ИТП.

С целью обеспечения единства измерений (необходимой точности и повторяемости результатов измерений в различных условиях) в ГА реализована комплексная система метрологического обеспечения контроля ТС АТ. Она базируется на поддержании инструмента, измерительных приборов, контрольно-поверочной аппаратуры и средств НК в рабочем состоянии, проведении периодических проверок и метрологической аттестации контрольно-измерительных приборов. Для этих целей в АТБ и других организациях по ТО и Р АТ организована метрологическая служба, которая решает практические задачи, связанные с обеспечением единства технических измерений. Весь ИТП, выполняющий контрольные операции, обязан знать и уметь применять на практике правила использования средств измерения.

---

## 3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТО АТ

### 3.1. Техническое обслуживание планера

#### *Особенности конструкции и условия эксплуатации*

Планер является основным компонентом ЛА, предназначенным для создания подъёмной силы, размещения функциональных систем (силовой установки, шасси, управления и других), а также экипажа, пассажиров, грузов и т.д. Конструкция планера представляет собой моноблок, состоящий из ряда агрегатов (фюзеляж, крыло, хвостовое оперение и т.д.), соединённых друг с другом при помощи узлов стыковки (болтовых соединений).

Каждый агрегат планера, в свою очередь, состоит из большого числа конструктивных элементов (узлов и деталей), которые по конструктивным признакам и особенностям ТО можно разделить на силовые элементы, узлы стыковки, узлы герметизации и остекление кабин.

В процессе эксплуатации на конструкцию планера действует комплекс неблагоприятных факторов, обусловленных специфическими условиями использования ЛА. На ТС силовых элементов (обшивку, силовой набор и т.д.) наиболее сильное влияние оказывают повторные нагрузки, величина и повторяемость которых зависят от скорости и высоты полёта, состояния атмосферы, техники пилотирования, состояния ВПП и других факторов. Кроме того, на их ТС оказывают влияние повышенная и пониженная температура, влажность, запылённость и загрязнённость атмосферы химическими соединениями, которые способствуют изменению свойств конструкционных мате-



риалов, разрушению защитных покрытий, возникновению очагов коррозии, старению органических материалов и т.д. На ТС силовых элементов оказывает влияние и качество ТО, которое выражается в своевременном чехлении ЛА, удалении загрязнений, проветривании помещений, восстановлении защитных покрытий, удалении очагов коррозии и т.д.

Узлы стыковки воспринимают значительные нагрузки как в полёте, так и при движении ЛА по земле. В силу этого они требуют повышенного внимания при проведении осмотров и тщательного ухода, который заключается в своевременной проверке и подтяжке резьбовых соединений, а также в защите крепёжных элементов от воздействия внешних факторов (попадания воды, пыли, химически активных соединений и т.д.), что достигается герметизацией узлов, нанесением консистентной смазки и т.д.

Узлы герметизации (резиновые профили, слои герметика и т.д.) постоянно находятся под воздействием неблагоприятных факторов – агрессивных сред (керосина, воды и т.д.), перепада давления и температуры. В силу этого они подвержены быстрому старению и требуют тщательного ухода, который заключается в исключении попадания и своевременном удалении с уплотнительных материалов агрессивных жидкостей и замене повреждённых уплотнительных элементов.

На остекление кабин действуют скоростной напор, солнечная радиация, перепад давления, нагрузки от элементов крепления и агрессивные среды (керосин, масло, растворители и химические соединения), которые снижают прочность и ухудшают оптические характеристики стёкол.

Характерной особенностью авиационных конструкций и, в частности, конструкции планера является высокая силовыносливость, которая в сочетании с требованиями минимизации массы ЛА, ведёт к необходимости использования высокопрочных конструкционных материалов (дюралей, легированных сталей и т.д.). Последние, в силу специфического химического состава и термической обработки, обычно имеют повышенную чувствительность к концентраторам напря-

жений и склонность к образованию очагов коррозии, которые, в свою очередь, являются сильными концентраторами напряжений.

В результате авиационные конструкции имеют повышенную чувствительность к эксплуатационным повреждениям (рискам, забоинам и т.д.), перегрузкам в полёте и воздействию агрессивных сред, которые ведут к образованию очагов коррозии, усталостных трещин и разрушениям.

Перегрузки, возникающие при полётах в турбулентной атмосфере, при грубых посадках и посадках ЛА с повышенной массой, могут вызвать в силовых элементах конструкции механические напряжения, превышающие расчётные, что повлечёт за собой их деформацию и разрушения. Такие явления наиболее характерны для узлов крепления крыла, хвостового оперения, двигателей, опор шасси и других компонентов ЛА.

### *Характерные неисправности планера*

Неисправности планера с учётом причин их возникновения можно условно разделить на следующие группы:

- трещины, деформации и разрушения, связанные с производственными дефектами и эксплуатационными перегрузками;
- коррозионные повреждения, связанные с воздействием химически активных соединений и повреждением защитных покрытий;
- повышенный износ подвижных соединений, связанный с попаданием в узлы трения абразивных частиц (загрязнений) и нарушениями режимов смазки;
- ослабления заклёпочных и болтовых соединений, связанные с нарушениями технологии сборки и эксплуатационными перегрузками;
- старение элементов конструкции, изготовленных из неметаллических материалов, из-за неверного подбора материалов и нарушений правил эксплуатации;
- механические повреждения конструкции, вызванные небрежностью исполнителей при подготовке ЛА к полётам и проведении ТО.

Наибольшую опасность, в силу скрытого характера развития и сильного влияния на прочность конструкций, представляют усталостные трещины. Они возникают на элементах конструкции, подверженных знакопеременным нагрузкам высокой интенсивности, в местах, где имеются конструктивные (галтельные переходы, резьба, сварные швы и т.д.) и эксплуатационные (риски, забоины, очаги коррозии и т.д.) концентраторы напряжений.

Процесс развития усталостного разрушения конструкции можно условно разделить на три этапа (рис. 3.1):

– на первом этапе, обычно уже на первых циклах нагружения конструкции, происходит образование микротрещины у концентратора напряжений, которая под воздействием повторяющихся нагрузок увеличивается в размерах (растёт) с нарастающей скоростью;

– на втором этапе, по мере выхода трещины из зоны влияния концентратора напряжений, рост трещины замедляется и стабилизируется. На этом этапе, при низком уровне действующих напряжений, рост трещины может и прекратиться («нерастущая» трещина);

– на третьем этапе, по мере увеличения размеров трещины, происходит перераспределение нагрузки между повреждённой и неповреждёнными частями конструкции, что ведёт к росту действующих напряжений и увеличению скорости роста трещины, вплоть до момента статического разрушения («доллома») конструкции.

Период развития трещины ( $t_{\text{жив}}$ ) зависит от свойств материала конструкции, в частности чувствительности к «надрезу», характера действующих нагрузок и ряда других факторов. Как правило, он соизмерим с периодичностью проведения ПТО или капитального ремонта ЛА, но не редки и случаи образования «быстрорастущих» трещин, например, на узлах крепления двигателя.

«Видимый» период развития трещины ( $t_{\text{жив}}^*$ ) при этом зависит от чувствительности ( $I_{\text{тр}}^*$ ) средств контроля. Так, при использовании средств НК (МПК, ТВК, УЗК и других) «видимый» период развития трещины приближается к общему периоду развития ( $t_{\text{жив}}$ ) и для её своевременного выявления периодичность проверок  $\tau$  устанавливается из условия  $\tau \leq 0,5 t_{\text{жив}}^*$ .

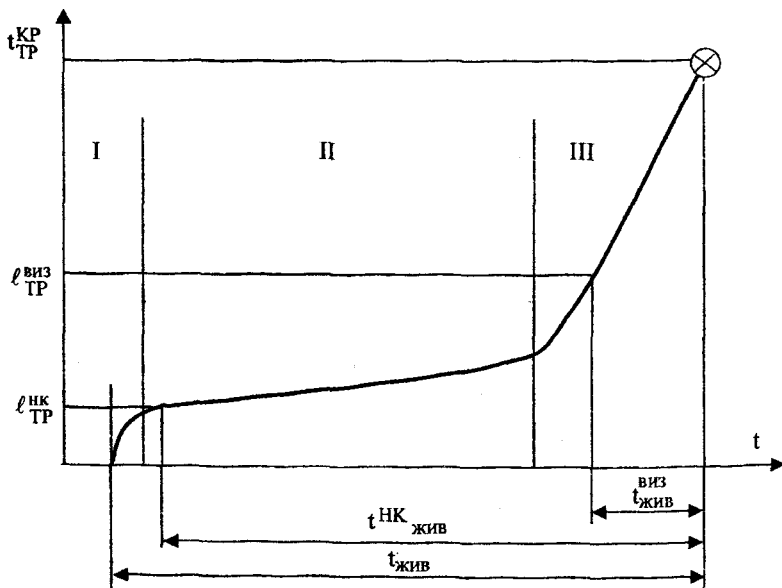


Рис. 3.1. Схема развития усталостной трещины

Другим не менее опасным и часто повторяющимся дефектом авиационных конструкций является коррозия. На конструкции планера встречается несколько видов коррозии (атмосферная, жидкостная, контактная и другие), которые обусловлены химическим или электрохимическим взаимодействием металлов с окружающей средой.

Наиболее часто на конструкциях, изготовленных из лёгких сплавов (дюраль), встречается электрохимическая коррозия, которая обусловлена протеканием химических реакций в жидкой токопроводящей среде (электролите). Возникающие при этом очаги коррозии являются сильными концентраторами напряжений, которые способствуют образованию и развитию наиболее опасных дефектов конструкций – коррозионно-усталостных трещин. Такие трещины, в силу расклинивающего эффекта продуктов коррозии, развиваются значительно быстрее обычных.

В зоне контакта сопряжённых деталей (фланцы болтовых соединений, заклёпочные швы и т.д.) при наличии небольших (5...100 мкм)

взаимных перемещений возникает фреттинг-коррозия, которая проявляется в виде тёмных пятен на контактирующих поверхностях, тёмных ободков вокруг заклёпок или полос по длине стыка фланца. Фреттинг-коррозия ведёт к ослаблению болтовых и заклёпочных соединений, образованию “кратеров” и усталостных трещин на контактирующих поверхностях. Основным методом борьбы с фреттинг-коррозией является обеспечение плотности стыков, исключающей взаимное перемещение контактирующих поверхностей, т.е. проверка и восстановление затяжки болтов узлов стыковки и заклёпочных швов.

### *Типовые регламентные работы*

В соответствии с принятой выше группировкой элементов планера рассмотрим типовые работы, выполняемые при ТО силовых элементов, узлов стыковки, узлов герметизации и остекления кабин.

*К силовым элементам планера* относятся гермообшивка и силовой набор (каркас) фюзеляжа, крыла и хвостового оперения. Наиболее распространёнными работами при ТО силовых элементов являются выявление и устранение эксплуатационных повреждений (дефектов). Характерной особенностью дефектации силовых элементов является то, что значительная часть элементов конструкции планера недоступна для непосредственного визуального осмотра (силовой набор фюзеляжа, лонжероны крыла и т.д.), поэтому во многих случаях приходится прибегать к использованию косвенных признаков повреждений.

Так, признаками деформации и разрушения элементов силового набора обычно служат гофры и волнистость обшивки, ослабление и обрыв заклёпок. При обнаружении таких признаков необходим дополнительный осмотр силового набора после удаления мешающих элементов конструкции (внутренней обшивки, теплоизоляции и т.д.).

Особое внимание уделяется элементам конструкции, на которых имело место образование усталостных трещин. При проведении осмотра таких элементов обычно используются как простейшие оптические приборы (лупы до 10х, эндоскопы и т.д.), так и средства НК (ТВК, МПК, УЗК и т.д.). При этом необходимо учитывать, что

чувствительность и надёжность контроля во многом зависят от качества подготовки объекта и аппаратуры к проведению контроля.

Учитывая, что образование очагов коррозии может происходить и под слоем ЛКП, места вспучивания краски подлежат тщательной очистке с последующим детальным осмотром.

Осмотр гермообшивки проводится как с наружной, так и с внутренней стороны. Наиболее тщательно осматриваются участки, подверженные эксплуатационным повреждениям (у входных дверей и грузовых люков, в зоне колёс шасси и т.д.), так как здесь наиболее часто встречаются риски, царапины, вмятины, забоины, трещины и другие дефекты механического происхождения. Расшатывание (ослабление) заклёпок обычно обнаруживается по тёмному венчику вокруг закладной головки. Ослабленные заклёпки подтягиваются или заменяются на новые (увеличенные). Места отставания обшивки от силового набора выявляются путём простукивания обшивки деревянным молоточком или надавливания на контролируемый участок.

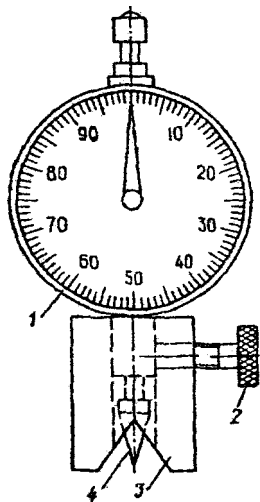


Рис. 3.2. Приспособление для замера глубины повреждений: 1 – индикаторные часы; 2 – стопорный винт; 3 – основание; 3 – игла

В силу высокой силонагруженности гермообшивки внутренним давлением (до 70 кПа) на ней не допускаются повреждения глубиной более 0,1 мм, поэтому каждое выявленное повреждение гермообшивки подлежит детальному обследованию, инструментальному определению размеров (рис. 3.2) и регистрации в журнале прочности, который передается в ремонтное предприятие вместе с другой пономерной документацией ЛА. Все повреждения гермообшивки устраняются путём зачистки или установки усиливающих накладок с учётом их размеров и локализации.

Соединение элементов планера в одно целое (моноблок) осуществляется при помощи болтовых соединений (узлов стыковки), исполнение которых зависит от принятой силовой схемы конструкции.

Так, в лонжеронном крыле (Ан-2) обычно используются точечные стыковые соединения, в моноблочном (кессонном) – контурные и т.д.

Наиболее часто в кессонных конструкциях используются контурно-фитинговые соединения (Ту-154), в которых стяжные болты располагаются вдоль крыла и работают на растяжение. Усилия сжатия передаются при этом через торцевые поверхности фитингов, прилегающие друг к другу (рис. 3.3)

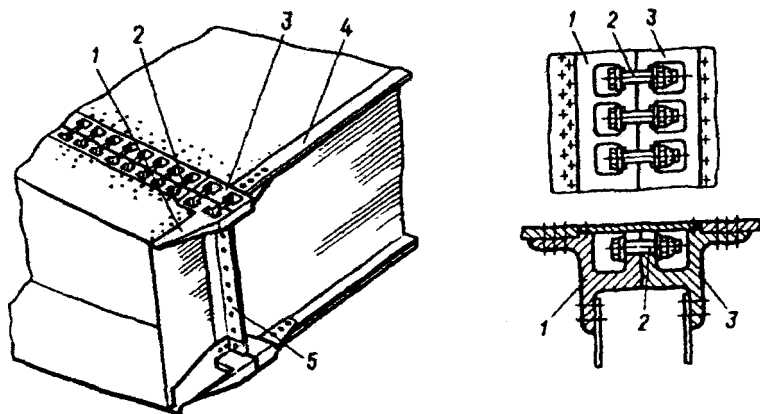


Рис. 3.3. Схема контурно-фитингового болтового соединения крыла:  
1, 3 – стыковочные профили; 2 – болт стыковки; 4 – пояс лонжерона;  
5 – угольник стыка стенки лонжерона

В процессе эксплуатации из-за влияния разнообразных неблагоприятных факторов (релаксация материала, отворачивание гаек, фреттинг-коррозия в стыке фланцев и т.д.) начальное усилие затяжки болтов уменьшается, что влечёт за собой снижение допустимых нагрузок по раскрытию стыка. Обеспечение требуемого сопротивления усталости болтов в этом случае достигается комплексом кон-

структивно-технологических мероприятий: нормированием усилий (моментов) затяжки, использованием болтов с накатанной резьбой и специальной обработкой галтельных переходов для повышения сопротивления к образованию усталостных трещин и т.д. Затяжка болтов производится моментом, обеспечивающим сохранение плотности стыка при максимальных действующих нагрузках (рис. 3.4).

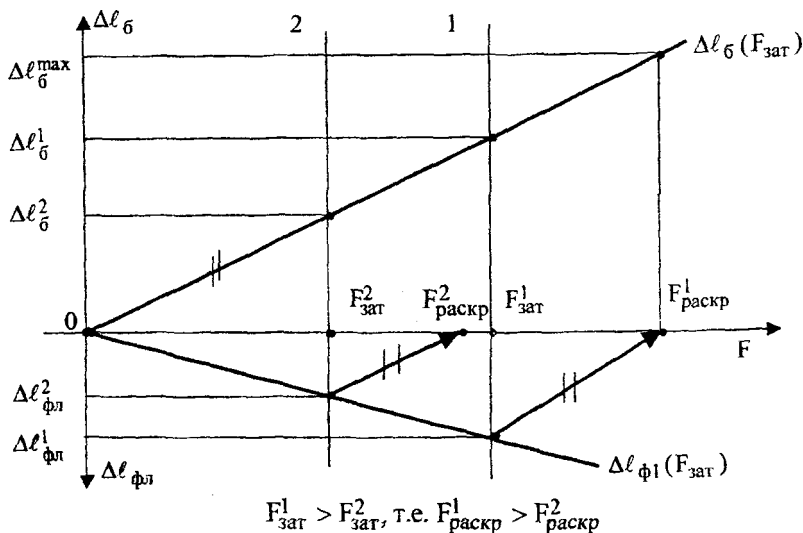


Рис. 3.4. Схема работы стыкового болтового соединения

Действующие в болтах напряжения при затяжке без учёта внешних нагрузок не должны превышать  $0,7\sigma_T$  материала, из которого они изготовлены.

При проведении ТО производится вскрытие стыковых узлов планера с целью осмотра и проверки затяжки болтовых соединений. Затяжка болтов (гаек) проверяется при помощи динамометрических ключей без разгрузки стыка.

На одну из гаек стыка наносятся метки, отмечающие её начальное положение. На гайку устанавливаются переходник и динамометрический ключ, которым гайка вначале отворачивается на 1...2 гра-



ни, а затем затягивается до заданного момента. Несовпадение начального положения меток при этом не должно превышать  $\pm 1$  мм.

В случае обнаружения недозатяжки контрольного болта производится двукратная подтяжка всех болтов группы по указанной выше технологии. Для каждой группы болтов стыка в технологии указываются необходимые моменты затяжки, тип переходника и динамометрического ключа.

Один раз в квартал и перед каждым применением динамометрические и предельные ключи подвергаются метрологической проверке и тарировке для исключения возникновения погрешностей при затяжке резьбовых соединений.

Узлы герметизации (рис.3.5) предназначены для исключения утечек воздуха из фюзеляжа и топлива из кессон-баков. Это необходимо для уменьшения отбора воздуха от двигателей на наддув гермокабин, повышения пожарной безопасности, уменьшения влияния утечек топлива на элементы конструкции ЛА и т.д.

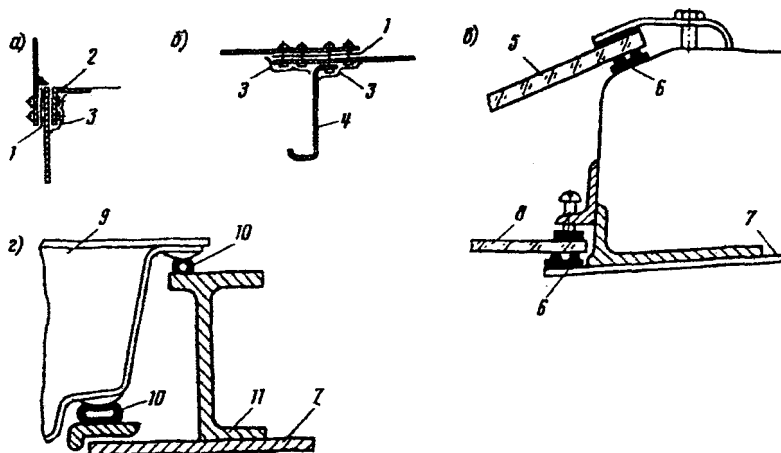


Рис. 3.5 Схемы герметизации фюзеляжа: а – продольного стыка обшивки; б – поперечного стыка обшивки; в – окон пассажирских кабин; г – дверей и крышек люков; 1 – уплотнительная лента; 2 – стрингер; 3 – герметик; 4 – шпангоут; 5 – внутреннее стекло; 6 – резиновая прокладка; 7 – обшивка; 8 – наружное стекло; 9 – дверь (крышка люка); 10 – резиновые трубчатые профили; 11 – шпангоут

В фюзеляже герметизируются заклепочные швы, стыки шпангоутов, люки, двери, стёкла кабин, места выхода тросов управления и другие элементы конструкции, входящие в зону герметизации. Для этого заклепочные швы изнутри покрываются герметиком, между обшивкой и каркасом устанавливаются уплотнительные ленты и т.д.

