

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
“МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ”

Чичков Б.А., Пивоваров В.А., Раков П.И.

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АД

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

для студентов спец. 160901, магистрантов по направлению 160900
и аспирантов спец. 05.22.14

Москва – 2007

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра двигателей летательных аппаратов

Чичков Б.А., Пивоваров В.А., Раков П.И.

***КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АД
(ЧАСТЬ 1)***

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

для студентов спец. 160901, магистрантов по направлению 160900
и аспирантов спец. 05.22.14

Москва – 2007

Пособие по дисциплине “Конструкция и техническое обслуживание ЛА и АД” издается в соответствии с рабочей программой дисциплины. Может быть использовано в курсовом и дипломном проектировании студентами, магистрантами и аспирантами соответствующих специальностей.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры “Двигатели летательных аппаратов” и методическим советом по специальности механического факультета.

Научный редактор, рецензент: д.т.н., проф. Чинючин Ю.М.
(зав. каф. ТЭЛА и АД МГТУ ГА),
д.т.н. Скрипниченко С.Ю. (ведущий
специалист ГосНИИ ГА)

Принятые сокращения и обозначения

АД – авиационный двигатель
АТ – авиационная техника
АТБ – авиационно-техническая база
ВД – высокое давление
ВНА - входной направляющий аппарат
вп (ВП) – выключение в полете
ВС – воздушное судно
ГА – гражданская авиация
ГТД – газотурбинный двигатель
дсд (ДСД) - досрочное снятие двигателя
ЗКП - задняя коробка приводов
ЗЧ - запасные части
ИАС – инженерно – авиационная служба
КВД - компрессор высокого давления
КИА - контрольно – измерительная аппаратура
КНД - компрессор низкого давления
КС - камера сгорания
КП - коробка приводов
ЛА – летательный аппарат
НД – низкое давление
НТД - нормативно-техническая документация
ПКП - передняя коробка приводов
ПОС - противообледенительная система
ППО - привод постоянной частоты вращения (оборотов)
ПТЭ – процесс технической эксплуатации
СНО - средства наземного обслуживания
ССОПИ - система сбора и обработки полетной информации
ТВД - турбина высокого давления
ТМР - топливо – масляный радиатор
ТНД - турбина низкого давления
ТО – техническое обслуживание
ТОиР – техническое обслуживание и ремонт
ТРДД – двухконтурный турбореактивный двигатель
ТС-техническое состояние
ЭАП – эксплуатационное авиапредприятие
ЭТ – эксплуатационная технологичность

ВВЕДЕНИЕ

Факторами, определяющими эффективность эксплуатации авиационных двигателей (АД) являются их надежность, технологичность, топливная эффективность, а также уровень шума.

В настоящем пособии рассматриваются вопросы состояния парка отечественных авиационных двигателей, показателей его надежности и вопросы эксплуатационной технологичности (ЭТ) АД. В процессе рассмотрения эксплуатационной технологичности авиационных двигателей основное внимание было уделено ТРДД типа НК-8-2У(-4), Д-30КУ(КП), ПС-90А [5]. Эти двигатели установлены на воздушных судах Ил-62, Ту-154, Ил-62М (Д-30КУ), Ил-76 модификаций Т, ТД, М, МД (Д-30КП), Ту-154М (Д-30КУ-154), Ил-96-300 (ПС-90А), Ту-204-100, Ту-204С и Ту-214 (ПС-90А).

Уровень эксплуатационной технологичности (ЭТ) двигателя напрямую влияет на сокращение затрат (труда, времени, средств) при проведении технического обслуживания и, как следствие, повышение экономической отдачи от его эксплуатации и, что самое главное, на повышение уровня безопасности полетов за счет своевременного обнаружения и устранения неисправностей.

При оценке эксплуатационной технологичности были использованы экспертные оценки специалистов по технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей (ТЭЛА и АД) одного из эксплуатационных авиапредприятий (ЭАП) России.

В целом все типы двигателей имеют как положительные, так и отрицательные примеры с точки зрения ЭТ. Кроме того, возросшая сложность агрегатов (особенно топливопитания и автоматического регулирования газодинамических параметров) двигателя ПС-90А отрицательно сказалась на их ЭТ.

Отдельно рассмотрены вопросы контролепригодности ГТД, как важной составляющей стратегии эксплуатации ГТД по фактическому техническому состоянию.

В пособии использованы материалы, полученные в ряде авиапредприятий. Запрещено копирование, воспроизведение представленных в пособии материалов, за исключением случаев использования в учебном процессе МГТУ ГА.

1. СОСТОЯНИЕ ПАРКА АВИАДВИГАТЕЛЕЙ и ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

1.1. Состав парка авиадвигателей

В настоящее время в гражданской авиации России эксплуатируются на магистральных, региональных и транспортных самолетах и вертолетах более 20 типов и модификаций отечественных и украинских газотурбинных двигателей. Внедренные в эксплуатацию 20 и более лет назад ВС с этими двигателями осуществляют подавляющую часть общего объема пассажирских и грузовых перевозок страны и будут эксплуатироваться еще в течение длительного времени.

Распределение двигателей среди парка новых двигателей представлено на рис. 1.1 (прим.: рис.1.1-1.5 выполнены на основании данных журнала “Авиатранспортное обозрение”, и, в частности, [8]).

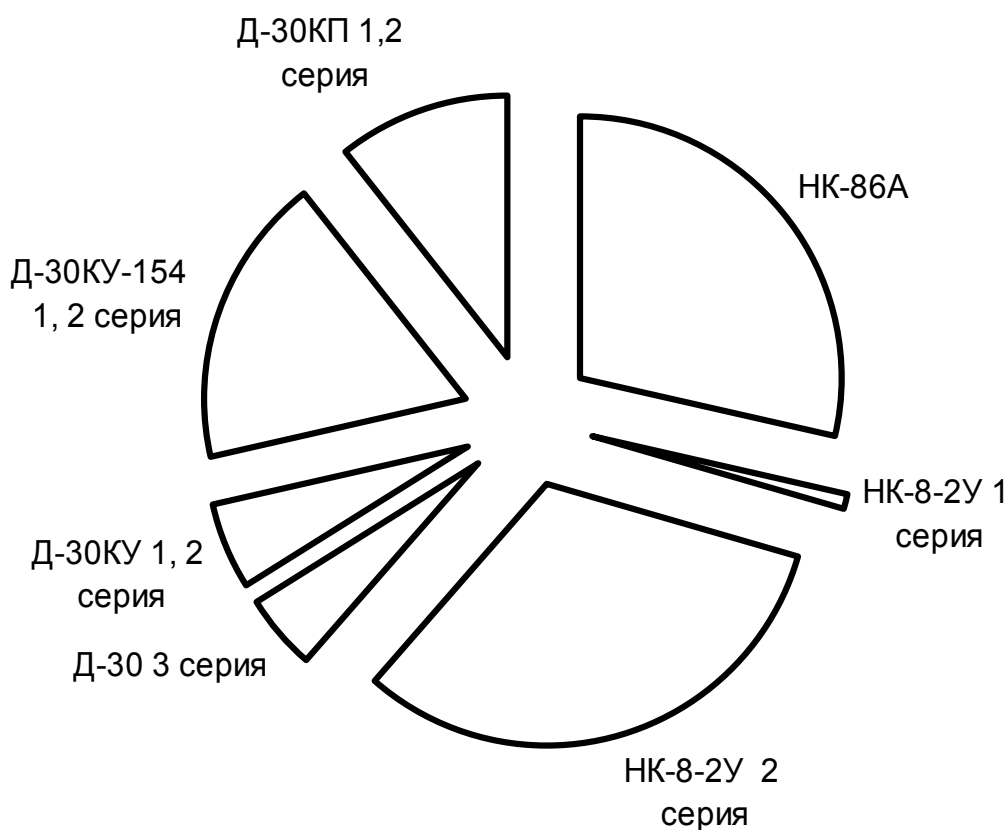


Рис.1.1. Распределение двигателей среди парка новых двигателей

Распределение двигателей среди парка двигателей после ремонта (-ов) представлено на рис. 1.2.

Рис.1.2. Распределение двигателей среди парка двигателей после ремонта (-ов)

Распределение новых и ремонтных двигателей внутри типов двигателей представлено на рис. 1.3.

Рис.1.3. Распределение новых и ремонтных двигателей внутри типов двигателей

Значительное превышение количества новых двигателей количества ремонтных указывает на имеющиеся перспективы дальнейшей продолжительной (до 10 и более лет) их эксплуатации.

1.2. Надежность отечественных двигателей

Одним из основных критериев качества и работоспособности авиадвигателей, обеспечивающих безопасность полетов воздушных судов, является надежность.

Оценка надежности отечественных двигателей, ежегодно проводимая ГосНИИ ГА и ЦИАМ дает относительные (отнесенные к нормам) показатели безотказности, представленные на рис. 1.4-1.5.

Из приведенных данных следует, что надежность (безотказность) отечественных эксплуатируемых двигателей соответствует как отечественным (разработанным много лет назад и несколько устаревшим), так и международным нормам.

Относительная наработка на отказ двигателя, ч

Рис.1.4. Динамика относительной наработки на отказ двигателя

Относительная наработка на досрочный сьем двигателя с воздушного судна с изъятием его из эксплуатации, ч

Рис.1.5. Динамика относительной наработки на досрочный сьем двигателя с воздушного судна с изъятием его из эксплуатации

Особенности некоторых типичных неисправностей двигателей рассмотрим на примере двигателей типа Д-30КУ(КП).

В эксплуатационных авиапредприятиях имеет место большое количество случаев досрочных снятий двигателей по причинам прогара жаровых труб, разрушений межвального подшипника, наличии забоин на лопатках входного направляющего аппарата и лопатках компрессора низкого давления (рис. 1.6-1.14). Разрушение межвального подшипника является причиной большого количества авиационных инцидентов.

Еще одной особенностью двигателей Д-30КУ(КП) является малая величина допусков на повреждения рабочих лопаток компрессора низкого давления от попадания посторонних предметов в проточную часть двигателя. Из руководства по технической эксплуатации следует, что максимальная допустимая величина забоины на рабочих лопатках вентилятора не должна превышать 1 мм. Такие малые допуски на величины забоин требуют высокого уровня приспособленности объекта контроля к проведению разного рода осмотров. Это влечет за собой большие расходы на восстановление исправного состояния двигателя (зачистка и полировка забоин). Отметим, что допустимые величины забоин на рабочих лопатках вентиляторов двигателей американской фирмы Pratt&Whitney могут составлять до 10 % от хорды профиля пера лопатки.

Не редкими в эксплуатации являются трещины и сколы козырьков лопаток входного направляющего аппарата (ВНА). Приспособленность ВНА и первых ступеней КНД к осмотру достаточно высока (трещины и сколы хорошо видны - рис. 1.8-1.11), что позволяет качественно производить работы по осмотру лопаток ВНА.

В тоже время, наличие ВНА отрицательным образом влияет на доступность к рабочим колесам первой и последующих ступеней компрессора низкого давления (КНД). Следует отметить, что ВНА не позволяет производить замену рабочего колеса первой ступени в эксплуатации, т.е. негативно влияет на такой фактор эксплуатационной технологичности, как легкоосъемность.

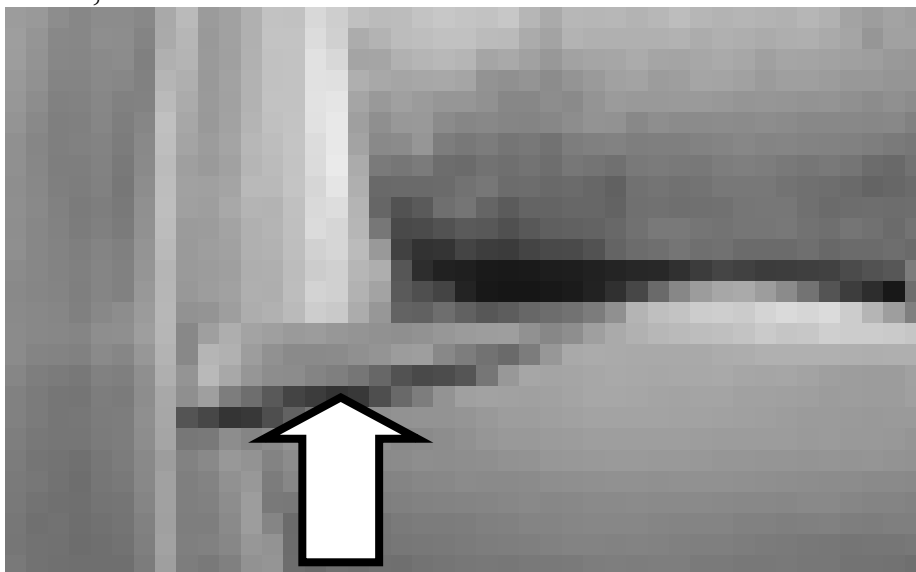


Рис. 1.6. Погнутость рабочей лопатки первой ступени КНД по входной кромке
(Здесь и далее стрелка указывает описываемые элементы)

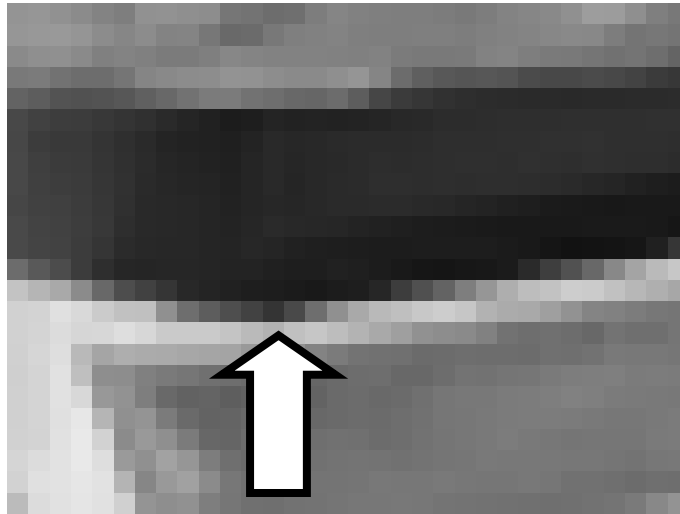


Рис. 1.7. Забоина на рабочей лопатке первой ступени КНД по входной кромке

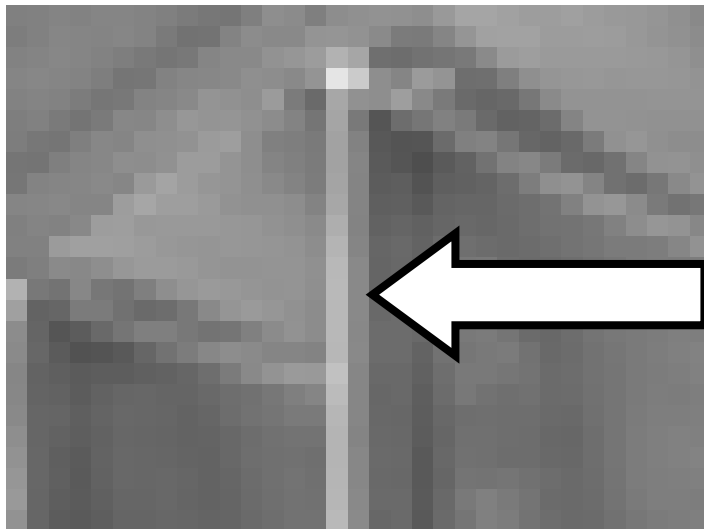


Рис. 1.8. Трещина на козырьке лопатки ВНА по входной кромке

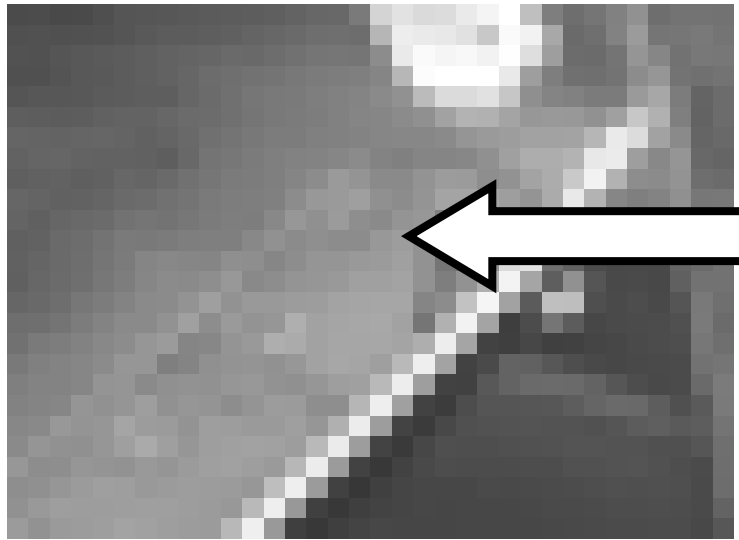


Рис. 1.9. Трещина на козырьке лопатки ВНА в районе крайней заклепки

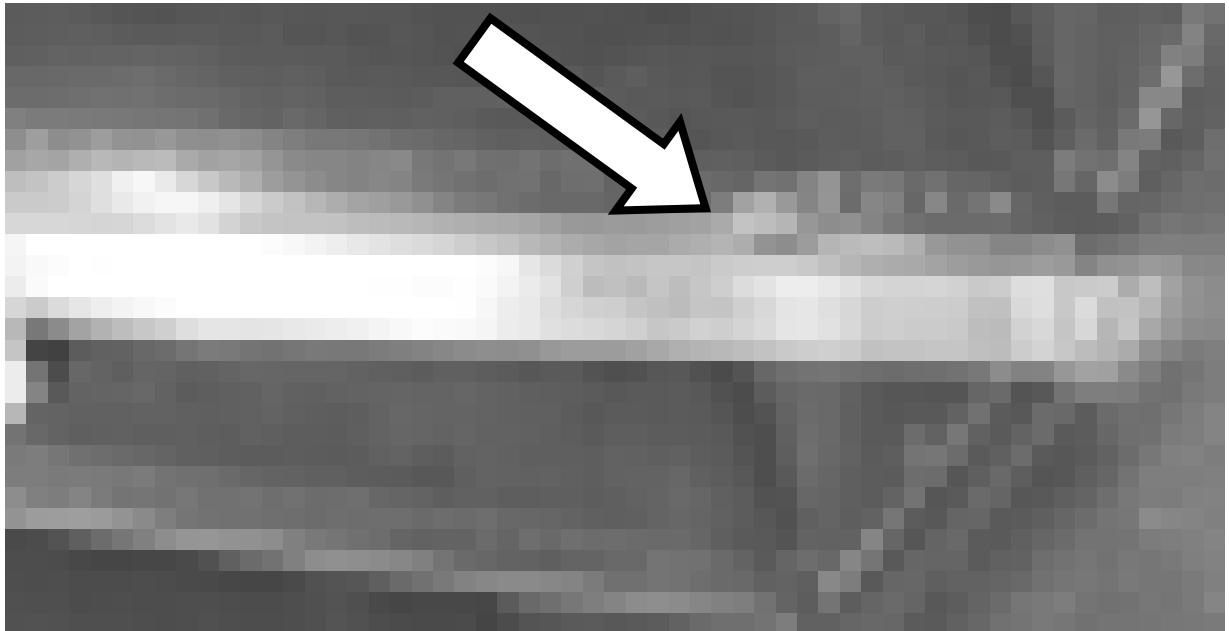


Рис. 1.10. Скол фрагмента козырька лопатки ВНА по входной кромке

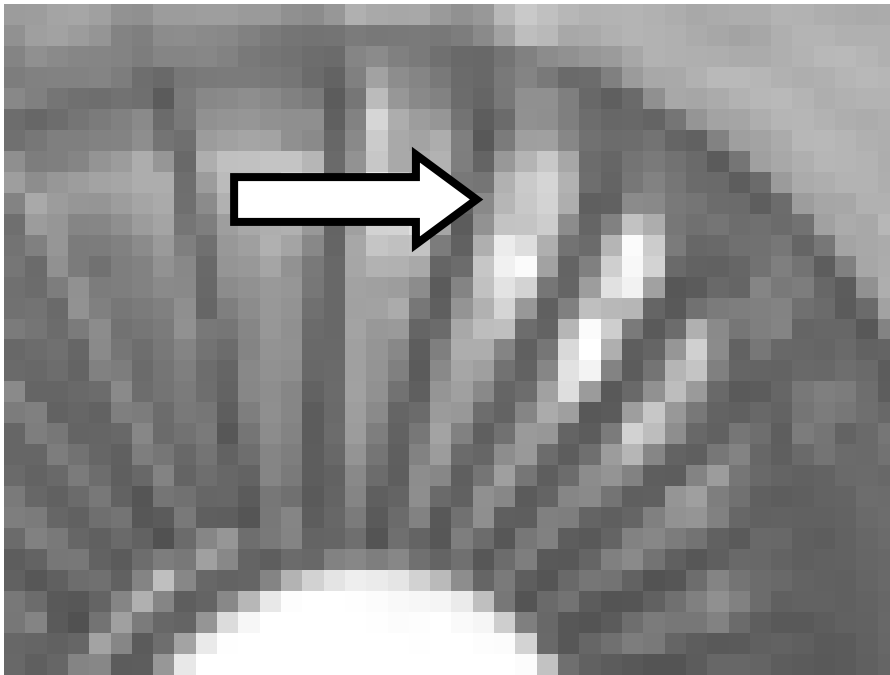


Рис. 1.11. Скол части козырька лопатки ВНА по входной кромке (общий вид на КНД)

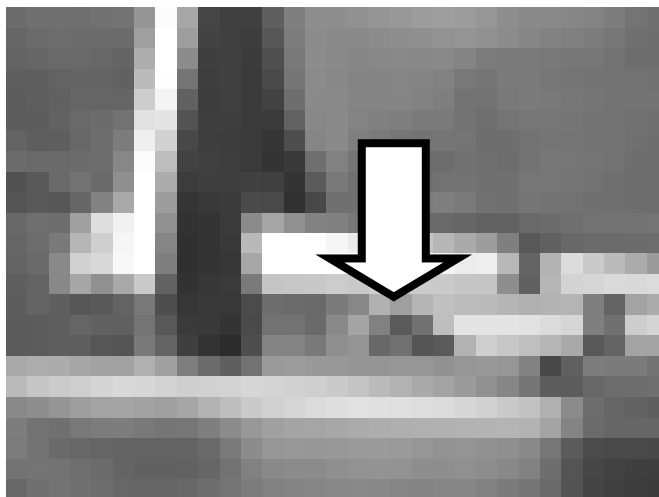


Рис.1.12. Вырыв материала лопатки направляющего аппарата по входной кромке

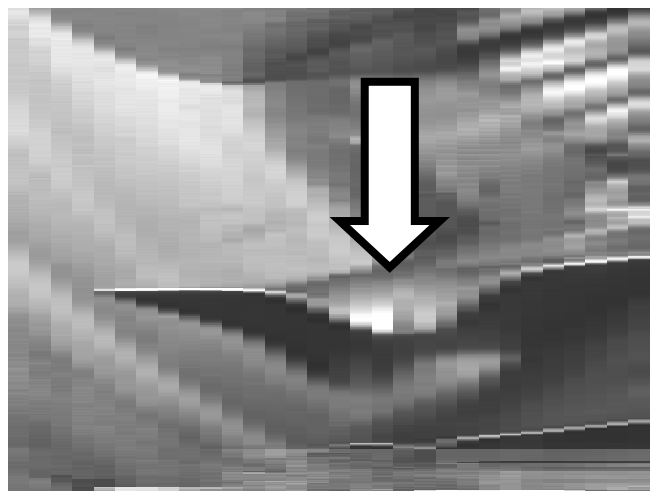


Рис. 1.13. Разрыв рабочей лопатки первой ступени КНД по входной кромке

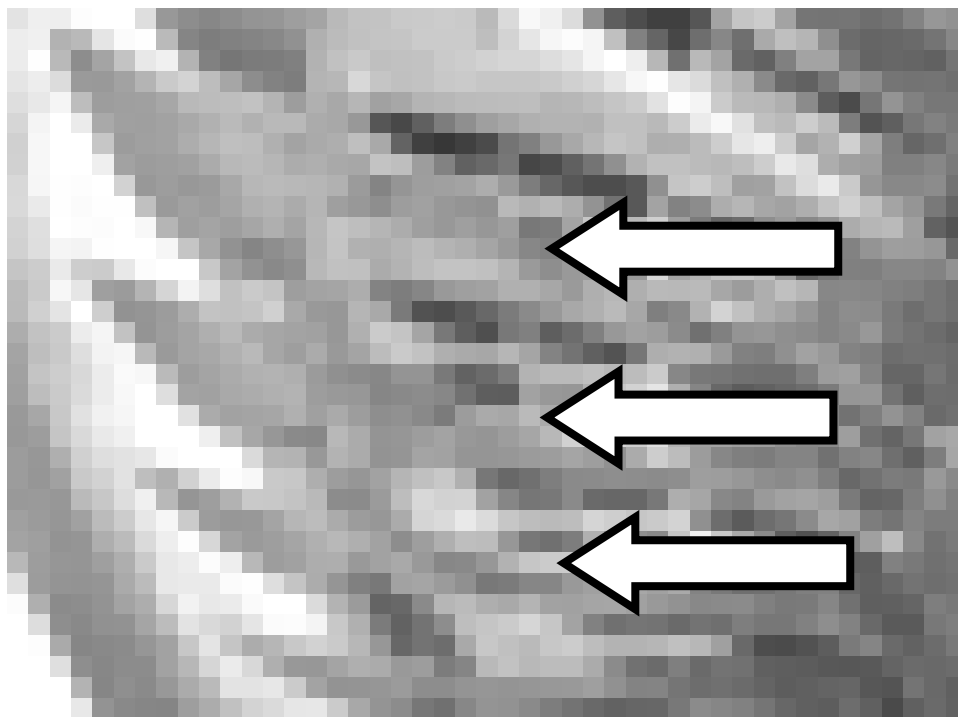


Рис. 1.14. Погнутости рабочей лопатки первой ступени КВД по входной кромке

Следует отметить, что разрешается эксплуатация двигателей ПС-90А с незачищенными забоинами по всей поверхности рабочей лопатки КВД на пере глубинной до 0.1 мм и диаметром до 0.3 мм. При этом количество забоин не ограничивается, а их взаимное расположение может быть произвольным (на АД Д-30КУ(КП) забоины на рабочих лопатках КВД вообще не допускаются).

Невозможность замены рабочих лопаток и рабочего колеса на двигателе Д-30КУ(КП) в условиях эксплуатации снижает коэффициент исправности воздушного судна, ввиду того, что попадания посторонних предметов в проточную часть двигателя приводят к его снятию с самолета и отправке в ремонт, что также влечет за собой большие финансовые затраты.

Заметим, что надежность АД в значительной степени обеспечивается его эксплуатационной технологичностью. Из результатов анализа следует, что часть авиационных инцидентов, связанных с двигателем Д-30КУ(КП) произошли по причине разрушения межвального подшипника, техническое состояние которого в эксплуатации определяется инженерно - техническим персоналом (бюллетень 1530).

Плотная обвязка двигателя Д-30КУ(КП) затрудняет персоналу подходы для технического обслуживания отдельных агрегатов и узлов двигателя. Неудобства технического обслуживания отражаются на его качестве, что, в конечном итоге, влияет на уровень безопасности полетов.

Также имеют место коробления, трещины и прогары жаровых частей камер сгорания; прогары сопловых аппаратов (в основном первой ступени) и рабочих лопаток турбин (рис. 1.15).

