

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

**КИЕВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

На правах рукописи

ДАТТА Папчанан

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ КОНТРОЛЯ И
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

Специальность 05.22.14-«Эксплуатация воздушного транспорта»

**Автореферат
диссертации на соискание научной степени
кандидата технических наук**

Киев-1997



00753623 (Q)

Работа выполнена на аппаратуре и авиационных двигателях Киевского международного университета гражданской авиации.

Научный руководитель- доктор технических наук, профессор
А.А. Комаров

Официальные оппоненты- доктор технических наук, профессор
А.В. Соломещев ;

кандидат технических наук,
М.В. Воробьев

Ведущая организация- Украинский центр по научно-методическому обеспечению эксплуатации авиационной техники Укр ЦЭАТ

Защита состоится «26» июня 1997 г. в 15 ч. 00 м. На заседании специализированного совета Д 61.35.04. при Киевском международном университете гражданской авиации по адресу: 252058 , Киев-58, Проспект Космонавта Комарова 1, Корпус 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

А. реферат разослан « » мая 1997г.

Ученый секретарь
специализированного совета,

доктор технических наук
Н.С. Кулик

АВ 37.965

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы, Увеличение сложности современной авиационной техники (АТ) обусловило и рост затрат на их технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Значительно усложнились процессы определения технического состояния функциональных систем и своевременного выявления неисправных элементов, что затрудняет предупреждение опасных последствий отказов в полете.

В этих условиях система ТОиР становится одним из важнейших факторов, определяющих эффективность эксплуатации и безопасность полетов (БП) воздушных судов (ВС). Совершенствование системы ТОиР, разработка и внедрение эффективных методов диагностирования изделий АТ, повышение качества их ТО осуществляется более эффективно, если решение данных задач базируется на изучении механизма отказов и неисправностей, анализе надежности изделий и оценки технического состояния изделий АТ в процессе эксплуатации.

Поддержание высокого уровня надежности и БП современных ВС, а также внедрение прогрессивных методов ТОиР, не может быть обеспечено без использования методов и средств диагностирования их технического состояния (ТС). Объективная и своевременная оценка ТС, принятие обоснованного решения о дальнейшей эксплуатации ВС или отдельных его узлов и систем, возможно только при условии комплексного применения различных методов контроля и диагностирования. Эти методы основаны на анализе изменения основных показателей, характеризующих работу систем и узлов, интенсивности выработки долговечности наиболее нагруженных конструктивных элементов, уровней внешних признаков, проявляющихся в процессе функционирования изделий, результатов применения средств неразрушающего контроля.

Разработка и совершенствование средств и методов диагностирования позволили объективно оценивать ТС ряда изделий АТ. Опыт применения прогрессивных методов ТОиР свидетельствует о их перспективности и мобильности, так как в зависимости от конструктивных особенностей ВС, степени их контролепригодности, кратности резервирования возможна оптимизация и трансформация методов в широком диапазоне.

Во многих работах не учитывается неидеальность контроля и в моделях надежности изделий АТ не вводятся характеристики, определяющие затраты ресурсов на реализацию функции контроля, не учитываются собственные отказы систем контроля и др.

Независимое рассмотрение вопросов надежности изделий АТ и характеристик средств и методов контроля может привести к неблагоприятным последствиям для инженерной практики.

Таким образом с ростом сложности АТ, повышением требований по обеспечению безопасности полетов, внедрением методов диагностирования АТ, основанных на анализе изменений контролируемых параметров, необходимо совершенствовать организацию проведения регламентных работ и оптимизировать режимы контроля и диагностирования изделий АТ с учетом надежности и достоверности средств контроля.

Целью настоящих исследований и является оценка влияния периодичности ТО изделий АТ по показателям их безопасности с учетом надежности средств контроля, построение и оптимизация модели ТО изделий АТ при наличии ошибок диагностирования их технического состояния.

1
ЛИБ им. В. Стефанюка
АН УкрАИИ

В работе поставлены следующие задачи :

- построение и анализ моделей ТО изделий АТ при наличии ошибок диагностирования их технического состояния;
- разработка методики оценки коэффициента готовности с учетом ошибок контроля и диагностирования изделий АТ;
- оптимизация режима контроля состояния изделий АТ на основе коэффициента готовности.

Методы исследований основаны на теории надежности, теории массового обслуживания, теории вероятностей и математической статистике, теории случайных процессов, теории и практике технической эксплуатации ВС.

Экспериментальной базой исследований являются формальные, имитационные и аналитические модели, а также модели в виде графов состояний и переходов изделий АТ в процессе эксплуатации.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана модель процесса контроля технического состояния изделий АТ при наличии возможных ошибок средств контроля и диагностирования;
- показана эффективность использования модели с конечным множеством состояний и использованием марковских процессов с непрерывным временем для исследования эффективности системы ТОиР;
- разработан алгоритм оптимизации режимов контроля и диагностирования изделий АТ с учетом надежности используемых средств.

Практическая ценность работы :

- осуществлен выбор и показана эффективность применения в качестве критерия оптимизации периодичности ТО изделий АТ коэффициента оперативной готовности;
- установлены зависимости изменения критерия оптимизации от параметров ТО.