Уплотнение входных дверей и аварийных люков, открывающихся наружу, осложняется тем, что избыточное давление в кабине отжимает их от фюзеляжа и увеличивает величину утечек воздуха.

В этих случаях для герметизации обычно используются наддуваемые воздухом резиновые профили, которые устанавливаются между дверью (люком) и фюзеляжем.

Герметизация тросов и других подвижных элементов осуществляется специальными устройствами – гермовыводами, снабжёнными резиновыми манжетами, кольцами и сферическими вкладышами. В некоторых случаях для лучшей герметизации и уменьшения сил трения гермовыводы заполняются консистентной смазкой. Утечки воздуха через гермовыводы опасны ещё и тем, что влага, содержащаяся в выходящем из кабины воздухе, при определенных условиях может конденсироваться и замерзать на штоках и тросах, увеличивая силы трения или полностью исключая подвижность гермовывода.

В кессон-баках герметизируются заклепочные швы, стыки листов обшивки и панелей. Герметизация осуществляется путём нанесения специального герметика на внутренние поверхности заклепочных швов, установки уплотнительных жгутов и прокладок в стыки обшивки и панелей.

При проведении ТО узлов герметизации проверяется ТС всех уплотнительных элементов фюзеляжа и крыла. При осмотре выявляются трещины, разрушения и отклеивание резиновых профилей, нарушения адгезии герметика на заклепочных швах и другие дефекты, влияющие на герметичность конструкции.

Герметичность заклепочных швов (при возникновении подозрения на наличие дефекта и после ремонта обшивки) обычно проверя-

ется при помощи вакуумной камеры, которая устанавливается на контролируемый участок обшивки, с последующей откачкой из неё воздуха. Места нарушения герметичности обнаруживаются по появлению пузырьков воздуха в мыльном растворе, который предварительно наносится на контролируемый участок обшивки.

После замены трёх и более стёкол, ремонта обшивки с площадью накладки более 500 см<sup>2</sup> и ряде других оговорённых руководящей ЭТД случаев герметичность фюзеляжа проверяется путём наддува (до 50 кПа) гермокабины от наземного источника давления (компрессора). Герметичность фюзеляжа оценивается по времени снижения давления в гермокабине до заданного значения (10 кПа) после выключения компрессора. Локализация мест утечки воздуха при этом производится мыльным раствором или галоидным течеискателем (ГТИ). В последнем случае в подаваемый в гермокабину воздух добавляется небольшое количество фреона. Восстановление герметичности фюзеляжа осуществляется путём нанесения дополнительных слоёв герметика (изнутри заклёпочного шва), подтяжкой (заменой) заклёпок, заменой уплотнительных элементов и т.д.

Проверка герметичности кессон-баков проводится при полностью заполненных топливом баках в следующей последовательности:

- с нижней поверхности крыла удаляют подтёки топлива и загрязнения путём протирки ветошью, смоченной бензином;
- после высыхания бензина на контролируемую поверхность кистью наносят тонкий слой суспензии мела в бензине;
- через 15 мин после высыхания суспензии по величине тёмных пятен топлива на белом фоне мела определяется степень герметичности бака.

Утечки топлива принято делить:

- на пятно (увлажнение диаметром до 25 мм);
- подтёк (увлажнение до 100мм);
- крупный подтёк (увлажнение до 150мм);
- течь (подтекание топлива более 10 капель в минуту).

Капли и подтёки, если они не прогрессируют, в эксплуатации обычно не устраняются. Течи по заклёпкам устраняются путём наложения дюралевой заплата (шайбы) на герметике, по болтам крепления панелей – путём их подтягивания, замены уплотнительных элементов и т.д.

*Остекление кабин* (рис.3.6) предназначено для обеспечения обзора при пилотировании ЛА, а также для создания дополнительного комфорта пассажирам. Остекление выполняется из органических (ориентированных и неориентированных) и силикатных (триплексы) стёкол.

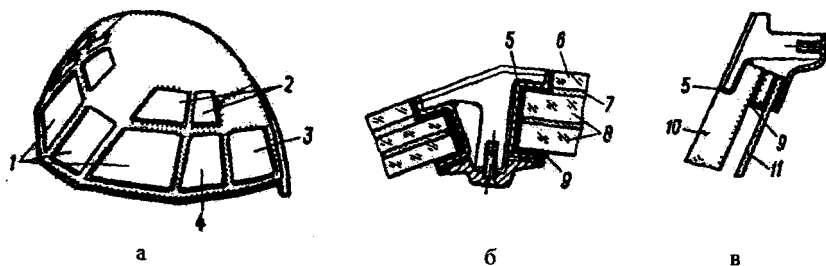


Рис. 3.6. Фонарь кабины экипажа: а – общий вид; б – лобовые стёкла; в – боковые стёкла; 1 – триплексные стёкла; 2, 3 – органические стёкла; 4 – форточка; 5 – герметик; 6 – наружное покрывное стекло; 7 – токопроводящая плёнка; 8 – силовые стёкла; 9 – резиновая прокладка; 10, 11 – наружное и внутреннее органические стёкла

*Органические стёкла* имеют низкую твёрдость и поэтому легко повреждаются посторонними предметами (камнями, песком и т.д.). Кроме того, они подвержены повреждениям органическими растворителями (ацетон, керосин, моторное масло, спирт и т.д.), повышенной температурой (более 80°C) и солнечной радиацией (УФС). Механические повреждения и сетка мелких трещин (“серебро”) снижают прочность стёкол и могут привести к их разрушению в полёте из-за воздействия перепада давления. Кроме того, повреждения стёкол ухудшают их оптические характеристики (прозрачность) и тем самым затрудняют работу экипажа, особенно при полётах в ночных условиях.

Наиболее распространённым дефектом органических стёкол является “серебро”. Оно возникает из-за воздействия повышенных механических напряжений (перезатяжка болтов крепления), повышенной температуры (при удалении обледенения и наружной мойке), органических растворителей (спирта и керосина при наружной мойке и заправке топлива), солнечной радиации (нарушения правил чехления кабин) и других неблагоприятных факторов. На органических стёклах не допускается “серебро” глубиной более 0,1мм и площадью более 10 см<sup>2</sup> (оптический глубиномер ОГ-402).

Повреждения органических стёкол, не выходящие за пределы ТТ (обычно до 0,1мм), устраняются путём шлифования мелкой шкуркой или соскабливания лезвием бритвы (не допуская местного нагрева) с последующей полировкой пастой ВИАМ-2 повреждённого участка.

При проведении ТО и замене стёкол пассажирской кабины проверяется герметичность межстекольного пространства и состояние осушительных патронов – влагопоглотителей, служащих для предохранения стёкол от запотевания. Силикагель – индикатор, на базе которого изготавливаются осушительные патроны, представляет собой сухие зерна мелкопористого силикагеля ( $\text{Si O}_2$ ), пропитанного раствором индикатора ( $\text{Co C}_2$ ), который окрашивает его (в зависимости от % насыщения влагой) в синий (до 13%), фиолетовый (до 20%) или розовый (до 28%) цвет. Если силикагель розового цвета, то его необходимо заменить или просушить при температуре 100...120°С до восстановления синего цвета.

*Триплексы* – комбинированные стёкла, состоящие из двух слоёв силикатного стекла (покрывного и силового) и бутварной (мягкое органическое стекло) прослойки между ними. На внутреннюю поверхность покрывного стекла наносится тонкий слой металла или устанавливается нагревательный элемент в виде сетки тонкой проволоки, который служит для подогрева стёкол с целью предотвращения их запотевания и обледенения. Силикатные стёкла обладают большей теплостойкостью и меньше подвержены механическим повреждениям, чем органические, но более хрупкие и часто разрушаются (с образованием термических трещин) из-за отказа или нарушений правил эксплуатации системы обогрева.

Наиболее часто на силикатных стёклах встречаются выколки, сколы, царапины, отлипания и пузыри склеивающего слоя, а также трещины покрывного и силового стёкол. При образовании трещин на покрывном стекле, не мешающих обзору, допускается полёт ЛА до базового аэродрома, но без включения системы обогрева. Трещины и другие дефекты силовых стёкол не допускаются и служат основанием для замены триплекса.

С целью повышения гидрофобной (водоотталкивающей) способности внешние поверхности триплексов периодически обрабатываются специальной жидкостью (ТГ-10). Качество обработки проверяют путём полива стекла водой, которая должна стекать отдельными струйками (каплями), не смачивая поверхность стекла.

### **3.2. Техническое обслуживание системы управления**

#### ***Особенности конструкции и условия эксплуатации***

Система управления предназначена для отклонения рулевых поверхностей и других органов управления ЛА с целью обеспечения его движения по заданной траектории, балансировки в установившемся полёте, управления СУ и т.д. В систему управления ЛА входит несколько независимых систем управления: рулями направления и высоты, элеронами, триммерами, СУ, несущим и рулевым винтами вертолёта и т.д.

Основными конструктивными элементами систем управления являются: рычаги управления, проводка, гидроусилители и исполнительные органы.

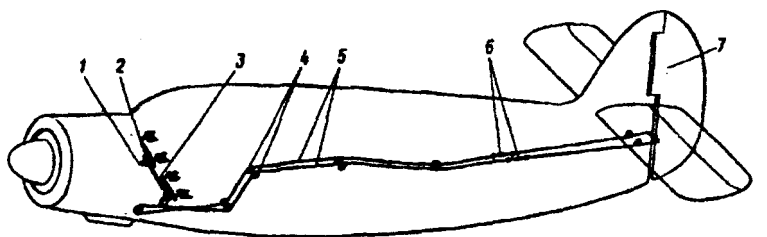
*Рычаги управления* (штурвальная колонка, педали, РУД и т.д.) служат для восприятия нагрузок, создаваемых пилотом в процессе управления ЛА.

*Проводка* (троса, тяги, качалки и т.д.) служит для передачи усилий от рычагов управления к исполнительным органам (гидроусилителям).

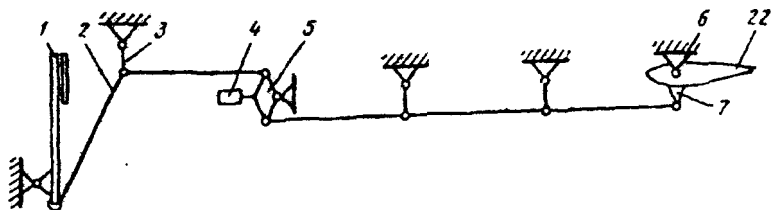
*Гидроусилители* (рулевые приводы) предназначены для приведения усилий на рычагах управления в соответствие с действующими нормами лётной годности ЛА (обычно до 500Н).

*Исполнительные органы* (рули, элероны, триммеры, агрегаты СУ и т.д.) предназначены для изменения аэродинамических характеристик ЛА при маневрировании, взлёте и посадке, управления тягой двигателей и т.д.

Системы управления в зависимости от величины действующих нагрузок, уровня автоматизации процесса управления и ряда других факторов выполняются с механическим (непосредственным) и гидромеханическим (через гидроусилитель) приводом, с «гибкой» (тросовой) и «жёсткой» (тяговой) проводкой (рис. 3.7).



а



б

Рис. 3.7. Схемы систем управления: а – с «гибкой» (тросовой) проводкой; б – с «жёсткой» (тяговой) проводкой; 1 – рычаг управления (педаль); 2 – тяги проводки управления; 3 – роликовая направляющая или качалка; 4 – балансир массы проводки управления; 5 – двуплечая качалка, компенсирующая температурные изменения длины герметической части фюзеляжа; 6 – кронштейн навески руля; 7 – рычаг управления руля; 8 – рулевая поверхность; 9 – ролики; 10 – трос; 11 – танделы

*Система управления с «гибкой» проводкой* состоит из тросов, направляющих роликов, качалок и гермовыводов.

*Тросы* предназначены для передачи усилий в одном направлении, так как работают только на растяжение. В силу этого передача усилий в системах управления обычно осуществляется двумя тросами. Тросы (типа КСАН) свиваются из стальной холоднотянутой оцинкованной проволоки и подвергаются предварительной вытяжке. На концах троса (плети) методом закатки устанавливаются резьбовые наконечники с правой и левой резьбой. Соединение плетей между собой осуществляется при помощи соединительных муфт с правой и левой резьбой (тандеров).

*Тандеры* (рис. 3.8) используются для обеспечения предварительного натяжения тросов, которое необходимо для исключения провисания тросов при отрицательных температурах (до  $-60^{\circ}\text{C}$ ), регулировки нейтрального положения и углов отклонения исполнительных органов. Каждая плеть тросовой проводки имеет специальную маркировку, определяющую место её установки в системе.

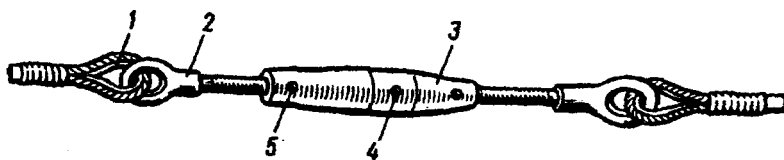


Рис. 3.8. Тандер: 1 – коуш; 2 – наконечник; 3 – муфта; 4 – отверстие для вращения муфты; 5 – контрольное отверстие

*Направляющие ролики* предназначены для поддержания тросов и изменения направления передачи усилий. Они изготавливаются из текстолита и оснащаются шариковыми подшипниками закрытого типа, которые не требуют возобновления смазки в процессе эксплуатации.

*Качалки* служат для изменения направления и величины передаваемых усилий, а также величины перемещений исполнительных органов. Они штамуются из алюминиевых сплавов и оснащаются шариковыми подшипниками закрытого типа. Кронштейны качалок обычно отливаются из магниевых сплавов.

*Гермовыводы* предназначены для уменьшения утечек воздуха из гермокабины и проникновения воды во внутренние полости конст-



рукции. Они выполняются в виде сферических резиновых вкладышей, обеспечивающих плотный контакт троса с резиной при его перемещении.

*Система управления с "жесткой" проводкой* состоит из тяг, роликовых направляющих, качалок и гермовыводов.

*Тяги* предназначены для передачи усилий в двух направлениях, так как работают на сжатие и растяжение. Тяги изготавливаются из алюминиевых или стальных тонкостенных труб и оснащаются регулируемыми и нерегулируемыми наконечниками. Наконечники служат для соединения тяг между собой и с другими элементами системы. Кроме того, регулируемые наконечники используются для регулировки нейтрального положения и углов отклонения исполнительных органов. Каждая тяга имеет маркировку, определяющую место её установки в системе.

*Роликовые направляющие* предназначены для поддержания тяг и исключения резонансных явлений (вибрации тяг). Направляющий ролик представляет собой шариковый подшипник, на который напрессовывается капроновая втулка определённого размера. Выпускаются нормальные и ремонтные ролики (с увеличенным диаметром). Последние используются для обеспечения необходимых зазоров (0,15...0,6мм) между роликами и тягой при их износе (рис 3.9).

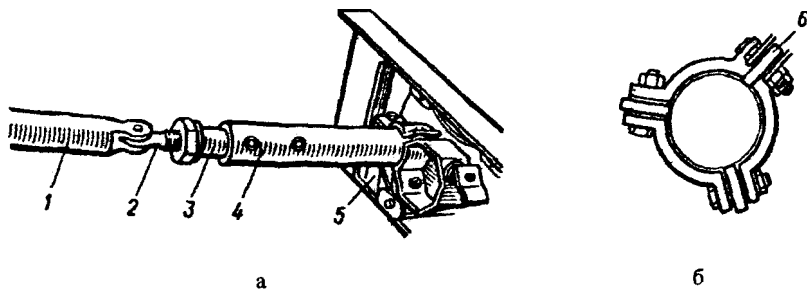


Рис. 3.9. Тяги (а) и роликовая направляющая (б): 1 – тяга с вилкой; 2 – ушковый болт; 3 – наконечник; 4 – регулируемая тяга; 5 – роликовая направляющая; 6 – ролик

Гермовыводы в “жѐсткой” проводке, наряду с функцией герметизации конструкции, играют роль силового элемента (тяги), передающего рабочие усилия на исполнительный орган. В силу этого в конструкцию гермовыводов помимо уплотнительных элементов включаются шток, подшипники скольжения, полость с консистентной смазкой и другие элементы, обеспечивающие герметичность подвижного соединения при минимальных силах трения (рис.3.10).

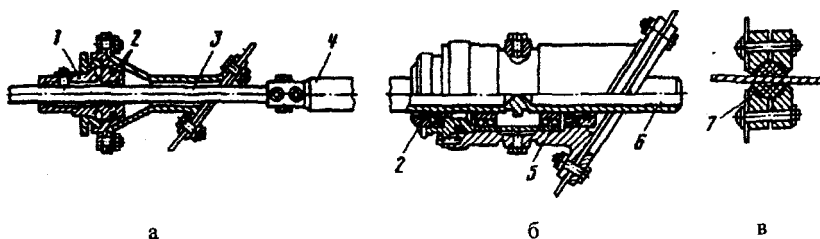


Рис. 3.10. Гермовыводы: а – тяг; б – валов; в – тросов; 1 – сферический вкладыш; 2 – резиновые кольца; 3 – шток; 4 – тяга; 5 – шарикоподшипник; 6 – вал; 7 – резиновый вкладыш

К числу эксплуатационных факторов, определяющих работоспособность систем управления, относятся внешние климатические условия, вызывающие замерзание скопившейся воды в узлах трения, обледенение и заклинивание тросов и тяг в зоне гермовыводов (при нарушении их герметичности), коррозию и заклинивание элементов проводки из-за попадания воды, пыли, грязи и посторонних предметов, ослабление натяжения тросов под воздействием низкой температуры и т.д.

В полѐте на элементы системы управления действуют переменные нагрузки, частота повторений и амплитуда которых зависят от скорости и высоты полѐта, техники пилотирования и других факторов. В силу особенностей конструкции “жѐсткой” проводки на её работоспособность сильное влияние оказывает вибрация конструкции планера, возникающая под воздействием двигателя, воздушного винта и т.д.

### *Характерные неисправности*

Характерными неисправностями “гибкой” проводки являются обрывы нитей, наклёп и коррозия тросов, нарушения контровки и коррозия тандеров, износ канавок, выкрашивание буртов и заклинивание подшипников роликов, уменьшение предварительного натяжения тросов и другие.

Предварительное натяжение тросов определяется в основном диаметром троса и температурой наружного воздуха. В процессе эксплуатации натяжение троса уменьшается за счёт его вытяжки под действием передаваемых нагрузок (до 1000Н), из-за износа роликов и шарнирных соединений качалок. Вследствие разницы коэффициентов линейного расширения стального троса и алюминиевой конструкции ЛА (почти в два раза) регулировка предварительного натяжения троса, выполненная при положительной температуре, может оказать существенное влияние на работоспособность системы в полёте при отрицательной температуре. При этом происходит значительное ослабление натяжения тросовой проводки (провисание троса), что может привести к его соскакиванию с ролика и полному заклиниванию системы управления.

Характерными неисправностями “жёсткой” проводки являются: увеличение радиальных зазоров из-за износа тяг и роликов, увеличение осевых зазоров из-за износа деталей соединения тяг, повышенное трение в проводке из-за нарушения работы узлов трения, ослабление трубчатых заклёпок крепления наконечников тяг, усталостные разрушения, изгиб и механические повреждения тяг.

Сильное влияние на работоспособность “жёсткой” проводки оказывают автоколебания тяг под воздействием внешних источников вибрации. Они приводят к ускоренному износу узлов подвески, возникновению усталостных трещин и разрушению тяг.

Несмотря на конструктивные меры, направленные на предупреждение автоколебаний тяг (отстройка от резонансных частот за счёт увеличения количества опор, подбор длины и жёсткости тяг), колебания тяг, в той или иной мере, всегда имеют место на ЛА. Это объясняется близостью собственных и вынужденных частот коле-

баний тяг, а также наличием радиальных зазоров в их подвеске. Собственная частота и амплитуда колебаний тяги при этом зависят от её жесткости и погонной массы, расстояния между опорами и их демпфирующей способности, а также от ряда других факторов. В первом приближении собственную частоту изгибных колебаний тяги  $f$  (Гц) можно определить по формуле

$$f = \frac{\pi}{2\ell^2} \sqrt{\frac{EI\ell}{m}},$$

где  $\ell$  – длина тяги;  $EI$  – жёсткость тяги при изгибе;  $m$  – погонная масса тяги.

Из приведенной формулы следует, что при увеличении радиальных зазоров в опорах, т.е. при увеличении межопорной длины тяги, происходит снижение собственной частоты колебаний тяги и приближение к частоте вынужденных колебаний. В силу этого растут амплитуда колебаний тяги, действующие в ней напряжения и силовое воздействие тяги на опоры.

Увеличенные осевые зазоры в “жёсткой” проводке (люфты в соединениях тяг и других элементах) приводят к изменению характера нагрузок, действующих на конструкцию системы (ударные нагрузки), что ведёт к образованию усталостных трещин на проушинах и болтах соединений тяг и ускоренному износу шарнирных соединений. Люфты в проводке приводят к возникновению колебаний органов управления, ухудшению управляемости ЛА, нарушению работы автоматических систем управления полётом и к другим опасным последствиям.