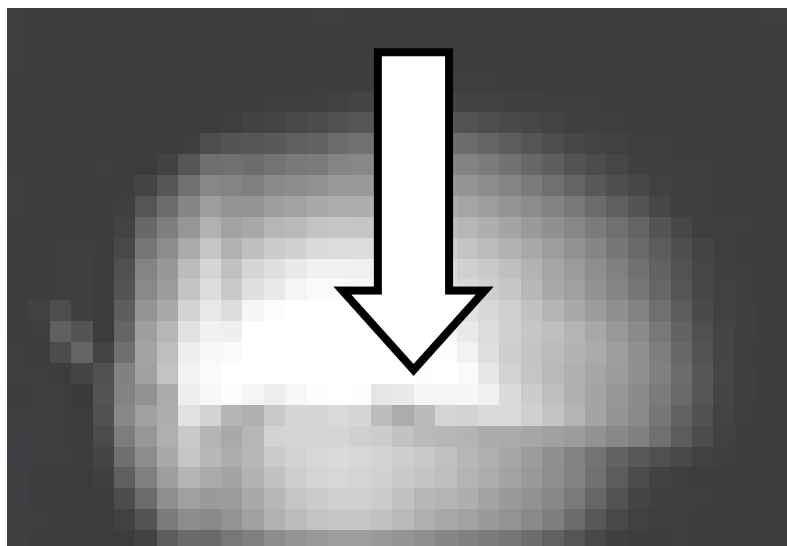


Рис.1.15. Прогар рабочей лопатки первой ступени турбины по входной кромке

1.3. Ресурсы двигателей

Важнейшим технико-экономическим показателем совершенства двигателей, их качества, уровня конструктивно-технологических решений, конкурентоспособности является ресурс. По данной характеристике отечественные двигатели значительно в несколько раз уступают зарубежным аналогам.

Ресурсы некоторых типов двигателей представлены на рис. 1.16-1.19 [8].

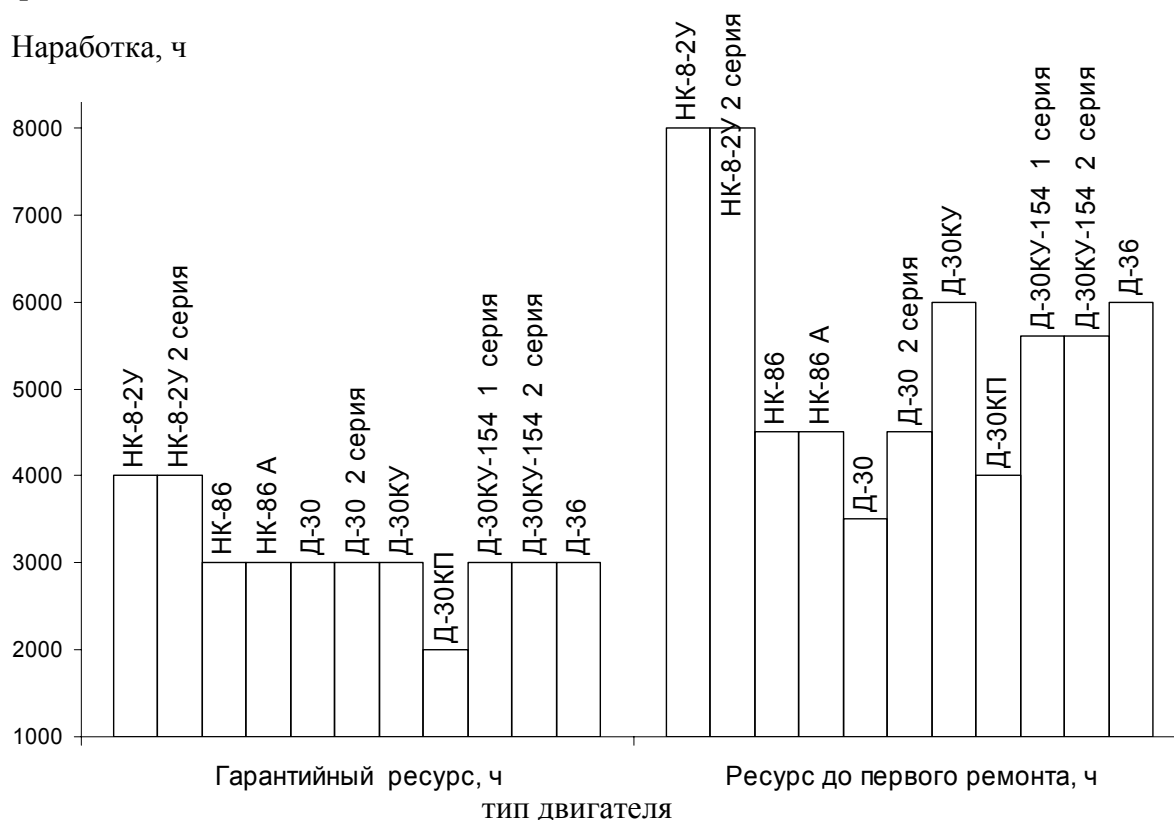


Рис.1.16. Гарантийные ресурсы и ресурсы до первого ремонта ГТД в часах

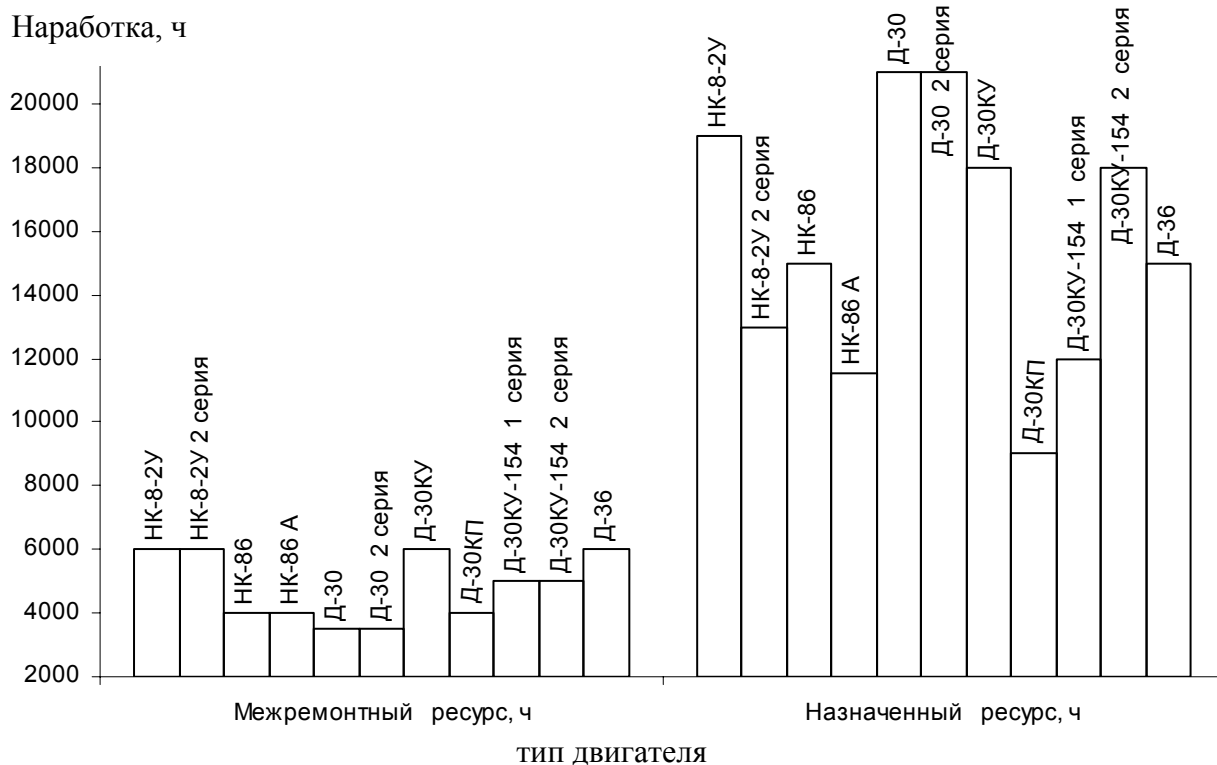


Рис.1.17. Межремонтные и назначенные ресурсы ГТД в часах

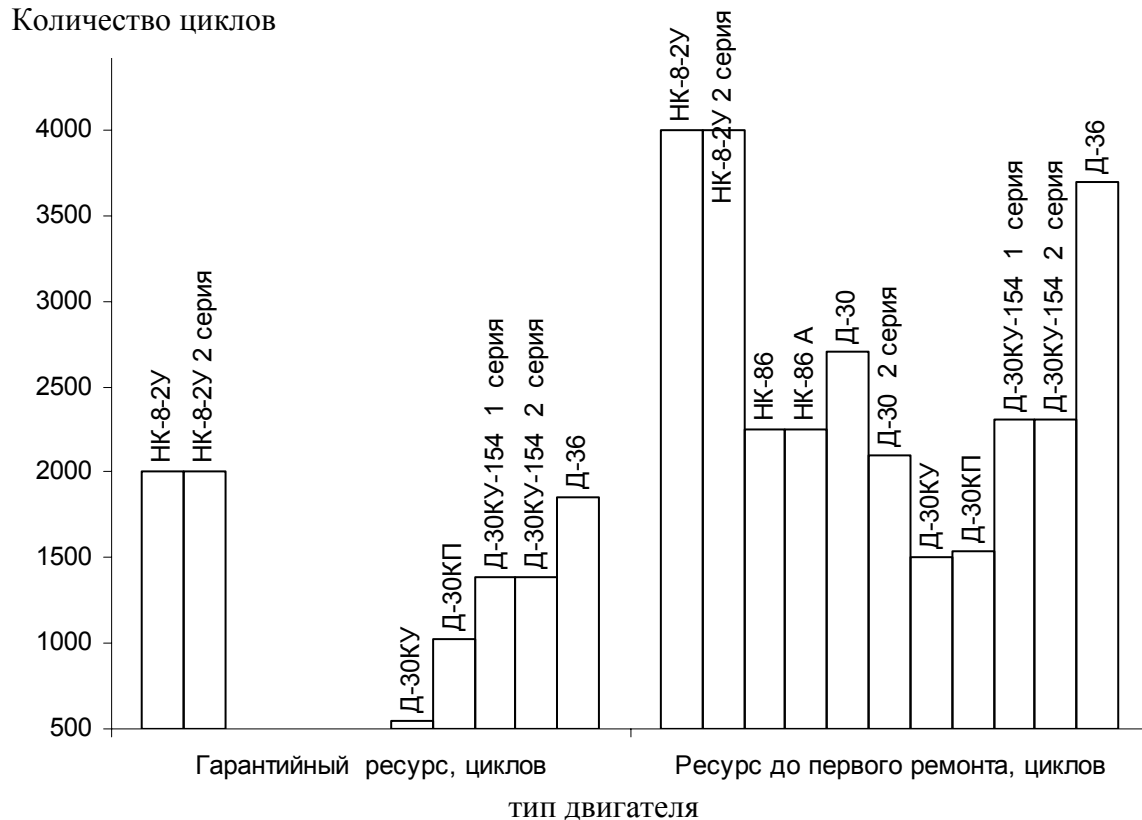


Рис.1.18. Гарантийные ресурсы и ресурсы до первого ремонта ГТД в циклах

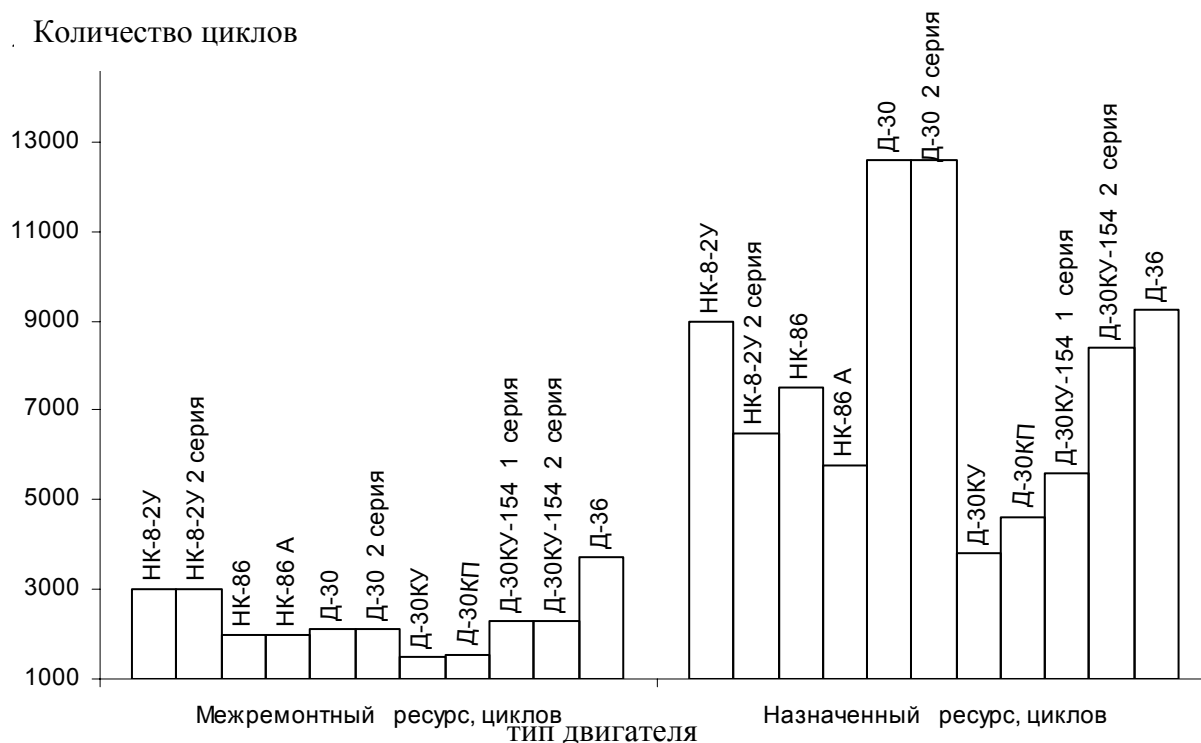


Рис.1.19. Межремонтные и назначенные ресурсы ГТД в циклах

Результаты оценки состояния парка отечественных авиадвигателей в целом сводятся к следующему :

возраст базовых двигателей НК-8-2У, НК-86, Д-30, Д-30КУ составляет 20 и более лет, и они в значительной степени исчерпали свои ресурсы. Улучшенные (с точки зрения характеристик, надежности и ресурса) серии и модификации двигателей НК-8-2У 2-й серии, НК-86А, Д-30КУ-154, Д-30КП и двигатель ПС-90А имеют потенциальную возможность эксплуатироваться еще длительный (до 10 лет и более) период;

за последние годы основные показатели надежности (безотказности) отечественных авиадвигателей соответствуют как отечественным, так и зарубежным нормам и не уступают зарубежным двигателям выпуска 70-х гг., а по ряду показателей и некоторым современным.

Основная часть отечественных эксплуатируемых двигателей уступает лучшим современным зарубежным двигателям по параметрам термодинамического цикла и удельным параметрам. Отечественные двигатели уступают современным эксплуатируемым зарубежным двигателям по ресурсу.

Два последних замечания частично компенсируются ощутимой разницей в стоимости двигателей: зарубежные двигатели в два и более раз превосходят российские в цене.

Поэтому превосходство современных зарубежных двигателей по технико-экономическим показателям над отечественными может быть в определенной степени компенсировано при условии увеличения ресурса последних и

поддержания их безотказности на высоком уровне, обеспечивающем налет не менее 8-10 ч в сутки.

Из эксплуатируемых отечественных двигателей перспективными с точки зрения продолжения активной эксплуатации является двигатель последнего поколения ПС-90А, устанавливаемый с 1993 г. на самолеты Ту-204 и Ил-96-300, и двигатель Д-30КУ-154, используемый с 1983 г. на самолетах Ту-154М.

По расчетам АНТК им. Туполева и ОАО "Рыбинские моторы", с учетом ресурсов самолетов Ту-154М до 37500 ч (20000 взлетов-посадок и 23 календарных лет) перспектива эксплуатации двигателей Д-30КУ-154 на почти 300-х самолетах Ту-154М российских и зарубежных авиакомпаний оценивается до 2020 г. с продолжением серийного выпуска до 2014 г. и капитального ремонта до 2018 г. В связи с этим НПО "Сатурн" (бывш. ОАО "Рыбинские моторы") работает над улучшением технико-экономических показателей и экологических характеристик этого двигателя.

Создан двигатель Д-30КУ-154 3-й серии, прошедший комплекс испытаний; он имеет улучшенную на 2% экономичность (с 0.71 до 0.69 кг/кгс.ч на крейсерском режиме) и увеличенный за счет снижения температуры газа перед турбиной ресурс двигателя.

1.4. Особенности гарантийных программ и гарантийных обязательств по АД

Важным фактором обеспечения конкурентоспособности АТ на зарубежном рынке является система гарантийных обязательств фирм-изготовителей [2]. Система гарантийных обязательств включает обязательства поставщика гарантировать соответствие показателей качества поставляемых изделий требованиям действующих ТУ в течение гарантийного срока (гарантийной наработки) и возмещать убытки потребителя в случае отклонений показателей качества от гарантийного уровня (при условии соблюдения потребителем условий и правил эксплуатации).

Система гарантийных обязательств отражает уровень эксплуатационно-технических характеристик двигателя, его рабочих параметров, уровень совершенства и степень "доведенности" конструкции и технологии изготовления двигателя. Тем не менее нередко случаи, когда гарантийные обязательства продлеваются из коммерческих соображений без повышения качества изделий; просто предприятия согласны ремонтировать выходящие из строя изделия в течение более продолжительного срока. Этот двойственный характер гарантийных обязательств (с одной стороны, отражение уровня качества изделия, с другой,- коммерческий характер) необходимо учитывать при рассмотрении содержания зарубежных гарантийных программ по АД.

Современные гарантийные программы зарубежных двигателестроительных фирм характеризуются следующими особенностями:

1. Устанавливается гарантийный ресурс в часах и (или) циклах и гарантированный срок службы, в течение которого фирма осуществляет за свой счет замену и (или) ремонт неисправного двигателя. Так, гарантийный наработка (срок) для двигателя PW-2037 - 3000 ч (6 лет). Чаще всего в пределах гарантийного ресурса двигателей фирма производит бесплатный ремонт двигателя (100 %-ное возмещение всех затрат).

2. Устанавливается гарантийная наработка по отдельным наиболее ответственным деталям, узлам. Эта гарантия действует за пределами гарантийного ресурса двигателя. Фирма за свой счет заменяет или восстанавливает эту деталь, если она явилась причиной отказа двигателя. В середине 70-х годов для двигателей CF6 и JT9D гарантийная наработка устанавливалась дифференцированно по разным деталям или группам деталей. В пределах установленной гарантийной наработки детали процент возмещения затрат меняется: до некоторой наработки фирма гарантирует 100%-ное возмещение затрат, связанных с заменой и восстановлением детали, сверх этой наработки процент возмещения затрат снижается до нуля.

3. Устанавливается гарантийный уровень Кдсд, Квп в случае превышения которого фирма выплачивает штраф, размер которого оговаривается фирмой и заказчиком.

4. В некоторых случаях гарантируются удельная трудоемкость и стоимость обслуживания, приходящиеся на 1 ч наработки, стоимость запасных частей, расходуемых в течение гарантийного срока. Такие гарантии устанавливались на двигатели CF6, JT9D, RB211.

Наряду с гарантийными обязательствами фирм-изготовителей существуют и гарантийные обязательства фирм, производящих ремонт АД. Так, фирма МТИ (ФРГ) для отремонтированных двигателей CF6-50 устанавливала гарантийную наработку 500 ч (и календарный гарантийный срок - 6 месяцев), фирма FFV (Швеция) для двигателей СТ7 после восстановительного ремонта устанавливала гарантийную наработку 300 ч (12 месяцев), причем гарантии фирмы не распространялись на повреждения, вызванные обстоятельствами, находящимися вне контроля и ответственности фирмы.

Сложная система гарантийных обязательств зарубежных фирм носит всеобъемлющий характер, включая элементы стимулирования эксплуатантов, обеспечивая достижения в эксплуатации заданных характеристик двигателя.

В основе формирования гарантийных программ зарубежных двигателестроительных фирм лежит исследование влияния выдаваемых гарантий на интегральные затраты за весь период эксплуатации данного двигателя. Целевая функция при выборе программы гарантирования есть максимум разности между ожидаемой суммой дохода от гарантии и суммой негарантированных расходов потребителя, включая затраты на закупку и эксплуатацию АД.

1.5. О перспективах развития ГА в рамках Постановления Правительства РФ от 15 октября 2001 г. N 728 "О федеральной целевой программе "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002 - 2010 годы и на период до 2015 года" [4]

В постановлении Правительства РФ от 15 октября 2001 г. N 728 "О федеральной целевой программе "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002 - 2010 годы и на период до 2015 года" отмечается следующее. Уровень оснащённости авиакомпаний России воздушными судами нового поколения существенно отстает от мирового уровня, что снижает конкурентоспособность российских авиаперевозчиков. Актуальность задачи переоснащения парка воздушных судов авиакомпаний России авиационной техникой нового поколения также связана с систематическим повышением международных норм и требований к экологическим характеристикам воздушных судов (уровень шума, создаваемого на местности, эмиссия продуктов сгорания).

Анализ состояния основных фондов предприятий авиационной промышленности показал, что их износ составил примерно 51 процент, износ оборудования на предприятиях - примерно 70 процентов, а в научных организациях - 73 процента.

Для обеспечения эффективной работы авиационной промышленности требуется техническое перевооружение и развитие производства на основе информационных технологических процессов и дальнейшее совершенствование экспериментально-испытательной базы.

Развитие авиационной промышленности неразрывно связано с проблемами формирования эффективной системы обеспечения послепродажного обслуживания. Поэтому важной задачей для отечественных производителей и эксплуатантов является создание современной инфраструктуры технического обслуживания и ремонта (ТойР).

На первом этапе реализации Программы намечено создание двигателей и вспомогательных силовых установок (ВСУ), систем автоматического управления двигателями и воздушных винтов, в том числе:

-модифицированного двигателя ПС-90А для самолетов Ил-96-300, Ту-204/214. Предусматривается проведение работ с целью повышения надежности и ресурсов двигателя, улучшения его экологических характеристик;

-ТРДД Д-436Т1/ТП с тягой 7,5 тонн для самолетов Ту-334, Бе-200 и их модификаций (разрабатывается в соответствии с межправительственным соглашением между Россией и Украиной). Предусматривается проведение работ с целью повышения надежности и ресурса двигателя;

-ТРДД сверхвысокой степени двухконтурности НК-93 тягой 18 тонн для модификаций самолетов Ил-96Т, Ту-204/214, Ту-330 (сертификация базового варианта двигателя намечена на 2006 год);

-ТРДД АИ-22 с тягой 3,75 тонн (на коммерческой основе) для самолета Ту-324;

модифицированных двигателей семейства ТВ7-117 для региональных самолетов и вертолета Ми-382;

-семейства двигателей ТВД-1500 и РД-600 для самолета Ан-38 и вертолета Ка-62;

-газотурбинных двигателей нового поколения в классе мощностей 368 кВт и 588 кВт (на конкурсной основе);

-авиационных поршневых двигателей в классе мощностей 44-66 кВт и 191-235 кВт для легких самолетов и вертолетов (на конкурсной основе);

-вспомогательных силовых установок ТА-18, ТА-14 и их модификаций для самолетов Ту-204/214/330/334, Бе-200, вертолета Ка-62 и др.;

-систем автоматического управления авиадвигателями (электронных регуляторов, систем управления, контроля и диагностирования и т.д.).

Создание указанных двигателей и вспомогательных силовых установок в дополнение к серийно выпускаемым двигателям ПС-90А, ТВ7-117С, ТВ3-117ВМА, вспомогательным силовым установкам ВСУ-10, ТА-12-60 и их модификациям обеспечивает основные потребности отечественного парка самолетов и вертолетов.

Также предусматривается создание для самолета Ту-154М модифицированного двигателя Д-30КУ-154 с улучшенными экологическими показателями и увеличенным ресурсом. Проводится доработка экспериментального двигателя НК-89, работающего на газовом топливе, для отработки технологических систем и опытной эксплуатации самолета Ту-156.

На втором этапе (с 2006 г.) Программой предусматривается создание конкурентоспособных двигателей нового поколения: надежных, экологически чистых, высокоэкономичных базовых двигателей с улучшенными эксплуатационными характеристиками - тягой 9-14 тонн для новых магистральных самолетов (БСМС и др.), тягой 4-5 тонн для нового регионального самолета, нового двигателя мощностью 1618-2427 кВт для перспективных вертолетов и региональных самолетов. В этих двигателях будут использованы научно-технические решения, разрабатываемые на первом этапе в рамках проведения комплексных научно-исследовательских работ. Внедрение новых технологий обеспечит конкурентоспособность создаваемых двигателей на мировом рынке.

Новые двигатели будут разрабатываться ведущими авиадвигателестроительными опытно-конструкторскими бюро России, отобранными на конкурсной основе в установленном порядке.

Создание научно-технического задела по авиационным двигателям обеспечит улучшение топливной экономичности и весовых характеристик двигателей на 10-15 процентов, повышение надежности и ресурса двигателей в 1,5-2 раза, уменьшение эмиссии двигателей в 3 раза.

2. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

2.1. Характеристики эксплуатационной технологичности

Эксплуатационная технологичность (ЭТ) АД – совокупность свойств конструкции, характеризующих приспособленность к выполнению всех видов работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) с использованием наиболее экономичных технологических процессов (при минимальных затратах труда, времени и средств) [6].

ЭТ определяется рядом факторов, которые учитываются при создании ЛА в зависимости от его назначения и условий эксплуатации. Они объединяются во взаимосвязанные группы: конструктивно – производственные и эксплуатационные факторы (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Факторы, определяющие ЭТ

(на рис.2.1: НТД - нормативно-техническая документация, ПТБ – производственно-техническая база, ЗЧ - запасные части, ФС - функциональная система, КИА – контрольно-измерительная аппаратура, СНО - средства наземного обслуживания)

Под доступностью понимают удобство работы исполнителя при выполнении основных операций ТОиР с минимальным объемом дополнительных работ.

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

люков, демонтаж и монтаж рядом установленного оборудования и другие работы.

Контролепригодность – приспособленность к проведению контроля параметров систем и комплектующих изделий АД различными средствами и методами.

Легкосъемность означает пригодность изделия к замене с минимальными затратами времени и труда. Ее не следует смешивать с доступностью. На АД встречаются такие детали и изделия, к которым обеспечена отличная доступность, но замена их при эксплуатации затруднена. Легкосъемность во многом определяется применяемыми способами крепления изделий, заменяемых в эксплуатации, конструкцией разъемов, массой и габаритными размерами съемных элементов.

Взаимозаменяемость комплектующих изделий и деталей означает такое их свойство, при котором из множества одноименных деталей (изделий) можно без выбора взять любую и без подгонки (допускается применение технологических компенсаторов) установить на АД.

Под преемственностью средств наземного обслуживания и контрольно-поверочной аппаратуры понимают возможность использования для обслуживания нового типа АД уже имеющихся средств общего назначения.

Для анализа и оценки ЭТ используют совокупность обобщенных и единичных показателей.

К числу обобщенных показателей относят:

1. удельную оперативную продолжительность ТОиР $K_{оп}$ в часах на 1 час налета;
2. удельную оперативную трудоемкость ТОиР $K_{от}$ в человеко-часах на 1 час налета. Может быть разделена на $K_{от.п}$ - удельную оперативную трудоемкость ТОиР в цикле восстановления и $K_{от.о}$ - удельную оперативную трудоемкость ТО в оперативном цикле эксплуатации;
3. удельную стоимость запасных частей и материалов при выполнении ТОиР K_3 в рублях на 1 час налета;
4. среднее время устранения отказов \bar{t}_y в процессе оперативных видов ТО;
5. интенсивность устранения отказов (текущего ремонта) μ ;
6. вероятность выполнения непланового текущего ремонта P_y за заданный интервал времени $(P\{T_{т.р} \leq T_{зад}\})$;
7. вероятность успешного выполнения непланового текущего ремонта (устранения отказа) за заданное время в оперативном цикле эксплуатации при ограниченных трудовых ресурсах $T_{зад}$ - $P\{T_{т.р} \leq T_{зад}\}$. ($T_{т.р}$ - случайная величина трудовых затрат на устранение отказа в оперативном цикле эксплуатации ЛА);
8. вероятность успешного выполнения непланового текущего ремонта (устранения отказа) за заданное время при ограниченных затратах на запасные части $Z_{зад}$ - $P\{Z_{т.р} \leq Z_{зад}\}$. ($Z_{т.р}$ - случайная величина расхода

запасных частей на устранение отказов в оперативном цикле эксплуатации ЛА).

К единичным относят показатели ЭТ, характеризующие отдельные свойства конструкции АД. Номенклатура их выбирается, прежде всего, с учетом конструктивно-производственных факторов: доступности, легкосъемности, взаимозаменяемости, контролепригодности, преемственности и др.

Каждое из свойств конструкции оценивается соответствующим безразмерным коэффициентом, изменяющимся от 0 до 1. Это коэффициенты доступности к объекту ТОиР K_d , взаимозаменяемости изделия или элемента конструкции K_b , легкосъемности изделия или элемента конструкции K_l , контролепригодности K_k , преемственности средств наземного обслуживания K_{pp} (подробнее о их расчете – см. работу [6]).

Совокупность показателей ЭТ представлена на рис. 2.2.

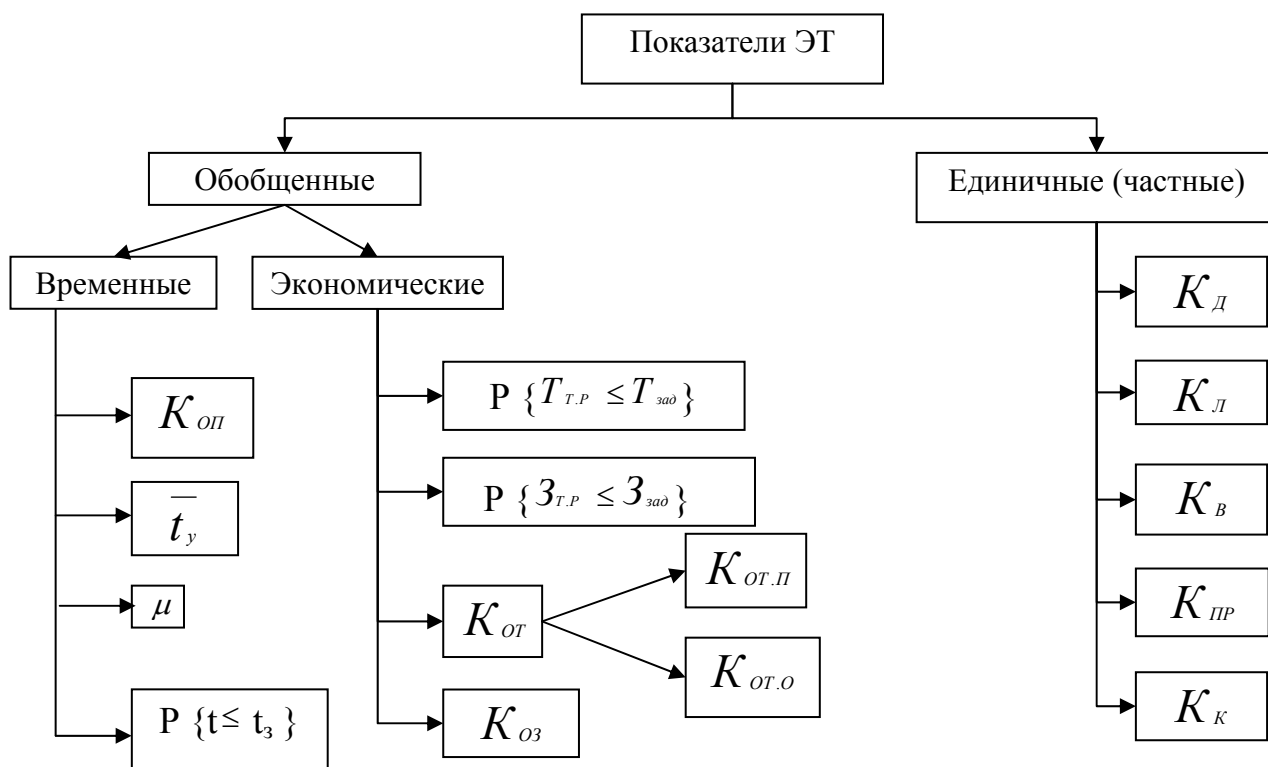


Рис. 2.2. Совокупность показателей ЭТ

Показатели ЭТ АД на этапах его испытаний и эксплуатации определяются на основе использования статистических данных по ТОиР.

К их числу относятся: действующие ресурсы АД и его изделий; формы ТОиР и периодичность их выполнения; трудоемкость отдельных форм обслуживания и продолжительность их выполнения; время, потребное на замену основных изделий и агрегатов; затраты на запасные части при ТОиР; перечень изделий, подлежащих периодическому контролю при эксплуатации с демонтажем и без демонтажа с АД; потребные контрольно-поверочная аппаратура и оборудование.

При определении обобщенных показателей ЭТ в качестве исходных данных о продолжительности и трудоемкости выполнения форм ТОиР и операций по устранению отказов принимаются значения так называемых оперативных продолжительности и трудоемкости. Это означает, что при расчетах уровня их ЭТ принимаются лишь те затраты времени и труда, которые зависят от совершенства конструкции АД и не связаны с организацией проведения ТОиР.

Оценка уровня ЭТ включает и качественный анализ конструкции и количественную оценку достигнутого уровня технологичности.

При проведении качественного анализа дается оценка приспособленности конструкции к выполнению всех операций ТОиР, предусмотренных технологией, определяется состав и вид применяемого инструмента, контрольно-поверочной аппаратуры и средств наземного обслуживания, а также оценивается полнота и качество эксплуатационно-технической документации. Оценка конструктивных решений при качественном анализе АД осуществляется их сравнением с конструктивными решениями, достигнутыми на лучших образцах АД подобного класса.

Данные для количественной оценки уровня технологичности некоторых двигателей приведены в табл. П.1-П.4 и рис. П. 1.

Напомним требования [6] (табл. 2.1) и покажем на примере ряда конструкций (рис. 2.3-2.9) их выполнение.

Таблица 2.1

Некоторые способы обеспечения ЭТ

Требование к ЭТ	Способ обеспечения требования
1	2
Обеспечение доступности	Осмотр или замена одного из агрегатов не должны требовать предварительного демонтажа других, рядом расположенных агрегатов
	Расстояние между агрегатами, разъемными соединениями, съемными узлами и деталями должно быть достаточным для работы необходимым инструментом при монтаже/демонтаже
	Доступ к местам обслуживания должен быть непосредственным либо обеспечиваться вскрытием легко съемных лючков, крышек, створок, панелей и т.п., оборудованных фиксируемыми в закрытом положении замками. Вскрытие лючков, крышек и т.п. должно производиться унифицированным ключом. Люки в обшивке двигателя следует размещать строго против мест установки соответствующих узлов, агрегатов, деталей и их соединений, требующих контроля при эксплуатации.
	Капоты двигателя должны выполняться легко открываемыми и в открытом положении обеспечивать свободный доступ ко всем агрегатам, узлам. Особое внимание следует уделять обеспечению доступности к разъемам в местах, где ответные узлы (по конструктивному выполнению) после снятия двигателя остаются на летательном аппарате, а также к узлам крепления двигателя к летательному аппарату.

1	2
	Тросы управления двигателями, а также места их присоединения и направляющие должны без ограничения просматриваться после выполнения нетрудоёмких дополнительных работ, таких, как открытие люка, демонтаж элементов внутреннего оборудования.
Обеспечение лёгкости	Число точек крепления агрегатов, изделий, блоков и деталей, подлежащих съёму при техническом обслуживании, должно быть минимальным. Должны применяться быстроразъёмные способы крепления изделий и соединения. Соединения, подлежащие разборке и сборке в процессе эксплуатации при ремонте, конструктивно должны выполняться таким образом, чтобы исключалась всякая возможность их неправильного монтажа.
	Замена двигателя или его модуля на летательном аппарате должна выполняться с минимальной продолжительностью и трудоёмкостью. В плоскостях разъёма двигателя на модуле должны быть обеспечены удобные разъёмы всех коммуникаций. Соединения коммуникаций двигателя (тяг, тросов, трубопроводов, шлангов, электропроводки и пр.), выхлопной системы и узлов крепления двигателя к летательному аппарату должны быть быстроразъёмными и иметь маркировку. Соединения топливной, масляной, гидравлической систем силовой установки следует выполнять «бездюритными».
ности	Топливные и масляные фильтры силовой установки нужно располагать в доступных местах, позволяющих исполнителю производить работу двумя руками. Должно быть обеспечено быстрое и удобное снятие крышек топливных и масляных фильтров. Замена гидронасосов и насосных станций должна производиться без перемонтажа деталей со снимаемого агрегата на вновь устанавливаемый. Демонтаж агрегатов гидравлической системы должен выполняться без слива рабочей жидкости. При снятии гидрофильтров и других агрегатов системы утечки рабочей жидкости должны исключаться.
Обеспечение взаимозаменяемости	В конструкции двигателей должны быть в максимальной степени реализованы требования действующих норм и стандартов по проектированию и производству агрегатов, изделий, освоенных промышленностью и зарекомендовавших себя в эксплуатации. Для исключения или сокращения подгоночных и регулировочных операций при монтаже изделий должны выбираться соответствующие допуски и присоединительные размеры. Должна обеспечиваться полная взаимозаменяемость агрегатов, а также максимальная возможность применения готовых изделий. Число типов крепежных деталей должно быть ограничено.
	Двигатели летательных аппаратов конкретного типа должны быть взаимозаменяемы.
	Модули, капоты, узлы крепления двигателя, конструкции разъемов коммуникаций должны изготавливаться с высокой степенью взаимозаменяемости. Необходимость нивелирования после установки предварительно смонтированного двигателя (модуля) должна быть по возможности исключена. Должна быть обеспечена точная увязка (унификация) оснастки для сборки двигателя на заводе со сборочной оснасткой при замене модулей.
	Силовая установка должна быть сконструирована таким образом, чтобы были возможны различные варианты съёма двигателя, его модулей и агрегатов. Предварительные работы, выполняемые на силовой установке непосредственно перед снятием двигателя (модуля) с летательного аппарата, и заключительные работы, выполняемые после установки двигателя (модуля) на летательный аппарат, а также регулировочные работы на вновь установленном двигателе (модуле) должны быть сведены до минимума. При замене двигателей (модулей) необходимость в перемонтаже со снятого двигателя (модуля) агрегатов и деталей на вновь устанавливаемый должна быть исключена.

1	2
	Лопатки двигателя должны обладать максимальной взаимозаменяемостью и исключать дополнительную балансировку роторов при их замене. Корпус компрессора низкого давления должен иметь дополнительный разъем для обеспечения замены лопаток без замены всего модуля.
Обеспечение контролепригодности	Для осмотра элементов, расположенных в замкнутых пространствах или полостях, имеющих сложную конфигурацию, предусматриваются специальные смотровые лючки. Смотровые лючки на двигателе должны совпадать с соответствующими лючками на обшивке гондолы двигателя. Для осмотра труднодоступных зон конструкции двигателя предусматривается возможность использования зеркала или эндоскопа.
	Для визуального обнаружения микротрещин и повреждений на элементах конструкции должна быть предусмотрена возможность осмотра объектов с помощью лупы с встроенным или внешним источником освещения. Должна быть конструктивно обеспечена возможность освещения затемненных элементов горячих частей двигателя.
	Разработка систем сбора и автоматизированной обработки информации об изменении технического состояния газотурбинного двигателя.

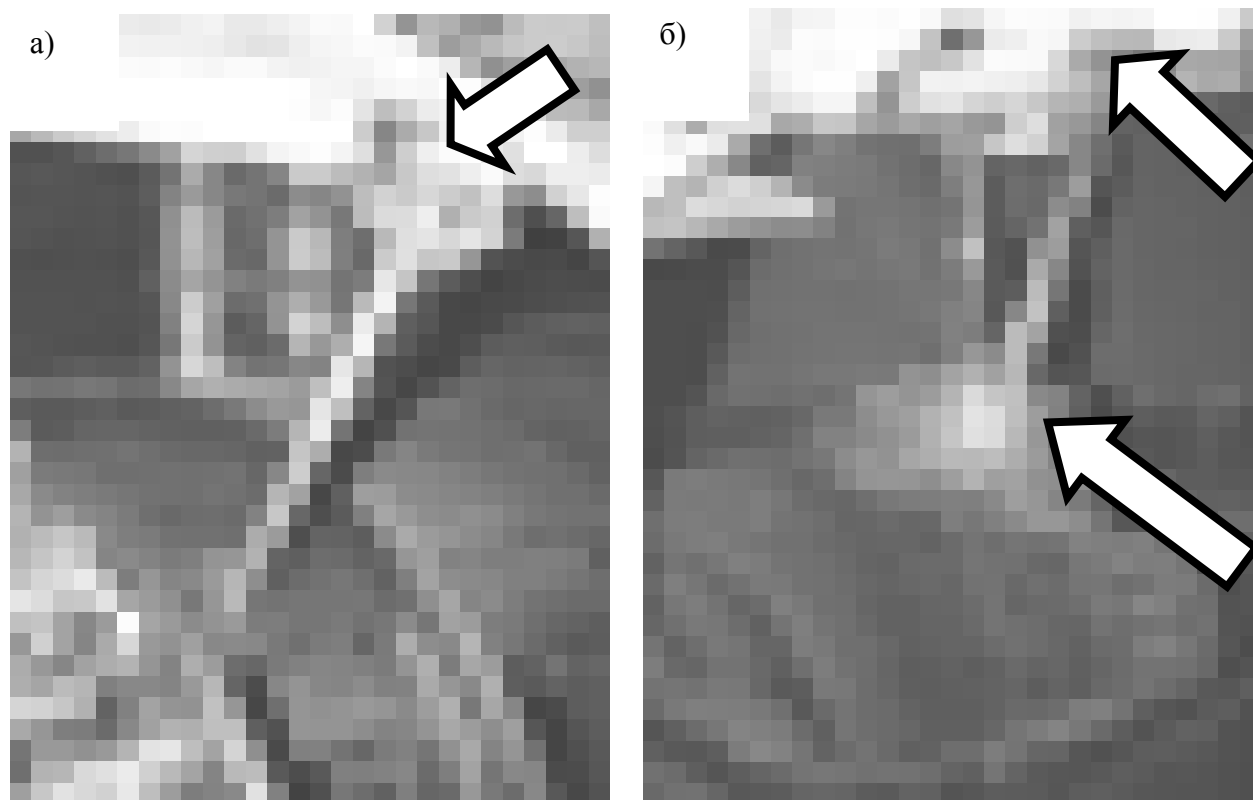


Рис. 2.3. Крепление:
*а - запальных свечей на ТРДД типа Д-30КУ(КП),
б - воспламенителя на ТРДД типа НК-8-2У*



Рис. 2.4. Примеры смотровых лючков и заглушек, расположенных на наружной (рис. с индексом "1") и внутренней (рис. с индексом "2") оболочках двигателя НК-86 (для осмотра рабочих лопаток): а,г-КВД; в-КНД, КНД и КВД; д-турбин [5]



*Рис. 2.5. Примеры смотровых окон и заглушек двигателя Д-36
(для осмотра рабочих лопаток):
а-турбины вентилятора; б,в,г,е -КНД; д-КВД [5]*

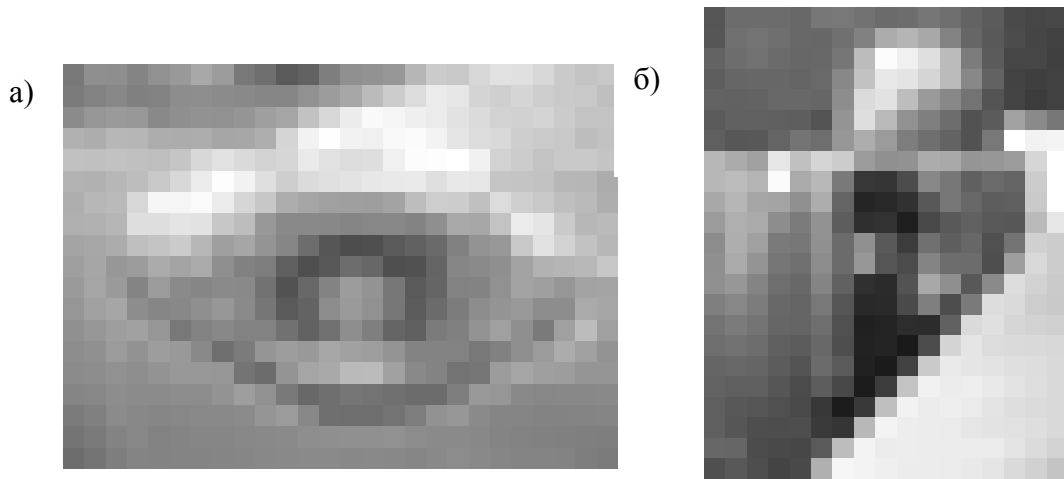


Рис. 2.6. Смотровые окна и заглушки на ТРДД типа Д-36

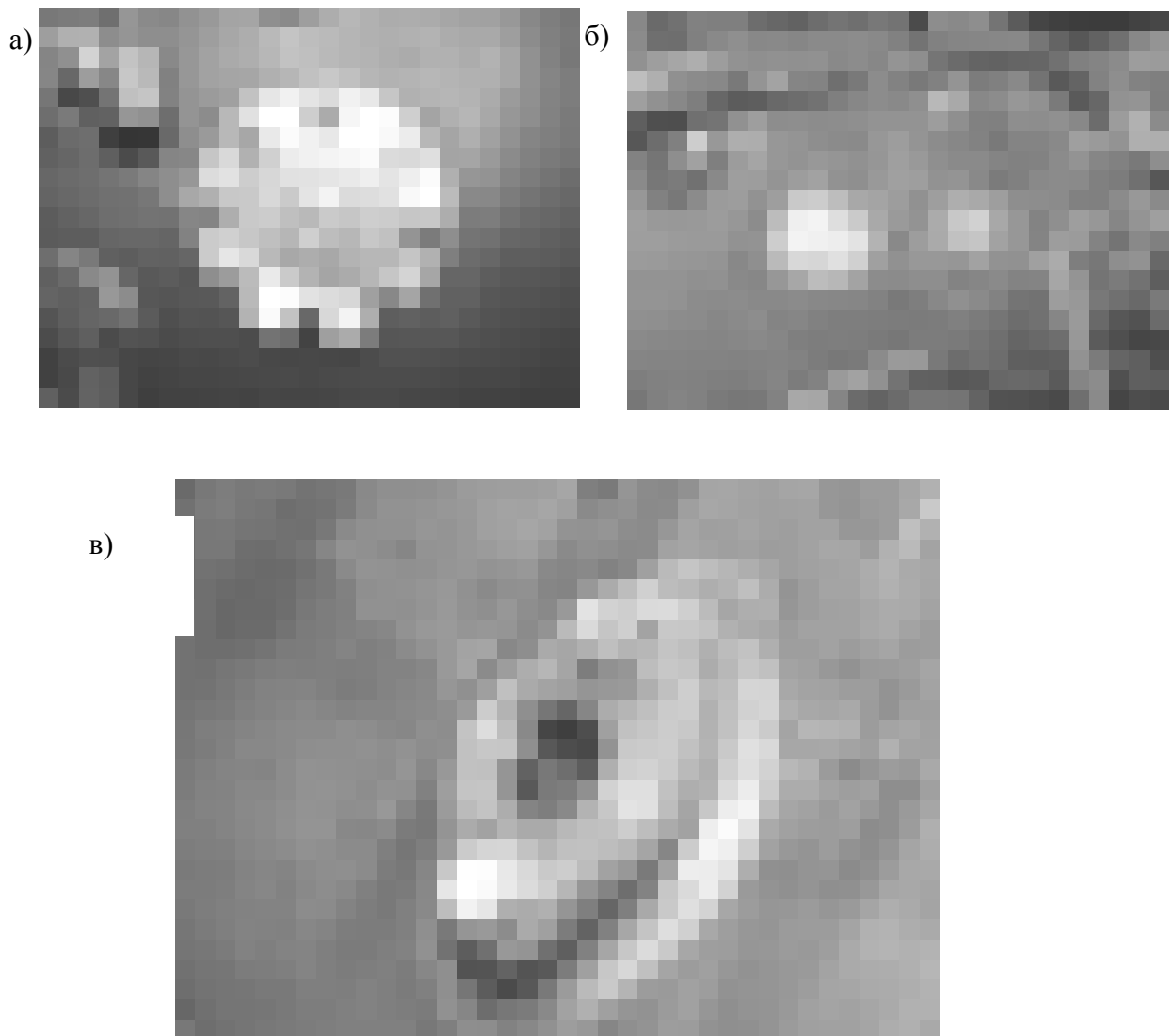


Рис. 2.7. Смотровые окна и заглушки на ТРДД типа НК-86



*Рис. 2.8. К осмотру лопаток турбины двигателя НК-8-2У
(а-демонтаж внутренней заглушки; б-осмотр эндоскопом) [5]*

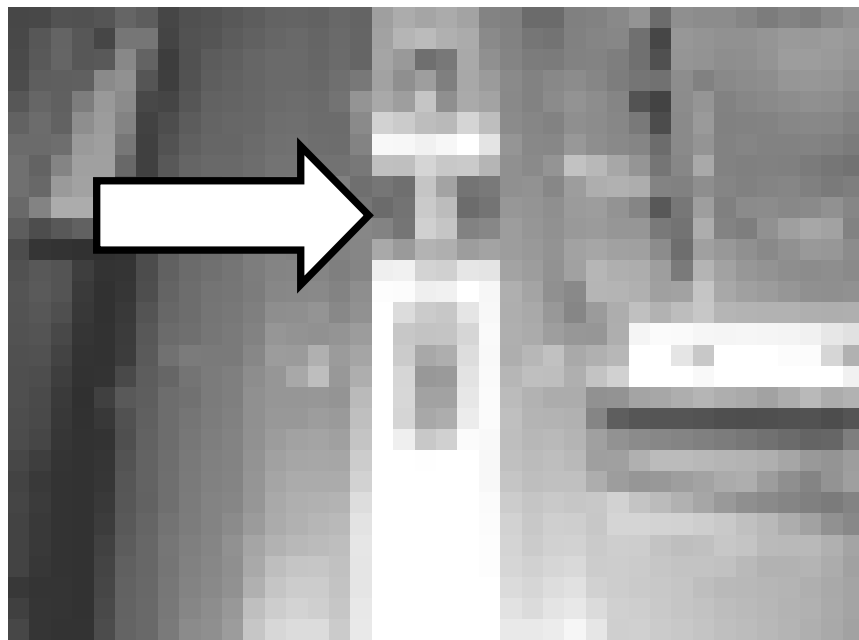


Рис. 2.9. Крепление масляного бака на ТРДД типа Д-30КУ(КП)

2.2. Сравнение эксплуатационной технологичности отечественных двигателей третьего и четвертого поколений

Анализ ЭТ авиадвигателей предполагает анализ ЭТ конструкции АД и агрегатов АД.

В качестве двигателей третьего поколения далее рассматриваются, в основном, двигатели типа НК-8-2У и Д-30КУ(КП), четвертого поколения-ПС-90А.

2.2.1. Анализ ЭТ АД третьего поколения

Так как подавляющее большинство отказов и неисправностей элементов конструкции АД в ЭАП приводят к его досрочному снятию с летательного аппарата, то анализ уровня ЭТ в большей степени сводится к определению контролепригодности элементов конструкции газотурбинного двигателя (ГТД). Исключение для рассматриваемого типа АД составляет такой элемент проточной части ГТД, как камера сгорания (КС). Дело в том, что на двигателях типа Д-30КУ(КП) установлена КС трубчато-кольцевого типа. Необходимо заметить, что достоинством этого типа КС является ее приспособленность к замене в условиях ЭАП. Учитывая это обстоятельство, можно говорить о том, что КС на рассматриваемом типе АД имеет более высокий уровень технологичности по сравнению с КС других типов АД. Достаточно высокая ЭТ заключается в большей доступности и легкоосъемности отдельных элементов этого типа КС - жаровых труб.

Что же касается остальных элементов конструкции АД, то можно с полной уверенностью говорить и их достаточно невысокой ЭТ. Элементы прочной части АД (входной направляющий аппарат, вентилятор, компрессор, КС, турбина высокого (ТВД) и низкого (ТНД) давлений) требуют периодического проведения смотровых работ. Этой задаче служат смотровые окна (лючки) на корпусе АД. К недостаткам АД типа Д-30КУ(КП) относятся:

1. малое количество смотровых окон (вентилятор-3 окна, компрессор-2 окна, КС-2 окна, турбина - нет);
2. достаточно высокая трудоемкость проведения дополнительных работ (демонтаж/монтаж заглушек смотровых окон).

Лопатки ВНА затегают рабочее колесо первой ступени вентилятора, что повышает вероятность пропуска дефекта на рабочих лопатках колеса. Невозможна быстрая замена рабочего колеса в эксплуатации (для сравнения - рис. 2.10, хотя двигатель Д-36 - также двигатель третьего поколения).



Рис.2.10. К демонтажу рабочего колеса вентилятора двигателя Д-36 [5]

(на рис. 2.10: 1-гайка, 2-шайба контрольная, 3-колесо вентилятора, 4-вал вентилятора, 5-корпус вентилятора, 6-приспособление для подвески колеса вентилятора, 7-приспособление для выпрессовки колеса вентилятора)

В эксплуатации необходимо следить за техническим состоянием опор роторов ГТД. Для этой цели на АД типа Д-30КУ(КП) служат вибропреобразователи, которые отображают общую величину вибрации АД (они установлены на двух силовых поясах ГТД). Однако, их малое количество (2 шт.) не является достаточным для получения полной информации о техническом состоянии каждой из опор ГТД, что повышало бы адресность дефекта и снижало затраты времени и труда на его поиски.

На АД типа Д-30КУ(КП) установлен межвальный подшипник, в процессе эксплуатации которого наземному техническому персоналу приходится постоянно проверять уровень его биения с помощью виброакустического метода. При наличии превышения заданного уровня биения назначают этапы проверки с возрастающей частотой. Необходимо отметить, что сам процесс

проверки величины биения является, как упоминалось, довольно сложным и трудоемким.

Положительным примером технического решения в конструкции АД, способствующего повышению ЭТ является тот факт, что штифты, фиксирующие рабочие лопатки от продольного перемещения, контрятся единым кольцом. Это значительно упрощает процесс замены рабочего колеса, повышая, таким образом, его легкоъемность (рис. 2.11).

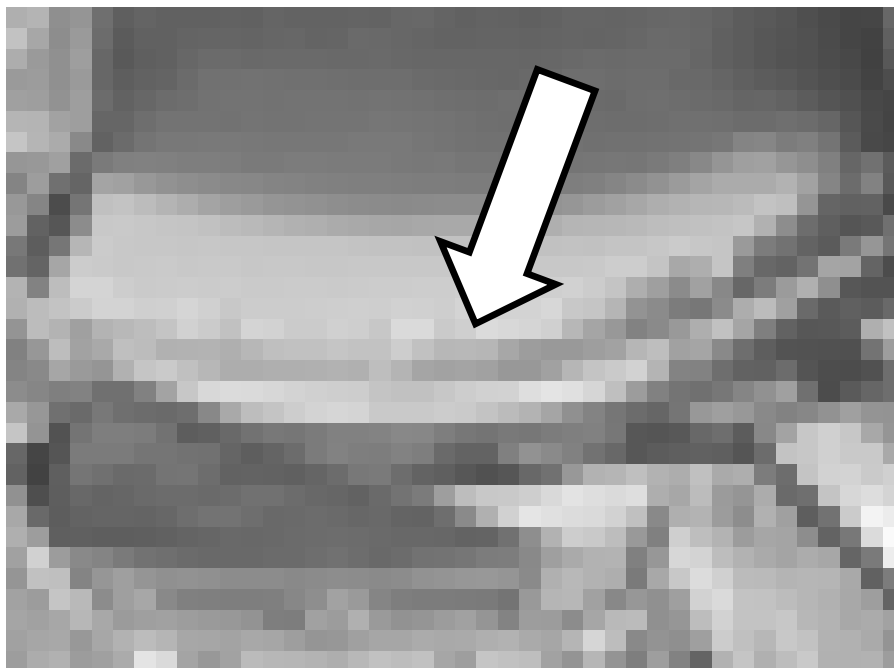


Рис. 2.11. Контрление штифтов фиксации рабочих лопаток первой ступени КВД Д-30КУ(КП)

Места установки маршевых двигателей и ВСУ на воздушном судне также оказывают принципиальное влияние на технологичность конструкции. Так, например для самолетов типа ТУ-154М, осмотр и работы по ТОиР ВСУ - двигателя типа ТА-6А осуществляется при помощи небольших, легких в перемещении стремянок, либо с земли. В тоже время, для прочих модификаций указанного самолета, работы по техническому обслуживанию и ремонту указанного двигателя возможны только при использовании специализированных стремянок, либо с помощью специальной машины.