### *Типовые регламентные работы*

В соответствии с принятой выше классификацией выполняемые при ТО работы рассмотрим на примере механических систем с “гибкой” (тросовой) проводкой и гидромеханических систем с “жёсткой” (тяговой) проводкой (см. рис. 3.7).

*В состав типовых работ для систем управления с “гибкой” проводкой* входят осмотр конструктивных элементов, проверка нейтрального положения рычагов управления и углов отклонения испол-

нительных органов, проверка натяжения тросов и ряд других работ, обусловленных особенностями конструкции и условиями эксплуатации системы.

При проведении осмотра обращают внимание на ТС тросов, тандеров, направляющих роликов, ограничителей хода рычагов управления (упоров) и исполнительных органов. При этом выявляются такие дефекты как обрывы нитей, наклёп и коррозия тросов, нарушения контровки и коррозия тандеров, износ, скол буртов и заедание подшипников роликов, разрушения ограничителей хода рычагов и исполнительных органов.

Тросы, имеющие следы коррозии и истирание, приводящее к обрыву нитей при перегибе, а также ролики со сколом буртов и заеданием заменяются на новые. Другие повреждения системы, при выходе за ТТ, устраняются путём замены или текущего ремонта повреждённых элементов.

При проведении ПТО и сезонного ТО, а также после замены элементов тросовой проводки и регулировки углов отклонения исполнительных органов проводится проверка и регулировка предварительного натяжения тросов. Проверка натяжения тросов проводится тензометром ИН-11 в следующей последовательности:

- подготовить тензометр к работе с учётом диаметра троса;
- установить тензометр на трос (расстояние до ближайшего ролика должно быть более 0,5м);
- используя тарировочный график тензометра, определить натяжение троса;
- по графику (рис. 3.11) с учётом температуры наружного воздуха определить необходимое натяжение троса;
- сравнить фактическое и необходимое натяжения троса. При отклонении от ТТ более чем на 10% произвести регулировку натяжения троса.

Регулировку натяжения тросов производят путём одновременного изменения длины тандеров в набегающей и сбегающей ветвях

проводки. После регулировки натяжения тросов обязательно проводится проверка нейтрального положения и углов отклонения соответствующих исполнительных органов.

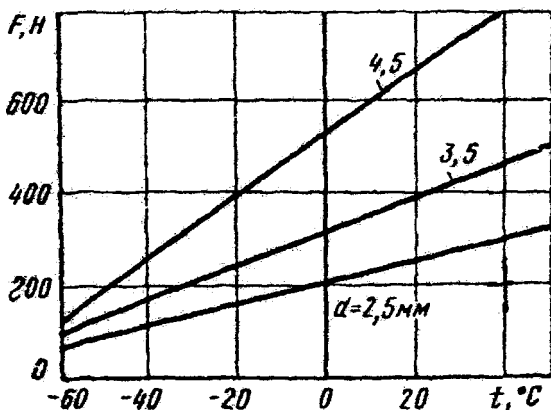


Рис. 3.11. Зависимость силы натяжения тросов от температуры

Проверка нейтрального положения рычагов управления (штурвальной колонки, штурвала, педалей и т.д.) и углов отклонения рулевых поверхностей (рулей, элеронов, триммеров и т.д.) проводится также при проведении ПТО и после замены элементов тросовой проводки.

Нейтральное положение рычагов управления проверяется угломером или масштабной линейкой при нейтральном положении исполнительных органов. Так, нейтральное положение руля высоты соответствует положению, при котором его хорда служит продолжением хорды стабилизатора, элерона – продолжением хорды крыла и т.д.

Отклонения рулевых поверхностей измеряют масштабной линейкой, угломером или оптическим квадрантом (КО-1М) при полном отклонении рычагов управления (до упора). Затем проверяют соответствие углов отклонения ТТ, приведенным в типовой технологической документации.

*В состав типовых регламентных работ для систем управления с “жесткой” проводкой* входят внешний осмотр (дефектация) конструктивных элементов, проверка радиальных зазоров в узлах навески тяг, осевых зазоров в соединениях тяг, сил трения в проводке, нейтрального положения рычагов управления и углов отклонения рулевых поверхностей. Кроме того, проверяется работоспособность рулевых приводов, пружинных загрузателей и механизмов триммирования.

При осмотре системы обращают внимание на состояние рычагов управления (отсутствие механических повреждений и надёжность сочленения частей штурвальных колонок, педалей ножного управления, звёздочек и цепей управления элеронами и т.д.), тяг (отсутствие механических повреждений, трещин, коррозии, обрывов металлизации и т.д.), роликов (отсутствие повреждений капроновой втулки, заданий подшипников при вращении и т.д.), качалок (отсутствие коррозии, механических повреждений и т.д.), гермовыводов (отсутствие выхода смазки, механических повреждений корпуса и штоков, плавность хода штоков и т.д.).

При проведении ПТО дополнительно проверяются радиальные зазоры между роликами направляющих и трубами тяг, осевые зазоры (люфты) в шарнирных соединениях и силы трения в проводке.

Радиальные зазоры проверяются щупом после прижатия тяги к двум нижним роликам. Для направляющих с нерегулируемым роликом зазор должен быть в пределах 0,1...0,8 мм, а с регулируемым – близок к нулю (при этом ролик должен только касаться тяги). При проверке необходимо учитывать, что увеличенный радиальный зазор способствует возникновению вибрации, увеличению наклёпа и износа тяг в месте контакта с роликом, а уменьшенный – увеличению сил трения в проводке.

Зазоры в направляющих увеличиваются за счёт износа тяг и роликов. При износе более 0,5 мм тягу заменяют на новую (соблюдая маркировку) или поворачивают на 180°. При допустимом износе тяги зазор восстанавливают путём смещения к оси тяги регулируемого ролика или замены нормального ролика на увеличенный (ремонтный).

Суммарный осевой люфт в проводке оценивается по линейному перемещению соответствующей рулевой поверхности. Так, максимальный суммарный люфт в системе управления рулём высоты, замеренный по задней кромке руля, не должен превышать 8 мм. При наличии недопустимых осевых люфтов в проводке находят и заменяют изношенные элементы (втулки, болты и другие детали шарнирных соединений).

Проверка сил трения в проводке проводится при ПТО, а также в случае записи экипажа о “тугом” управлении ЛА. Проверки проводятся при помощи динамометра, который крепится к рычагу управления. Измерения усилий производятся в процессе перемещения рычага из одного крайнего положения в другое (усилие страгивания в расчёт не принимается). Сила трения в проводке  $F_{тр}$  по результатам измерений на прямом  $F_{пр}$  и на обратном  $F_{обр}$  ходе рычага рассчитывается по формуле

$$F_{тр} = 0,5 (F_{пр} + F_{обр}).$$

Как правило, сила трения в проводке систем управления рулевыми поверхностями (при отключённых пружинных загрузателях) не превышает 50...120 Н. При повышенных силах трения проверяются все звенья проводки. Особое внимание при этом обращается на состояние подшипников качалок, величину зазоров в узлах навески тяг и состояние гермовыводов. Неисправные элементы проводки заменяются на новые, после чего производится повторное измерение сил трения.

Работоспособность гидравлических усилителей проверяется при наличии рабочего давления в гидросистемах ЛА. При этом обращается внимание на плавность хода рычагов управления, герметичность ниппельных соединений и уплотнений штоков гидроусилителей, правильность и углы отклонения рулевых поверхностей при перекладке рычагов управления в кабине.

При ТО систем управления стабилизатором обращается внимание на надёжность крепления и отсутствие течей рабочей жидкости из гидроприводов, отсутствие механических повреждений карданной подвески, силовых гаек, ходовых винтов и других элементов конструкции.



Работоспособность систем управления стабилизатором проверяется при наличии рабочего давления в гидросистемах ЛА. При этом определяется и сравнивается с ТТ время переключки стабилизатора от всех гидромоторов и от каждой гидросистемы в отдельности. Одновременно проверяется работоспособность указателей положения и систем сигнализации.

При ТО систем управления механизацией крыла (закрылками) проводятся аналогичные работы. Кроме того, проверяется состояние трансмиссии и её соединений (карданов, шлицевых муфт и т.д.) на отсутствие люфтов, биения валов, осевых перемещений в шлицевых соединениях и т.д.

При проведении ПТО в некоторых подвижных соединениях системы управления возобновляется консистентная смазка (ЦИАТИМ-201, 203 и т.д.). Смазочные работы производятся в соответствии с картами смазки ЛА.

### **3.3. Техническое обслуживание шасси**

#### ***Особенности конструкции и условия эксплуатации***

Шасси представляют собой совокупность опор, необходимых для взлёта, посадки, передвижения и стоянки ЛА на земле (воде). Они бывают убирающимися и неубирающимися после взлёта, колёсными, лыжными, поплавковыми и ползунковыми, с передней и хвостовой опорой, выполненными по балочной, балочно-подкосной и ферменной конструктивно-силовой схеме (рис. 3.12).

Силовая схема шасси выбирается исходя из назначения, размеров, условий эксплуатации ЛА и других факторов. На самолётах ГА применяются в основном убирающиеся колёсные шасси с передней управляемой опорой, выполненные по балочно-подкосной схеме, а на вертолётах – неубирающиеся колёсные шасси с передней неуправляемой опорой, выполненные по ферменной схеме.

Балочно-подкосная схема сочетает в себе преимущества балочных (компактность) и ферменных (лёгкость) конструкций. Опора шасси в этом случае состоит из амортистойки, являющейся основ-

ным силовым элементом конструкции, и трёх подкосов (заднего и двух боковых).

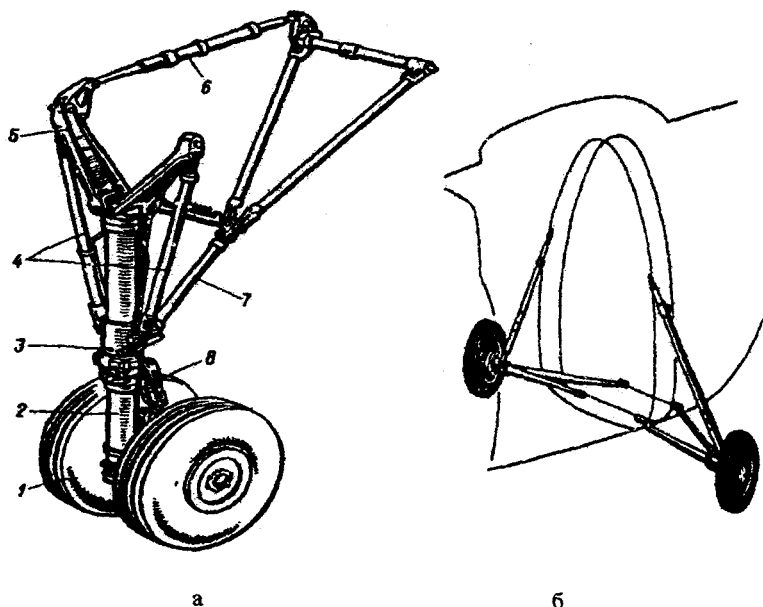


Рис. 3.12. Конструктивно-силовые схемы опор шасси: а – балочно-подкосная; б – ферменная; 1 – колесо; 2 – шток амортизатора; 3 – амортизатор; 4, 7 – подкосы; 5 – траверса; 6 – гидроцилиндр уборки и выпуска опоры; 8 – двузвенник (шлиц-шарнир)

Боковые подкосы разгружают амортистойку от действия изгибающих моментов и поперечных сил, а задний подкос воспринимает нагрузки, действующие в продольной плоскости. Подкосы крепятся к амортистойке шарнирно, т.е. нагружаются только растягивающими и сжимающими силами.

Убирающиеся шасси в силу сложной кинематики выпуска-уборки опор имеют значительное число узлов трения (шарнирных соединений), которые существенно усложняют конструкцию и требуют тщательного ухода. Выпуск-уборка шасси обычно осуществляется с помощью гидроцилиндров, которые одновременно выполняют фун-

кции подкосов и гидрозамков выпущенного и убранного положения опор.

С целью лучшей маневренности самолётов при движении по земле передняя опора обычно оснащается системой разворота колёс с гидравлическим приводом и управлением из кабины экипажа.

При движении самолёта по аэродрому (ВПП) с большой скоростью на передней опоре при определённых условиях (повышенные люфты в соединениях, пониженное давление и дисбаланс колёс и других) могут возникнуть автоколебания (по типу Шимми), которые могут привести к серьёзным последствиям: разрушению опоры, срыву покрышек, потере управляемости самолёта и другим. Для их предупреждения передние опоры шасси самолётов оснащаются демпфером-гасителем колебаний, функции которого обычно выполняет рулёжно-демпфирующий цилиндр (РДЦ).

У вертолётов при тяге несущего винта (НВ), близкой к весу конструкции, т.е. когда нагрузка на опоры шасси относительно невелика, могут возникнуть автоколебания, получившие название “земной резонанс”. Возбуждающей силой для таких колебаний служат неуравновешенные центробежные силы НВ, которые возникают при смещении центра массы ротора относительно оси вращения. Эти силы приводят к раскачиванию вертолёта (за счёт обжатия пневматиков и амортистоек) с нарастающей амплитудой колебаний. В конечном итоге “земной резонанс” может привести к опрокидыванию и разрушению вертолёта.

Для предотвращения таких явлений принимаются меры по отстройке частоты собственных колебаний вертолёта от частоты вращения НВ и уменьшению величины возбуждающей силы путём подбора жёсткости пневматиков и амортистоек, балансировки и демпфирования лопастей НВ и т.д. Начавшиеся автоколебания устраняются экипажем путём снижения тяги НВ (увеличения нагрузки на опоры) или путём отрыва вертолёта от земли.

Внешние нагрузки, действующие на конструкцию шасси, являются реакцией земли при посадке и движении ЛА по аэродрому. Характер нагрузок (величина, повторяемость и т.д.) зависит от конст-

руктивной схемы шасси (число и жёсткость опор и т.д.), взлётно-посадочных характеристик ЛА (посадочная скорость, масса и т.д.), состояния поверхности аэродрома (вид и качество покрытий и т.д.), квалификации экипажа и техники пилотирования, а также от качества ТО (давления в пневматиках и амортистойках, наличия люфтов в соединениях и т.д.)

Наибольшие нагрузки опоры шасси испытывают при посадке ЛА. В момент касания колёс ВПП энергия первого удара  $A$  (Дж) при вертикальной скорости  $V_y$  и массе  $m$  составляет:

$$A = 0,5m V_y^2 .$$

Так, при вертикальной скорости 2...4 м/с, которая имеет место при достаточно грубых посадках, энергия первого удара будет соответствовать энергии при свободном падении ЛА с высоты 1...2 м.

Значительные механические и тепловые нагрузки испытывает конструкция шасси и в процессе торможения. Силы трения при этом достигают веса ЛА, а кинетическая энергия, срабатываемая одним тормозом, достигает 20 МДж.

### *Характерные неисправности*

Неисправности шасси с учётом причин их возникновения можно условно разделить на следующие группы:

- трещины, деформации и разрушения силовых элементов, связанные с эксплуатационными перегрузками, наличием скрытых производственных дефектов и эксплуатационных повреждений;
- износ (люфты) и заедания шарнирных соединений, связанные с попаданием в них загрязнений (абразивных частиц) и нарушениями технологии смазки;
- падение давления газа и уровня рабочей жидкости в амортистойках, связанные с нарушением герметичности уплотнений, правил зарядки и эксплуатации;
- ускоренный износ и повреждения пневматиков, трещины и коррозия на барабанах, износ и разрушение подшипников, а также ускоренный износ тормозов колёс, связанные с низким качеством изготовления и нарушениями правил эксплуатации;

– нарушения работы кинематики уборки-выпуска опор и управления колёсами передней опоры, связанные с повреждениями конструкции, нарушениями регулировок и правил эксплуатации.

Большая часть деталей шасси изготавливается из высокопрочных конструкционных сталей, имеющих высокую чувствительность к надрезу (концентраторам напряжений). В силу этого возникающие на деталях шасси в процессе эксплуатации усталостные трещины достаточно быстро приводят к разрушениям конструкции опор. Усталостные трещины обычно локализируются у сварных швов, в зоне галтельных переходов, у отверстий под смазку, на витках резьбы и у других конструктивных концентраторов напряжений, а также в местах, подверженных эксплуатационным повреждениям (очаги коррозии, наклёп и задиры трущихся поверхностей и т.д.). Период развития усталостных трещин на элементах шасси обычно соизмерим с циклом эксплуатации ЛА между формами ПТО, поэтому имеется возможность их своевременного выявления с помощью средств НК (МПК, ТВК и других) и предупреждения усталостных разрушений.

Шарнирные соединения шасси работают в специфических условиях нагружения – большие амплитуды передаваемых нагрузок при малых углах и скоростях взаимного перемещения сопряжённых деталей. Износ шарнирных соединений, обусловленный главным образом плохой защитой от попадания в них загрязнений (абразивных частиц), приводит к увеличению зазоров (люфтов) в сопряжённых деталях, что ведёт к возникновению ударных нагрузок, ускоренному износу и образованию на деталях усталостных трещин. Кроме того, люфты в шарнирах обычно приводят к нарушению работоспособности некоторых систем шасси (РДЦ, тормозной и т.д.), кинематики выпуска-уборки опор, замков выпущенного и убранного положения, створок и т.д.

Для уменьшения нагрузок, передаваемых на планер при движении ЛА по земле, на шасси предусматривается система амортизации. Её основным элементом является амортистойка, которая поглощает до 80% энергии первого удара при посадке ЛА. На работу жидкостно-газового амортизатора сильное влияние оказывает давление газа (азота) и объём (уровень) рабочей жидкости (АМГ-10).

Отклонения величины давления газа и уровня жидкости от расчётных приводят к недопустимым изменениям эксплуатационных характеристик амортизатора, что влечёт за собой изменение величины и характера передаваемых на планер нагрузок и возможное разрушение как самих опор, так и узлов их крепления к планеру (рис.3.13).

Так, при недостаточном объёме (уровне) рабочей жидкости ( $V_1 < V_0$ ) и пониженном давлении газа ( $P_1 < P_0$ ) амортизатор становится «мягким», что может привести к возникновению «жёсткого» удара в конце хода штока при грубой посадке ( $S > S_{\max}$ ).

При повышенном давлении газа ( $P_2 > P_0$ ) или повышенном уровне рабочей жидкости ( $V_2 > V_0$ ) амортизатор становится «жёстким», что влечёт за собой повышение нагрузок на узлы крепления шасси при движении ЛА по неровностям аэродрома и может привести к разрушению амортизатора при грубой посадке ( $P > P_{\max}$ ).

При значительном уменьшении уровня жидкости (ниже узла торможения жидкости) при обжатии штока может произойти гидравлический удар и разрушение конструкции амортизатора.

На работу амортизатора сильное влияние оказывает также и вязкость рабочей жидкости. Длительная эксплуатация и высокая температура приводят к снижению вязкости жидкости и ухудшению демпфирующей способности амортизатора (величины поглощённой энергии), что может привести к возникновению отброса ЛА от ВПП при первом ударе. Повышение вязкости жидкости (особенно при низких температурах) приводит к увеличению времени восстановления амортизатора после обжатия, что может привести к «жёсткому» удару при повторных нагружениях.

В гашении энергии первого удара помимо амортистойки участвуют и колёса. Работа (энергия) обжатия пневматика (шины)  $A_{\text{ш}} = 0,5P_{\text{к}}\delta$  зависит от силы  $P_{\text{к}}$ , действующей на колесо, и величины обжатия шины  $\delta$ . Чем больше обжатие шины (ниже давление воздуха), тем большую кинетическую энергию ЛА шина может преобразовать в потенциальную. В силу того что воздух, заключённый в шине, имеет малый гистерезис, почти вся накопленная шиной энер-

гия возвращается ЛА. Таким образом, колёса, обладая низкой демпфирующей способностью, поглощают около 20% энергии первого удара.

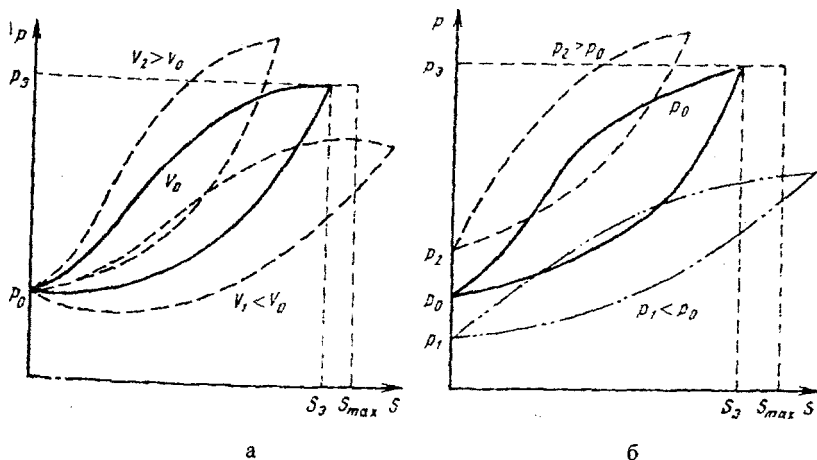


Рис. 3.13. Диаграммы работы жидкостно-газового амортизатора при отклонениях от ТТ по заправке жидкостью (а) и зарядке газом (б)

### Типовые регламентные работы

Узлы и устройства шасси с учётом особенностей их конструкции, дефектов и содержания работ, выполняемых при проведении ТО, можно условно разделить на следующие группы: силовые элементы, шарнирные соединения, амортистойки, колёса, кинематика уборки-выпуска опор и управления колёсами передней опоры.

К силовым элементам шасси относятся амортистойка, подкосы, балки тележек, тяги и рычаги тормозной цепи и другие элементы, подверженные значительным знакопеременным и ударным нагрузкам. Под их воздействием возможны разрушения и деформации силовых элементов, образование усталостных трещин с последующим разрушением конструкции. Трещины возникают преимущественно на деталях и узлах тормозной цепи, на узлах крепления подкосов, гидроцилиндров, двузвенников (шлиц-шарниров), у сварных швов

и т.д. В некоторых случаях при обнаружении небольшого производственного дефекта, например, «непровара» по сварному шву, можно продолжить эксплуатацию конструкции при условии полного механического удаления (вышлифовки) дефектного участка детали.

Основными работами, выполняемыми при проведении ТО силовых элементов шасси, является осмотр и НК деталей, подверженных эксплуатационным повреждениям и усталостным разрушениям. При осмотре обнаруживаются очаги коррозии, вмятины, царапины, разрушенные и деформированные детали, ослабления и нарушения контровки резьбовых соединений. Целью НК является выявление усталостных трещин в местах их возможной локализации. Контроль производится только аттестованными специалистами (ИД) в строгом соответствии с картами НК ЛА.

*Шарнирные соединения шасси* выполняются с использованием сферических (ШС) и цилиндрических подшипников скольжения. Смазка подшипников осуществляется консистентной смазкой (ЦИ-АТМ-201, 203 и т.д.) через специальные маслоподводящие каналы и маслѐнки. Масло набивают в узлы трения до момента выхода свежей смазки из контрольного отверстия. Смазка в шарнирах возобновляется в соответствии с картами смазки ЛА.

При проведении ТО и в случае обнаружения люфтов в шарнирных соединениях производится обмер сопряженных деталей при помощи мерительного инструмента (нутромеры, микрометры и т.д.). По результатам измерений вычисляется величина зазора, которая сопоставляется с ТТ, приведенными в альбоме основных сочленений ЛА. Подшипники (втулки) с повышенным износом заменяют на новые с размерами, обеспечивающими необходимые зазоры ( посадки) в соединениях.

*Амортстойки* воспринимают значительные нагрузки и являются основным силовым элементом опор шасси. Они поглощают (превращают в тепловую) большую часть энергии (до 80 %) первого удара при посадке ЛА, поэтому от работы амортистоек во многом зависит величина нагрузок, передаваемых от опор шасси на узлы планера. При ТО шасси на ТС амортистоек обращается повышенное внимание.



При проведении осмотра амортистойки обращается внимание на отсутствие подтеканий рабочей жидкости из под уплотнений и на отсутствие повреждений (рисок) зеркала штока. Герметичность зарядного штуцера проверяют по отсутствию пузырьков азота после его обмыливания.

При проведении ПТО, при повышенном обжатии амортизатора, а также по замечаниям экипажа проверяются объём (уровень) рабочей жидкости и величина начального давления азота. Для большинства типов амортизаторов уровень рабочей жидкости (АМГ-10) должен находиться на уровне отверстия заливного штуцера (при полностью вдвинутом штоке и стравленном давлении азота), а начальное давление азота (при полностью выдвинутом штоке) – соответствовать ТТ для данного типа амортизатора.

В двухкамерных амортизаторах аналогичным образом проверяются объём (уровень) рабочей жидкости и начальное давление азота в обеих камерах, начиная с нижней, в которой начальное давление азота обычно выше, чем в верхней.

Начальное давление азота измеряют манометром после отрыва опоры от земли (вывешивания ЛА) или косвенно по графику (рис. 3.14) с учётом обжатия амортизатора (величины видимой части зеркала штока под нагрузкой).

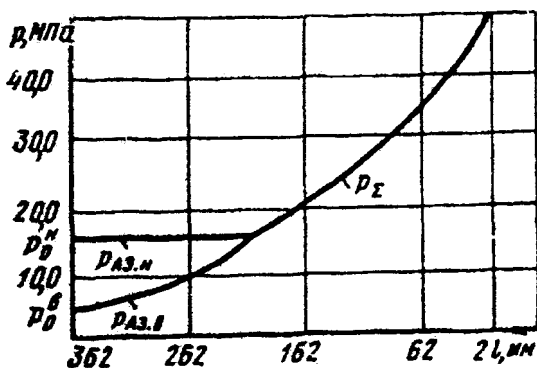


Рис. 3.14. Зависимость давления азота  $P$  в двухкамерном амортизаторе от его обжатия  $L$ .

*Авиационные колёса* бывают тормозными и нетормозными, с подшипниками, установленными на барабане колеса и на амортистойке, со съёмной ребордой и с осевым болтовым разъемом.

Тормозное колесо (рис. 3.15) состоит из корпуса (барабана) со съёмной и несъёмной ребордами, подшипникового узла, пневматика (шины) и тормозного устройства (тормоза).

Нетормозное колесо у двухколёсной передней опоры не имеет подшипников, а на втулку барабана устанавливается шлицевой фланец, служащий для посадки колеса на ось и передачи крутящего момента.

Колёса воспринимают вертикальные нагрузки от массы ЛА, действие касательных сил от сцепления шины с поверхностью ВПП и боковых сил, возникающих при рулении и посадке со сносом, силы давления воздуха и другие. Нагрузки на колёса многократно возрастают при грубых посадках, выкатывании ЛА за пределы ВПП, при прерванном взлёте и интенсивном торможении, посадках без применения реверса тяги двигателей, при отказе тормозов на части колёс и т.д. При торможении ЛА на конструкцию колеса сильное воздействие оказывает повышенная температура, которая может привести к разрушению пневматика, барабана и подшипников.

Барабаны и, в частности, борта (реборды) дополнительно нагружаются силами, возникающими при деформации пневматика в месте его касания земли. При движении ЛА по аэродрому (рулении, взлёте и посадке) в материале реборд возникают переменные напряжения, которые при наличии концентраторов напряжений (очаги коррозии, микрорыхлоты и т.д.) и большом числе циклов нагружения (оборотов колеса) могут привести к образованию усталостных трещин и разрушению барабана по галтельным переходам реборды.

Барабаны колёс обычно изготавливаются из лёгких магниевых сплавов (МЛ-5, МЛ-12 и других), которые обладают низкой коррозионной стойкостью и высокой чувствительностью к воздействию повышенной температуры, что способствует образованию очагов коррозии, развитию усталостных трещин и разрушениям колёс.

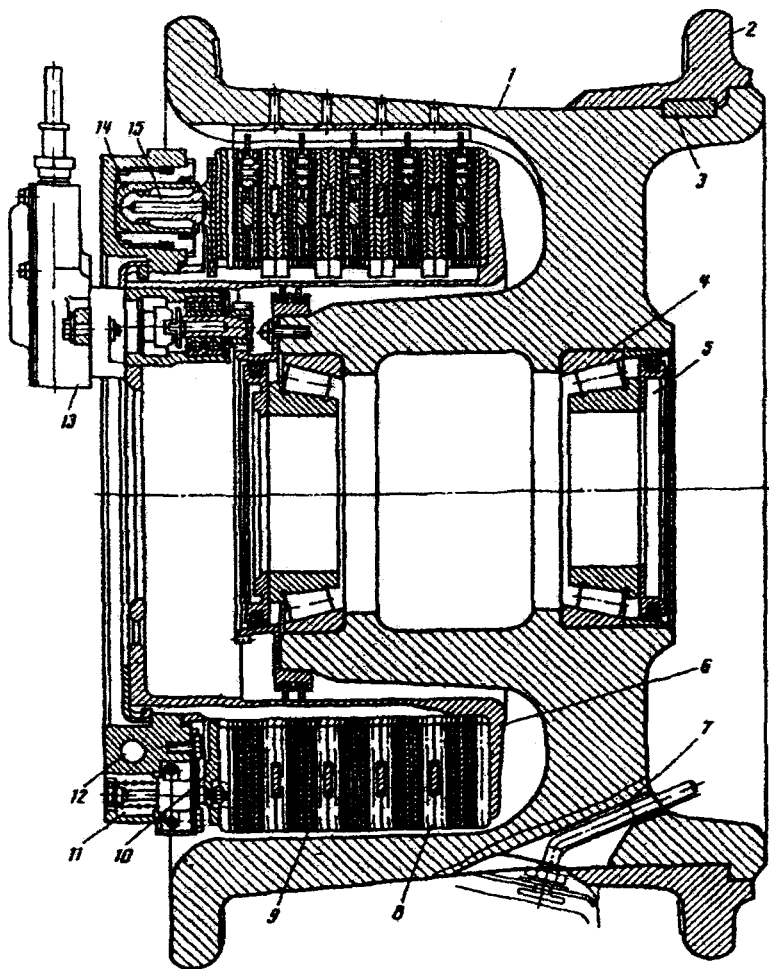


Рис. 3.15. Колесо с дисковым тормозом: 1 – барабан; 2 – съёмная реборда; 3 – шпонка; 4 – роликовый подшипник; 5 – обтюратор; 6 – корпус тормоза; 7 – вентиль; 8,9 – неврвращающийся и вращающийся диски тормозного пакета; 10 – прижимной диск; 11 – пружина растормаживания; 12 – блок тормозных цилиндров; 13 – датчик автомата тормозов (юза); 14 – цилиндр; 15 – поршень

При ТО проводится осмотр барабанов колёс с целью выявления механических повреждений (трещин, деформаций, царапин и т.д.), очагов коррозии и следов перегрева (шелушение ЛКП и выплавление термосвидетелей). При разборке колёс (демонтажа пневматика) производится НК барабана с использованием токовихревого метода (ТВК) на предмет выявления усталостных трещин по галтельным переходам реборд (рис. 3.16).

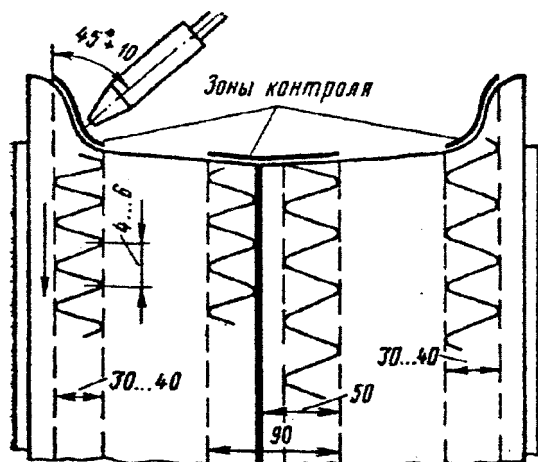


Рис. 3.16. Зоны контроля и траектории перемещения датчика при токовихревом контроле барабана колеса

У колёс с осевым разъемом проверяется момент затяжки болтов при помощи динамометрического ключа (рис. 3.17).

Подшипниковый узел колеса обычно состоит из двух конических роликовых подшипников и распорной втулки. Подшипники воспринимают значительные радиальные и осевые нагрузки при взлёте, посадке и рулении ЛА. Они работают в широком диапазоне скоростей и температур, и даже при нормальных условиях эксплуатации от действия сил трения и работы тормозов температура подшипников может повышаться до 150°C и более.

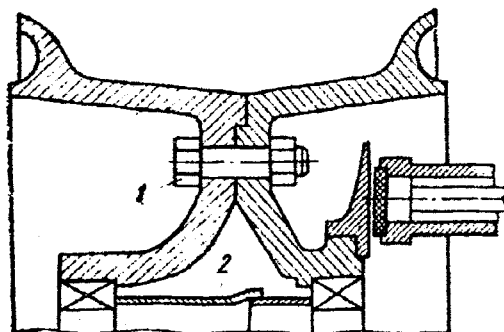


Рис. 3.17. Барабан колеса с осевым разъемом: 1-болты соединения частей барабана; 2-подшипники с распорной втулкой

Работоспособность конических подшипников в значительной степени зависит от величины осевого зазора, который обеспечивается за счёт предварительной регулировки распорной втулки. Наличие распорной втулки обеспечивает сохранение расчётного зазора в подшипниках (0,15...0,22 мм) вне зависимости от момента затяжки гайки крепления колеса. Размеры распорной втулки регулируются при сборке колеса, а номер втулки вносится в паспорт колеса. Как распорная втулка, так и подшипники не могут быть заменены на новые или переставлены на другое колесо.

Смазка подшипников колёс обычно производится тугоплавкой консистентной смазкой (НК-50, НП-201 и другими), которая возобновляется при каждой переборке колеса. Свежая смазка набивается в предварительно промытый подшипник (до заполнения сепаратора) с использованием специальной установки под давлением до 20 МПа.

При осмотре подшипникового узла, который проводится после мойки и сушки деталей, обращают внимание на отсутствие цветов побежалости и следов износа на беговых дорожках, повреждений сепараторов и роликов подшипников, а также на состояние резьбы и контровки распорной втулки. При сборке узла проверяют соответствие номеров и мест установки подшипников, а также номера распорной втулки паспортным данным колеса.

Пневматики (шины) воспринимают значительные нагрузки от веса ЛА, внутреннего давления воздуха, сил торможения и руления. Особенно большие нагрузки действуют на шину в момент касания колес ВПП при посадке ЛА. Шина испытывает при этом значительные деформации (до обода), перегрузки от действия центробежных сил (до 1000 g) и тормозов. Силы трения в момент касания колёс ВПП и торможения ЛА при посадке приводят к быстрому износу протектора (обычно менее 100 посадок) и сильному нагреву резины, который может привести к взрывному разрушению шины.

Большую опасность представляет и проворот пневматика относительно барабана. Он может произойти из-за пониженного давления воздуха в шине, действия повышенных нагрузок и по другим причинам. Сдвиг пневматика относительно барабана определяется по смещению рисок, нанесённых на шине и ободе барабана при сборке колеса. Поворот шины обычно приводит к разрушению камеры, сбросу давления воздуха и разрушению шины.

При проведении ПТО проводится полная переборка колёс, осмотр и приведение давления воздуха в пневматиках в соответствие с ТТ. В случае обнаружения пониженного давления воздуха в пневматике при проведении ОТО (по обжатию или по манометру) колесо подлежит снятию с ЛА и замене на запасное.

При осмотре пневматика обращают внимание на отсутствие проворота шины, местных истираний, проколов и порезов, внутренних разрушений корда (вспучиваний), сетки трещин и других повреждений, превышающих допустимые по ТТ.

Измерение и приведение в норму давления воздуха в пневматике производятся при снятии колёс с ЛА, а также в случае обнаружения повышенного обжатия шины под нагрузкой. Их выполняют с использованием специального зарядного устройства, оснащённого манометром и редуктором для понижения давления воздуха, подаваемого от баллона (15 МПа). Допустимое отклонение давления в пневматиках от ТТ составляет  $\pm 25$  кПа.

*Тормозные устройства (тормоза)* предназначены для сокращения пробега и маневрирования ЛА при посадке и рулении. Тормо-

жение ЛА осуществляется за счёт преобразования кинетической энергии движущейся массы в тепловую, которая идёт на нагрев тормозов колёс и набегающего потока воздуха.

На современных ЛА применяются дисковые, камерные и колодочные тормоза с пневматическим и гидравлическим управлением, каждый из которых обладает определёнными преимуществами и недостатками. На тяжёлых транспортных самолётах ГА в основном используются дисковые тормоза с гидравлическим управлением, которые отличаются высоким быстродействием, большой энергоёмкостью, долговечностью и надёжностью.

Дисковый тормоз (см. рис.3.15) состоит из корпуса, тормозных цилиндров, тормозного пакета, прижимного диска и узлов растормаживания.

В дисковом тормозе срабатывает значительная энергия (до 20 МДж) за относительно короткий интервал времени (до 30с), что приводит к разогреву деталей тормоза (дисков) до температуры, превышающей 1000°С. При перегреве тормоза могут возникнуть разнообразные повреждения конструкции (трещины, коробление, повышенный износ и спекание дисков, нарушение герметичности тормозных цилиндров и т.д.). Нарушение герметичности тормозных цилиндров может привести к попаданию гидромасла на тормозные диски, его возгоранию и снижению эффективности работы тормоза.

При ТО осматривают тормозной пакет на предмет отсутствия механических повреждений (трещин, царапин, коррозии и т.д.) и подтёков гидромасла из-под прижимного диска и ниппельных соединений шлангов, проверяют надёжность крепления и контровку болтов тормозных фланцев, определяют степень износа тормозного пакета по указателю суммарного износа. При разборке тормозного пакета дополнительно осматривают детали тормоза на отсутствие повреждений дисков, определяют износ фрикционных накладок, проверяют состояние узлов растормаживания и автоматического поддержания зазоров. В некоторых АТБ практикуется замена изношенных фрикционных накладок на тормозных дисках с последующей регулировкой и проверкой тормоза.

*Кинематика системы уборки-выпуска опор шасси* предназначена для уборки шасси после взлёта и выпуска шасси перед посадкой ЛА, открытия и закрытия створок гондол шасси, постановки опор шасси на замки выпущенного и убранного положения. Она включает гидроцилиндры-подъёмники, складывающиеся подкосы, рычаги, замки выпущенного и убранного положения, механизмы управления створками, блокировки выпуска шасси на земле и систему сигнализации.

На элементы кинематики шасси при уборке и выпуске опор действуют значительные нагрузки, кроме того они подвержены разнообразным повреждениям в процессе эксплуатации. На узлах и деталях кинематики часто встречаются усталостные трещины, возникновение которых связано с характером действующих нагрузок (знакопеременные напряжения высокой интенсивности), наличием конструктивных (сварные швы, резьба, галтельные переходы, следы грубой механической обработки и т.д.) и эксплуатационных (вмятины и деформация деталей, наклёп и задиры на трущихся поверхностях деталей и т.д.) концентраторов напряжений.

При проведении ТО проводят осмотр силовых элементов кинематики шасси на предмет выявления скрытых производственных дефектов и эксплуатационных повреждений. Для выявления усталостных трещин обычно используются средства НК (МПК, ТВК и другие).

Проверка работоспособности кинематики выпуска-уборки опор шасси проводится на вывешенном самолёте при наличии внешних источников давления и электропитания. Вывешивание самолёта производится при помощи трёх гидроподъёмников (двух основных и хвостового) с соблюдением мер техники безопасности (обеспечение равномерности подъёма и опускания ЛА, использование страховочных гаек и штырей гидроподёмников, установка страховочного ложемента под носовую часть фюзеляжа, при боковом ветре не более 7...8 м/с, при отсутствии снега и льда под опорами гидроподёмников и т.д.).

При проверке работоспособности кинематики шасси измеряют время уборки и выпуска шасси от основной, резервной и аварийной



гидросистем, давление в системах при постановке опор на замки (обычно не более 80% от рабочего), убеждаются в синхронности уборки и выпуска опор, полноте запрокидывания и возвращения в исходное положение тележек, в наличии зазоров в замках, а также между элементами шасси и гондол, своевременности срабатывания сигнализации (световой, звуковой и механической), синхронности и полноте открытия и закрытия створок, правильности регулировки блокирующего механизма выпуска шасси на земле и т.д.

*Система управления поворотом колёс передней опоры* предназначена для обеспечения маневренности самолёта при движении по земле, а также для гашения автоколебаний передней опоры при взлёте и посадке. От работоспособности данной системы во многом зависит как безопасность полётов (сохранения заданной траектории движения самолёта по ВПП), так и надёжность передней опоры (отсутствие механических повреждений, люфтов в подвижных соединениях, трещин в узлах крепления и т.д.). Кинематика системы управления колёсами передней опоры включает силовые элементы (тяги, рычаги, двузвенник и т.д.), РДЦ, механизм обратной связи, штурвал управления и другие элементы (в зависимости от особенностей конструкции системы).

На силовые элементы кинематики передней опоры при движении самолёта по ВПП с большой скоростью действуют значительные знакопеременные нагрузки, связанные с отклонением колёс от прямолинейного движения, вибрацией опоры и т.д. Кроме того, они подвержены разнообразным эксплуатационным повреждениям (забоинам, деформациям, образованию очагов коррозии и т.д.).

Сильное влияние на работоспособность кинематики передней опоры оказывают люфты в подвижных соединениях (двузвенника, узлов крепления РДЦ, механизма обратной связи и т.д.), появление которых связано с характером передаваемых усилий (большое число знакопеременных нагрузок значительной интенсивности) и условиями работы узлов трения (попадание в смазку абразивных частиц и воды, потеря смазки через зазоры и т.д.).

При проведении ТО передней опоры осматривают силовые элементы конструкции и подвижные соединения кинематики на пред-

мет отсутствия механических повреждений и люфтов. В некоторых случаях для выявления усталостных трещин и люфтов используют средства НК (МПК, ТВК и другие) и мерительный инструмент (нутромеры, микрометры и т.д.).