Расположение маршевых двигателей на пилонах под крылом значительно упрощает проведение работ на них. Расположение двигателей в хвостовой части фюзеляжа может приводить к увеличению времени ТоиР, особенно в зимнее время. Так, например, после посадки самолета, согласно Регламенту технического обслуживания, необходимо осмотреть лопатки ВНА и первых ступеней компрессоров двигателей. На самолетах типа ТУ-154 эти работы осуществляются только с высоких стремянок.

Следующий пример - кран отбора воздуха 5377 от двигателя Д-30КУ-154 в верхней части отсека двигателя (рис. 2.12).

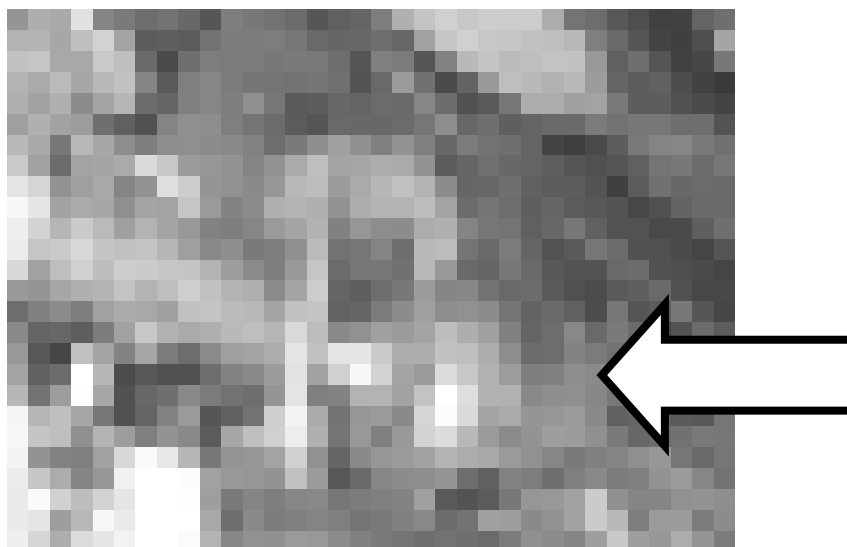


Рис. 2.12. Кран отбора воздуха 5377 от двигателя Д-30КУ-154(вторая СУ)

Агрегат состоит из частей, вероятность отказов которых неравнозначна (по статистике, элементам управления заслонок, кранов свойственны высокие значения потока отказов). Выход из строя одной из составляющих требует замены всего крана.

Крепление данного агрегата осуществляется с помощью двух хомутов. Демонтаж данных устройств крепления не составляет труда вследствие удобного расположения стягивающих винтов и гаек. Однако установка крана в разрез трубопровода осуществляется настолько плотно, что приходится сталкиваться с трудностями монтажа. Применение значительных усилий при демонтаже агрегата может привести к разрушению участков трубопровода, соседних с краном. Поэтому, зачастую для снятия крана отбора, производится разбор близлежащего трубопровода.

Следует отметить значительный вес агрегата и слабую освещенность места его расположения, что исключает возможность проведения работ одним человеком.

На основании метода экспертных оценок с привлечением специалистов по ТЭ ЛА и АД ЭАП можно сделать вывод о том, что обвязка двигателя Д-30КУ(КП) снижает уровень ЭТ и, как следствие, увеличивает сроки пребывания ЛА на формах ТО.

Наличие агрегатов, которые имеют достаточно высокую частоту ТО, требует для его проведения больших расходов времени и труда. К таким агрегатам можно отнести:

- топливомасляный радиатор (ТМР) 4845Т (рис. 2.13-2.14);
- цилиндр направляющего аппарата ЦНА-30К (рис. 2.15);
- исполнительный механизм ИМТ-3 (рис. 2.16).

Вышеперечисленные агрегаты относятся к агрегатам топливной системы двигателя и требуют после ТО стравливания воздуха из топливных полостей.

Стравливание воздуха из агрегатов топливной системы двигателя занимает довольно много времени и является трудоемкой операцией, так как точками стравливания воздуха являются клапаны.

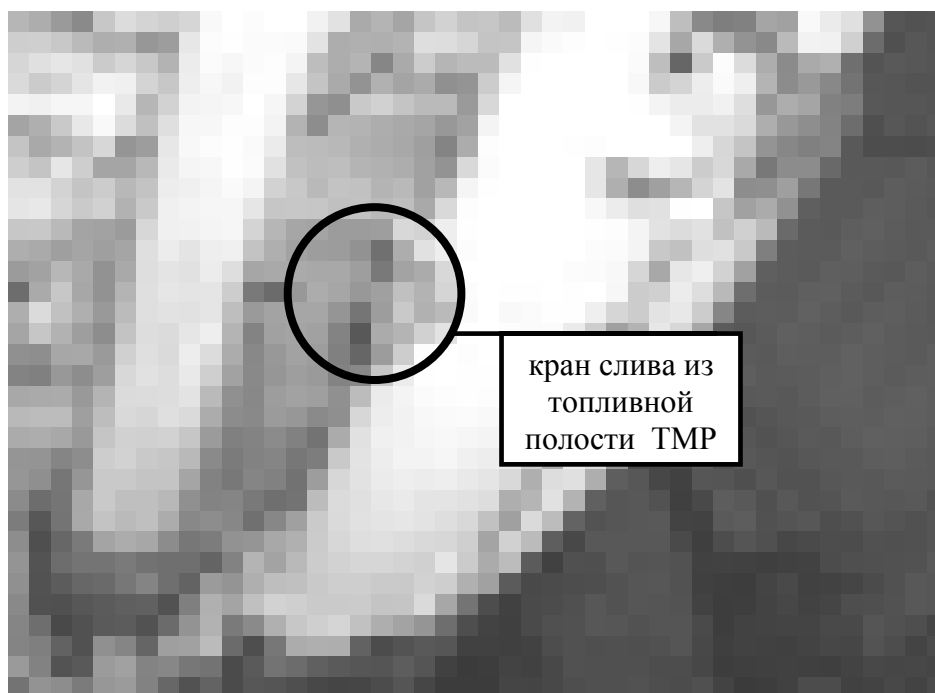


Рис. 2.13. Нижняя часть ТМР 4845Т

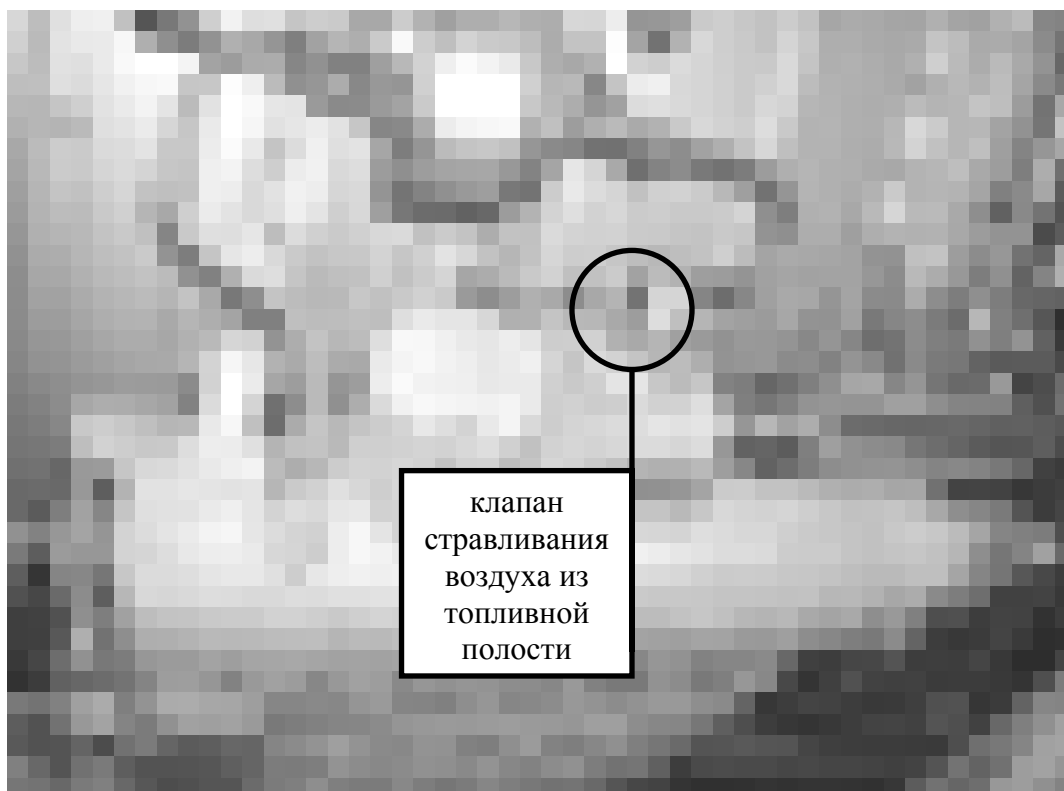


Рис. 2.14. Верхняя часть ТМР 4845Т

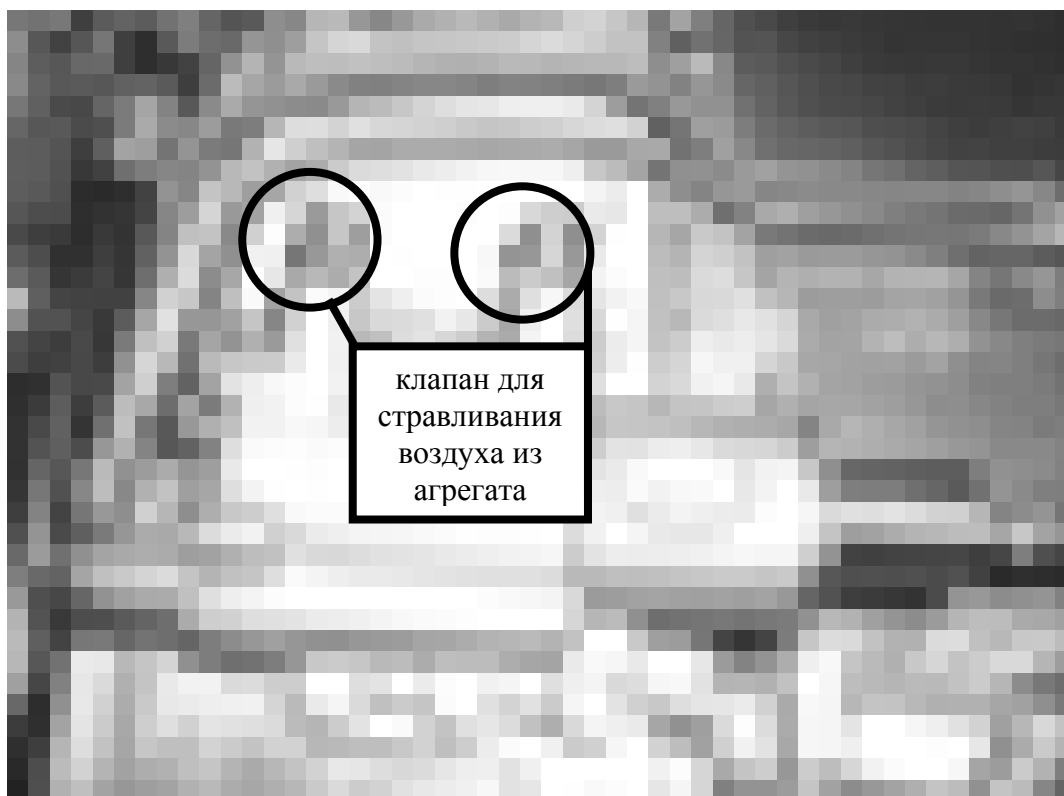


Рис. 2.15. Цилиндр направляющего аппарата ЦНА- 30К

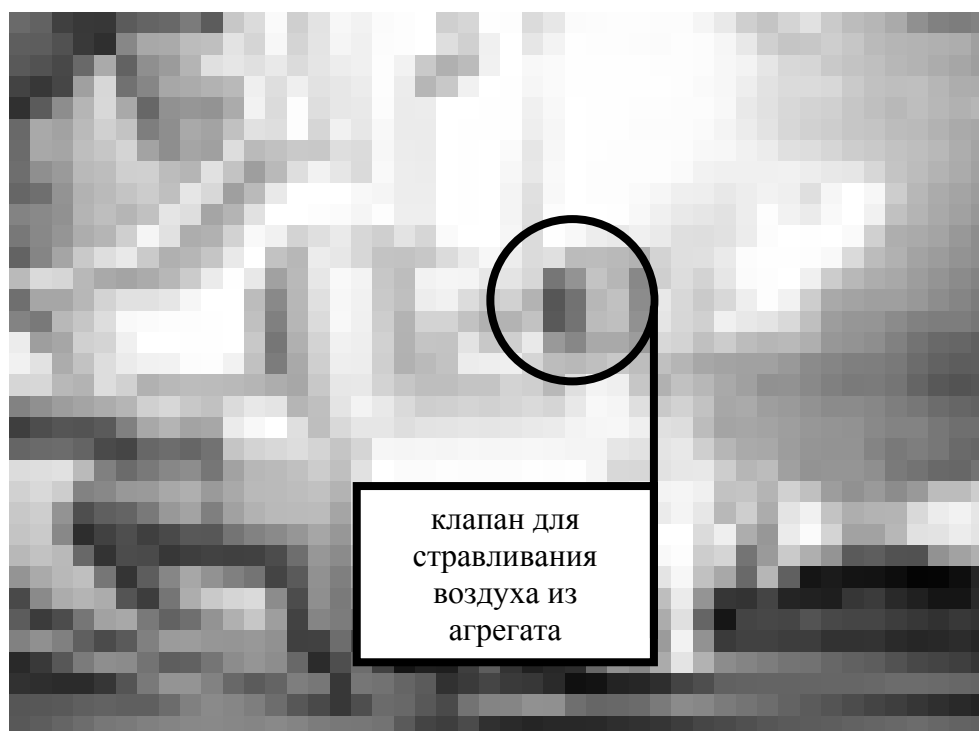


Рис. 2.16. Исполнительный механизм ИМТ- 3

Большинство агрегатов на задней (ЗКП) и передней (ПКП) коробках приводов двигателя размещены настолько плотно друг к другу, что при замене агрегата необходимо демонтировать множество элементов, не относящихся к заменяемому узлу (рис. 2.17).

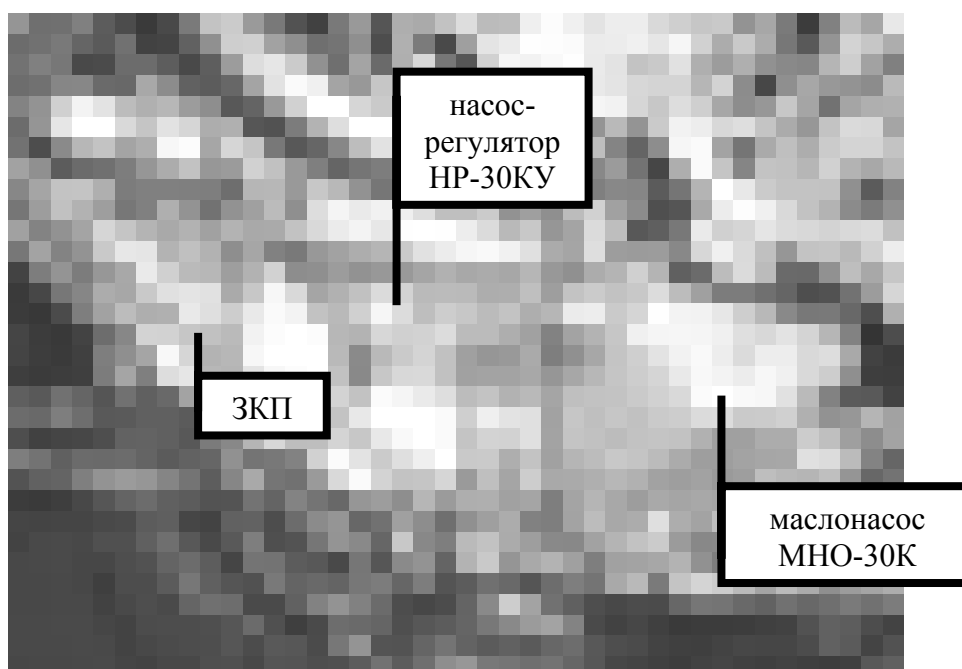


Рис. 2.17. Агрегаты задней коробки приводов

Другой трудностью является то, что даже при снятии элементов другого узла, не удастся в полной мере получить желаемый подход к заменяемому агрегату. Примером тому может служить центробежный суфлер ЦС-30К (рис. 2.18), у которого большое количество гаек на фланце расположены очень близко к наружному корпусу АД. Для их отворачивания требуется торцевая отвертка с карданным креплением головки.

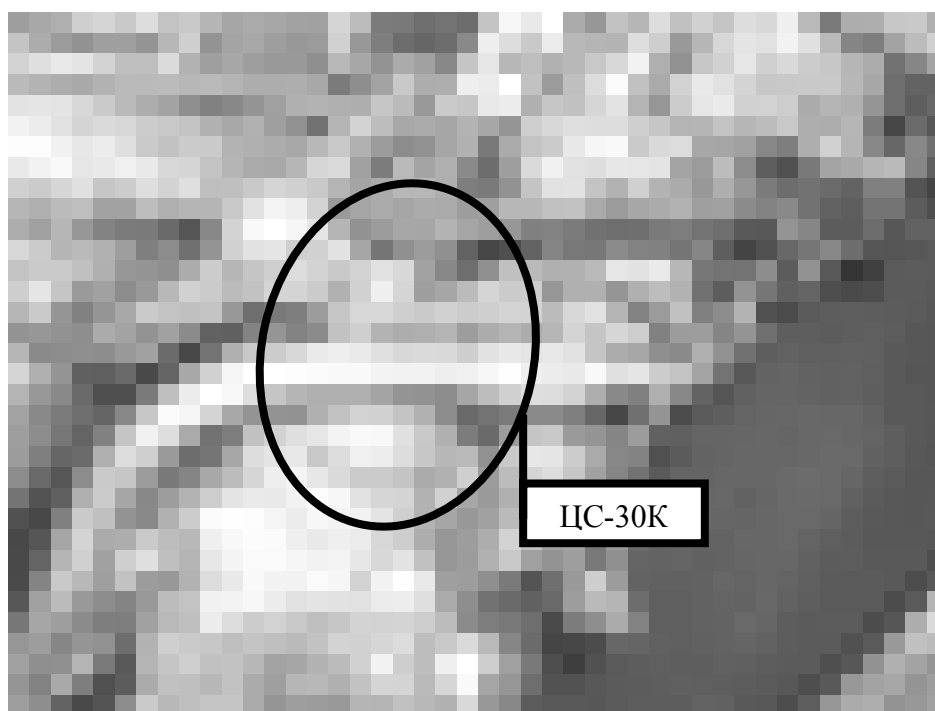


Рис. 2.18. Наружная часть центробежного суфлера ЦС-30К

Еще одна причина, усложняющая обслуживание агрегатов состоит в малых расстояниях между агрегатами и внутренней частью gondoly АД. Так, например, подход к воздушному фильтру (рис. 2.19), установленному на корпусе АД на 9 часах (взгляд по полету) на самолетах Ил-62М и Ту-154М затруднен, так как имеется подход только снизу АД. Кроме того, фильтры крепятся довольно сложно для такого труднодоступного участка.

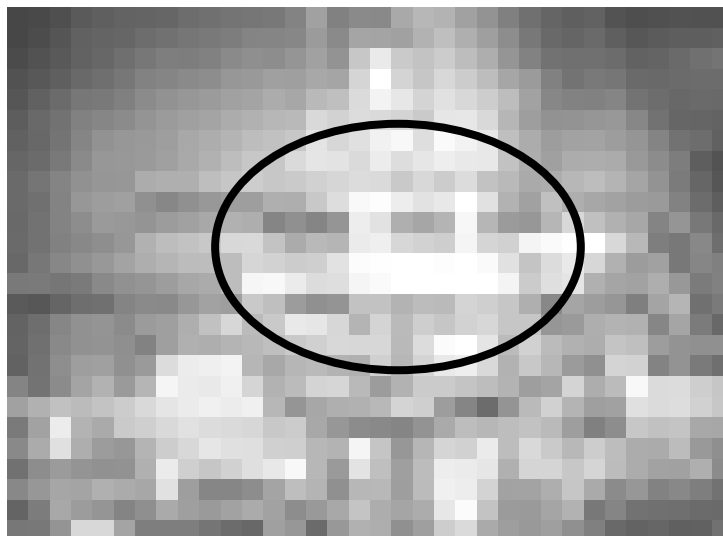


Рис. 2.19. Воздушные фильтры

Существует еще один агрегат неудобный с точки зрения эксплуатации. Этим агрегатом является воздухоотделитель с фильтром- сигнализатором ЦВС-30К (рис. 2.20).

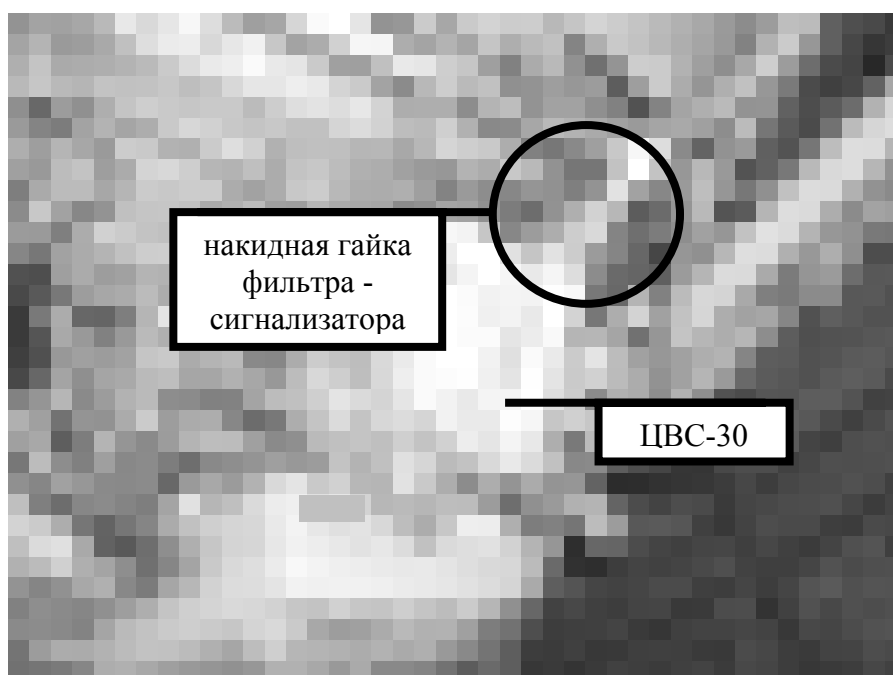


Рис. 2.20. Центробежный воздухоотделитель с фильтром-сигнализатором ЦВС - 30

Фильтр-сигнализатор со штепсельным разъемом (ШР) крепится к корпусу ЦВС-30 гайкой накладного типа. В Руководстве по техническому обслуживанию двигателей типа Д-30КУ(КП) указано, что эта гайка должна затягиваться от руки. Между тем, на ней выполнены грани под ключ довольно большого размера (порядка 40 мм). Наличие этих граней провоцирует технический персонал затянуть эту гайку ключом. И зачастую, при последующем ТО техникам приходится откручивать ее также с помощью гаечного ключа.

Серьезным недостатком рассматриваемых АД, снижающим уровень их ЭТ, является отсутствие магнитных пробок как на отдельных агрегатах двигателя, так и на коробках приводов и в магистралях откачки масла из опор роторов.

Технология определения технического состояния КС предполагает ее осмотр через два отверстия. В рабочем состоянии двигателя эти отверстия являются штатными для установки электрических свечей СП-06ВП-3, следовательно, для проведения осмотра КС свечи необходимо демонтировать. Узел крепления электрических свечей выполнен таким образом, что не позволяет говорить об удобстве выполнения вышеуказанной операции. Дело в том, что фланец свечи утоплен в корпусе АД и имеет пять болтов крепления с элементами фиксации этих болтов от самопроизвольного выворачивания (рис. 2.3, а). Таким образом, малое количество смотровых окон отрицательно сказывается на уровне контролепригодности КС, а узел крепления электрических свечей негативным образом сказывается на их легкосъемности.

У двигателей типа Д-30КУ(КП) имеется и ряд положительных качеств, связанных с удобством ТО его агрегатов, к которым можно отнести следующие:

1) гидравлический насос НП-89 (двигатели Д-30КП(КУ-154)) расположен на ЗКП сбоку (рис. 2.21), и для его демонтажа необходимо снять один хомут, отвернув всего один болт (рис. 2.22). Так же отсутствуют агрегаты и трубопроводы этому препятствующие.

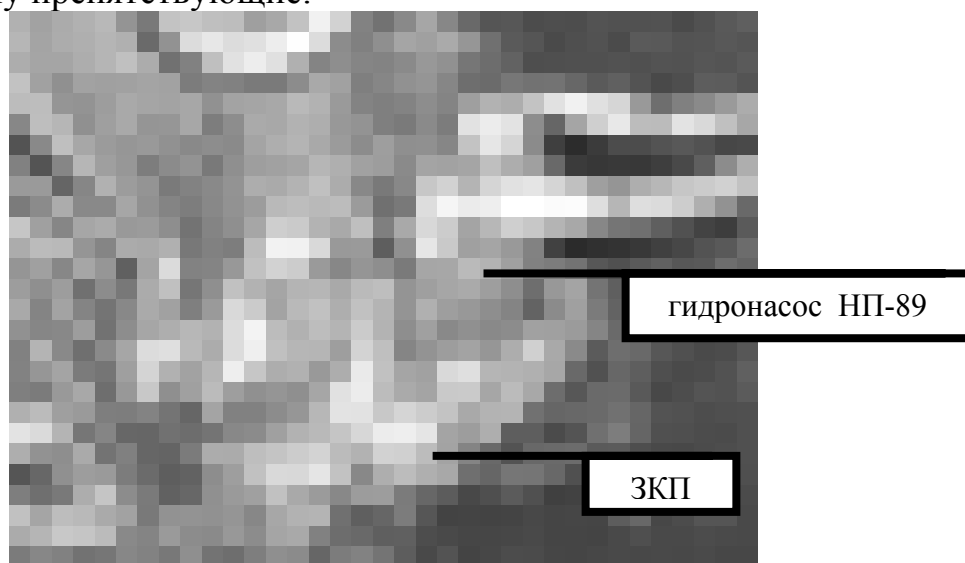


Рис. 2.21. Гидравлический насос НП- 89 на ЗКП

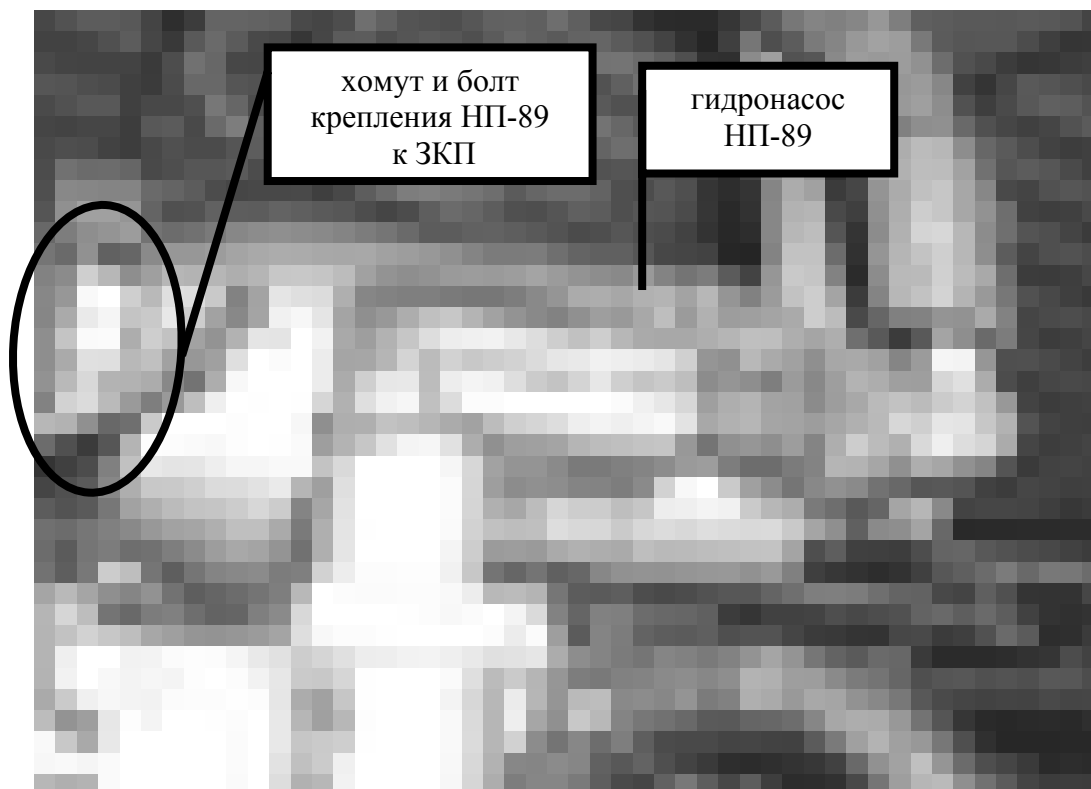


Рис. 2.22. Гидравлический насос НП-89, хомут и болт крепления

2) точка слива масла из масляной полости ТМР выполнена в виде крана, что удобно при проведении ТО (рис. 2.23).