Повышенное внимание при осмотре кинематики передней опоры обращают на состояние РДЦ, от которого во многом зависит работоспособность всех систем опоры. На РДЦ часто обнаруживают подтёки гидромасла из уплотнений, люфты и трещины в узлах крепления, люфты в подвижных соединениях, риски и задиры на штоках и другие повреждения.

Проверка работоспособности системы управления колёсами передней опоры проводится на вывешенном на подъемниках самолёте при наличии внешних источников давления и электропитания. При проверке обращают внимание на плавность разворота колёс при вращении штурвала управления, соответствие углов поворота штурвала и углов разворота колёс, определяют время разворота колёс из одного крайнего положения в другое, оценивают чёткость действия обратной связи (по отсутствию колебаний в системе при остановке штурвала) и т.д.

### **3.4. Техническое обслуживание гидросистемы**

#### ***Особенности конструкции и условия эксплуатации***

На ЛА имеется большое число устройств (тормоза, управление колёсами передней опоры шасси, механизация крыла, рулевые приводы и т.д.), которые должны приводиться в действие в полёте и на земле. В качестве привода таких устройств используются гидравлические, пневматические и электрические системы, а также их комбинации. Современные ЛА, как правило, оснащаются комбинированными системами, которые включают в себя кроме элементов гидравлической системы (источники энергии и силовые приводы) ещё и элементы электрической (управление электрогидроагрегатами) и газовой (зарядка гидроаккумуляторов, аварийное торможение, аварийный выпуск шасси и т.д.) систем.

Гидравлические системы обеспечивают высокое быстродействие и возможность передачи больших импульсов силы на значи-

тельные расстояния с малыми потерями энергии. Наиболее существенными недостатками гидравлического привода являются гидравлические удары, кавитация рабочей жидкости и значительные пульсации давления, зависимость от температуры и попадания в систему воздуха, высокие требования к внешней и внутренней герметичности агрегатов, чистоте и вязкости рабочей жидкости, а также высокая пожароопасность.

Гидравлические удары возникают в момент мгновенной остановки потока жидкости, движущейся по трубопроводу с высокой скоростью (до 25 м/с). При этом кинетическая энергия массы жидкости, находящейся в трубопроводе, мгновенно переходит в давление, величина которого возрастает в несколько раз по отношению к исходному значению. Такие явления наблюдаются при срабатывании электрокранов, датчиков юза тормозов и т.д. Гидравлические удары приводят к разрушению трубопроводов, уплотнений, корпусов гидроагрегатов и другим повреждениям элементов гидросистемы. Для уменьшения вредного влияния гидроударов на работу гидросистем проводится комплекс мероприятий (установка гасителей пульсации, увеличение времени срабатывания кранов и т.д.), направленных на исключение или снижение амплитуды выбросов давления.

Кавитация (вскипание) рабочей жидкости связана с выделением пузырьков растворённого газа (паров жидкости) при резком снижении давления. Жидкость, смешанная с пузырьками газа, становится сжимаемой и занимает больший объём, чем в исходном состоянии. Это приводит к возникновению пульсаций давления, снижению производительности насосов, нарушению плавности работы исполнительных органов и других неисправностей. В момент захлопывания пузырьков (при выходе жидкости из зоны пониженного давления) возникают локальные зоны повышенного давления (микрогидроудары), которые вызывают разрушение (эрозию) поверхностного слоя деталей, ухудшают эксплуатационные свойства жидкости, загрязняют гидросистему продуктами эрозии и т.д. Основным методом борьбы с кавитацией в гидросистемах является повышение давления на входе насосов путём наддува гидробаков или постановки подкачивающего насоса.

В качестве рабочей жидкости в гидросистемах используется минеральное (АМГ-10) или синтетическое (НТЖ-4) масло, которое обладает необходимыми эксплуатационными свойствами (вязкостью, термостабильностью, долговечностью и т.д.). Наибольшее распространение, в силу доступности и малой ядовитости, получило авиационное гидравлическое масло АМГ-10, имеющее вязкость 10 сСт при температуре 50°С.

Широкое применение дистанционного управления исполнительными органами с помощью электрокранов способствовало повышению надёжности и снижению массы гидросистем (уменьшение длины, числа стыков и массы трубопроводов), но из-за увеличения числа агрегатов с золотниковыми парами (кранов) существенно повысились требования к чистоте рабочей жидкости.

Малые зазоры (2...10 мкм) в узлах трения гидроагрегатов (плунжерные пары гидронасосов, электрокранов, рулевых приводов и т.д.) очень чувствительны к попаданию абразивных частиц, которые ускоряют процессы изнашивания деталей, приводят к нарушению внутренней герметичности, а в отдельных случаях и к нарушению работоспособности (заклиниванию). Подобные явления наблюдаются и при снижении вязкости рабочей жидкости, что происходит при повышении температуры масла в зоне контакта пар трения, а также из-за длительной эксплуатации гидромасла.

В целях повышения надёжности гидравлических систем в них используются различные виды разгрузки источников давления (насосов): автоматы разгрузки насосов постоянной производительности (АРН), насосы переменной производительности, а также автономные насосные станции с электроприводом (рис. 3.18).

На работоспособность гидравлических систем оказывают влияние не только внешние факторы (температура, вибрация, силовые воздействия и т.д.), но и продолжительность работы, свойства рабочей жидкости, закономерности изменения давления в системе, правильность зарядки гидроаккумуляторов, регулировок гидроагрегатов, наличие воздуха в системе и т.д.

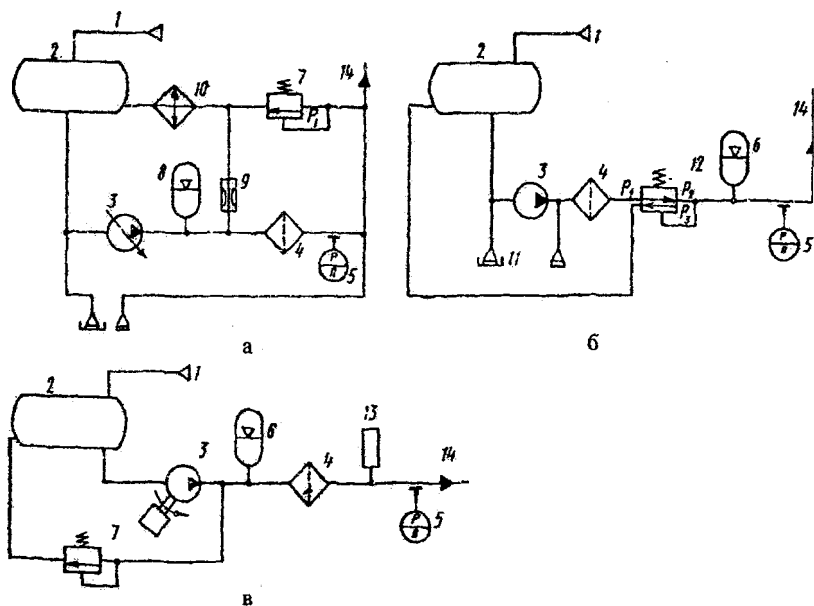


Рис. 3.18. Принципиальные схемы гидравлических систем с насосом постоянной производительности (а); с насосом переменной производительности (б) и с автономной насосной станцией (в): 1 – трубопровод системы наддува баков; 2 – бак; 3 – насос; 4 – фильтр; 5 – манометр; 6 – гидроаккумулятор; 7 – предохранительный клапан; 8 – гаситель пульсаций; 9 – дроссель постоянного расхода; 10 – теплообменник; 11 – бортовые штуцера; 12 – автомат разгрузки насоса (АРН); 13 – переключатель давления манометрический (ПДМ); 14 – трубопровод к потребителям

Из внешних факторов на работу гидросистемы наиболее сильное влияние оказывает температура, влияющая на эластичность уплотнительных материалов, вязкость рабочей жидкости и величину зазоров в соединениях, которые приводят к нарушению внешней и внутренней герметичности системы.

Продолжительность работы агрегатов и, в частности, насосов зависит не только от общей продолжительности эксплуатации, но и от настройки АРН, давления газа в гидроаккумуляторах, внутренней герметичности агрегатов, условий эксплуатации и т.д.

В полёте в определённой последовательности работают все агрегаты системы (АРН, РП, тормоза, агрегаты уборки-выпуска шасси, закрылков и т.д.), что сопровождается колебаниями (пульсацией) давления рабочей жидкости. Пульсация давления, и особенно гидроудары, неблагоприятно сказываются на ТС всех элементов гидросистемы, приводя к образованию усталостных трещин и разрушений трубопроводов и корпусов агрегатов, нарушению работы гидронасосов и т.д.

Воздух в небольших объёмах всегда присутствует в гидросистемах и практически не сказывается на их работе. При повышенном объёме воздуха наблюдаются нарушения в работе насосов (снижение производительности и кавитация), уменьшается эффективность работы тормозов (увеличивается время затормаживания и растормаживания), РП и других исполнительных органов. Чаще всего в систему воздух попадает при расстыковке ниппельных соединений трубопроводов и агрегатов. Его удаление из системы представляет собой длительный и трудоёмкий процесс, который не всегда гарантирует отсутствие воздуха в системе.

### *Характерные неисправности*

В процессе эксплуатации в гидросистеме возникают разнообразные отказы и неисправности, которые можно разделить на параметрические и механические. Первые (падение давления и расхода жидкости, частое срабатывание АРН или включение насосных станций, повышенная пульсация давления, внутренние утечки жидкости в гидроагрегатах и т.д.) определяют работоспособность системы и характеризуются отклонениями от ТТ её функциональных параметров, а вторые (потёртости, вмятины, трещины, срывы резьбы и коррозия на трубопроводах, риски, забоины и трещины на корпусах, нарушение затяжки и разрушение болтов крепления, износ уплотнений гидроагрегатов и т.д.) – определяют надёжность работы системы и её элементов.

Падение давления и расхода жидкости в системах с насосами переменной подачи (см. рис. 3.18, б) обычно связано с износом плунжерных пар насоса или с увеличением внутренних утечек в гидроаг-

регатах. При этом отклонения давления от ТТ наблюдается только тогда, когда производительность насоса будет меньше величины внутренних утечек.

Падение давления и расхода жидкости в системах с насосами постоянной подачи (см. рис. 3.18, а), кроме указанных выше причин, может быть связано и с нарушениями регулировок АРН.

Автономные насосные станции (см. рис. 3.18, в) обычно оснащаются насосами переменной подачи, поэтому падение давления и расхода жидкости в системах будут аналогичными рассмотренным выше.

Частое срабатывание АРН и включение насосных станций часто связано с разрядкой или нарушением внутренней герметичности гидроаккумуляторов, которые приводят к уменьшению его энергоёмкости и быстрому падению давления в системе при отключении насоса.

Повышенная пульсация давления в системах с насосами переменной подачи обычно наблюдается при разрядке или нарушении герметичности резиновой диафрагмы гасителей пульсации, а также при увеличенных осевых зазорах в кинематике плунжерных пар насоса.

Внутренние утечки в гидросистемах характеризуются объёмом жидкости, перетекающей через уплотнения гидроагрегатов из магистрали высокого давления на слив. Они зависят от давления в системе и степени износа золотниковых пар и внутренних уплотнений гидроагрегатов. В норме при перепаде давления 15 МПа через золотниковые пары с зазорами 5...10 мкм перетекает 10...20 см<sup>3</sup> жидкости в минуту.

### ***Типовые регламентные работы***

Исходя из особенностей конструкции и ТО, гидросистему можно условно разделить на источники давления, трубопроводы и потребители.

*Источники давления включают:*

- гидробаки с системой наддува;

- гидронасосы с системой регулирования;
- гидрофильтры;
- гидроаккумуляторы и гасители пульсации.

При ТО системы источников давления проводятся смотровые работы, проверка количества (уровня) гидромасла и дозаправка баков, промывка фильтров, проверка давления азота и герметичности газовой камеры гидроаккумуляторов, чистоты и вязкости гидромасла, внутренней герметичности и работоспособности системы.

Осмотр агрегатов системы проводится на предмет выявления механических повреждений (риск, забоин, вмятин, трещин и т.д.), потёков гидромасла, коррозии, ослаблений крепления и нарушений контровки болтовых соединений, заправочных горловин гидробаков, регулировочных винтов агрегатов и т.д.

Проверка уровня гидромасла в баке проводится по трафарету, установленному на баке, по мерной линейке, установленной на пробке заливной горловины бака, или по электродистанционному указателю. Низкий уровень гидромасла в баке ухудшает работу насосов по причине захватывания пены и создаёт опасность возникновения воздушных пробок в системе, а избыток масла в баке может привести к выбросу части масла через дренажную систему.

Проверка уровня гидромасла в баках проводится при полностью разряженных или полностью заряженных гидроаккумуляторах. При этом разность уровней масла в баке указывает на степень заряженности гидроаккумулятора азотом.

Дозаправка баков гидромаслом производится закрытым и открытым (через заправочную горловину) способами. Открытый способ используется только в тех случаях, когда в конструкции системы не предусмотрена централизованная заправка баков или нет возможности провести закрытую заправку. Он требует соблюдения правил пожарной безопасности и исключения возможности попадания в баки загрязнений.

Закрытую заправку баков гидромаслом производят с использованием специализированного маслозаправщика или при помощи на-



земной гидроустановки (УПГ) через бортовой штуцер ЛА, но только после стравливания давления наддува бака и под контролем количества заправляемого масла.

Промывке подлежат только металлические фильтры (бумажные фильтры по наработке заменяются на новые). Промывка фильтров тонкой очистки, изготовленных из никелевой сетки саржевого плетения, осуществляется в ультразвуковых ваннах по специальной технологии. До промывки их осматривают на предмет выявления повреждений корпуса и сетки, а также на отсутствие металлической стружки, которая свидетельствует о наличии разрушений узлов трения в агрегатах (насосах). До и после промывки фильтры проверяются на загрязнённость (рис. 3.19, а) и на отсутствие повреждений сетки (рис. 3.19, б).

Фильтры, для которых время заполнения АМГ-10 составляет менее пяти секунд, а избыточное давление воздуха при погружении в бензин (герметичность) более 1,5 кПа, вновь устанавливаются на ЛА. Фильтры, не отвечающие ТТ, подвергаются восстановлению (промывке и ремонту) или списываются.

Проверка зарядки гидроаккумуляторов азотом проводится несколькими способами:

- путём непосредственного измерения давления азота манометром, подключённым к зарядному штуцеру;
- по остаточному давлению в гидросистеме при полной разрядке гидроаккумулятора (если манометр гидросистемы подключён к газовой полости гидроаккумулятора);
- по скачку давления в гидросистеме при разрядке (зарядке) гидроаккумулятора;
- по разнице уровней гидромасла в баке при полностью заряженном и разряженном гидроаккумуляторе.

От начального давления азота в значительной степени зависит величина энергии, запасённой гидроаккумулятором (рис. 3.20).

Подзарядка гидроаккумуляторов азотом производится при помощи специального приспособления, оснащённого манометром и ре-

дуктором, технически чистым азотом от баллона (15 МПа) при отсутствии давления в гидросистеме.

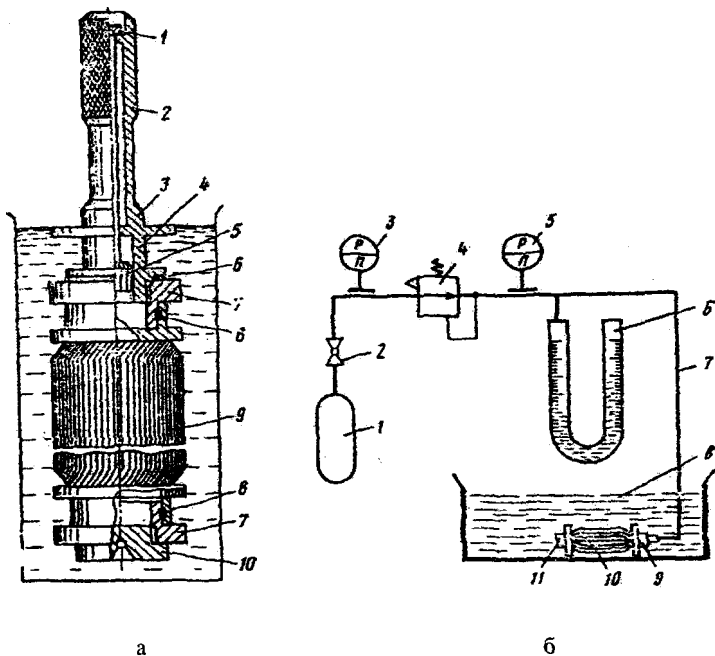


Рис. 3.19. Прибор для проверки чистоты фильтров (а): 1 – сигнализатор заполнения фильтра; 2 – ручка; 3 – корпус; 5 – поплавок; 6, 8 – уплотнительные кольца; 7 – сменный переходник; 9 – проверяемый фильтроэлемент; 10 – заглушка. Гидравлическая схема стенда для проверки фильтрующих элементов на герметичность (б): 1 – баллон со сжатым воздухом; 2 – вентиль; 3 – манометр 0...25 МПа; 4 – редуктор; 5 – манометр 0...0,25 МПа; 6 – пьезометр; 7 – резиновый шланг; 8 – ванночка с бензином; 9 – переходник; 10 – проверяемый фильтроэлемент; 11 – заглушка

Проверки герметичности газовой камеры гидроаккумуляторов обычно совмещаются с проверкой давления азота. Для этого к зарядному штуцеру гидроаккумулятора подносят экран (лист бумаги или ладонь) и нажимают на обратный клапан штуцера. Если в струе газа присутствуют капельки масла, что хорошо видно на экране, то гидроаккумулятор считается негерметичным и подлежит замене.

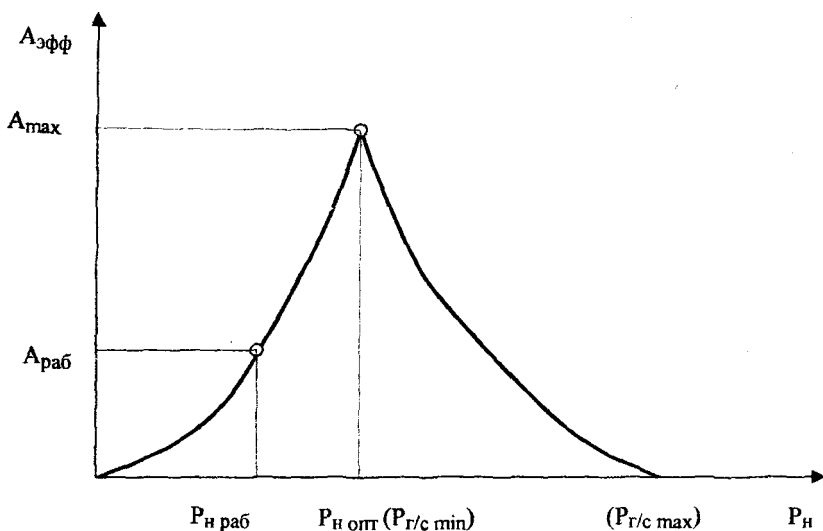


Рис. 3.20. Зависимость эффективной энергии гидроаккумулятора ( $A_{эфф}$ ) от начального давления азота в газовой камере ( $P_n$ )

Проверки чистоты и вязкости гидромасла обычно проводятся в лабораторных условиях с использованием специального оборудования (приборы ВЗ, ПКЖ и другие).

В случае повышенной загрязнённости пробы масла, взятой из проверяемой гидросистемы (содержание механических примесей более 0,004%), производится промывка гидросистемы при помощи УПГ, оснащённой дополнительными фильтрами тонкой очистки, заправка баков кондиционным гидромаслом, повторный отбор и проверка пробы масла из системы. В случае пониженной вязкости гидромасла заменяется определённое (расчётное) количество или всё масло в гидросистеме. Плановая замена масла в гидросистеме обычно совмещается с капитальным ремонтом ЛА.

Внутренняя герметичность системы оценивается по величине давления, остающегося в гидросистеме через определённый интервал времени (60 мин) после отключения насосов, или по скорости падения давления. В случае повышенной скорости падения давления

(более 100 кПа/мин) производится поиск причины нарушения герметичности системы (агрегатов с повышенными внутренними утечками жидкости). При поиске мест утечек жидкости используют специальную аппаратуру (ИКУ), предназначенную для измерения величины утечек жидкости через зазоры по величине акустической эмиссии, или производят измерение величины утечек после расстыковки сливных магистралей агрегатов, находящихся под рабочим давлением.

*Проверка работоспособности источников давления с насосами переменной подачи* (см. рис. 3.21, а) проводится при запуске двигателей по величине рабочего давления в системе при отключённых потребителях. В качестве дополнительных критериев работоспособности насосов в некоторых случаях используются время зарядки гидроаккумуляторов до рабочего давления, величина пульсации давления, температура рабочей жидкости и ряд других функциональных параметров, реагирующих на изменение ТС агрегатов системы.

Время зарядки гидроаккумулятора до рабочего давления ( $P_{1/c_{max}}$ ) зависит от производительности насоса, которая, в свою очередь, зависит от ТС насоса (величины внутренних перетеканий жидкости через золотники и плунжерные пары качающего узла, уплотнения и т.д.). По мере увеличения внутренних утечек происходит поворот регулировочной шайбы насоса на увеличение подачи. Этот процесс протекает до тех пор, пока максимальная производительность насоса ( $Q_{max}$ ) не будет равна величине утечек. С этого момента наблюдается снижение рабочего давления в системе и появляется возможность обнаружить насос с пониженной производительностью по величине рабочего давления в системе ( $P_{max}$ ).