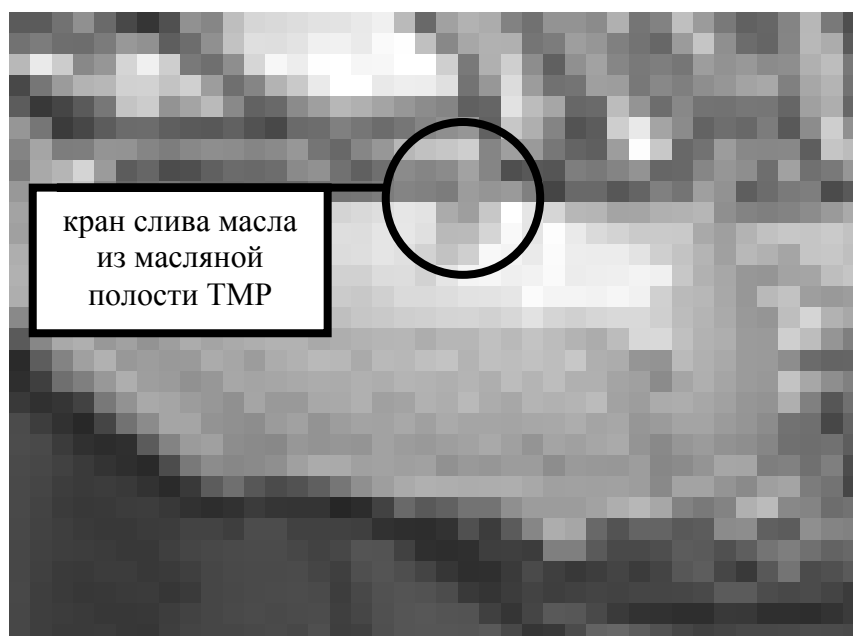


Рис. 2.23. Нижняя часть ТМР и кран слива масла из масляной полости

3) удобно расположен штуцер консервации масляной системы двигателя Д-30КУ-154 СУ2 - в нижней части АД (рис. 2.24).

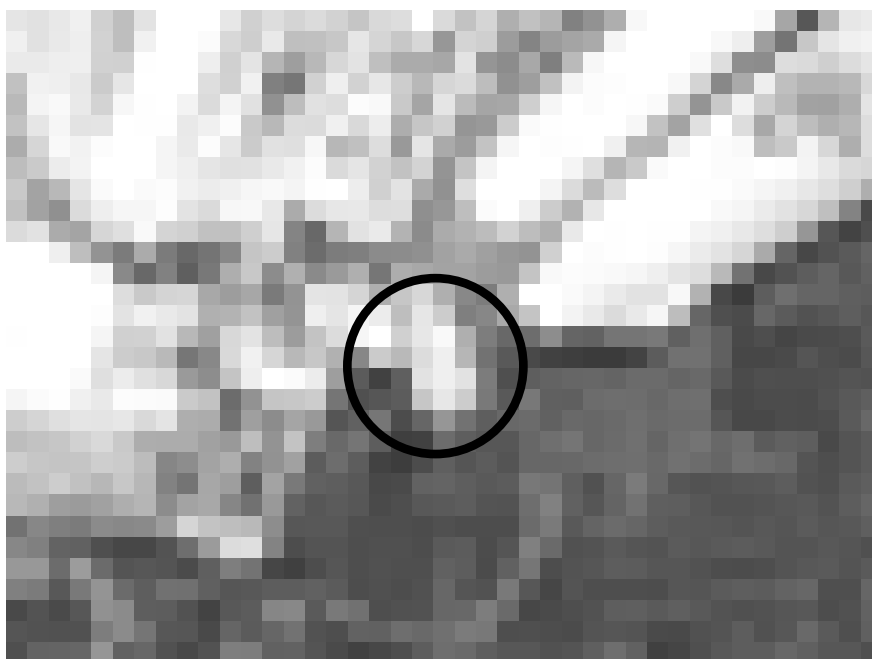


Рис. 2.24. Нижняя часть АД (рядом с передним дренажным баком) и штуцер консервации масляной системы двигателя

4) имеются хорошие подходы для проведения работ по ТО масляного насоса ОМН-30 (расположен на ПКП) и крана слива масла из ПКП (рис. 2.25).

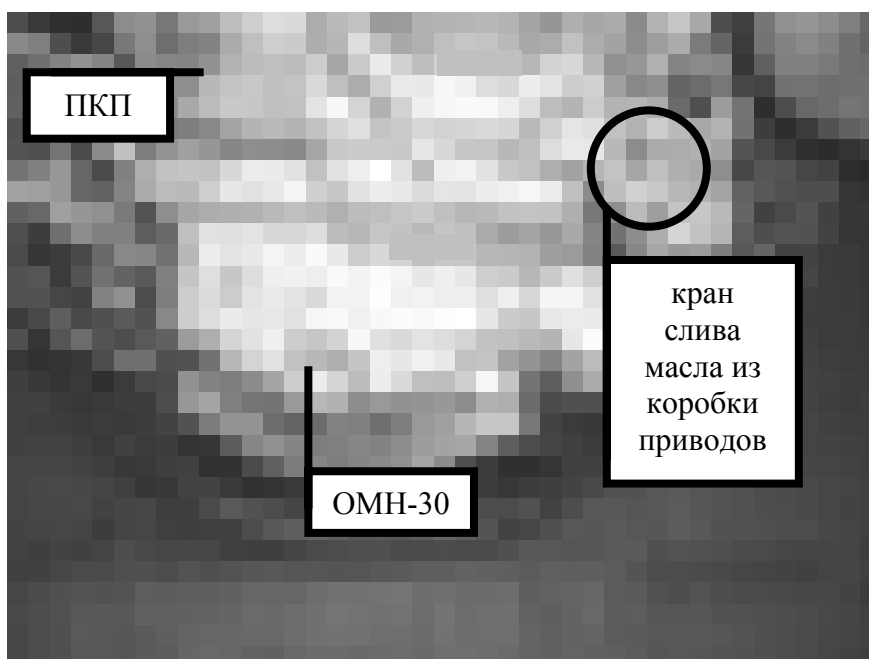


Рис. 2.25. Передняя коробка приводов, ОМН-30 и кран слива масла из коробки приводов

2.2.2. Анализ ЭТ двигателя ПС-90А

Двигатель ПС-90А сохранил ряд технических решений, реализованных на двигателях типа Д-30КУ(КП). К таким решениям, в частности, относится использование трубчато-кольцевой камеры сгорания (КС). Особенностью же

КС на двигателе ПС-90А является наличие кольцевого газосборника. Конечно, его использование в какой-то степени сглаживает неоднородности полей давлений и температур на входе в первую ступень ТВД, но газодинамические характеристики такой КС изначально уступают аналогичным характеристикам кольцевой КС. Одним из последствий использования данного типа КС может считаться довольно частое появление трещин по задней кромке рабочих лопаток ТВД.

Другим примером преимущества технических решений является сохранение в силовой схеме АД ПС-90 модификации “А” межвального подшипника. Следует отметить стремление ОКБ отказаться от использования межвального подшипника, о чем свидетельствует отсутствие данного элемента конструкции на разрабатываемом прототипе модификации “А2”.

Улучшена контролепригодность элементов проточной части АД. Для этой цели на двигателе ПС-90А существенно увеличено количество смотровых лючков (на вентиляторе - 2, на компрессоре - 11, на КС - 12, на ТВД - 2, на ТНД - 4). Недостатком является тот факт, что для проведения осмотра элементов проточной части техническому персоналу необходимо открыть множество панелей газогенератора и снять большое количество заглушек, отличающихся высокой трудоемкостью демонтажа за счет неудобства подхода к ним. Все это осложняется еще и тем, что все вышеуказанные работы необходимо произвести, находясь в наружном контуре ТРДД.

По сравнению с Д-30КУ(КП), на двигателе ПС-90А удобнее проводить контроль технического состояния элементов проточной части. Хотя порядок значений допусков на повреждения рабочих лопаток вентилятора существенно не изменился, отсутствие ВНА значительно упрощает процесс осмотра рабочих лопаток первой ступени вентилятора.

Кроме того, отсутствие на АД ПС-90А ВНА позволяет увидеть и более мелкие повреждения рабочих лопаток первой ступени вентилятора.

Еще одной особенностью, положительно сказывающейся в процессе эксплуатации ТРДД ПС-90А, является модульность конструкции. Это позволяет производить замены рабочих лопаток вентилятора на рабочем колесе и рабочего колеса на АД без снятия АД с воздушного судна.

Установка на блок маслососов БМФ-94 (далее-БМФ) с маслофильтром-сигнализатором МФС-94 трех контрольных элементов:

магнитной пробки (МП) БМФ в магистрали откачки масла от роликоподшипника ТНД (МП ТНД);

магнитной пробки БМФ в магистрали откачки масла от роликоподшипника ТВД (МП ТВД);

магнитной пробки БМФ в магистрали откачки масла от шарикоподшипника КВД (МП КВД)

способствовала получению более полной информации о техническом состоянии опор ГТД и, соответственно, повышению адресности дефекта.

На магнитные пробки БМФ в магистралях откачки масла от роликоподшипника ТВД и шарикоподшипника КВД на модифицированном двигателе были установлены магнитные сигнализаторы стружки МСС БМФ,

которые выдают сообщение “стружка в масле” на сигнальные табло в кабине экипажа.

Агрегат БМФ-94 (рис. 2.26) установлен на передней части коробки приводов (КП) справа по полету (рис. 2.27).

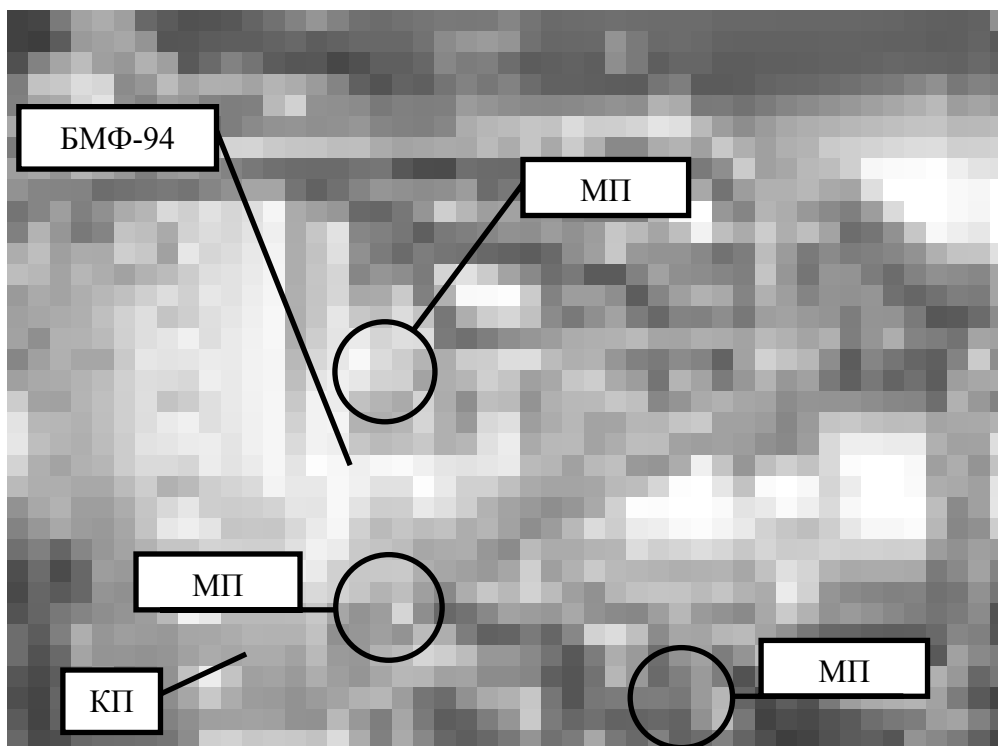


Рис. 2.26. Агрегат БМФ-94 (видны три контрольных элемента)

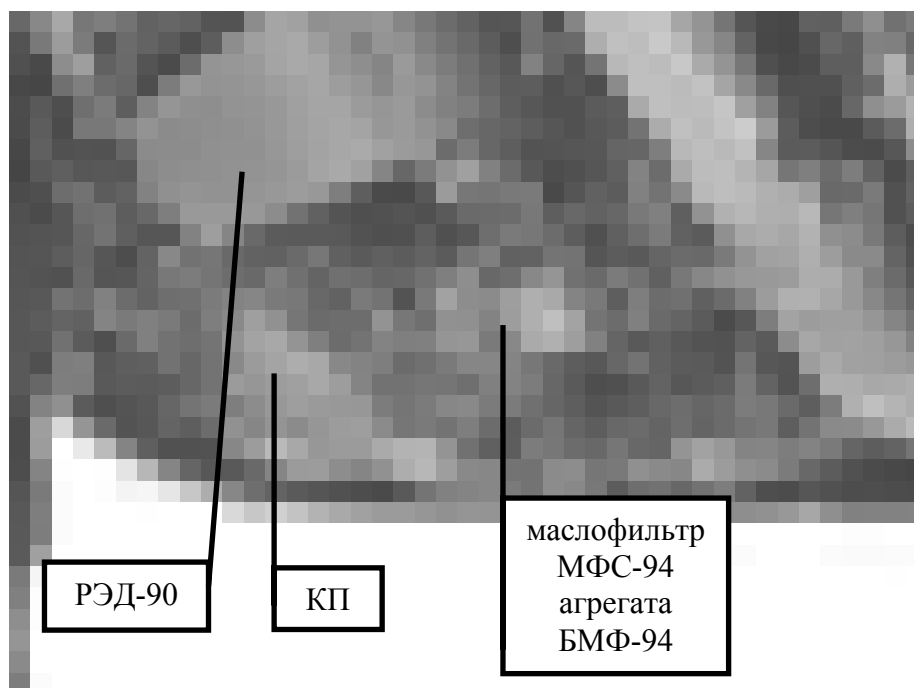


Рис. 2.27. Коробка приводов. Вид спереди справа (виден БМФ-94 с МФС-94)

На двигателе ПС-90А установлена одна коробка приводов, на которой размещены большинство агрегатов. Это негативно отразилось на обвязке двигателя: она стала существенно плотнее по сравнению с, и без того плотной, обвязкой двигателя Д-30КУ(КП) - рис. 2.28-2.29.

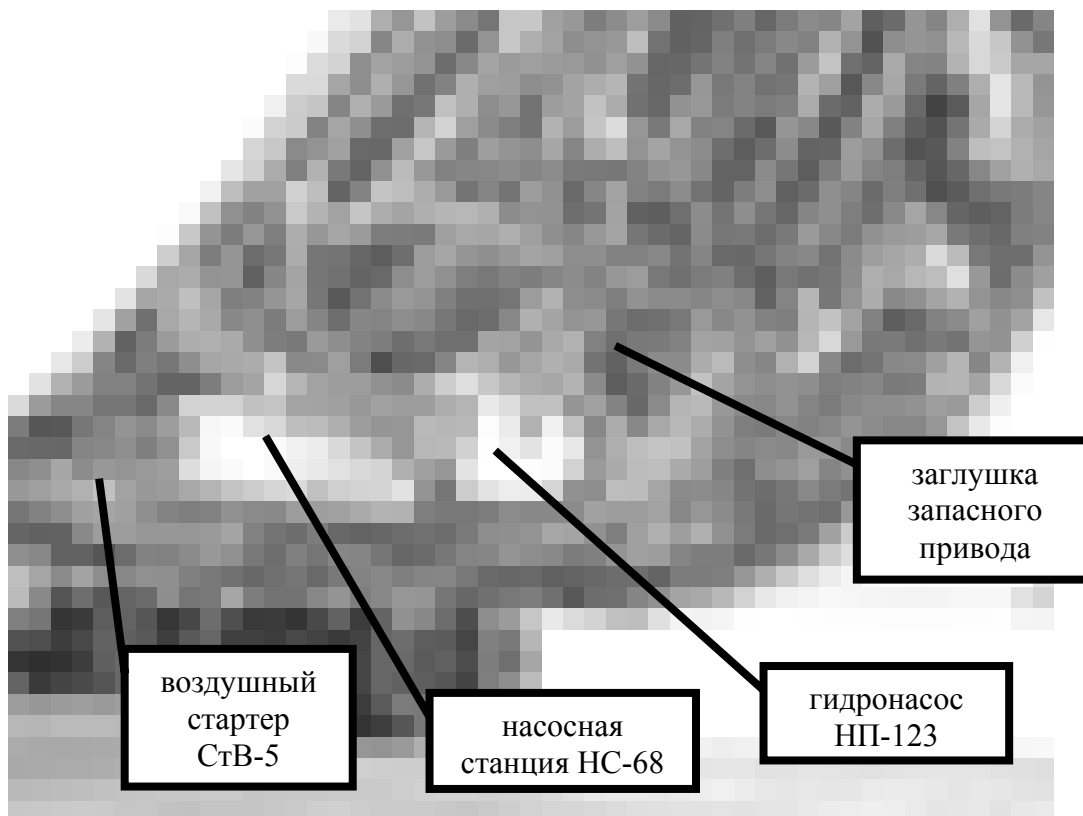


Рис. 2.28. Коробка приводов (вид спереди слева)

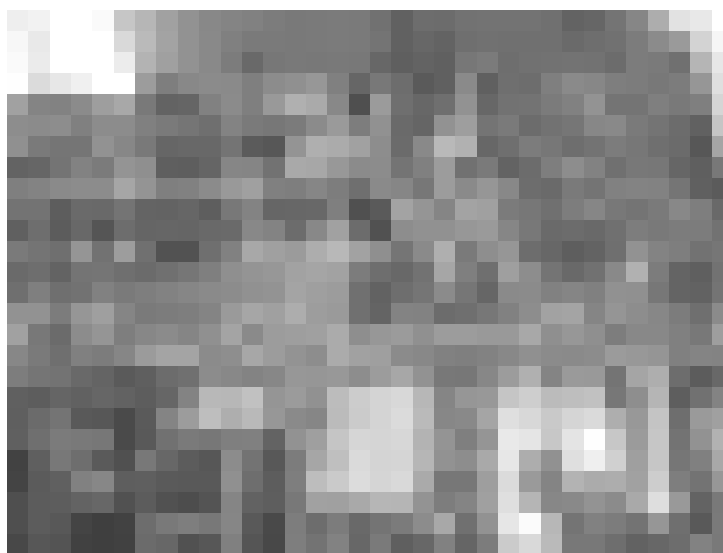


Рис. 2.29. Обвязка двигателя (вид слева)

Не стала проще, по сравнению с Д-30КУ(КП), и технология стравливания воздуха из топливных полостей агрегатов топливопитания и регулирования после их замены.

Технология замены основного топливного фильтра (ОТФ) (рис. 2.30) не относится к категории сложных, однако некоторые ее этапы (слив топлива и стравливание воздуха из фильтра) не столь совершенны для удобного проведения ТО. Достаточно удобными с точки зрения расположения на двигателе являются такие узлы ОТФ, как болт крепления хомута с контрольными шайбами и заглушка стакана фильтра.

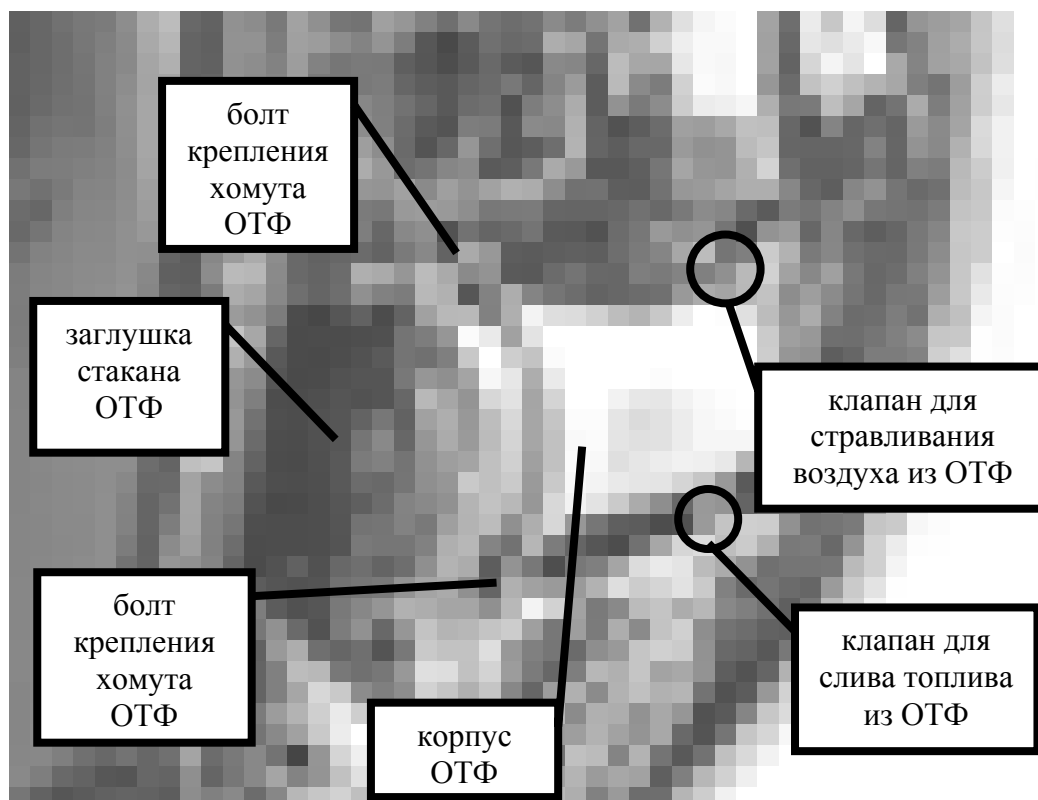


Рис. 2.30. Основной топливный фильтр (ОТФ)

Сложности могут возникать и при стравливании воздуха из топливной полости насоса-регулятора НР-90 (рис. 2.31). Клапан для стравливания воздуха из агрегата находится в труднодоступном месте, что затрудняет его расконтривание, откручивание ключом и установку на его место крана для стравливания воздуха. Сложность состоит еще и в том, что сам клапан установлен в нижней точке двигателя, и техническому персоналу приходится работать в неудобном положении.

Блок центробежных агрегатов маслосистемы БЦА-94 с фильтром-сигнализатором стружки ФСС (рис. 2.32) имеет относительно высокую частоту этапов технического обслуживания. Основной задачей проведения этих этапов является замена фильтра-сигнализатора стружки ФСС. Сам фильтр устанавливается в корпус БЦА-94 в колпачке, который прижимается воротком и траверсой, а траверса, в свою очередь, фиксируется от перемещений пазами, имеющимися в переходнике. Повышенная трудоемкость процесса замены ФСС заключается в том, что контрить между собой переходник, траверсу и вороток крайне неудобно из-за сложности подхода к ним.

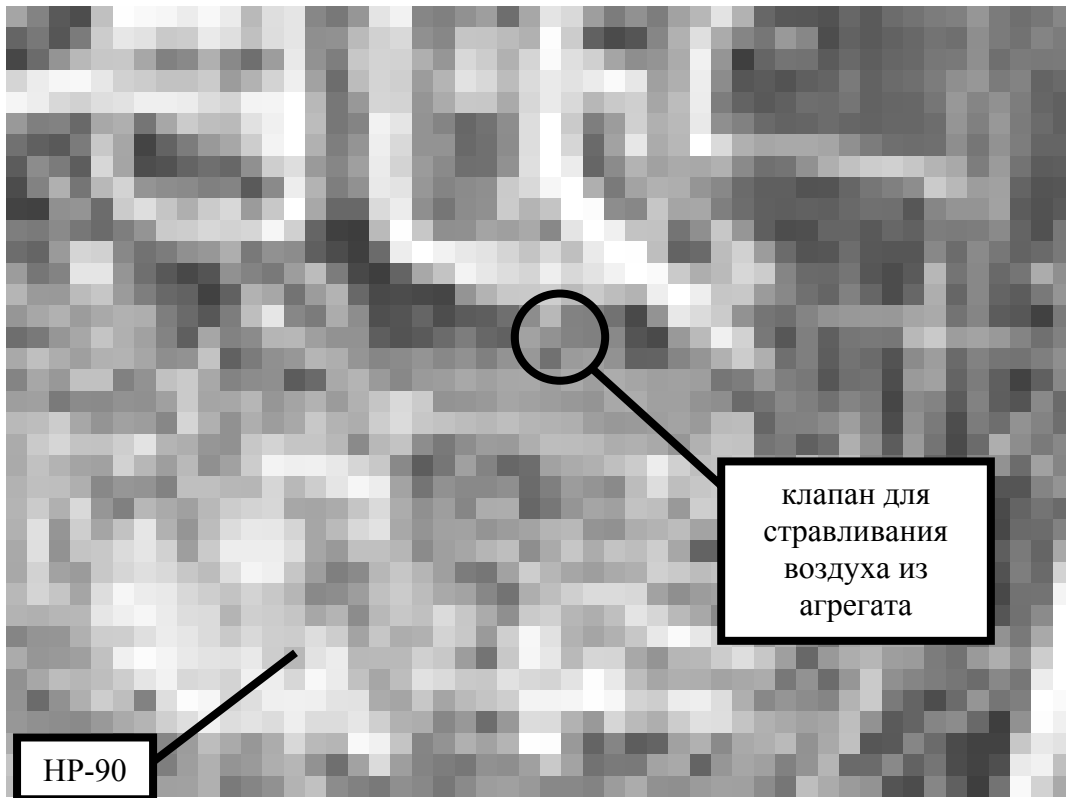


Рис. 2.31. Зона насоса-регулятора НР-90

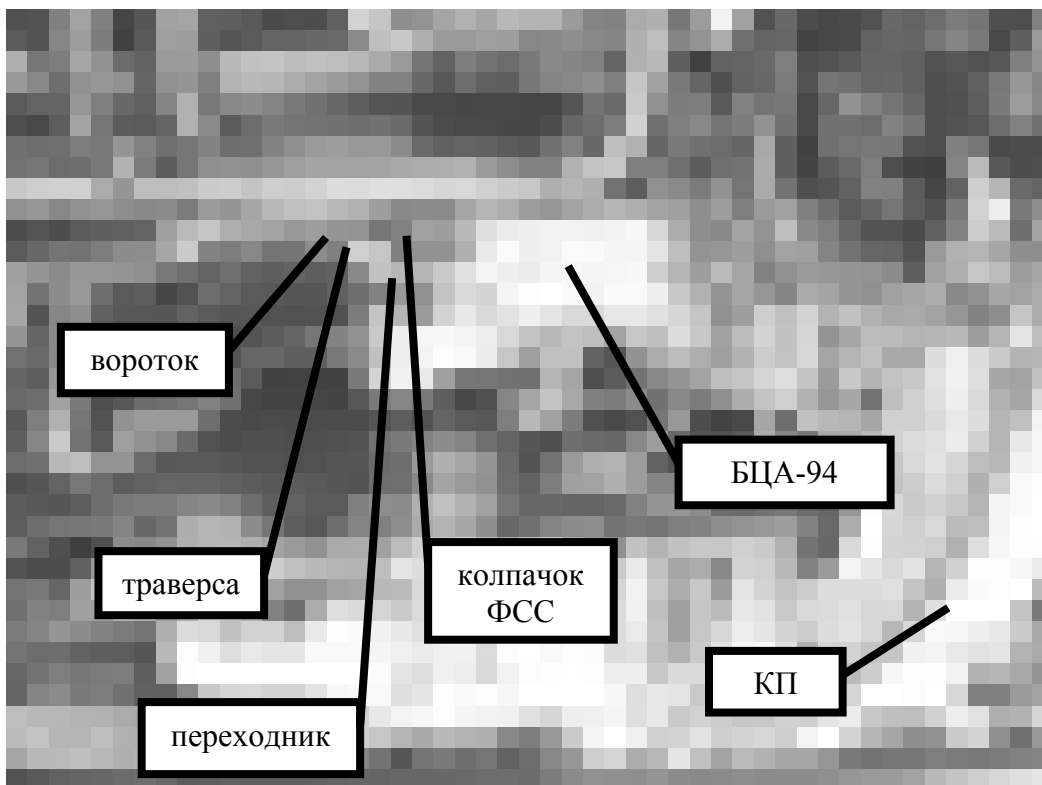


Рис. 2.32. Вид сзади слева на коробку приводов

Не наблюдается на двигателе ПС-90А и снижения трудоемкости процесса замены электрических свечей. Более того, она несколько увеличилась за счет того, что теперь для их замены техническому персоналу необходимо находиться во втором (наружном) контуре двигателя в положении, значительно снижающем производительность работы.