Повышенная пульсация давления в гидросистеме обычно возникает при неправильной зарядке и разрушении резиновой диафрагмы гасителей пульсации, а также при возникновении осевых зазоров в кинематике плунжерных пар насоса. В силу этого гасители пульсаций периодически проверяются на величину начального давления азота и герметичность диафрагмы.

Перегрев рабочей жидкости при неработающих потребителях возможен вследствие засорения (закупорки) дросселя постоянного

расхода, поэтому его периодически снимают, промывают и проверяют на величину расхода жидкости при определённом перепаде давления.

В системах с насосами постоянной подачи (рис. 3.21, б) величина рабочего давления в системе определяется настройкой АРН и состоянием качающего узла насоса. Проверку работоспособности системы также проводят при работающем двигателе. При этом измеряют величины максимального и минимального рабочих давлений в системе, а также время между срабатываниями АРН при отключённых потребителях.

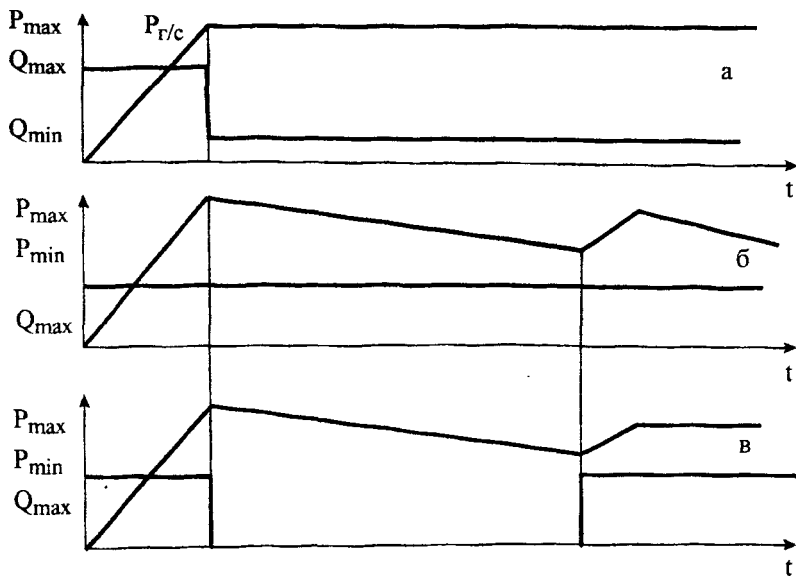


Рис. 3.21. Изменение давления ( $P_{r/c}$ ) и подачи ( $Q$ ) в гидросистеме с насосом переменной производительности (а), постоянной производительности (б) и автономной насосной станцией (в)

Величину давлений в гидросистеме приводят в соответствие с ТТ путём регулировки АРН. Время срабатываний АРН зависит от

внутренней герметичности системы и давления азота в газовой камере гидроаккумулятора, поэтому при ТО периодически проверяют начальное давление азота в гидроаккумуляторе и внутреннюю герметичность системы.

*В системах с автономным приводом насосов* (рис. 3.21, в) величина рабочего давления определяется настройкой автоматики (ПДМ), которая отключает насосную станцию при достижении максимального значения рабочего давления и включает её при снижении давления в системе до минимального значения. При проверке работоспособности системы включают насосную станцию и измеряют величину максимального и минимального давлений в системе, а также время работы насосной станции в режиме нагрузки (зарядки гидроаккумулятора) и разгрузки (простоя в отключённом состоянии). При наличии неисправностей в насосе и ПМД, а также при снижении начального давления азота в гидроаккумуляторе наблюдаются отклонения давлений от ТТ и частое включение (непрерывная работа) насосной станции при отключённых потребителях.

*Трубопроводы* являются одним из основных компонентов гидросистемы. Их масса составляет около трети массы всей гидросистемы, а длина достигает многих сотен метров. Трубопроводы выполняются из металлических труб (стальные, титановые и алюминиевые сплавы) и гибких резиновых шлангов. Отдельные участки трубопроводов соединяются между собой и с гидроагрегатами при помощи ниппельных соединений различного типа (рис.3.22).

Все трубопроводы гидросистем окрашиваются в серый цвет и имеют маркировку в виде цветных колец, указывающую на их принадлежность к определённым подсистемам. Крепятся трубопроводы посредством колодок, расстояние между которыми выбирается из условия защиты от вибрации и сохранения расстояний между трубопроводами, исключающих их касание друг друга и элементов конструкции ЛА.

При ТО проводится осмотр трубопроводов и устранение выявленных дефектов. При осмотре обращают внимание на отсутствие механических повреждений (рисок, забоин, вмятин и трещин на

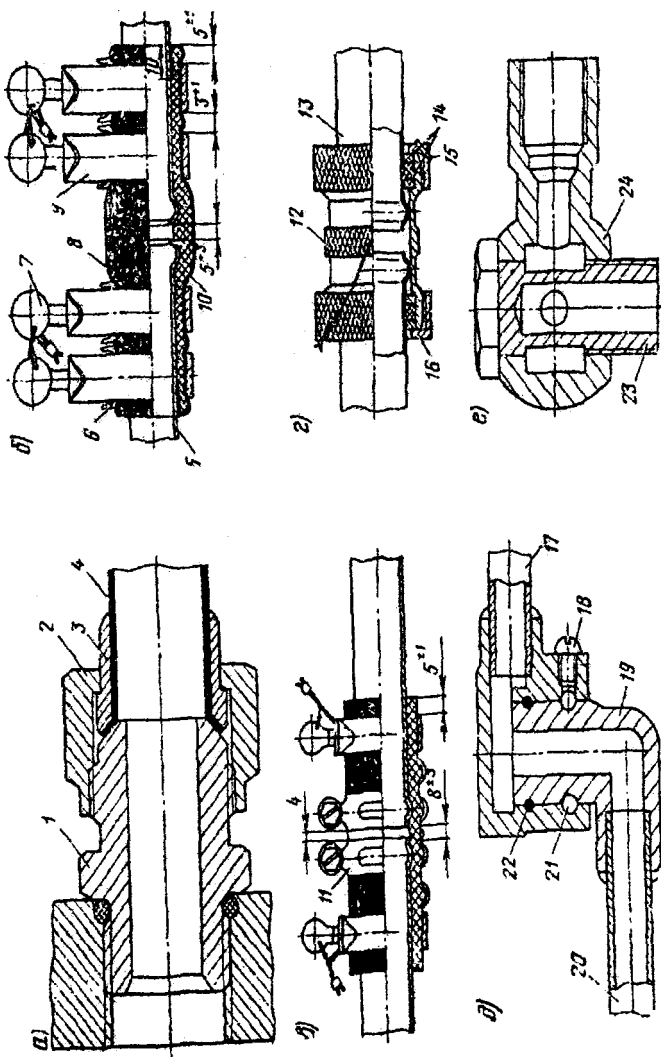


Рис. 3.22. Типовые соединения трубопроводов: а — ниппельное; б, в — дюритные; г — муфтовые; д, е — подвижные; 1 — штуцер; 2 — накидная гайка; 3 — ниппель; 4, 5, 13, 17, 20 — трубопроводы; 6 — прижим; 7 — затяжной винт хомута; 8 — дюритовая муфта; 9 — лента хомута; 10 — перемычка металлизации; 11 — разрезной металлический хомут; 12 — муфта; 14 — разрезные кольца; 15 — контрольная проволока; 16 — гайка муфты; 18 — винт; 19 — втулка на трубопроводе; 21 — шарик; 22 — резиновые уплотнения; 23 — стяжной болт; 24 — поворотный угольник

трубопроводах и элементах крепления), надёжность контровки болтовых и ниппельных соединений, отсутствие касаний трубопроводов между собой и конструкцией ЛА, очагов коррозии, утечек гидромасла и т.д.

К наиболее опасным дефектам, приводящим к разрушению трубопроводов, относятся усталостные трещины. Различают поперечные и продольные трещины. Первые, как правило, возникают вследствие изгибных колебаний и вибрации трубопроводов под воздействием внешних механических сил (вибрации двигателей, элементов планера и т.д.), а вторые обычно являются следствием пульсации давления в трубопроводах. Поперечные трещины обычно локализируются у ниппельных соединений, а продольные – на криволинейных участках трубопроводов, где имеется овальность поперечного сечения, которая изменяется под воздействием внутреннего давления.

Внешнюю герметичность трубопроводов определяют по отсутствию утечек гидромасла, каплеобразования и отпотевания. Проверки герметичности целесообразно проводить тогда, когда система находится под рабочим давлением путём последовательного осмотра трубопроводов в доступных местах.

При обнаружении трещин и недопустимых механических повреждений, выходящих за пределы ТТ, повреждённый участок трубопровода заменяют на идентичный (в соответствии с маркировкой).

При обнаружении утечек гидромасла из ниппельных соединений допускается подтяжка гайки (не допуская перезатяжки). Перезатяжка гайки может вызвать скручивание трубопровода (особенно из АМГ), срыв резьбы и разрушение развальцованной части трубопровода. Если таким способом дефект не устраняется, то ниппельное соединение разбирают, осматривают детали трубопровода (шланга) и ответного штуцера. Повреждённые детали (трубопровод, шланг, штуцер или агрегат в сборе со штуцером) заменяют на идентичные. При установке шланга или трубопровода не допускается их скручивание, натяжение и перекосы.



Установка нового трубопровода подвода гидромасла к агрегатам производится в следующей последовательности:

- путём подгиба совместить трубопровод по конфигурации с местами крепления и соединения, соблюдая ТТ (обычно недотяг не более 0,3 мм, несоосность не более 1,5 мм, перекос осей не более 1° и овальность трубопровода не более 1,5 мм);
- вручную завернуть до упора накидные гайки на штуцере гидроагрегата и на втором конце трубопровода;
- на накидных гайках и ответных штуцерах карандашом нанести метки;
- удерживая ключом штуцер от поворота, завернуть накидные гайки от их начального положения (меток) на угол, заданный в ТТ (обычно не более 65°).

После замены трубопроводов и гидроагрегатов проводится проверка герметичности соединений под рабочим давлением и удаление воздушных пробок из системы.

Удаление воздуха из гидросистемы производится путём её прокачки от наземного источника давления (УПГ), ослабления накидных гаек сливных трубопроводов на агрегатах, открытия специальных пробок и сливных кранов до исчезновения пузырьков воздуха в струе жидкости. Для окончательного вытеснения воздуха из системы вывешивают ЛА на подъемниках, производят уборку-выпуск шасси и закрылков, приводят в действие систему торможения колёс и другие потребители. При этом практически всё гидромасло, находящееся в системе, проходит через бак и освобождается от воздуха.

*Потребителями гидроэнергии* являются гидродвигатели поступательного (силовые цилиндры шасси, рулевые приводы, тормозные устройства и т.д.), поворотного (РДЦ, механизмы управления заслонками, кранами и т.д.) и вращательного (гидромоторы управления закрылками, стабилизатором и т.д.) действия. Номенклатура и технические характеристики потребителей во многом определяются назначением и конструктивным исполнением гидросистемы.

Однако можно выделять ряд типовых работ, имеющих много сходных элементов для гидросистем различных типов.

К типовым работам, выполняемым при ТО потребителей, относятся смотровые работы, проверки работоспособности, регулировка и замена агрегатов.

При выполнении смотровых работ обращается внимание на отсутствие повреждений конструкции (царапин, забоин, трещин и деформаций, коррозии), нарушений контровки и ослаблений затяжки болтов крепления и т.д.) и течей гидромасла из уплотнений агрегатов и ниппельных соединений трубопроводов.

Проверки работоспособности потребителей (систем управления тормозами колёс, поворотом передних колёс шасси, рулевыми поверхностями, механизацией крыла и стабилизатора, уборки-выпуска опор шасси и т.д.) проводятся от бортовых (при работающих двигателях или насосных станциях), а также от наземных (УПП) источников давления. При этом обращают внимание на плавность хода, время и величину отклонения исполнительных органов при использовании различных источников давления, величину давления в гидросистеме при выполнении заданных функций и т.д.

Так, при ТО гидросистемы тормозов обычно измеряется и регулируется величина стояночного и рабочего давлений, проверяется работоспособность противоюзовой системы и т.д. При проверке работоспособности системы управления колёсами передней опоры шасси измеряются время и углы разворота колёс при использовании различных органов управления (педалей, штурвала и т.д.).

### **3.5. Техническое обслуживание силовой установки**

#### ***Особенности конструкции и условия эксплуатации***

Силовая установка (СУ) предназначена для создания тяги, необходимой для полёта и движения ЛА по земле. Она включает в себя двигатель, воздушный винт, гондолу, мотораму, систему управления, топливную, масляную, запуска и другие вспомогательные системы.

*Двигатель* преобразует химическую энергию топлива в механическую энергию вращения воздушного винта (ПД, ТВД) или непосредственно в тягу (ТРДД).

На самолётах ГА наиболее широкое распространение получили ТРДД и ТВД, а на вертолётах ТВД со свободной турбиной. ТРДД имеют относительно небольшую массу и габариты, просты в эксплуатации и достаточно надёжны, в то время как ТВД, имея более высокую топливную эффективность, значительно тяжелее, сложнее в эксплуатации и менее надёжны. Кроме того, ТВД, как правило, имеют повышенный уровень вибрации, которая оказывает отрицательное влияние на прочность конструкции планера и самочувствие пассажиров и экипажа.

Размещение ТРДД под крылом (на пилонах) способствует улучшению аэродинамики самолёта, облегчает ТО и замену двигателей, но оказывает отрицательное влияние на состояние ВПП и способствует попаданию посторонних предметов в проточную часть двигателя, т.е. ведёт к снижению эксплуатационной надёжности СУ.

*Гондолы* предназначены для улучшения аэродинамики ЛА, организации воздушного потока на входе в двигатель, защиты его от внешних воздействий, охлаждения двигателя и агрегатов. Гондола состоит из силового набора, воздухозаборника и капота. Капот не является силовой частью гондолы и состоит из ряда крышек, через которые осуществляется подход к двигателю. Крышки крепятся к гондоле шарнирно и запираются замками с проволочной контровкой.

В полёте на гондолу действуют аэродинамические и вибрационные нагрузки значительной величины, поэтому на них достаточно часто образуются усталостные трещины, наблюдаются ослабление и выпадение заклёпок и другие дефекты, которые устраняются при проведении текущего ремонта ЛА.

*Моторама* служит для восприятия веса и силы тяги двигателя, а в случае ТВД и реактивного момента воздушного винта, и передачи этих сил на конструкцию ЛА. Моторама способствует уменьшению вибрационных нагрузок, передаваемых на узлы крепления двигателя, для чего она обычно оснащается системой амортизации.

Конструкция моторамы обеспечивает также точную установку (нивелировку) положения двигателя на ЛА и свободный подход к двигателю и его агрегатам при проведении ТО.

Моторама состоит из регулируемых и нерегулируемых подкосов, узлов амортизации и других силовых элементов. Регулируемые подкосы кроме передачи сил обеспечивают возможность проведения нивелировки двигателя. Узлы амортизации поглощают часть энергии вибрации двигателя, вызванной несбалансированностью роторов и воздушного винта, и тем самым способствуют уменьшению вибрации как самого двигателя, так и конструкции ЛА.

*Система управления* предназначена для изменения режимов работы двигателя и его агрегатов путём изменения подачи топлива, включения – выключения реверса тяги, открытия – закрытия створок масляного радиатора и т.д. Система обычно выполняется по комбинированной схеме, т.е. содержит элементы как “жёсткой”, так и тросовой проводки. По условиям эксплуатации, неисправностям и ТО она близка к системам управления рулевыми поверхностями ЛА.

*Топливная система* состоит из внешней и внутренней (двигательной) частей. Система предназначена для размещения и подачи под определённым давлением отфильтрованного топлива к двигателям ЛА. Она включает топливные баки, подкачивающие и перекачивающие насосы, фильтры, краны, клапаны и трубопроводы (рис. 3.23).

*Топливные баки* могут быть жёсткими, мягкими и баками-кессонами. На самолётах ГА используются, как правило, баки-кессоны, представляющие собой загерметизированную часть крыла, в которую заливается топливо. Они позволяют рационально использовать внутренний объём крыла, способствуют снижению массы ЛА, не требуют проведения работ по монтажу и демонтажу баков, но подвержены аэродинамическим, тепловым и вибрационным нагрузкам, которые могут привести к нарушению герметичности баков и течи топлива. Работы по устранению течей топлива из баков-кессонов, как правило, связаны с большими трудозатратами и простоями ЛА.

*Подача топлива к двигателям* и перекачка из одних групп баков в другие осуществляется при помощи насосов центробежного

типа с электроприводом, которые обычно размещаются внутри баков-кессонов. Давление топлива на входе в двигатель (20...30 кПа) зависит от режима работы подкачивающих насосов и чистоты фильтров грубой очистки.

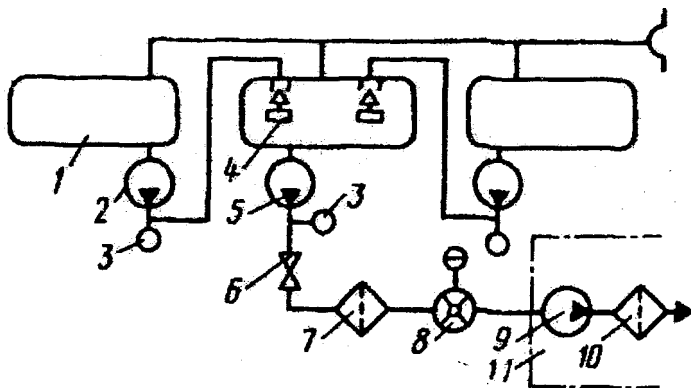


Рис. 3.23. Схема подачи топлива к двигателю: 1 – топливный бак; 2 – насос перкачки; 3 – датчики-сигнализаторы давления; 4 – поплавковый клапан перекачки; 5 – насос подкачки топлива; 6 – перекрывной кран; 7 – фильтр грубой очистки; 8 – датчик расходомера; 9 – насос высокого давления; 10 – фильтр тонкой очистки; 11 – двигатель

*Фильтры грубой очистки* предназначены для удаления из топлива механических примесей с размерами частиц более 30мкм. Для обеспечения бесперебойной подачи топлива к двигателю (при засорении фильтра кристаллами льда или механическими примесями) на корпусе фильтра установлен перепускной клапан. На некоторых типах ЛА для предотвращения забивания фильтроэлементов (ФЭ) льдом топливные фильтры обогреваются.

*Фильтры тонкой очистки* (размер ячеек 5...10 мкм) предназначены для удаления из топлива наиболее мелких частиц загрязнений. Они изготавливаются из никелевой сетки саржевого плетения. В силу большого гидравлического сопротивления фильтров на них возникает значительный перепад давления, который увеличивается по мере засорения. Некоторые типы ЛА оснащаются системой сиг-

нализации засорённости фильтров, которая срабатывает при определённом перепаде давления на фильтре (обычно более 15 кПа). Промывка фильтров тонкой очистки производится в ультразвуковых ваннах по специальной технологии, а проверка чистоты – прибором контроля фильтров (ПКФ) по времени заполнения гидромаслом АМГ-10 (см. рис.3.19).

*Краны и клапаны* (перекрывные, кольцевания, сливные, предохранительные, обратные и т.д.) предназначены для отключения топливной системы от двигателя, изменения направления подачи, слива топлива и отстоя. Основным требованием, предъявляемым к кранам и клапанам, являются чёткость срабатывания и обеспечение полной внутренней и внешней герметичности.

*Трубопроводы* топливной системы изготавливаются из алюминиевых сплавов (АМГ). Трубопроводы большого диаметра соединяются между собой посредством резиновых дюритовых муфт со стяжными хомутами. Такие соединения допускают некоторое взаимное перемещение соединяемых элементов при их монтаже и в процессе эксплуатации. Трубопроводы и агрегаты топливной системы окрашиваются в жёлтый цвет и маркируются по принадлежности к отдельным участкам системы.

*Масляная система* служит для создания запаса, фильтрации и подачи масла в узлы трения двигателя с целью уменьшения сил трения, отвода тепла и предотвращения коррозии деталей. Масло используется в двигателе и как рабочая жидкость, служащая для регулирования подачи топлива, управления воздушным винтом и других целей. В масляных системах применяются авиационные масла на нефтяной основе (МК, МС и т.д.) и синтетические (ИПМ, ВНИИ НП и т.д.), обладающие высокими эксплуатационными характеристиками.

Каждый двигатель имеет автономную масляную систему, состоящую из внешней (самолётной) и внутренней (двигательной) частей (рис.3.24).

В состав маслосистемы входят: маслобак, насосы, фильтр, теплообменник и другие агрегаты.

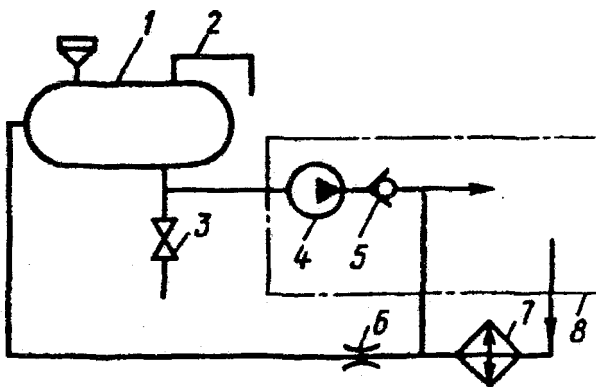


Рис. 3.24. Схема подачи масла к двигателю: 1 – маслобак; 2 – трубопровод дренажа; 3 – сливной кран; 4 – маслонасос; 5 – обратный клапан; 6 – дроссель; 7 – теплообменник; 8 – двигатель

*Маслобак* предназначен для размещения запаса масла, охлаждения и отделения воздуха из масла. Бак имеет заливную горловину с сетчатым фильтром, мерную линейку или масломер для определения количества масла в баке. Некоторые типы ЛА оснащаются системой централизованной заправки баков маслом. Баки свариваются из алюминиевых сплавов (АМГ) и имеют внутренние перегородки, обеспечивающие бесперебойную подачу масла в двигатель при эволюциях ЛА или при попадании в масло воздуха (образовании пены).

*Теплообменник (радиатор)* предназначен для охлаждения масла, нагретого в двигателе. Тепло отдаётся через соты радиатора потоку атмосферного воздуха или топлива, идущего к двигателю. Радиаторы оснащаются перепускным клапаном, обеспечивающим перепуск масла в двигатель без охлаждения при повышенном гидросопротивлении радиатора, и створками, обеспечивающими регулировку температуры масла за счёт изменения расхода охлаждающего воздуха.

*Фильтры* обычно входят в состав двигателя и устанавливаются в его магистралях: на входе и на выходе из двигателя, перед некоторыми агрегатами и т.д. Они служат для очистки масла от механи-

ческих примесей (продуктов износа узлов трения, продуктов неполного сгорания масла, абразивных частиц и т.д.) и сигнализации присутствия в масле металлической стружки (фильтры-сигнализаторы, магнитные пробки и т.д.). На двигателях обычно устанавливаются многоразовые фильтры, изготовленные из металлической сетки (латунь) с размером ячеек 20 ... 40 мкм.

*Трубопроводы* маслосистемы изготавливаются из металлических труб (АМГ) и резиновых шлангов. Трубы соединяются между собой при помощи резиновых муфт (дюритов). Шланги обычно устанавливаются на участках системы, которые наиболее подвержены деформациям и вибрационным нагрузкам. Трубопроводы и агрегаты масляной системы окрашиваются в коричневый цвет и маркируются по принадлежности к отдельным участкам системы.

*Системы запуска* предназначены для предварительной прокрутки ротора (вала) двигателя и обеспечения зажигания горючей смеси в камере сгорания. По типу используемого стартера системы запуска разделяются на электрические, турбинные и воздушные. Источники питания стартеров при этом могут быть бортовыми, наземными и комбинированными.

Наиболее часто на современных ГТД используются системы запуска, в которых для раскрутки роторов используется воздушный стартер, т.е. воздушные системы запуска (рис. 3.25).

В воздушных системах запуска сжатый воздух от ВСУ, представляющей собой малогабаритный ГТД, подаётся на воздушный стартер, который через редуктор приводит во вращение ротор запускаемого двигателя.

*Воздушный стартер* представляет собой высокооборотную осевую или радиальную турбинку, в которую поступает сжатый (до 1 МПа) и разогретый (до 250°C) воздух. Высокая температура рабочего воздуха предотвращает обледенение стартера при расширении воздуха в турбинке. В целях экономии ресурса ВСУ запуск двигателя может производиться от работающего двигателя или от аэродромного источника сжатого воздуха.



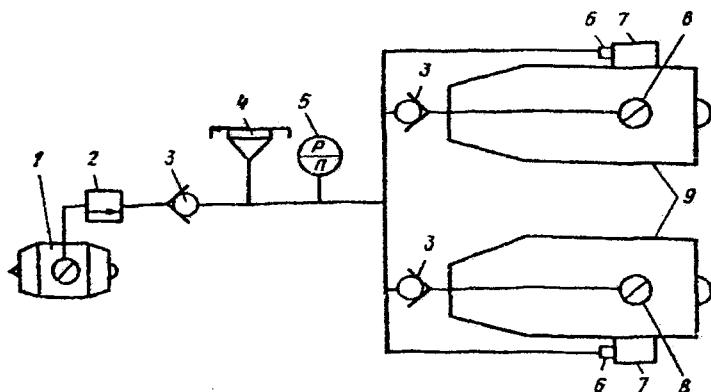


Рис. 3.25. Схема воздушной системы запуска ГТД: 1 – источник сжатого воздуха (ВСУ); 2 – перепускной клапан; 3 – обратный клапан; 4 – бортовой штуцер; 5 – манометр; 6 – клапан запуска; 7 – воздушный стартер; 8 – заборный штуцер; 9 – двигатель

*Воздушные винты самолётов* предназначены для создания прямой и обратной тяги, которая используется для торможения самолёта при пробеге. Тягу создают лопасти винта, поперечное сечение которых имеет форму профиля крыла.

Воздушные винты ТВД имеют большое число (до 8 шт.) поворотных лопастей. Путём автоматического изменения углов установки лопастей (шага винта) достигается высокая эффективность работы воздушного винта и двигателя при различных условиях полёта. Поворот лопастей осуществляется посредством гидравлического привода и регулятора оборотов (рис. 3.26).

Для обеспечения полётов многомоторных ЛА с отказавшим двигателем воздушные винты выполняются флюгируемыми, т.е. их лопасти могут занимать положение, соответствующее минимальному лобовому сопротивлению.

Обратная тяга создаётся за счёт перевода лопастей на углы установки, при которых тяга винта направлена против направления движения самолёта.

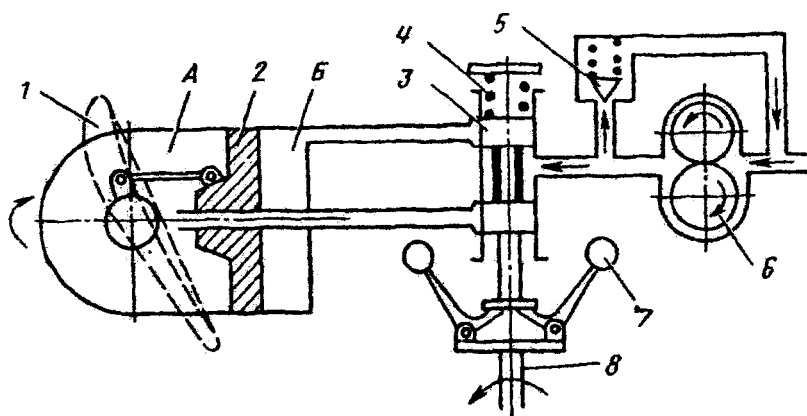


Рис. 3.26. Схема автоматического управления воздушным винтом ТВД:  
 1 – лопасть; 2 – поршень; 3 – золотник; 4 – пружина; 5 – перепускной клапан;  
 6 – маслонасос; 7 – центробежные грузики; 8 – валик привода регулятора оборотов

Лопастей винта крепятся на втулке, которая устанавливается на выходной вал двигателя. Внутри втулки размещается механизм поворота лопастей, который приводится в действие давлением масла, подаваемого по маслопроводу от регулятора оборотов.

Лопастей винтов изготавливаются из высокопрочных алюминиевых сплавов, а втулки – из высокопрочных сталей или титановых сплавов, имеющих высокую чувствительность к концентраторам напряжений (надрезу).

*Воздушные винты вертолётов* делятся на несущие (НВ) и рулевые (РВ). НВ предназначен для создания подъёмной силы, поддерживающей вертолёт в полёте, и тяги, обеспечивающей поступательное и поперечное перемещение вертолёта, а РВ – для путевого управления вертолётном и компенсации реактивного момента НВ.

При поступательном движении вертолёта под воздействием набегающего потока воздуха подъёмная сила и сила лобового сопротивления лопастей за каждый оборот винта меняются от минимального до максимального значения. Периодические изменения сил и моментов, действующих на винт, приводят к возникновению вибрации и тряски вертолёта.

С целью уменьшения нагрузок, действующих на лопасти в полёте, в узлах их крепления к втулке устанавливаются горизонтальный (ГШ) и вертикальный (ВШ) шарниры. Шарниры дают возможность лопастям совершать свободные (маховые) движения, что уменьшает амплитуду действующих на лопасти аэродинамических сил и повышает устойчивость вертолётa. Кроме ГШ и ВШ каждая лопасть имеет осевой шарнир (ОШ), который обеспечивает изменение углов установки лопастей, т.е. подъёмной силы НВ (рис. 3.27).

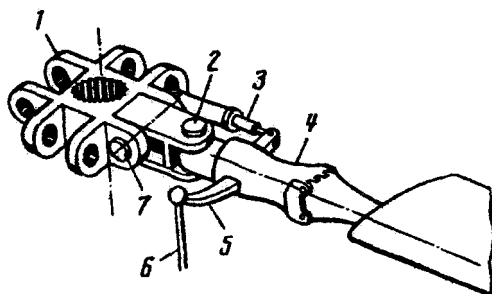


Рис. 3.27. Схема втулки НВ вертолётa: 1 – корпус втулки; 2 – вертикальный шарнир; 3 – демпфер; 4 – осевой шарнир; 5 – рычаг осевого шарнира; 6 – тяга управления углами установки лопастей; 7 – горизонтальный шарнир; 8 – лопасть

Регулировка аэродинамических характеристик НВ производится изменением установочных углов лопастей (длины вертикальных тяг) или путём отгиба триммерных пластин, установленных на хвостовой части лопастей.

Несущий винт состоит из комплекта лопастей (до 8 шт.) и втулки с шарнирами.

Лопасть НВ в сечении имеет форму профиля крыла самолётa и состоит из лонжерона и хвостовой части. Лонжерон является основным силовым элементом лопасти, воспринимающим изгибающий и крутящий моменты, центробежную и поперечную силы. Он изготавливается из высокопрочной стали, алюминиевых сплавов или композитных материалов. Комлевая часть лонжерона имеет гребёнку для

крепления лопасти к ОШ втулки винта. Лонжероны современных вертолётов оснащаются пневматическим сигнализатором повреждений (усталостных трещин). Для этого внутренняя полость лонжерона выполняется герметичной и наполняется воздухом под давлением (до 50 кПа). С полостью лонжерона связан сильфон, заполненный гелием, который при падении давления воздуха в лонжероне расширяется и замыкает электрические контакты (выдвигает механический сигнализатор). Срабатывание сигнализации происходит при образовании в лонжероне сквозной трещины длиной около 5 мм (при критической длине трещины около 70 мм), чем обеспечивается необходимый запас “живучести” лопасти. К задней стороне лонжерона приклеивается хвостовая часть лопасти, выполненная из набора секций, состоящих из нескольких нервюр, обшивки и наполнителя (сотового или пенопластового).

*Втулка НВ* служит для крепления лопастей и винта на валу редуктора. Втулка состоит из корпуса, ГШ, ВШ и ОШ. На корпусе втулки имеются упоры, ограничивающие поворот ГШ, а следовательно, свес и маховые движения лопастей. Втулка оснащается также фрикционными или гидравлическими демпферами для гашения колебаний лопастей в горизонтальной плоскости и центробежными ограничителями свеса лопастей для защиты хвостовой балки от повреждения лопастями при запуске двигателя.

Отличительной особенностью конструкции шарниров является наличие большого числа подшипников качения, в том числе и игольчатых, работающих в условиях высоких нагрузок и малых угловых перемещений. Надёжная работа подшипниковых узлов шарниров обеспечивается подбором смазки (ЦИАТИМ 201 и 203, масло для гипоидных передач и т.д.) и тщательным соблюдением технологии выполнения смазочных работ.

*Управление НВ* осуществляется посредством “жёсткой” проводки от рычага управления вертолётном. На тяжёлых вертолётах для уменьшения нагрузок на рычаге управления в системе управления НВ предусматривается гидроусилитель.

*Рулевой винт*, как и НВ, состоит из лопастей и втулки. Лопасти имеют симметричный профиль, так как они работают в режиме ре-

версирования тяги, а по конструкции они близки к лопастям винтов самолётов. Втулка состоит из корпуса, ОШ и ГШ. Для управления шагом РВ втулка имеет ползун, который тягами связан с рычагом ОШ. Управление РВ осуществляется посредством тросовой проводки от педалей управления вертолётom.

На работоспособность СУ сильное влияние оказывают характер лётной работы (протяжённость воздушных трасс, длина и состояние ВПП и т.д.), режим работы двигателя, качество ГСМ, состояние атмосферы и аэродрома, качество и своевременность проведения ТО и другие факторы.

При малой протяжённости трасс имеет место увеличенное время работы двигателей на взлётном режиме, большое число запусков, включений реверса тяги, ВСУ и т.д. Так, установлено, что сокращение среднего времени полёта с двух часов до одного приводит к увеличению интенсивности отказов ГТД почти в два раза.

Длительное использование двигателей на повышенных режимах приводит к ускоренному износу узлов трения, снижению усталостной прочности силовых элементов, возникновению опасных повреждений камеры сгорания и т.д. Так, ресурс редуктора ТВД при увеличении мощности двигателя с 0,72 до 0,85 от номинальной уменьшается более чем в два раза, а турбины – более чем в четыре раза.

Качество ГСМ (топлива и масла) определяется соответствием их начальных свойств ТТ и отсутствием вредных примесей (воды, пыли, продуктов износа узлов трения и т.д.), попадающих в них в процессе эксплуатации. Механические примеси приводят к ускоренному износу узлов трения, засорению фильтров, заклиниванию золотниковых пар регуляторов, износу форсунок и т.д. Вода способствует образованию очагов коррозии, ухудшает смазывающую способность масла и термостабильность топлива. При замерзании вода может привести к забиванию фильтров льдом и останову двигателя в полёте. Химические примеси (сульфат натрия, окись ванадия и т.д.) приводят к увеличению газовой коррозии и образованию плёнок, ухудшающих эксплуатационные свойства материала лопаток, жаровых труб и т.д.

Внешние условия (температура, влажность, и запылённость атмосферного воздуха, состояние ВПП и т.д.) сильно влияют на работу двигателей и других компонентов СУ. При низких температурах воздуха ухудшаются условия запуска двигателя, увеличиваются температурные напряжения в конструкции, ухудшаются условия смазки трущихся поверхностей из-за увеличения вязкости и снижения подачи масла, нарушается герметичность соединений трубопроводов и уплотнений агрегатов. При высоких температурах воздуха увеличиваются термические нагрузки в горячих частях двигателя (камеры сгорания, турбины и т.д.), ухудшаются условия смазки трущихся поверхностей из-за снижения вязкости масла, снижается взлётная мощность двигателя и т.д.

Запылённость воздуха приводит к ускоренному износу элементов проточной части ГТД (лопаток компрессора, уплотнений и т.д.) и узлов трения из-за попадания абразивных частиц в масло и топливо. Наличие посторонних предметов на ВПП и РД (осколки бетона, мелкие камешки, обрезки контровочной проволоки, шпильки, шайбы и т.д.) может привести к повреждению лопаток компрессора и лопастей воздушных винтов. Досрочный съём ГТД из-за повреждения лопаток компрессора достигает 40...50% от съёма двигателей по всем дефектам. Имели место и случаи разрушения повреждённых лопаток, которые привели к серьёзным лётным происшествиям.

Качество и своевременность проведения регламентных работ (промывки фильтров, контроля и замены моторного масла, регулировки параметров двигателя и т.д.) оказывают влияние на ТС и надёжность всех компонентов СУ, что должно учитываться при организации и проведении ТО.

### *Характерные отказы и неисправности*

Опыт эксплуатации СУ с ГТД показывает, что отказы и неисправности чаще всего возникают в двигателе, масляной и топливной системах. Их можно условно разделить на параметрические, выражающиеся в отклонениях контролируемых параметров СУ от ТТ (повышенная температура газов, повышенный расход топлива, повышенная температура масла, повышенный уровень вибрации и т.д.), и

физические, выражающиеся в отклонениях ТС элементов конструкции от ТТ (повреждения и разрушения лопаток, повреждения и разрушения подшипников опор роторов, нарушение герметичности топливных форсунок и т.д.).

Наиболее часто причиной досрочного съёма и выключения двигателей в полёте, являются повреждения и разрушения лопаток компрессоров, лопаток и дисков турбин, камеры сгорания, подшипников опор роторов, а также нарушения регулировок агрегатов.

Повреждения (риски, вмятины, забоины и деформация) и последующие разрушения лопаток компрессоров связаны с попаданием в проточную часть двигателя (вместе с цикловым воздухом) посторонних предметов с поверхности ВПП и стоянок ЛА. Повреждения лопаток являются сильными концентраторами напряжений и в условиях вибрационного нагружения могут привести к образованию усталостных трещин с последующим обрывом лопатки.

При эксплуатации вертолётов часто наблюдается абразивный износ элементов проточной части компрессора, который приводит к снижению КПД и запаса устойчивости компрессора (помпажным явлениям).

Наиболее характерными дефектами турбин ГТД являются оплавления и трещины сопловых и рабочих лопаток, в особенности первых ступеней, которые в ряде случаев явились причиной обрыва лопаток и отказа двигателя в полёте. Причиной оплавления лопаток сопловых аппаратов турбины обычно является заброс температуры газов, возникающий из-за нарушения регулировок топливных агрегатов, неисправностей топливных форсунок, низкого качества топлива и т.д.

Трещины и разрушения рабочих лопаток и дисков турбин обычно возникают из-за недостаточной усталостной прочности материала при работе под воздействием значительных статических, тепловых и вибрационных нагрузок. При накоплении большого числа циклов “нагрев – охлаждение” в лопатках и дисках могут образоваться и термоусталостные трещины. Чаще всего они возникают на замковой части лопаток и в пазах замков дисков. Усталостные трещины

на лопатках и дисках могут привести к их разрушению и отказу двигателя в полёте.

Камеры сгорания также относятся к числу наиболее повреждаемых элементов конструкции ГТД. Основными дефектами камер сгорания являются трещины, коробления, местные оплавления и прогары жаровых труб, возникновению которых способствуют неисправности топливных форсунок, приводящие к искажению формы факела, местному перегреву и прогару стенок жаровых труб. Такие явления наиболее характерны для повышенных режимов работы двигателя.

Повреждения и разрушения подшипников опор роторов сегодня являются одной из основных причин досрочной замены и отказов ГТД в полёте. Они происходят из-за нарушений условий смазки и перекоса колец подшипников.

Снижение подачи масла к подшипникам обычно имеет место при засорении масляных каналов и форсунок продуктами коксования масла при высоких температурах, которые характерны для подшипниковых узлов турбины при останове двигателя. Причиной масляного голодания подшипников может явиться и повышенная вязкость масла, которая характерна для запуска переохлаждённого двигателя.

Причиной перекоса колец подшипников опор обычно являются нарушения технологии сборки двигателя, а также деформация статора двигателя при эволюциях ЛА. Перекосы колец приводят к проскальзыванию тел качения, увеличению нагрузки на сепаратор, задиру трущихся поверхностей и, как следствие, уменьшению ресурса и разрушению подшипника.

Серьёзные отказы и неисправности СУ возникают вследствие нарушений регулировок и неисправностей агрегатов. Так, для некоторых типов ГТД характерны отказы, обусловленные газодинамической неустойчивостью, возникающей при нарушениях работы агрегатов регулирования компрессора (клапанов перепуска воздуха) и агрегатов регулирования подачи топлива (заброс температуры газов, падение тяги, невыход на режим при запуске и т.д.). Достаточно



часто возникают отказы, связанные с нарушениями регулировок и неисправностями агрегатов масляной системы (падение давления и рост температуры масла вследствие засорения фильтров, усадки пружины редукционного клапана насоса, выброса масла из бака через систему суфлирования из-за нарушения работы уплотнений, засорения маслорадиатора и т.д.).

Характерной неисправностью воздушных винтов является тряска. Она возникает вследствие нарушения начальной балансировки винта при повреждении и небрежном ремонте лопастей, а также вследствие неравенства аэродинамических сил лопастей при нарушении установочных углов при замене и регулировке винта. Неравномерность тяги лопастей приводит к смещению равнодействующей тяги винта от оси вращения, что вызывает повышенную вибрацию (тряску) винта, которая передаётся на конструкцию ЛА. В силу значительной массы, размеров и специфических условий работы винтовая тряска наиболее часто наблюдается и наиболее сильно проявляется у НВ вертолёттов.

Вынужденные колебания ЛА под воздействием винтовой тряски представляют большую опасность, так как могут привести к возникновению усталостных трещин и разрушению силовых элементов конструкции. Тряска НВ, кроме того, приводит к “вождению” ручки управления, что существенно затрудняет пилотирование вертолётта.