Двигатель ПС-90А, как и его предшественник, не лишен ряда положительных с точки зрения ЭТ технических решений. Рассмотрим некоторые из них.

Положительным моментом является установка магнитной пробки на коробку приводов (рис. 2.33), что позволит довольно быстро получить в достаточной степени достоверную информацию об общем состоянии узлов трения газогенератора и обслуживающих его агрегатов.

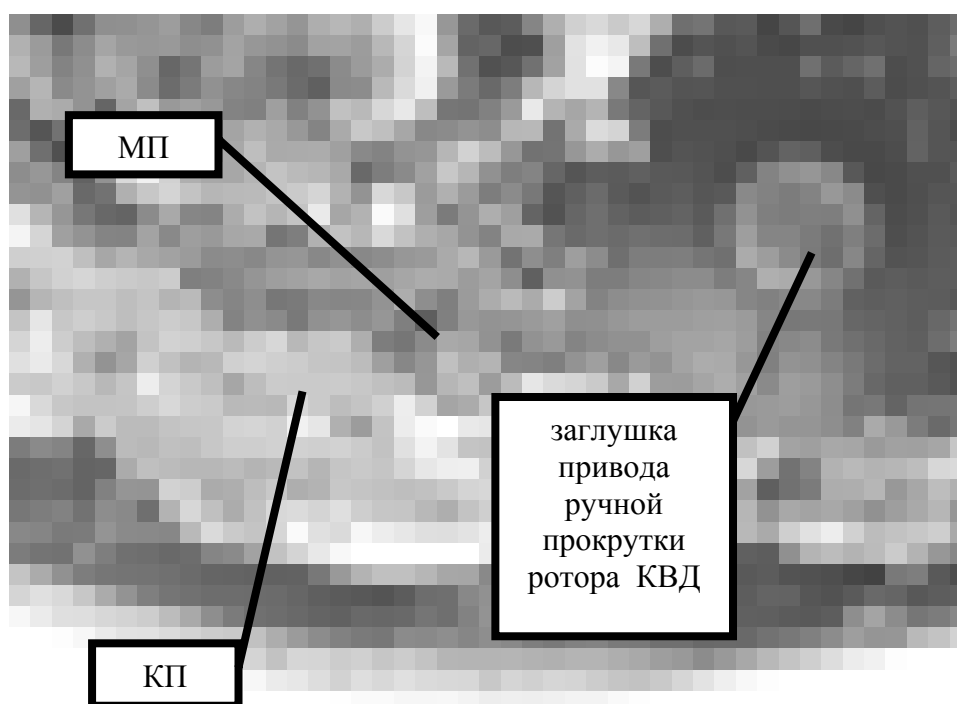


Рис. 2.33. Вид спереди справа на КП

Значительно упрощает процесс заправки маслобака двигателя наличие заправочного штуцера (рис. 2.34) и индикатора цифрового светового уровня масла ИЦС5-1 (рис. 2.35). Штуцер имеет клапан, который перекрывает поступление масла в бак при достижении им необходимого количества. Экран ИЦС5-1 отображает информацию об уровне масла в маслобаке двигателя с точностью до 0.1 литра и имеет два светодиода, которые загораются при достижении уровня масла в баке нижнего (15 литров) или верхнего (33 литра) пределов. Все это позволяет производить заправку маслосистемы с минимальной трудоемкостью и требуемой точностью.

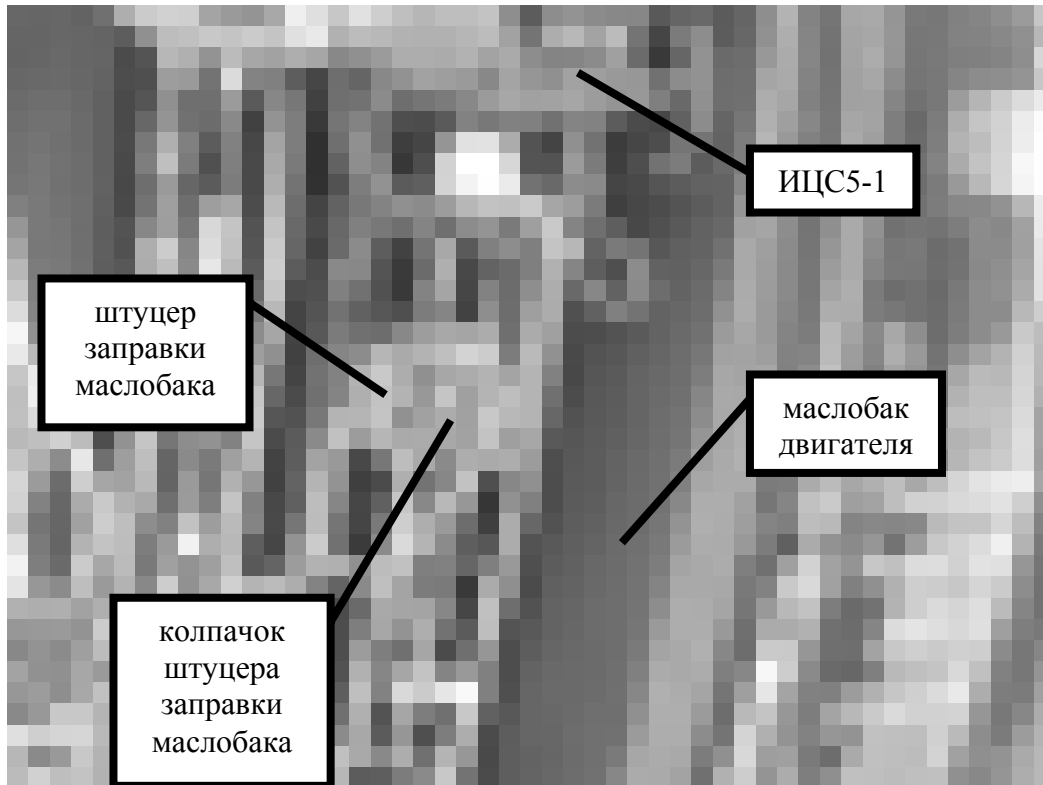


Рис. 2.34. Штуцер заправки маслобака

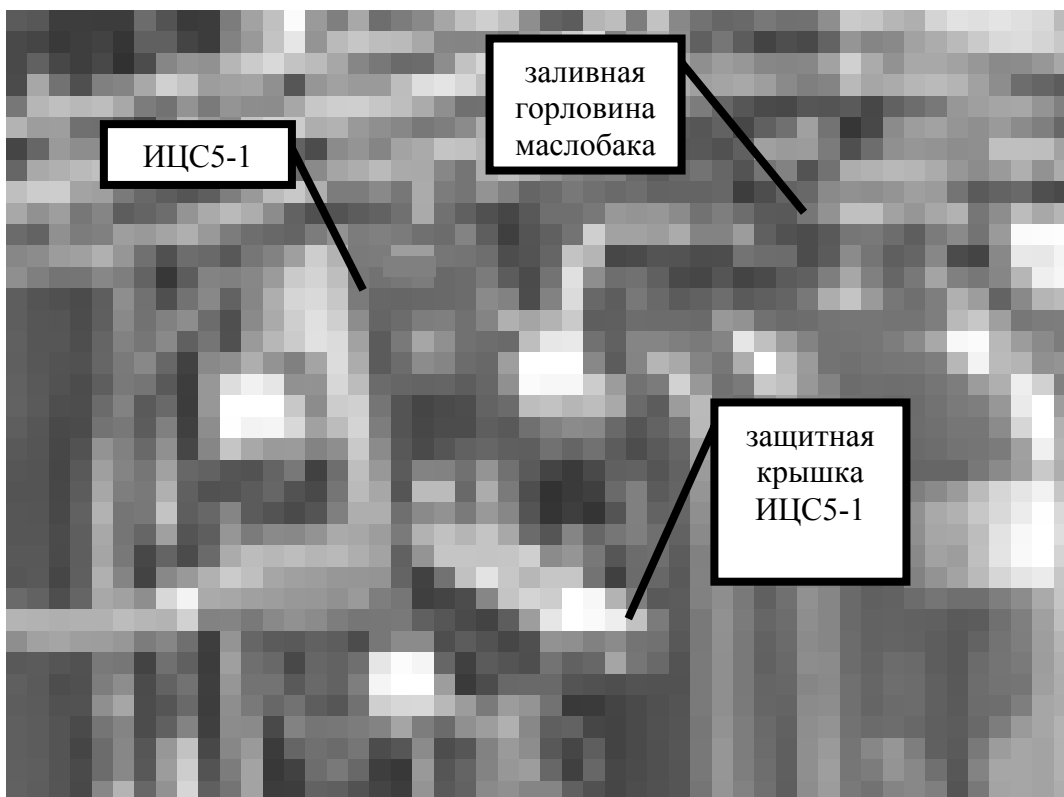


Рис. 2.35. Индикатор цифровой световой уровня масла ИЦС5-1

Достаточной технологичностью отличается заправка маслом привода генератора ГП-25 (рис. 2.36). Наличие штуцера с быстросъемным колпачком и мерного стекла на корпусе привода делает заправку достаточно удобным процессом. Индикатором уровня является масляный столбик в мерном стекле. Границами значений минимальной и максимальной заправки служат две риски. Выход масляного столбика за участок, ограниченный этими рисками, не допускается, так как это ведет к перегреву привода. Незначительным недостатком расположения ГП-25 является некоторое затенение его мерного стекла автономным генератором питания АГ-0,25Д электронного регулятора двигателя РЭД-90. Результатом такого расположения является несколько меньшая точность считывания показаний уровня масла за счет неоптимального угла зрения на мерное стекло (на вертикально расположенное стекло техническому персоналу приходится смотреть снизу).

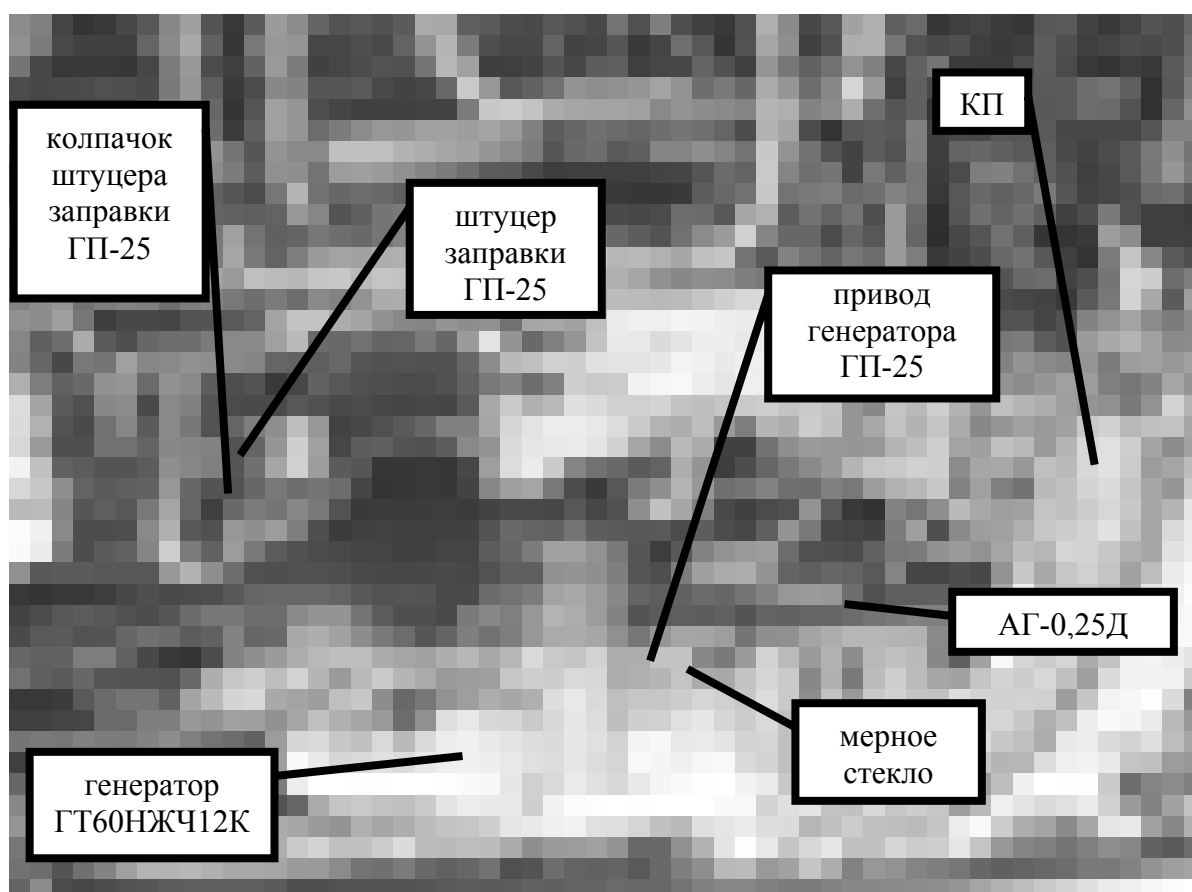


Рис. 2.36. Привод генератора ГП-25

В целом, сравнение ЭТ элементов рассматриваемых типов двигателей приведено в табл. 2.2-2.3.

Таблица 2.2

К сравнению уровня ЭТ элементов конструкции двигателей типа
Д-30КУ(КП) и ПС-90А

Конструктивное решение	Д-30КУ (КП)	ПС- 90А
Количество смотровых окон на вентиляторе	3	2
Количество смотровых окон на КВД	2	11
Количество смотровых окон на КС	2	12
Количество смотровых окон на ТВД	0	2
Количество смотровых окон на ТНД	0	4
Наличие МП на КП	-	+
Возможность замены в ЭАП рабочих лопаток I ступени КНД	-	+
Возможность замены в ЭАП рабочего колеса I ступени КНД	-	+
Возможность замены в ЭАП КС	+	+
Наличие МП в магистрали откачки масла от КВД	-	+
Наличие МП в магистрали откачки масла от ТВД	-	+
Наличие МП в магистрали откачки масла от ТНД	-	+
Реализация модульности конструкции	-	+
Количество вибропреобразователей на двигателе	2	4

Таблица 2.3

Некоторые агрегаты, снижающие уровень ЭТ двигателей типа Д-30КУ(КП) и ПС-90А

Двигатель	Д-30КУ(КП)		ПС-90А	
	Агрегат	Проблема, связанная с уровнем ЭТ	Агрегат	Проблема, связанная с уровнем ЭТ
топлив- ная	Топливомасляный радиатор 4845Т	Затруднено стравливание воздуха из топливной полости	Основной топливный фильтр	Затруднено стравливание воздуха из топливной полости
	Исполнительный механизм ИМТ-3	Затруднено стравливание воздуха из топливной полости	Насос-регулятор НР-90	Затруднено стравливание воздуха из топливной полости
	Цилиндр направляющего аппарата ЦНА-30К	Затруднено стравливание воздуха из топливной полости		
зажига- ния	Электрическая свеча СП-06ВП-3	Затруднен монтаж/демонтаж	Свеча зажигания СП-92П	Затруднен монтаж/демонтаж
смазки и суфли- рования	ЦВС-30	Затруднена замена фильтра - сигнализатора	БЦА-94 с фильтром-сигнализатором стружки ФСС	Затруднена замена ФСС
	Воздушные фильтры	Затруднена замена фильтров		

2.3. Особенности стратегий эксплуатации модульных АД

Зарубежные газотурбинные двигатели обладают, как правило, высоким уровнем эксплуатационной технологичности прежде всего за счет обеспечения их легкоъемности и модульности конструкции, съема и отправки в ремонт. При модульной конструкции газотурбинных двигателей сокращается число случаев их досрочного устранения отказа таких двигателей значительно ниже, чем газотурбинных двигателей обычной конструкции [чин].

Под модульностью понимается свойство конструкции двигателя, заключающееся в приспособленности к восстановлению его работоспособности в процессе эксплуатации путем замены не пригодных для дальнейшего использования модулей новыми или отремонтированными. Модулем называется группа входящих в состав двигателя сборочных единиц и деталей, конструктивно-технологическое исполнение которой обеспечивает ее постановку в условиях эксплуатации на любой двигатель одной модификации и серии без проведения подгоночных и балансировочных работ и испытаний двигателя на стенде (рис. 2.37).

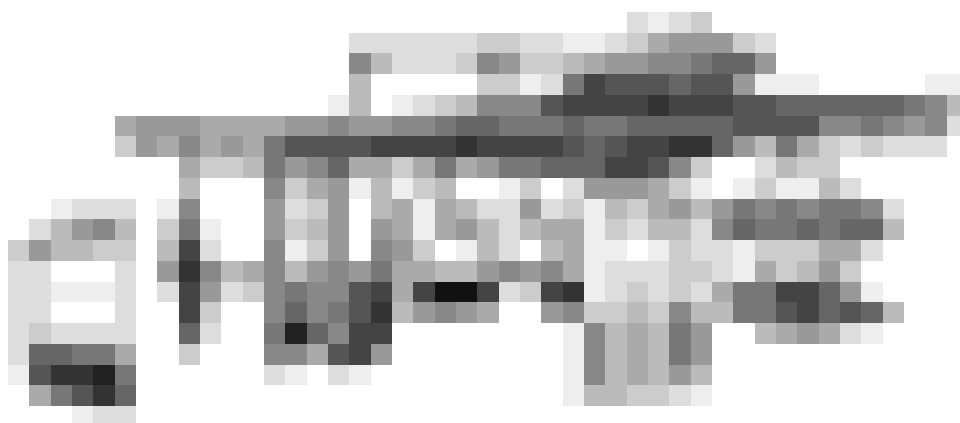


Рис. 2.37. Типичное деление двигателя на модули

Модульная конструкция АД требует, как показывает зарубежная практика, существенного изменения методов их технического обслуживания и ремонта, системы планирования заказов и поставок.

На настоящий момент практикой эксплуатации АД модульной конструкции выработано четыре основных подхода к заменам модулей, деталей и самих двигателей на самолетах [2]:

1) замены двигателей (модулей) по ресурсу: двигателю (модулю) устанавливается межремонтный ресурс, по достижении которого двигатель (модуль) снимается с самолета и отправляется в капитальный ремонт;

2) замены по отказам - внеплановые операции технического обслуживания, ремонт, переборки производства на двигателе (модуле) в случае возникновения отказа или предпосылки к нему;

3) смешанная стратегия замен - внеплановые операции замены, ремонт производится при отказе или предпосылке к нему до выработки установленного ресурса и плановый ремонт - при выработке установленного ресурса;

4) групповая ("оппортунистическая") стратегия замен модулей, деталей, систем двигателя, заключающаяся в том, что узел, модуль могут заменяться на двигателе, когда двигатель попадает в ремонт или переборку в связи с отказом или выработкой ресурса другим модулем, узлом.

Эта стратегия наиболее эффективна для модулей, узлов, имеющих износостойкие отказы, с большой разницей в стоимости замены до и после отказа.

Для определения целесообразного объема ремонта модулей и двигателей вводится понятие степени использования модульности.

Место проведения ремонта (завод или АТБ) определяется на основе следующего правила:

если количество одновременно отказавших или выработавших ресурс модулей меньше заданного значения некоторой переменной (степени использования модульности), то ремонт производится в условиях АТБ, если же оно равно или превышает заданное значение,- то в условиях ремонтного предприятия. Эта переменная может принимать значения от 1 до M , где M - число модулей в двигателе.

Стратегия эксплуатации модульного двигателя может быть охарактеризована следующими параметрами: стратегией замен модулей, полнотой отработки ресурса модулей, степенью использования модульности.

Обратим внимание на выводы работы [2] :

1) при условии выполнения требования полной отработки ресурса модулей наиболее эффективна эксплуатация модульного двигателя без замен модулей в эксплуатации;

2) эксплуатация модульного двигателя с заменой модулей в эксплуатации становится более эффективной, чем без замен модулей, когда применяется так называемая групповая стратегия замен. Управляя величиной допустимой недоработки ресурса модулей, можно подобрать такую стратегию замен в эксплуатации, при которой сумма затрат на производство и ремонт, а также коэффициент съема двигателей с самолетов будут меньше, чем при стратегии эксплуатации без замен модулей. Например, установление 20..30%-ной недоработки ресурса модулей позволяет сделать более эффективной стратегию эксплуатации модульного двигателя с заменой всех модулей. Такая стратегия по сравнению с немодульной схемой эксплуатации обеспечивает сокращение суммарных затрат, при этом повышение частоты съема двигателей с самолетов не наблюдается;

3) основной эффект от модульности конструкции двигателя проявляется в снижении загрузки предприятий, выпускающих и ремонтирующих модульные двигатели. С этой точки зрения эксплуатация двигателей с заменой модулей в АТБ эффективна особенно для ремонтных предприятий, поскольку среднегодовой выпуск ремонтных двигателей и модулей при этой стратегии эксплуатации значительно меньше. Загрузка серийного завода при эксплуатации двигателей с заменой модулей в АТБ характеризуется незначительным сокращением среднегодового выпуска двигателей и увеличением выпуска модулей.

3. КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ АД ПРИ ТО

3.1. Место и роль контроля АД в системе эксплуатации

Актуальность контроля состояния АД в эксплуатации вытекает из необходимости обеспечения эффективности использования дорогостоящих воздушных судов. Решение этой задачи неизбежно связано с развитием прогрессивных методов эксплуатации, которые заключаются в рациональном сочетании различных стратегий по наработке (в календарном времени, часах, циклах), по техническому состоянию, с контролем уровня надежности или параметров. Нарботку можно считать одним из параметров состояния АД, зависящим от условий эксплуатации и режимов работы. Для учета наработки создаются специальные счетчики, входящие в систему диагностирования АД. Контроль уровня надежности также невозможен без первичной информации об отказах и неисправностях, которая должна постоянно пополняться.

Особенностью ГА является сильное влияние технического состояния АД на безопасность их применения. В то же время обслуживание возрастающих потоков пассажиров и увеличивающаяся протяженность воздушных линий заставляют повышать требования к безопасности полетов. При этом в ряде случаев эти требования входят в противоречие друг с другом. Поэтому задачи контроля АД по обеспечению безопасности полетов должны решаться в комплексе.

На рис. 3.1 показана схема эксплуатации авиационного газотурбинного двигателя.

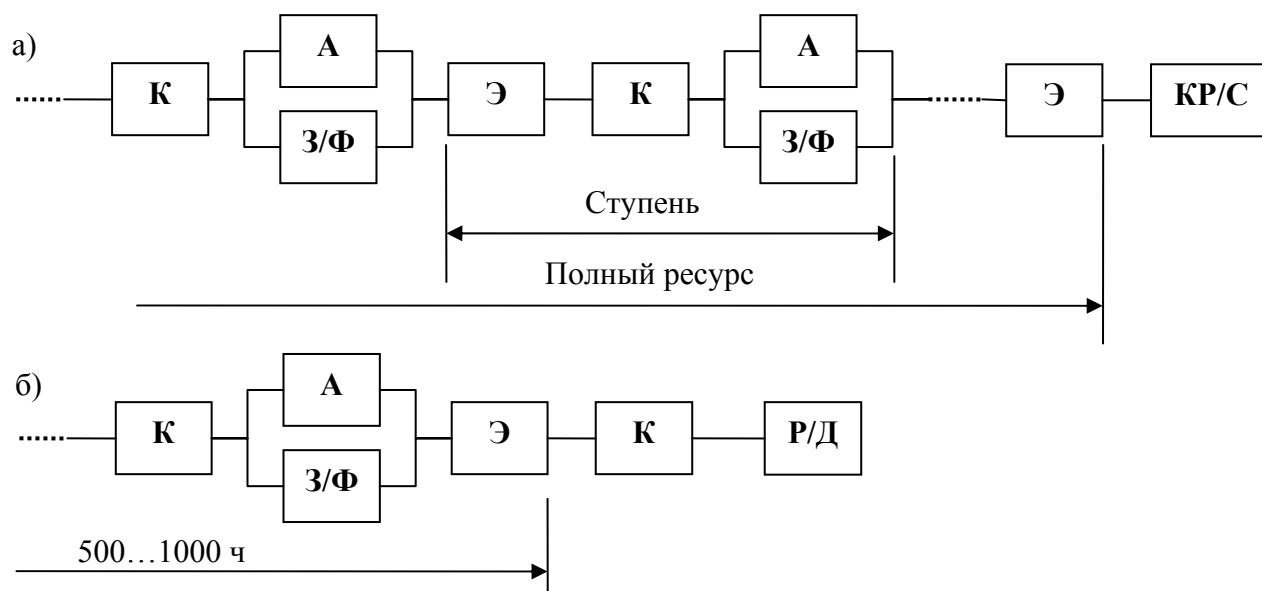


Рис. 3.1. Схема эксплуатации авиационных ГТД по ТС

а - эксплуатация парка ГТД; б - выборочный контроль ТС ГТД (2...3 двигателя)

(На рис. 3.1: К - контроль; А - акт; З/Ф - запись в формуляре; Э - эксплуатация; КР/С - капитальный ремонт или списание; Р/Д - разборка и дефектация)

Предусмотрены два этапа: первый - в пределах гарантийной наработки, второй - после нее, но не свыше разрешенного ресурса. Увеличение наработки каждого двигателя на втором этапе осуществляется ступенями, каждая из которых включает контроль ТС (см. рис. 3.1, а). По результатам контроля составляют акт с участием представителей эксплуатанта и промышленности и производят запись в формуляре. Если техническое состояние соответствует заданным показателям, то ГТД допускается к следующей ступени эксплуатации. После выработка полного (назначенного) ресурса двигатель направляют в капитальный ремонт или списывают.

Одновременно для проверки достоверности применяемых методов и средств контроля выборочно два - три двигателя через 500...1000 ч наработки в эксплуатации после очередного контроля на основании решения экспертной комиссии с участием представителей промышленности подвергают разборке и дефектации (см. рис. 3.1, б).

Требования о необходимости иметь систему контроля АД содержатся в авиационных правилах АП-33. Согласно этим правилам для АД должен быть предусмотрен контроль их ТС. При этом методы и средства контроля должны быть по возможности рассчитаны на применение без съема АД с ВС, без разборки и расстыковки узлов. Поскольку практически невозможно полностью исключить влияние средств встроенного контроля на надежность АД, в АП-33 указано, что элементы контроля и регистрации, размещенные на объектах контроля и встроенные в них, не должны заметно снижать безотказность АД. При этом сами средства контроля также следует подвергать проверке на работоспособность.

Система контроля АД является одной из основных составляющих системы эксплуатации ВС.

В процессе технического обслуживания и ремонта АД система контроля решает следующие основные задачи:

- определение вида ТС АД;
- поиск места отказа и неисправности с заданной глубиной;
- определение причин появления отказов и неисправностей, выдача рекомендаций по их устранению в условиях ТО и ремонта и предотвращению их в дальнейшем;
- прогнозирование ТС АД на заданный период;
- оценка выработки ресурса;
- информирование экипажа об изменениях в техническом состоянии АД для принятия мер по предотвращению или парированию опасной ситуации;
- контроль правильности действий экипажа по летной эксплуатации АТ;
- установление причин авиационных происшествий или предпосылок к ним;
- накопление статистических материалов для обобщения опыта и совершенствования систем контроля.

Структура задач, решаемых системой контроля, показана на рис. 3.2.

Эти задачи решают на всех этапах эксплуатации АД: в полете, при подготовке к полету, при периодическом и оперативном ТО, при ремонтно-

восстановительных работах в АТБ, расследовании авиационных происшествий и предпосылок к ним.

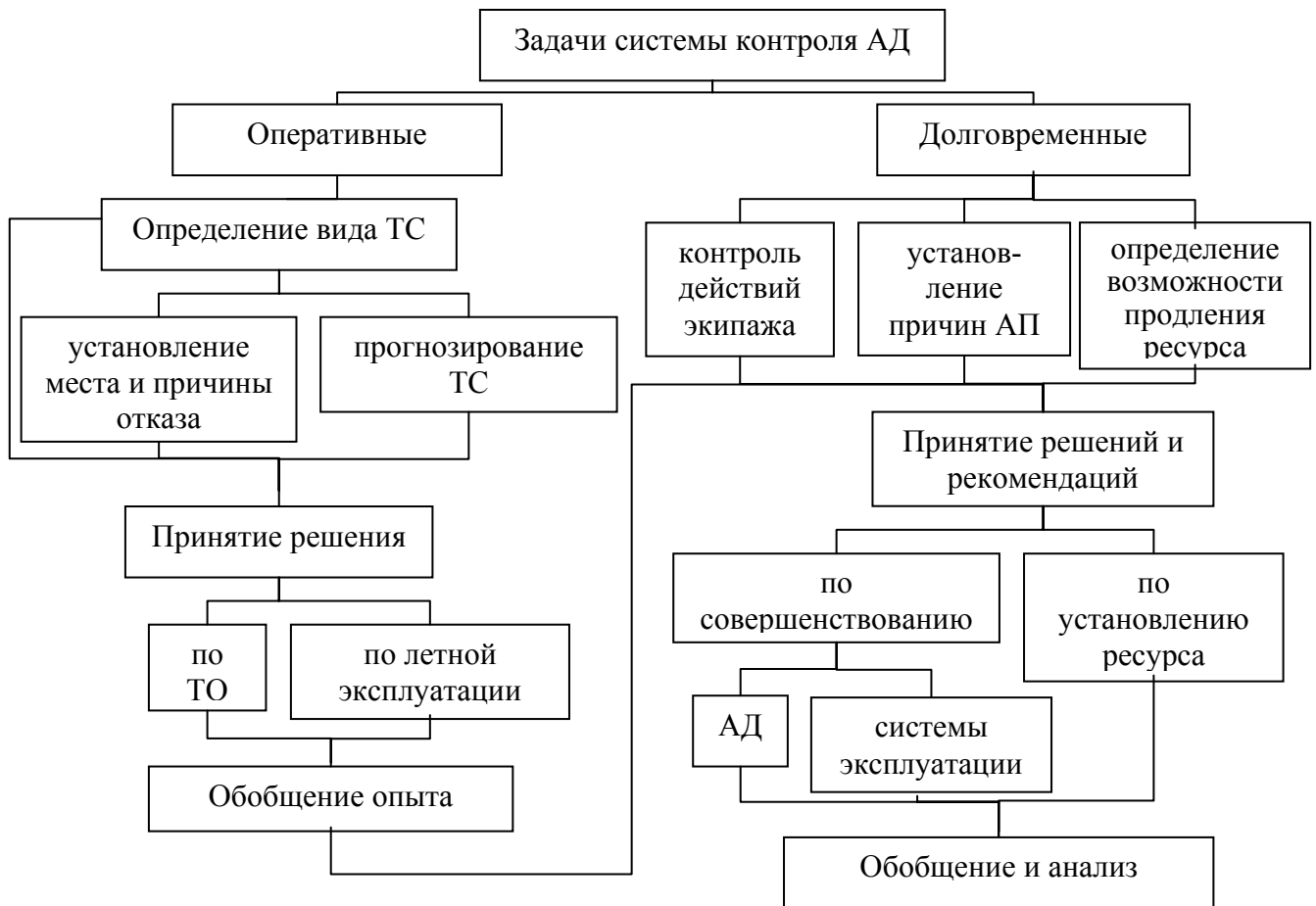


Рис. 3.2. Структура задач, решаемых системой контроля АД в эксплуатации

Такие работы, как оценка ТС АД по записанным в полете значениям параметров, включают, как правило, в регламент оперативных работ, проводимых по форме А, т. е. работ, выполняемых после каждой посадки, если не требуется выполнение более сложного ТО. Анализ работающего масла на содержание продуктов изнашивания проводят при периодическом ТО или по форме Б, выполняемой в базовом аэропорту через назначенное календарное время регулярной эксплуатации, если по налету часов не требуется выполнения периодического ТО, а также - по форме В, выполняемой перед вылетом, когда простой превысил нормативное время.

Применяемые в ГА системы контроля АД классифицируются по нескольким признакам: по степени охвата объекта контролем, системы разделяются на общие и локальные. Объектом общей системы контроля является АД в целом, а локальной - его составная часть (например, компрессор); по характеру взаимодействия между объектом и средством контроля существуют системы функционального и тестового контроля. Функциональный контроль осуществляется во время функционирования АД, на

который поступают только рабочие воздействия. При тестовом контроле на АД подаются специальные тестовые воздействия;

по степени автоматизации процесса контроля системы делятся на автоматические, автоматизированные (полуавтоматические) и ручные (неавтоматические). Автоматическая система выполняет свои функции без участия человека - оператора, а автоматизированная - с частичным его участием, заключающемся обычно в анализе результатов контроля АД и принятия решения.

Используемые средства контроля также могут быть классифицированы по нескольким признакам.

По универсальности средства разделяются на универсальные и специализированные. Универсальные средства используют для элементов АД различных типов, специализированные - для одного типа.

По совместному конструктивному выполнению АД и средств контроля последние бывают встроенными и внешними. Встроенные средства представляют собой составную (конструктивную) часть АД, внешние выполняются отдельно. В свою очередь, внешние средства контроля могут быть бортовыми, наземными и наземно-бортовыми.

Бортовое внешнее средство контроля входит в состав бортового оборудования ВС в качестве самостоятельного изделия. Наземное средство входит в состав средств наземного ТО. Наземно-бортовое средство включает в себя: бортовое устройства измерения и регистрации параметров; наземную аппаратуру обработки, отображения и документирования результатов контроля.

Внедрение контроля АД в систему эксплуатации возможно при выполнении ряда условий.

Прежде всего, АД должен обладать достаточной контролепригодностью. Вполне очевидно, что охватить контролем все элементы АД невозможно. Поэтому конструкция элементов, контроль которых в эксплуатации на данном этапе не производится, могут быть выполнены по принципу безопасного разрушения, т. е. отказы этих элементов не должны вызывать аварийной ситуации (на АД таких элементов практически нет).

Необходимы методики и алгоритмы контроля, включающие указания на точность и частоту измерений и осмотров, а также следует иметь нормы на значения параметров АД или их функций и алгоритмы принятия решения по дальнейшей эксплуатации АД.

Необходимо, чтобы специалисты лабораторий диагностики систематически проходили специальное обучение и инструктаж. Все работы по контролю, включающие измерения, должны быть обеспечены соответствующими метрологическими средствами.

В результате внедрения контроля в систему эксплуатации достигается как экономический, так и социальный эффект. Для получения экономического эффекта необходимо:

сокращение трудоемкости и времени на техническое обслуживание от применения методов и средств контроля без демонтажа АД с воздушного судна

при помощи автоматизации процесса контроля и частичной обработки информации на борту;

запрещение выпуска в полет ВС при заблаговременном обнаружении развивающихся в АД неисправностей, что предотвратит возвращение с линии, простои в промежуточных портах и продолжение полета без коммерческой нагрузки;

более полное использование ресурсов АД вследствие регулярной оценки его фактического технического состояния и возможности эксплуатации по ТС;

экономия горюче-смазочных материалов и ресурсов АД в результате сокращения наземного опробования.

Система контроля АД оказывает непосредственное влияние на безопасность полетов при всех стратегиях эксплуатации. Техническое состояние АД зависит от условий эксплуатации, ее надежности и условий полета (рис. 3.3). В результате контроля принимаются решения, направленные на обеспечение безопасности полетов. Таким образом, социальный эффект от внедрения системы контроля АД достигается благодаря повышению безопасности полетов. Другая сторона социального эффекта выражается в повышении квалификации инженерного состава АТЦ и заводов ГА.

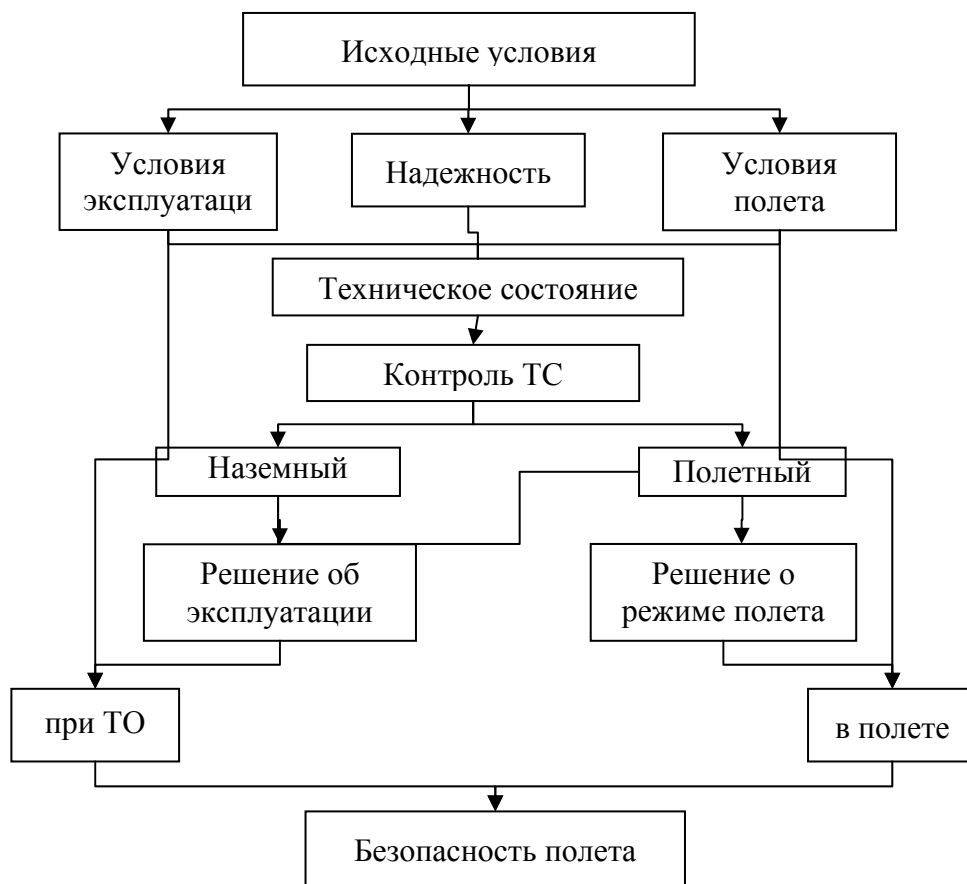


Рис. 3.3. Схема влияния контроля (диагностирования) ТС АД на безопасность полетов

Распределение задач контроля и диагностирования АД на различных этапах приведено в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Задачи контроля и диагностирования АД

Задачи	Этапы эксплуатации АТ				
	полет	ТО		Восстановление	
		оперативное	периодическое	в АТБ	на заводах ГА
Контроль ТС АД	Контроль исправности, работоспособности	Проверка готовности к полету	Контроль исправности, работоспособности, демонтаж отказавших элементов, контроль их ТС	Замена отказавших элементов, контроль АД после замены, регулировка	Входной контроль, демонтаж, ремонт, монтаж, выходной контроль
Диагностирование АД	Поиск неисправности с глубиной до элемента, управление которым выведено в кабину	Поиск неисправности с глубиной до элемента, замена и регулировка которого разрешена в эксплуатации, демонтаж отказавших элементов, их диагностирование		Диагностирование элементов, идущих на замену; замена отказавших элементов; регулировка	Входное диагностирование, демонтаж, дефектация, ремонт, монтаж, выходной контроль

3.2. Формирование систем контроля АД

В соответствии с задачами системы контроля в эксплуатации и особенностями силовых установок как объектов контроля к системам контроля предъявляются следующие общие требования.

Комплексность:

а - охват по возможности всех систем АД; б - совместное решение задач системы контроля (формирование команд экипажу и решений по ТО, запись информации, расследование авиационных происшествий, радиообмен информацией); в - интегрирование контроля с управлением функциональными системами АД в целях сокращения числа датчиков и других элементов;

возможность адаптации и развития по мере совершенствования объектов и средств контроля методов обработки информации, модификации и доработок АД;

автоматизация обработки информации на борту и на земле;

сжатие информации путем оптимизации частоты измерений и обработки данных;

оптимизированное распределение функций между бортовыми и наземными средствами контроля;

установление порядка в системе выдачи команд экипажу и решений инженерно-техническому персоналу, исключающего одновременную выдачу нескольких несовместимых команд или решений;

наличие автоматического контроля самой системы контроля АД;

возможность накопления информации, содержащей данные для предъявления и корректировки требований к контролепригодности АД, к средствам контроля.

При всех условиях система выявления и локализации отказов АД должна базироваться на анализе опасности отказов, трудоемкости и времени их выявления и влияния контроля на экономические факторы эксплуатации.

По степени влияния на безопасность полета отказы АД можно условно разделить на четыре класса (рис. 3.4).

К первому относятся отказы, приводящие к возникновению особых ситуаций в полете и требующие специальных действий экипажа по их парированию. По таким отказам оперативная информация выдается экипажу, а также передается в аэропорт посадки по каналам радиообмена для подготовки к устранению отказа. Информация обрабатывается на борту, выдается на дисплей бортинженера и фиксируется бортовым эксплуатационным регистратором для последующего анализа места и причин отказа.

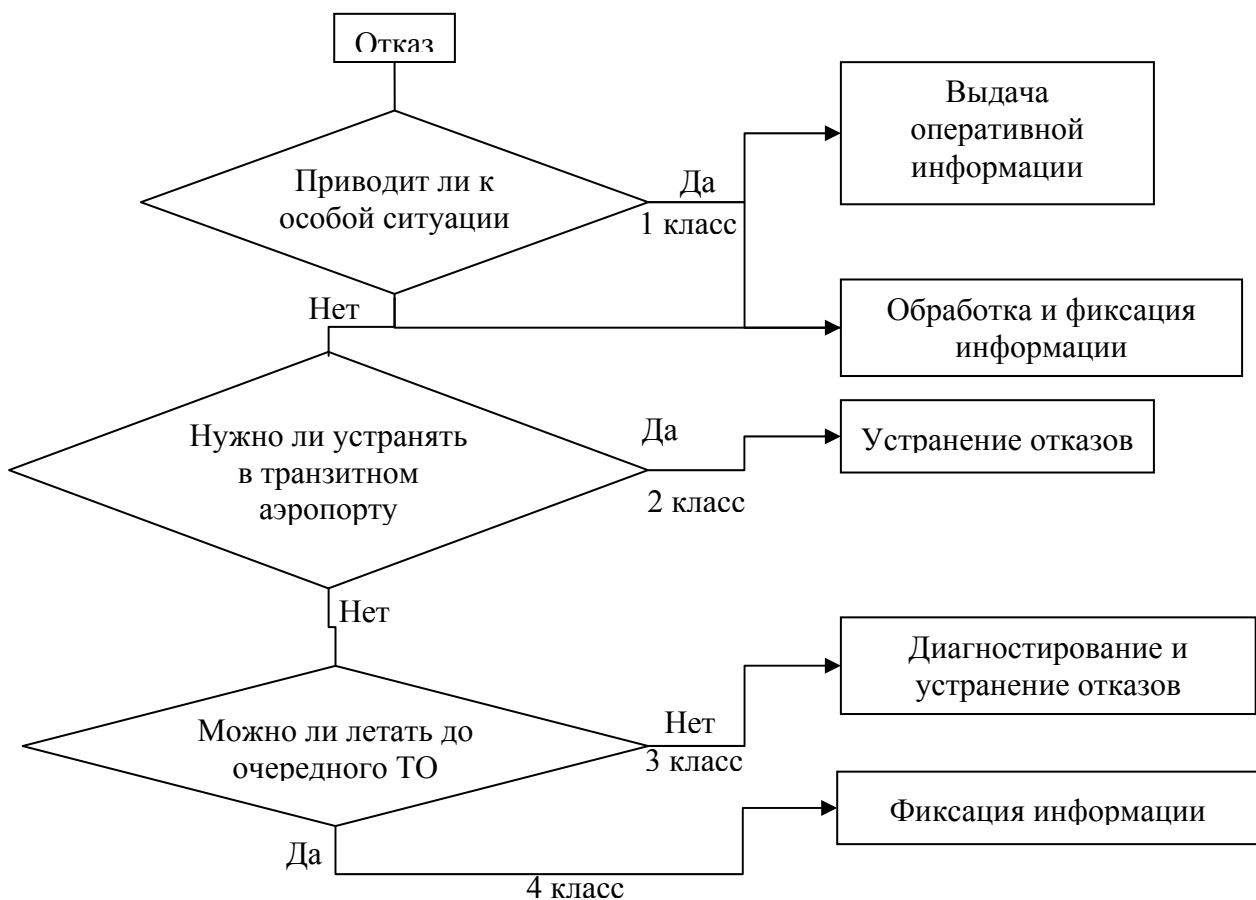


Рис. 3.4. Блок-схема использования информации при отказах различных классов

Ко второму классу относятся отказы, при возникновении которых от экипажа специальных действий не требуется и потому оперативная выдача информации не предусматривается. Однако с такими отказами не разрешается вылет даже в базовый аэропорт, и они должны быть устранены в транзитном порту.

Третий класс включает отказы, поиск и устранение которых проводятся в АТБ приписки. Вылет с такими отказами запрещен.

Четвертый класс составляют отказы, с которыми разрешены полеты до очередного ТО. При таких отказах вероятность возникновения особых ситуаций существенно меньше нормируемой.

В общем случае процесс формирования системы контроля АД складывается из организационного и научно-технического формирования системы.

К организационному формированию системы относятся: создание подразделений диагностики ВС в эксплуатационных и ремонтных предприятиях, составление документации и др.

Научно-техническое формирование системы контроля производится комплексно, с системным подходом к решению следующих задач:

синтеза физических и математических моделей объектов контроля;

выбора сигналов о недопустимых состояниях объекта контроля и контролируемых параметров;

синтеза алгоритмов контроля и принятия решения;

выбора средств контроля;

метрологического обеспечения контроля;

определения методической и инструментальной достоверности контроля.

Выбор контролируемых параметров и разработка алгоритмов контроля производятся в основном на этапе проектирования АД и его систем. Однако, по мере накопления опыта эксплуатации и уточнения статистических данных система контроля изменяется быстрее, чем конструкция основных элементов АД. Поэтому вопросы рационального выбора контролируемых параметров и синтеза алгоритмов контроля и принятия решений остаются актуальными и на других этапах жизненного цикла АД: при государственных и эксплуатационных испытаниях, при выполнении доработок, при массовой эксплуатации. При формировании систем контроля принимают во внимание вероятность появления в эксплуатации отказов и неисправностей и их последствия от влияния на состояние АД в целом и его летную и техническую эксплуатацию. Учитывают возможность обнаружения отказов и неисправностей и доведения информации до экипажа и инженерно-технического персонала, влияние обнаружения недопустимых состояний на эффективность использования АД, а также стоимость, надежность, точность аппаратуры и применимость ее в конкретных условиях эксплуатации.

Анализ физической модели АД и обработку статистических материалов ведут параллельно. Анализ физической модели заключается в исследовании процессов в АД и выявлении связей между ТС АД и изменением значений контролируемых параметров. Анализ статистики позволяет определить

вероятность появления, выявления и последствий отказов и неисправностей АД. В результате этих комплексных исследований в первом приближении формируется качественная модель АД, т. е. комплекс качественных зависимостей между неисправностями АД и возможными сигналами о них.

4. КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

4.1. Комплексная оценка контролепригодности АД на этапе эксплуатации [3,9]

Согласно требованиям АП-33 при создании новых или модернизации существующих АД на всех стадиях разработки и изготовления необходимо решать вопросы обеспечения их контролепригодности.

Контролепригодностью вообще называется свойство изделия, характеризующее его приспособленность к проведению контроля параметров изделия и его составных частей с целью выполнения с установленными показателями следующих задач определения ТС:

контроля ТС;

поиска места отказа (до заданной сменной сборочной единицы изделия);

прогнозирования ТС и установления места отказа изделия по результатам обработки информации, зарегистрированной для этого изделия в процессе полета (полетов).

Обеспечение контролепригодности АД должно предусматривать аппаратную (программно-аппаратную) приспособленность к контролю, а также согласованность характеристик АД с методами и средствами контроля. Необходимо различать контролепригодность собственно АД и контролепригодность с учетом применяемых методов и средств контроля. Для обеспечения контролепригодности АД необходимо выполнить требования к доступности элементов (модулей, блоков, агрегатов, деталей), регулировка или замена которых разрешена в эксплуатации, а также к встроенным средствам контроля и устройствам сопряжения АД с внешними средствами контроля. В свою очередь, требования к доступности элементов включают возможность и удобство подхода для проведения контроля оптическими средствами и средствами дефектоскопии. Требования к устройствам сопряжения объекта и средств контроля сводятся к взаимному согласованию их характеристик, легкосоединяемости и легкоъемности, стандартизации и унификации, безопасности, исключению неправильных соединений, учету эргономических показателей. Во всех случаях представляется нежелательным расстыковка функциональных соединений в процессе контроля.

Требования к контролепригодности АД с учетом применяемых методов и средств контроля сводятся к выбору параметров, методам и алгоритмам контроля, оценке ТС и принятию решения по результатам контроля, к

метрологическому обеспечению системы контроля, к составу бортовых приборов контроля, к системе сбора и обработки полетной информации.

Контролепригодность АД обеспечивается разработчиками и изготовителями в соответствии с согласованными требованиями. Оценка соответствия контролепригодности этим требованиям производится на всех этапах создания и испытания АД, в том числе и в эксплуатации. Под комплексностью оценки контролепригодности АД следует понимать:

совместное исследование вопросов обеспечения и оценки контролепригодности;

оценку контролепригодности АД на всех этапах ее существования;

совместное рассмотрение контролепригодности конструкции встроенных средств контроля, наземно-бортовых и наземных средств контроля, методик и алгоритмов контроля и принятия решения;

непрерывность оценки контролепригодности в целях постоянного совершенствования АД, методов и средств их эксплуатации, что достигается проведением доработок, выпуском эксплуатационных бюллетеней, дополнением требований к АД.

Согласно АП-33, эксплуатационные и ремонтные организации должны собирать информацию о контролепригодности АД и представлять ее разработчикам.

Комплексная оценка контролепригодности АД на этапе эксплуатации (рис. 4.1) состоит из оценок: контролепригодности конструкции; бортовых приборов контроля; системы сбора и обработки полетной информации (ССОПИ) и системы наземного контроля.

Оценке подлежат также состав контролируемых параметров, методик и алгоритмов контроля и принятия решений. При этом в первую очередь необходимо руководствоваться требованиями АП-33, которыми предусмотрено, что выбор контролируемых параметров, методов и алгоритмов контроля должен производиться с учетом опасности выявляемых контролем неисправностей АД. Для отказов, которые могут привести к катастрофической, аварийной или опасной ситуациям, должно быть предусмотрено своевременное их обнаружение с выдачей информации экипажу. Для систем, отказ элемента которых может служить непосредственной причиной возникновения опасных ситуаций, в качестве контролируемых параметров рекомендуется выбирать такие, у которых отклонение значений параметров или их функций не сопровождается немедленным возникновением отказа, а предупреждает о его появлении. Для отказов, которые не влияют непосредственно на вероятность выполнения задания, полнота и периодичность контроля определены исходя из обеспечения заданной безотказности АД. Состав контролируемых параметров систем изделий ВС задается государственными и ведомственными стандартами.

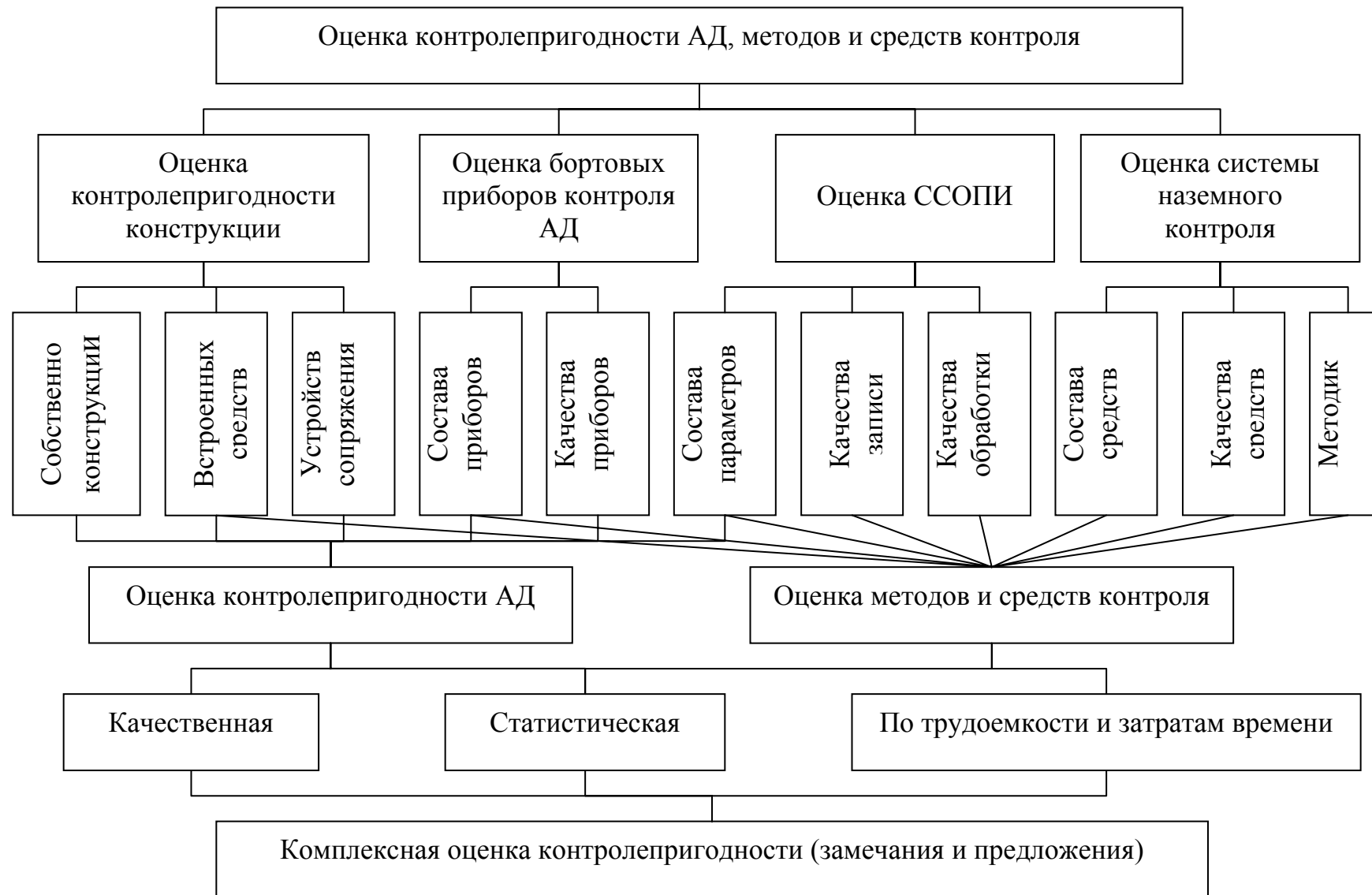


Рис. 4.1. Структура комплексной оценки контролепригодности АД на этапе эксплуатации

Оценивать необходимо и метрологическое обеспечение системы контроля. Метрологическая экспертиза работ по контролю, включающая анализ и оценку технических решений, должна проводиться предприятием-разработчиком АД или метрологической организацией. Метрологическая экспертиза – это оценка выбора измеряемых параметров, установления норм погрешностей измерения, обеспечения единства измерений, обеспечения процессов контроля методами и средствами измерений, нормирования метрологических характеристик средств измерений, метрологической аттестации методик измерения.