Наиболее часто причиной возникновения тряски, поперечной раскачки при запуске и “вождения” ручки управления является нарушение соконусности НВ. Соконусным считается НВ, лопасти которого в режиме “висения” вертолётта движутся по образующей одного и того же конуса. В силу невозможности изготовления комплекта лопастей с одинаковыми аэродинамическими, весовыми и жесткостными характеристиками, каждая лопасть описывает свой конус, поэтому НВ в определённой степени всегда несоконусный и является источником вибрации с частотой 8...16 Гц и виброскоростью до 150 мм/с.

При изменении установочных углов лопастей, случайном отгибе триммерных пластин или изменении жёсткости лопастей из-за де-

фектов лонжерона или хвостовой части величина несоконусности НВ может существенно увеличиться, что приведёт к появлению тряски вертолётa, “вождению” ручки управления вертолётa и т.д.

### *Типовые регламентные работы*

Регламент ТО СУ предусматривает осмотр (дефектацию) конструкции, устранение выявленных неисправностей, а также выполнение комплекса проверочных и профилактических работ.

*При ТО двигателя* особое внимание обращается на те узлы и агрегаты, которые наиболее подвержены повреждениям в процессе эксплуатации. Осмотр двигателя обычно начинают с входных устройств: воздухозаборника, входного направляющего аппарата (ВНА) и первых ступеней компрессора. В случае обнаружения на лопатках компрессора повреждений (забоин, вмятин, погнутостей и т.д.), размеры которых не превышают установленных по ТТ, они устраняются на месте путём выпиливания и шлифования повреждённых участков. При обнаружении на лопатках недопустимых дефектов двигатель снимается с эксплуатации, отправляется в ремонт или восстанавливается в АТБ силами заводских представителей. Обращается внимание на отсутствие трещин на узлах крепления двигателя и его агрегатов, отсутствие следов перегрева корпуса камеры сгорания, герметичность агрегатов и трубопроводов топливной и масляной систем.

При осмотре турбины особое внимание уделяется лопаткам последней ступени, так как их состояние во многом характеризует состояние всей проточной части двигателя, работу систем регулирования, камеры сгорания и т.д. Повреждения лопаток турбины (забоины, вмятины и т.д.) обычно связаны с разрушениями элементов проточной части (обрыв лопатки компрессора, разрушение жаровой трубы камеры сгорания и т.д.). Наличие следов перегрева и металлических отложений на лопатках свидетельствует о перегреве двигателя из-за нарушения работы камеры сгорания, топливрегулирующей аппаратуры или правил эксплуатации. Оплавление сопловых и рабочих лопаток первой ступени турбины обычно связано с нарушениями работы топливных форсунок или системы регулирования подачи топлива к форсункам.

К профилактическим работам, выполняемым на ГТД, относятся: проверка и замена моторного масла, промывка масляных и топливных фильтров, фильтров-сигнализаторов и магнитных пробок. При промывке фильтров обращают внимание на отсутствие металлической стружки, которая является характерным признаком разрушения узлов трения двигателя. Наличие стальной (магнитной) стружки на фильтре или на магнитной пробке обычно служит основанием для досрочной замены двигателя. В силу того что в эксплуатации достаточно часто наблюдаются случаи разрушения подшипников опор роторов из-за масляного “голодания”, связанного с забиванием каналов и отверстий масляных форсунок отложениями кокса и смол, при ТО обычно проводится проверка производительности форсунок с помощью специальной установки.

Замену двигателей на ЛА производят при отработке установленного ресурса, а также в случае возникновения неустраняемых дефектов. Технология замены двигателя на ЛА включает: демонтаж двигателя с ЛА, демонтаж со снятого двигателя самолётных агрегатов (гидронасосов, генераторов и т.д.), консервацию снятого двигателя, расконсервацию нового двигателя, монтаж на новый двигатель самолётных агрегатов, монтаж на ЛА, запуск, опробование и регулировку нового двигателя. С целью ускорения замены двигателей часть работ (консервация, расконсервация, замена агрегатов и т.д.) обычно производится на участке предварительного монтажа, где имеется соответствующее оборудование (установки для консервации и наружной мойки двигателей, монтажные тележки, грузоподъёмные устройства и т.д.).

Двигатели, снятые с ЛА, должны быть законсервированы как снаружи, так и внутри. Внутренняя консервация обычно выполняется непосредственно на ЛА, но при наличии специальной установки она может быть выполнена и на участке предварительного монтажа. Внутренняя консервация заключается в основном в заполнении топливной системы чистым маслом (МК-8) под давлением (0,1... 0,2 МПа) от специальной установки (маслозаправщика). При консервации установку подключают к специальным штуцерам топливной системы и производят три “ложных” запуска двигателя, одновре-

менно закачивая в систему масло. Консервация двигателя может быть произведена и на режиме малого газа (“горячий” способ).

Расконсервация двигателей производится путём “ложного” запуска, при котором производится прокрутка ротора с подачей топлива в топливную систему без включения зажигания. После замены двигателя производят регулировку системы управления, запуск и опробование двигателя, в ходе которого проверяется работоспособность всех систем СУ. После останова двигателя проводят тщательную дефектацию разъёмных соединений, осмотр и промывку топливных и масляных фильтров.

*При ТО воздушных винтов* проводится осмотр лопастей, втулки и агрегатов системы управления, замена смазки в шарнирах, проверка работоспособности системы управления и соконусности НВ и т.д.

При осмотре лопастей воздушных винтов самолётов обращается внимание на отсутствие механических повреждений (забоин, вмятин, царапин и т.д.) от попадания посторонних предметов (особенно в комлевой части). Проверяют целостность электропроводки и отсутствие признаков отклеивания противообледенительных накладок. Мелкие повреждения на концах лопастей, не выходящие за пределы ТТ, устраняются путём выпиливания, соблюдая принятую технологию выполнения работ.

При осмотре лопастей НВ, кроме проверки давления в лонжероне (сигнализатор давления должен находиться в утопленном состоянии), через специальные лючки осматриваются доступные участки лонжерона, носовые и хвостовые части отсеков лопастей на отсутствие механических повреждений, местных отклеиваний и трещин обшивки.

При осмотре втулки обращается внимание на отсутствие механических повреждений и коррозии, прозверяется надёжность контролки и крепления лопастей и втулки на валу двигателя (редуктора). При осмотре втулки НВ дополнительно проверяется количество и отсутствие подтеканий смазки из шарниров. Подтекание смазки из

уплотнений масляных полостей ГШ и ОШ часто происходит из-за перезалива масла, засорения дренажного клапана, повреждений резьбы и уплотнения пробки заправочного отверстия и т.д. Необходимо убедиться также в исправности ограничителей поворота лопастей по отсутствию наклёпа на упорах шарниров.

В ряде случаев (после замены лопастей, при появлении тряски и т.д.) выполняются работы по определению и устранению несоконусности НВ. На практике используется несколько методов определения величины несоконусности НВ: фотографирование (видеосъёмка) концов лопастей, фотометрирование траектории движения лопастей, метод “флага” и другие. Наиболее доступным и точным является метод “флага” (рис. 3.28).

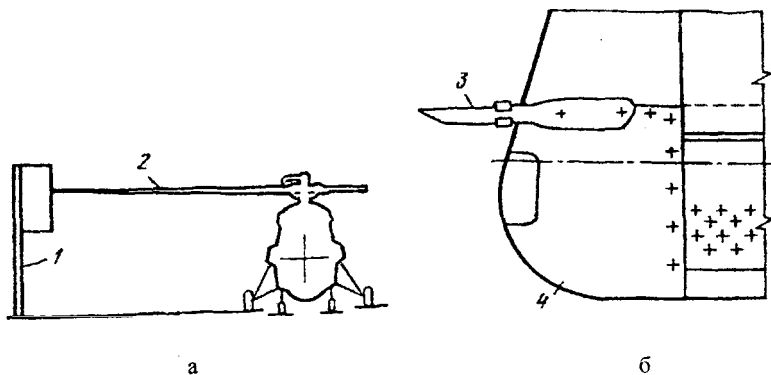


Рис. 3.28. Схема проверки соконусности НВ методом “флага”: а – схема проверки; б – закрепление кисточки на лопасти; 1 – штанга; 2 – лопасть НВ; 3 – кисточка; 4 – обтекатель лопасти

Индикатором соконусности НВ при этом служит лист бумаги (“флаг”), закреплённый на штанге. Проверка ведётся в следующей последовательности:

- концы лопастей НВ окрашивают в различные цвета невысыхающей, легко отмываемой краской или на них закрепляют мягкие кисточки с краской;

- запускают двигатели и при достижении регламентированных оборотов НВ осторожно подносят “флаг” к концам лопастей (до лёгкого соприкосновения);

- останавливают двигатели и по разбросу отпечатков лопастей определяют величину несоконосности НВ;

- при необходимости устраняют несоконосность НВ путём изменения установочных углов (длины вертикальной тяги поворота лопасти) или отгиба триммерных пластин на хвостовой части лопасти;

- повторяют проверку и регулировку до достижения необходимой по ТТ соконосности НВ.

*Контроль ТС СУ* осуществляется бортовыми, наземно-бортовыми и наземными средствами.

*Бортовыми средствами* контролируются практически все системы СУ: двигатель (частота вращения роторов, степень повышения давления в компрессоре, температура газов, крутящий момент, тяга и т.д.), масляная (давление, температура, количество масла в баке и т.д.), топливная (давление за подкачивающими насосами, перед форсунками, расход и количество топлива в баках и т.д.) и т.д. При ТО они используются в основном при проверках работоспособности различных систем, которые совмещаются с запуском и опробованием двигателя. Частично используется и информация, полученная и зарегистрированная в полёте бортовыми самописцами (БУР, МСРП).

Для наземного контроля ТС СУ используются:

- визуально-оптический и другие физические методы дефектоскопии (НК);

- методы виброметрии;

- методы, основанные на анализе моторного масла;

- методы, основанные на анализе термогазодинамических параметров и другие.

Авиационный ГТД является сложным техническим устройством, у которого могут иметь место разнообразные неисправности (дефекты), поэтому ни один из указанных методов контроля в отдельности не может дать объективную оценку его ТС.

*Визуально-оптический метод* основан на использовании разнообразных оптических приборов (эндоскопов, микроскопов и т.д.), Он позволяет провести осмотр практически всей проточной части двигателя и выявить разнообразные повреждения элементов конструкции (лопаток, дисков, жаровых труб и т.д.). Эффективность применения оптического метода во многом зависит от уровня контролепригодности двигателя и, в частности, от числа, размеров и расположения специальных лючков для осмотра проточной части.

*Методы дефектоскопии (НК)* основаны на анализе реакций объекта на разнообразные физические воздействия (магнитным или электромагнитным полем, проникающими излучениями и т.д.). Они позволяют выявить нарушения сплошности (трещины) и другие отклонения физико-химических свойств материалов от ТТ (узлов подвески двигателя, корпусов и жаровых труб камеры сгорания, лопаток компрессора и турбины и т.д.) и тем самым предупредить возникновение прочностных отказов двигателя.

*Методы виброметрии* основаны на измерении уровня или анализе спектра вибраций изделий, имеющих вращающийся ротор (ГТД, ВСУ, подшипники, коробки приводов, насосы и т.д.). По уровню вибраций двигателя можно определить момент возникновения разнообразных дефектов, приводящих к нарушению начальной балансировки роторов (разрушения рабочих лопаток компрессоров и турбин, подшипников опор роторов и т.д.), и своевременно прекратить эксплуатацию неисправного двигателя. При проведении анализа спектра вибраций можно локализовать место возникновения неисправности, т.е. установить причину повышенного уровня вибрации двигателя.

*Методы, основанные на анализе моторного масла,* позволяют по концентрации, дисперсности частиц и химическому составу продуктов изнашивания определить место, стадию и характер изно-

са трущихся поверхностей и тем самым предупредить износные отказы двигателей (разрушения подшипников опор роторов, шестерен редукторов и т.д.).

*Методы, основанные на анализе термогазодинамических параметров, позволяют по измеренным значениям контролируемых параметров проводить проверки работоспособности двигателей, а при использовании специальных методов обработки диагностической информации и локализовать их неисправности.*

*Запуск и опробование ГТД при ТО производятся с целью проверки работоспособности двигателя и других систем СУ. Перед каждым запуском двигателей должен выполняться определенный объем подготовительных работ, обеспечивающих надёжный запуск и безопасность ИТП.*

Под запуском понимается процесс приведения двигателя из нерабочего состояния в состояние устойчивой работы на режиме малого газа. Запуск включает прокрутку ротора от стартера, подачу и воспламенение пускового топлива, подачу рабочего топлива и выход двигателя на режим малого газа. Продолжительность запуска обычно не превышает 60с и зависит от мощности стартера (источника энергии), ТС проточной части и настройки топливорегулирующей аппаратуры двигателя.

Прокрутка ротора в процессе запуска осуществляется стартером и турбиной двигателя. При этом стартер и турбина участвуют в прокрутке ротора не весь период запуска, а лишь на определенных этапах. В связи с этим процесс запуска можно условно разделить на три этапа (рис. 3.29).

*На первом этапе от начала запуска до оборотов  $n_1$  (вступления в работу турбины) ротор двигателя раскручивается только стартером. Момент, идущий на ускорение раскрутки ротора  $M_{\text{уск.1}}$ , при этом равен разности момента, развиваемого стартером  $M_{\text{ст}}$  и момента сопротивления вращению ротора  $M_{\text{сопр}}$ , т.е. выполняется условие  $M_{\text{уск.1}} = M_{\text{ст}} - M_{\text{сопр}}$ .*



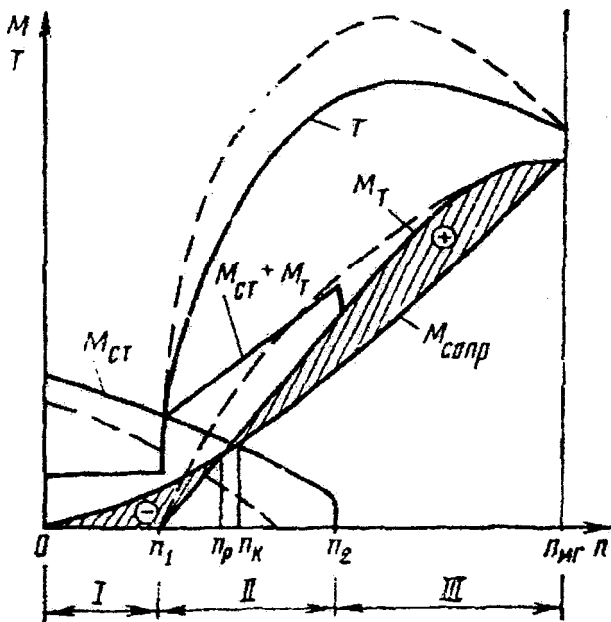


Рис. 3.29. Этапы запуска ГТД

На втором этапе от оборотов  $n_1$  до  $n_2$  (момента отключения стартера) происходит совместная раскрутка ротора двигателя стартером и турбиной, т.е.  $M_{\text{уск. II}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{T}} - M_{\text{сопр}}$ . При этом на оборотах  $n_p$  выполняются условия  $M_{\text{T}} = M_{\text{сопр}}$  и  $M_{\text{уск. II}} = M_{\text{ст}}$ , а на оборотах  $n_k$  — условие  $M_{\text{ст}} = M_{\text{сопр}}$ . Последнее условие соответствует окончанию «холодной» прокрутки двигателя.

На третьем этапе на оборотах от  $n_2$  до  $n_{\text{мг}}$  (режим малого газа) ротор двигателя раскручивается только турбиной, т.е. выполняется условие  $M_{\text{уск. III}} = M_{\text{T}} - M_{\text{сопр}}$ . При этом на оборотах  $n_{\text{мг}}$  выполняются условия  $M_{\text{T}} = M_{\text{сопр}}$  и  $M_{\text{уск. III}} = 0$ .

Значения оборотов  $n_1$ ,  $n_p$ ,  $n_k$ ,  $n_2$  и  $n_{\text{мг}}$  зависят от ТС стартера, турбины, камеры сгорания и систем регулирования двигателя, а также от мощности источника питания стартера, температуры воздуха, направления ветра и ряда других факторов.

В процессе запуска следят за изменением параметров двигателя (частоты вращения роторов, температуры газов, давления и температуры масла и т.д.). Особое внимание обращается на температуру газов, так как превышение допустимой температуры может привести к выходу двигателя из строя, из-за обгорания сопловых и рабочих лопаток турбины, коробления корпусов турбин, загиба рабочих лопаток при касании о металлокерамические вставки и других повреждений. В случае возникновения неустраняемого заброса температуры газов или отсутствия давления масла запуск двигателя необходимо немедленно прекратить путём перевода рычага управления (РУД) в положение “Стоп”.

Опробование ГТД производится в строгом соответствии с графиком пробы, который разрабатывается индивидуально для каждого типа двигателя (рис.3.30).

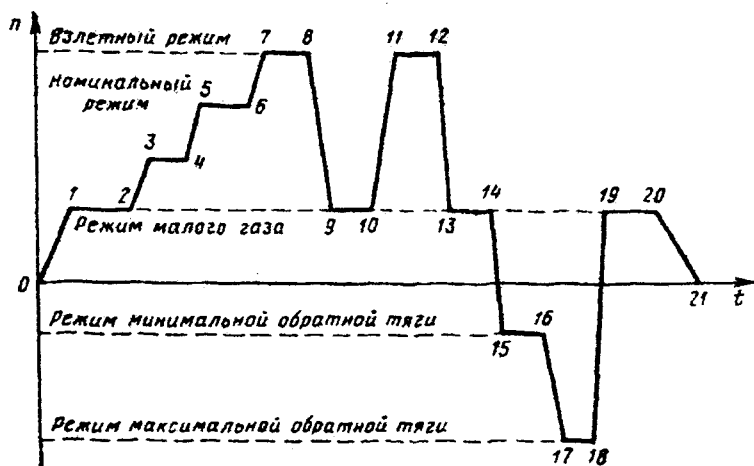


Рис. 3.30. Типовой график опробования ГТД с реверсом тяги: 0-1 — запуск; 1-2-3-4 — прогрев; 5-6 — номинальный режим; 7-8 — контрольный взлётный режим; 9-10 — контрольный режим малого газа; 10-11 — приёмистость; 13-14 — охлаждение; 15-16 — контрольный режим минимальной отрицательной тяги; 17-18 — контрольный режим максимальной отрицательной тяги; 19-20 — охлаждение; 20-21 — останов с помощью стоп-крана

В процессе опробования необходимо внимательно следить за соблюдением заданных режимов работы двигателя (контрольных оборотов), временем прогрева, охлаждения и работы на каждом режиме; вести постоянный контроль за правильностью функционирования двигателя и его систем, проводить ручную и автоматическую (МСРП) регистрацию значений контролируемых параметров для их последующего анализа. Как правило, в процессе запуска и опробования двигателя проводятся проверки работоспособности и других систем ЛА (топливной, гидравлической, электрической и т.д.).

*Проверка работоспособности двигателя* обычно проводится на основе данных, полученных при запуске и опробовании. Для этого значения контролируемых параметров (температуры газов, расхода топлива, частот вращения роторов и т.д.) на контрольных режимах (обычно взлётном) приводятся к стандартным атмосферным условиям (САУ) и сопоставляются с их нормативными (базовыми) значениями.

Если отклонения всех контролируемых параметров от их нормативных значений не превышают установленных в ТТ, то двигатель признаётся работоспособным. В случае обнаружения недопустимых отклонений параметров проводится углублённое ТД двигателя с целью определения причины неисправности (локализации неисправного узла). Для этого используются различные методы математической обработки результатов опробования двигателя (метод “знаков”, метод “невязок” и т.д.) или проводится осмотр проточной части двигателя с использованием оптических приборов. В некоторых случаях, например, при переходе на ТЭС, на основе данных, полученных при опробовании двигателя, проводится прогнозирование его ТС до очередной проверки.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническая эксплуатация летательных аппаратов: Учебник для вузов / Под ред. *Н.Н. Смирнова*. – М.: Транспорт, 1990. – 423 с.
2. Техническая эксплуатация летательных аппаратов. Под ред. *А.И. Пугачёва*. Учебник для вузов гражданской авиации. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1974. 440 с.
3. *Деркач О.Я.* Формирование систем технического обслуживания самолетов при их создании. – М.: Машиностроение, 1993. 224 с.
4. *Аникин Н.В., Назаров Ю.В.* Техническая эксплуатация самолётов: Учеб. пособие для сред. спец. учеб. заведений гражд. авиации. – М.: Транспорт, 1984. 199 с.
5. Наставление по технической эксплуатации и ремонту авиационной техники в гражданской авиации (НТЭРАТ ГА-93).

Учебное издание

*Макаровский Игорь Мстиславович*

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Учебное пособие

Редактор Л. Я. Чегодаева

Компьютерная верстка Т. Е. Половнева

Подписано в печать 10.06.2005 г. Формат 60 × 84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 9,60. Усл. кр.-отг. 9,65. Уч.-изд.л. 10,25.

Тираж 300 экз. Заказ 58 . Арт. С-5(Д1)/2005

Самарский государственный аэрокосмический университет  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

РИО Самарского государственного аэрокосмического университета.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.