Метрологическая оценка контролепригодности заключается в анализе и оценке технических решений по установлению норм точности измерений, обеспечению единства измерений, обеспечению процессов контроля методами и средствами измерений, по нормированию метрологических характеристик средств измерений.

Основными методами комплексной оценки контролепригодности АД являются (рис. 4.2): анализ конструкции АД, использование статистических данных и хронометраж.

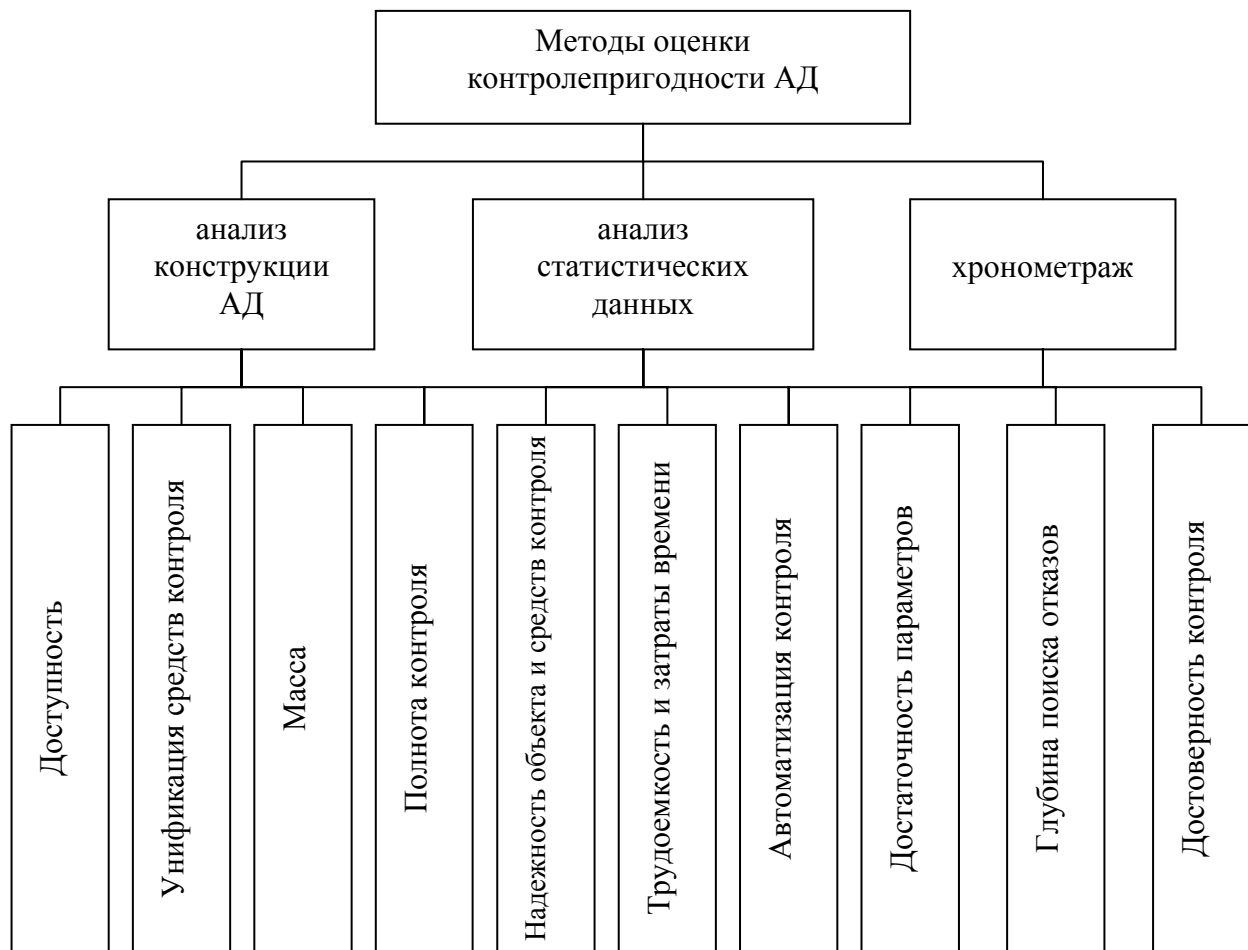


Рис. 4.2. Основные методы комплексной оценки контролепригодности АД

4.2. Количественные показатели контролепригодности АД

В технике установлен ряд общих количественных критериев (показателей, коэффициентов) контролепригодности. Некоторые из этих критериев могут быть использованы для оценки контролепригодности АД. В настоящее время практически отсутствуют какие-либо нормативные значения критериев. Однако, без накопления соответствующих статистических материалов нормативные значения критериев и не могут быть получены. Поэтому вычисление значений коэффициентов является важной задачей. Приведем некоторые формулы для вычисления коэффициентов, представляющих наибольший интерес при оценке контролепригодности АД.

Достаточность числа контролируемых параметров:

$$K_{к.п} = N_{к.п} / N_{0к.п},$$

где $N_{к.п}$ — фактическое число контролируемых параметров; $N_{0к.п}$ — число контролируемых параметров, заданное руководящими документами.

Этот показатель вычисляется отдельно для параметров различных систем АД: бортовой системы регистрации; системы выдачи информации экипажу, наземной системы контроля и др.

Так как параметры по своей важности не являются равноценными между собой, то после вычисления этого показателя делают экспертное заключение о важности тех параметров АД, которые заданы, но не контролируются.

Возможность контроля АД без их демонтажа с ВС отражается в показателе съемности:

$$K_c = 1 - N_c / N_{0c},$$

где N_c — число нуждающихся в демонтаже для контроля элементов, регулировка или замена которых разрешена в эксплуатации; N_{0c} — общее число контролируемых элементов, регулировка или замена которых разрешена в эксплуатации;

Этот же критерий может быть найден с учетом затрат времени или труда на контроль:

$$K_c = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m T_j f_j}{\sum_{i=1}^n T_i f_i + \sum_{j=1}^m T_j f_j},$$

где m — число элементов, контроль которых требует их демонтажа; T_j — затраты времени или труда на разовый контроль j -го элемента; f_j — частота контроля j -го элемента в период межремонтной наработки изделия; n — число элементов, контроль которых не требует их демонтажа; T_i — затраты времени

или труда на разовый контроль i -го элемента; f_i - частота контроля i -го элемента в период межремонтной наработки изделия.

Увеличение массы ВС как следствия установки встроенных и бортовых средств контроля АД оценивается показателем увеличения массы:

$$K_m = 1 - M_k / M_0,$$

где M_k — масса встроенных и бортовых средств контроля; M_0 – масса ВС, включая встроенные и бортовые средства контроля АД, но без топлива и коммерческой нагрузки.

Унификация средств контроля оценивается показателем унификации:

$$K_{y.c.k} = N_{y.c.k} / N_{o.c.k},$$

где $N_{y.c.k}$ - число унифицированных средств контроля, применяющихся для данного типа АД; $N_{o.c.k}$ - общее число средств контроля, применяющихся для данного типа АД.

Однако надо иметь в виду, что средства контроля и диагностирования весьма различаются между собой по стоимости. Поэтому степень унификации средств контроля может быть уточнена по выражению:

$$K_{y.c.k}^c = C_{y.c.k} / C_{o.c.k},$$

где $C_{y.c.k}$ - стоимость унифицированных средств контроля; $C_{o.c.k}$ - общая стоимость средств контроля.

Аналогично вычисляется степень унификации устройств сопряжения и наземных средств контроля с АД:

$$K_{y.c.c} = N_{y.c.c} / N_{o.c.c},$$

где $N_{y.c.c}$ - число унифицированных устройств; $N_{o.c.c}$ - общее число устройств.

Учитывая существенно меньшее разнообразие средств сопряжения по сравнению с самими средствами, корректировку показателя по их стоимости проводить нецелесообразно.

Важным показателем контролепригодности любого объекта является полнота контроля, т. е. в данном случае полнота определения вида ТС (исправность, работоспособность, правильность функционирования):

$$K_{п.к} = N_k / N_o,$$

где N_k - число контролируемых элементов АД, регулировка или замена которых разрешена в эксплуатации;

N_o - общее число таких элементов (контролируемых и неконтролируемых).

Учитывая неравноценность указанных элементов в отношении их надежности, показатель полноты контроля может быть вычислен по формуле:

$$K_{п.к} = \lambda_k / \lambda_o,$$

где λ_k и λ_o - суммарные интенсивности появления неисправностей элементов, различаемых в соответствии с предыдущей формулой.

При диагностировании АД следует учитывать глубину поиска неисправностей. Ее оценивают показателем:

$$K_{г.п} = N_d / N_{o.д},$$

где N_d - число элементов, с точностью до которых фактически производится диагностирование; $N_{o.д}$ - общее число элементов, с точностью до которых диагностирование задано.

При наличии данных о надежности элементов АД этот показатель корректируют с помощью выражения:

$$K_d^H = \lambda_d / \lambda_{o.д},$$

где λ_d и $\lambda_{o.д}$ - суммарные интенсивности неисправностей (индексы соответствуют индексам предыдущей формулы).

Показателями контролепригодности являются затраты времени и трудоемкости на контроль и диагностирование АД и его систем. Однако, по абсолютным цифрам сравнение отдельных АД может встретить затруднение. Поэтому целесообразнее оперировать показателями, включающими относительные значения:

$$K_T = 1 - T_{o.к} / T_{то},$$

где $T_{o.к}$ - средние затраты времени или средняя трудоемкость на контроль; $T_{то}$ - средние общие затраты времени или средняя трудоемкость на ТО, включая контроль.

Значения $T_{o.к}$ и $T_{то}$ на этапах проектирования определяются расчетным путем, а при направлении АД на эксплуатационные испытания и в эксплуатацию - по накоплению статистических данных. Для получения большей общности результатов значения $T_{o.к}$ и $T_{то}$ следует брать на 1 час работы. При этом в затраты на контроль должны включаться затраты на подключение внешних средств контроля, подготовительно-заключительные, вспомогательные и монтажно-демонтажные работы, например отбор проб масла, т. е. трудозатраты на подготовку к контролю. Эти затраты учитывают показателем:

$$K_{п.т} = T_{к} / T_{о.к},$$

где $T_{к}$ - средние затраты времени или средняя трудоемкость непосредственно на контроль без учета подготовки.

Степень автоматизации контроля учитывается показателем:

$$K_{А.К} = 1 - T_{н.к} / T_{к},$$

где $T_{н.к}$ - средние затраты на неавтоматизированный контроль.

К неавтоматизированному контролю относятся следующие виды контроля: органолептический, эндоскопический, дефектоскопический, а также лабораторные анализы и др.

Однако, надо иметь в виду, что в настоящее время некоторые операции контроля пока автоматизированы быть не могут. Поэтому может быть введен показатель использования автоматизации контроля:

$$K_{А.К}^A = 1 - T_{н.к}^A / T_{к},$$

где $T_{н.к}^A$ - среднестатистические затраты на те неавтоматизированные операции контроля, которые в принципе могут быть автоматизированы.

4.3. Оценка контролепригодности АД с учетом эффективности контроля

При наличии материалов по эксплуатации АД используются статистические критерии оценки контролепригодности с учетом эффективности контроля. Наиболее простым является показатель предупреждения отказов в полете:

$$K_{п} = 1 - \left(\frac{\sum_{v=1}^m N_{пv}}{\sum_{v=1}^m N_{ov}} \right), \quad (4.1)$$

где $N_{пv}$, N_{ov} - соответственно число отказов, проявившихся в полете, и общее число отказов, выявленных системой контроля в v -м интервале наблюдений; m - число интервалов наблюдений.

Например, в одном из АТЦ в течение первого полугодия 2005 г. были собраны статистические данные по отказам силовой установки самолета Ил-86, состоящей из четырех ГТД. Результаты наблюдений, которые велись с тремя интервалами по 2 месяца, даны в табл. 4.1. Подставляя цифры в выражение (4.1) находим $K_{п} = 0,829$. Значения $K_{п}$, найденные в аналогичные периоды для силовых установок самолетов Ил-96-300 и Ту-204 в различных АТБ, лежат в пределах 0,92...0,95. Для силовых установок некоторых других магистральных

самолетов, имеющих меньшую контролепригодность, значение K_{Π} составляет 0,66.. 0,73.

Таблица 4.1

Результаты наблюдений по предупреждению отказов силовой установки самолета Ил-86 за первое полугодие 2005 г.

N_v	Январь - февраль $v=1$	Март – апрель $v=2$	Май - июнь $v=3$	$\sum_{v=1}^3 N_v$
$N_{\Pi v}$	7	8	9	24
N_{Ov}	41	46	53	140

4.4. Метод оценки контролепригодности АД с учетом достоверности контроля и его последствий

С учетом особенностей АД как объекта контроля и практического применения контроля в эксплуатации представляется целесообразным принять за итоговый критерий контролепригодности показатель, учитывающий и достоверность контроля, и последствия неправильного определения ТС АД. Достоверность контроля определяем как вероятность того, что выход из системы контроля соответствует ТС АД:

$$K_{\Pi} = P(D) - 1 - P(\bar{D}), \quad (4.2)$$

где $P(\bar{D})$ - вероятность недостоверности контроля, т. е. несоответствия выхода из системы контроля ТС АД.

Множество состояний объекта контроля разобьем на два непересекающихся подмножества:

$$S = S_o \cup \bar{S}_o,$$

где S_o - подмножество допустимых (исправных) состояний АД; \bar{S}_o - подмножество недопустимых состояний АД (неисправностей).

Допустимые состояния это такие, при которых АД можно эксплуатировать без проведения мероприятий по устранению неисправностей. При появлении недопустимых состояний необходимо проводить регулировку, замену элементов или изделий, а в полете - изменять режимы полета (режимы работы АД).

Поскольку не все неисправности контролируются системой контроля, то множество \bar{S}_o может быть разбито на два непересекающихся подмножества:

$$\bar{S}_o = S_K \cup S_H,$$

где $S_K = \bigcup_{j=1}^k S_j$ - подмножество, состоящее из k контролируемых неисправностей; $S_H = \bigcup_{j=k+1}^R S_j$ - подмножество из $(R - k)$ неконтролируемых неисправностей; R - общее число первоначально выделенных неисправностей.

Множество состояний системы контроля разобьем на два непересекающихся подмножества:

$$K = K_o \cup \overline{K_o},$$

где K_o - подмножество состояний системы контроля, при которых выход из нее соответствует ТС АД; $\overline{K_o}$ - подмножество состояний системы контроля, при которых выход из нее не соответствует ТС АД.

Причинами возникновения состояний K_o могут быть: наличие состояний АД из подмножества S_H , недостаточная контролепригодность АД, несовершенство методик контроля, недостаточные надежность и точность аппаратуры.

Подмножество состояний $\overline{K_o}$, в свою очередь, разобьем два непересекающихся подмножества:

$$\overline{K_o} = K_H \cup K_L,$$

где K_H - подмножество состояний, при которых система контроля не дает сигналов при появлении неисправностей; K_L - подмножество состояний при которых система контроля выдает ложные сигналы о неисправности.

Сделаем допущение, что состояния K_o , K_H , K_L образуют полную группу несовместимых событий.

Составим таблицу «истинности», т. е. функционирования комплекса «АД-система контроля» («АД-СК») (табл. 4.2). Обозначим символами: R - наличие сигнала; \overline{R} - его отсутствие; D - правильное определение ТС; \overline{D} - неправильное определение ТС; D_L - ложный сигнал; D_H - необнаружение неисправности. Видно, что истинность выхода возможна и при состояниях системы контроля из множества $\overline{K_o}$. На основании таблицы «истинности» можно составить логическую функцию недостоверности определения ТС АД:

$$\overline{D} = D_L \vee D_H, \text{ или } \overline{D} = S_o K_L \vee \overline{S_o} K_H.$$

Соответственно вероятность недостоверности контроля можно определить по формуле:

$$P(\overline{D}) = P(S_o)P(K_L) + P(\overline{S_o})P(K_H), \quad (4.3)$$

где $P(S_o), P(K_n), P(\overline{S_o}), P(K_n)$ - вероятности появления соответствующих состояний в заданный отрезок времени.

Таблица 4.2

Таблица функционирования комплекса «АД-СК»

Состояние ОК	Состояние СК	Выход	Достоверность	Оценка истинности выхода
S_o	K_o	\overline{R}	D	Истинно
S_o	$K_n \subset \overline{K_o}$	\overline{R}	D	Истинно
$\overline{S_o}$	K_o	R	D	Истинно
$\overline{S_o}$	$K_n \subset \overline{K_o}$	R	D	Истинно
S_o	$K_n \subset \overline{K_o}$	R	$D_n \subset \overline{D}$	Ложно (ложное срабатывание)
$\overline{S_o}$	$K_n \subset \overline{K_o}$	\overline{R}	$D_n \subset \overline{D}$	Ложно (необнаружение)

Пренебрегая вероятностями совместного появления неисправностей $\langle S_1, \dots, S_i, \dots, S_R \rangle$, учитывая малые величины $\langle S_i \rangle$ и принимая их появление событиями независимыми, находим:

$$P(\overline{S_o}) \cong \sum_{j=1}^R P(S_j); \quad (4.4)$$

$$P(S_o) \cong 1 - \sum_{j=1}^R P(S_j). \quad (4.5)$$

Допустим, что системой контроля предусмотрена выдача множества сигналов $\{f_1, \dots, f_i, \dots, f_m\}$. Тогда, принимая аналогичные допущения, находим вероятность выдачи хотя бы одного ложного сигнала:

$$P(K_n) = \sum_{i=1}^m P(f_i | S_o), \quad (4.6)$$

где $P(f_i | S_o)$ - условная вероятность выдачи i -го сигнала при исправном состоянии АД.

Произведение $P(\overline{S_o})P(K_n)$ раскрывается в виде:

$$P(\overline{S_o})P(K_n) \cong \sum_{j=1}^R P(S_j) [1 - P(F | S_j)], \quad (4.7)$$

где $P(F | S_j)$ - условная вероятность появления хотя бы одного сигнала при возникновении j -й неисправности.

Подставляя формулы (4.4) ... (4.7) в выражение (4.3), находим:

$$P(\bar{D}) = \left[1 - \sum_{j=1}^R P(s_j) \right] \sum_{i=1}^m P(f_i | S_o) + \sum_{j=1}^R P(s_j) [1 - P(F | S_j)], \quad (4.8)$$

При наличии статистических материалов по эксплуатации АД значение $P(\bar{D})$ может быть определено непосредственно на основании этих данных по выражению:

$$P(\bar{D}) = \hat{p}_o \hat{p}_{л.о} + (1 - \hat{p}_o) \hat{p}_{н.о}, \quad (4.9)$$

где \hat{p}_o - статистическая вероятность безотказной работы АД за отрезок времени; $\hat{p}_{л.о}$ - статистическая вероятность появления сигнала; $\hat{p}_{н.о}$ - статистическая вероятность необнаружения неисправности.

Значения $\hat{p}_{л.о}$ и $\hat{p}_{н.о}$ можно определить по выражениям (4.10) и (4.11):

$$\hat{p}_{л.о} = \frac{1 - \hat{p}_o}{\hat{p}_o} \cdot \frac{\sum_{v=1}^m N_{л.оv}}{\sum_{v=1}^m N_{л.о} + \sum_{v=1}^m N_{ппv}}; \quad (4.10)$$

$$\hat{p}_{н.о} = \frac{\sum_{v=1}^m N_{н.оv}}{\sum_{v=1}^m N_{н.о} + \sum_{v=1}^m N_{ппv}}, \quad (4.11)$$

где $N_{л.оv}$, $N_{н.оv}$, $N_{ппv}$ - соответственно число ложных, необнаруженных и правильно обнаруженных отказов в v -м интервале наблюдений.

Данные за 1-е полугодие 2005 г. по силовой установке самолета Ил-86, полученные в одном из АТЦ, приведены в табл. 4.3. По этим же данным известно, что поток отказов для этой силовой установки $\lambda = 4,19 \cdot 10^{-3}$ 1/ч. Приняв время беспосадочного полета для данного самолета $\tau = 6$ ч, можно найти $\hat{p}_o = e^{-\lambda\tau} = 0,97$.

Подставляя указанные данные в формулы (4.9), (4.10), (4.11) и (4.2), находим

$$\hat{p}_{л.о} = 0,0032; \quad \hat{p}_{н.о} = 0,31; \quad \hat{p}_{ош} = 0,0124; \quad K_d = 0,98.$$

Для силовых установок самолетов с меньшей продолжительностью полета значение K_d несколько больше и лежит в пределах 0,990...0,995.

Результаты неправильного определения ТС системой контроля могут быть учтены путем определения последствий несоответствия выхода из системы контроля состоянию объекта контроля. В качестве последствий в применении к эксплуатации воздушного транспорта целесообразно принять

такой интегральный показатель, как вероятность невыполнения задания $P_{c.k}(\bar{\omega})$, что отражает нарушение безопасности полетов. Для практического определения этого показателя удобно разбить множество неисправных состояний ВС на непересекающиеся подмножества групп состояний так, чтобы в каждую группу входили состояния, одинаково влияющие на выполнение задания:

$$\bar{S}_o \sim \{C_1, \dots, C_\mu, \dots, C_T\}. \quad (4.12)$$

Аналогично разобьем множество сигналов:

$$F \sim \{F_1, \dots, F_\nu, \dots, F_v\},$$

где каждая из групп характеризуется одинаковым влиянием ложного сигнала на выполнение задания.

Таблица 4.3

Данные по ложным, необнаруженным и правильно обнаруженным отказам силовой установки самолета Ил-86 за первое полугодие 2005 г.

N_ν	Январь - февраль $\nu=1$	Март – апрель $\nu=2$	Май - июнь $\nu=3$	$\sum_{\nu=1}^3 N_\nu$
$N_{л.о\nu}$	3	4	5	12
$N_{н.о\nu}$	13	16	19	48
$N_{пр\nu}$	31	34	41	106

По аналогии с выражением (4.8) записываем:

$$P_{c.k}(\bar{\omega}) = \left[1 - \sum_{j=1}^R P(s_j) \right] \sum_{\nu=1}^v P(F_\nu | S_o) P(\omega | F_\nu S_o) + \sum_{\mu=1}^T P(C_\mu) [1 - P(F | C_\mu)] P(\bar{\omega} | \bar{F} C_\mu) \quad (4.13)$$

где $P(F_\nu | S_o)$ - условная вероятность появления хотя бы одного сигнала из группы F_ν при исправном состоянии АД (ложный сигнал); $P(\omega | F_\nu S_o)$ - условная вероятность невыполнения задания при появлении ложного сигнала; $P(C_\mu)$ - вероятность появления хотя бы одного состояния из группы C_μ ; $P(F | C_\mu)$ - условная вероятность выдачи сигнала при появлении состояния из группы C_μ ; $P(\bar{\omega} | \bar{F} C_\mu)$ - условная вероятность невыполнения полетного задания при появлении состояния из группы C_μ .

Показатель влияния СК на выполнение задания можно найти по формуле:

$$K_\omega = 1 - P_{c.k}(\bar{\omega}).$$

Контролепригодность изделий АТ непосредственно влияет на возможность эксплуатации их по ТС. Эксплуатация АД по ТС предусматривает проведение непрерывного или периодического контроля. Очевидно, что чем выше надежность и контролепригодность АД, тем он лучше приспособлен к такому виду эксплуатации. Надежность может быть охарактеризована значением $P(S_o)$, а контролепригодность – $P(D)$. Обе величины являются функциями наработки. Поэтому целесообразно относить их определение к моменту принятия решения о продлении ресурса АД. Необходимо также учитывать характер изменения потоков отказов. Известно, что если λ -характеристика в назначенный момент наработки возрастает, то это означает, что надежность АД устойчиво падает с наработкой и его целесообразно эксплуатировать по наработке. При горизонтальной падающей λ -характеристике АД при прочих равных условиях более пригоден для эксплуатации по ТС.

С учетом этих соображений критерий пригодности АД при эксплуатации по ТС может быть выражен эмпирической зависимостью :

$$K_{\text{ТС}} = P(S_o)P(D)\left(1 - k_{\lambda} \frac{d\lambda}{dt}\right),$$

где k_{λ} - «весовой» коэффициент, численное значение которого подбирается путем накопления статистических материалов.

Таким образом, оценка контролепригодности АД с учетом эффективности контроля позволяет учитывать практические вопросы эксплуатации.

**НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ АД**

*Рис. П.1. Нормированные данные по некоторым показателям ЭТ ряда
зарубежных двигателей*

(на рис.П.1 представлены результаты обработки материалов [1])

Таблица П. 1

Время замены некоторых агрегатов двигателя CF6-6 [7]

Таблица П. 2

Время замены некоторых модулей двигателя CF6-6 [7]

Таблица П. 3

**К расчету некоторых норм времени работ на Д-30КП на самолете
Ил-76Т согласно пооперационных ведомостей технолого-конструкторского бюро (ТКБ)
и хронометражных замеров отдела технического нормирования (ОТН)**

Литература

1. Материалы конференции фирмы Pratt&Whitney. Москва-1994.
2. Никонова И.А., Шепель В.Т. Технико-экономическая эффективность авиационных ГТД в эксплуатации.-М.: Машиностроение, 1989.-196 с.
3. Пивоваров В.А. Повреждаемость и диагностирование авиационных конструкций. Учебник.-М.: Транспорт, 1994.-204 с.
4. Постановление Правительства РФ от 15 октября 2001 г. N 728 "О федеральной целевой программе "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002 - 2010 годы и на период до 2015 года".
5. Руководства по технической эксплуатации двигателей Д-30КУ(КП), НК-8-2У, ПС-90А, Д-36. (Изд-ва разработчиков)
6. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов.- М.: Транспорт,1994.-256 с.
7. CF6-CF6. High Bypass Turbofan. Cincinnati, Ohio:General Electric, 1972.-147 p.
8. Тюрин Ю. Некоторые вопросы состояния эксплуатации и разработки авиадвигателей в России. Дополненный (08.1999) вариант материала, опубликованного в Авиатранспортном обозрении № 12, 1998.
9. Ямпольский В.И., Белоконь Н.И., Пилипосян Б.Н. Контроль и диагностирование гражданской авиационной техники.-М.: Транспорт, 1990.-183 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОСТОЯНИЕ ПАРКА АВИАДВИГАТЕЛЕЙ и ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.....	5
1.1. Состав парка авиадвигателей.....	5
1.2. Надежность отечественных двигателей в целом.....	7
1.3. Ресурсы двигателей.....	13
1.4. Особенности гарантийных программ и гарантийных обязательств по АД.....	16
1.5. О перспективах развития ГА в рамках Постановления Правительства РФ от 15 октября 2001 г. N 728 "О федеральной целевой программе "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002 - 2010 годы и на период до 2015 года".....	18
2. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	20
2.1. Характеристики эксплуатационной технологичности.....	20
2.2. Сравнение эксплуатационной технологичности отечественных двигателей третьего и четвертого поколений.....	30
2.2.1. Анализ ЭТ АД третьего поколения.....	30
2.2.2. Анализ ЭТ двигателя ПС-90А.....	40
2.3. Особенности стратегий эксплуатации модульных АД.....	50
3. КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ АД ПРИ ТО.....	52
3.1. Место и роль контроля АД в системе эксплуатации.....	52
3.2. Формирование систем контроля АД.....	57
4. КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	60
4.1. Комплексная оценка контролепригодности АД на этапе эксплуатации.....	62
4.2. Количественные показатели контролепригодности АД.....	64
4.3. Оценка контролепригодности АД с учетом эффективности контроля.....	67

4.4. Метод оценки контролепригодности АД с учетом достоверности контроля и его последствий.....	68
--	----

ПРИЛОЖЕНИЕ.

НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ АД.....	73
--	----