Построены графики изменения критерия от периодичности контроля при различных значениях исследуемых параметров, расчет которых проведен на ЭВМ;

- разработана методика оптимизации режимов контроля изделий АТ на основе полученных зависимостей и графиков изменений критериев оптимизации от параметров ТО.

Апробация работы. Основные результаты исследований, представленные в диссертационной работе, докладывались автором и обсуждались на международных научно-технических конференциях: «АБИОНИКА-95» (17-19 мая 1995 года), «АЭРОНАВИГАЦИЯ-96» (24-26 сентября 1996 года), на «XVI звітній науково-технічній конференції університету за 1995 рік», на семинарах кафедры ТЭЛА КМУГА.

Публикации. По результатам диссертации опубликованы 4 печатных работы, 5 тезисов, отчет по научно-исследовательской работе кафедры.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов и рекомендаций, списка литературы (117 наименований), приложения. Общий объем работы составляет 130 страниц, 24 рисунка, 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности рассматриваемой проблемы, ее роль и место в совершенствовании системы технической эксплуатации изделий АТ.

В первой главе на основе анализа научных работ известных ученых:

Андронина А.М., Барзиловича Е.Ю., Белецкого А.Я., Беляевского Л.С., Игнатова В.А., Иolkova Л.И., Дуан Дж.Т., Комарова А.А., Кузнецова В.И., Константинова В.Д., Моломина В.П., Румянцева Е.А., Новикова В.С., Савенкова М.В., Смирнова Н.Н., Ушакова И.А., Шейнина А.М., Соломенцева А.В. и др. исследовано состояние изучаемых вопросов.

Основное требование, предъявляемое к процессу ТЭ в целом, состоит в том, чтобы при ограниченных затратах труда обеспечить наибольшую вероятность того, что в необходимый момент времени ЛА окажется исправным и выполнит поставленную задачу. При разработке методов ТО и Р основное внимание уделяется плановым профилактическим работам, цель которых обеспечить безотказную эксплуатацию ЛА в межпрофилактические периоды путем предупреждения неисправностей и отказов узлов и агрегатов и поддержания их технических характеристик в пределах установленных допусков.

ТО необходимо для всех современных ЛА и может включать в себя непрерывный и периодический контроль работоспособности, автоматизированные периодические проверки, регламенты устранения отказов и неисправностей, доработки. Каждая составляющая системы ТО характеризуется с целым рядом параметров, входящих в состав эксплуатационных характеристик и задаваемых в требованиях, таких, как периодичность, объем и продолжительность, стратегия и способы проведения ТО и др. От правильности обоснования, подтверждения и принятия решения о значениях этих параметров по результатам испытаний зависят как уровень надежности ЛА в процессе эксплуатации, так и стоимость достижения этого уровня Рис.1.

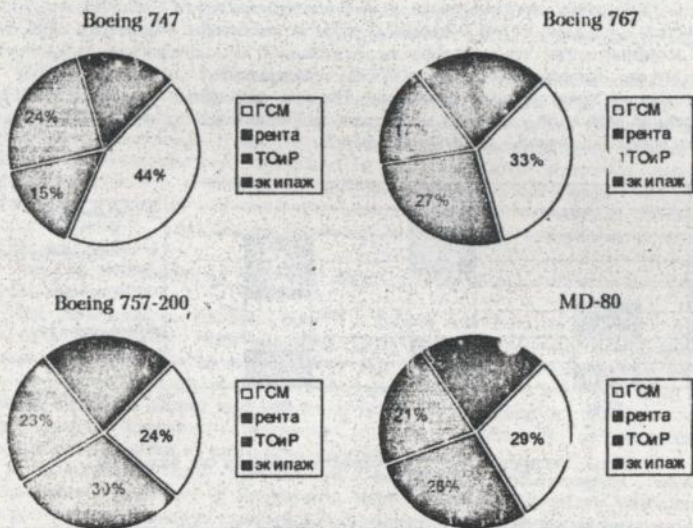


Рис.1. Распределение затрат при эксплуатации ВС

Оперативные и периодические виды ТО образуют тот комплекс плановых предупредительных мероприятий - состояний процесса ТЭ, с помощью которого

обеспечиваются исправность парка самолетов, безопасность и регулярность полетов и следовательно эффективности их использования.

Достигнутый уровень совершенства АТ обеспечивает возможность применения прогрессивных стратегий ТО и для самолетов: ЯК-40, ЯК-42, ТУ-134, ТУ-154, ИЛ-62, ИЛ-86. В табл.1 приведена статистика, демонстрирующая готовность систем самолета ТУ-154 к ТОСКП.

Таблица 1.

Процент агрегатов систем самолета ТУ-154, подлежащих ТО по различным стратегиям

Стратегия ТО	Самолет в целом	Планер и его системы	СУ	Системы	ЛиРЭО
ТО/ПАР	11.3	9.7		23.1	11.0
ТОСКП	12.7	19.3		11.0	2.3
ТОСКП	76.0	71.0		65.6	86.7

где, ТО/ПАР - ТО по парботке; ТОСКП - ТО с контролем параметров; ТОСКП - ТО с контролем уровня надежности.

На практике существуют различные подходы к оптимизации ТОиР в зависимости от принятых критериев оптимальности и выбранных стратегий. Основное требование, предъявляемое к системе ТОиР в целом, состоит в том, чтобы обеспечить наибольшее значение коэффициента технического использования самолетов при ограниченных затратах труда, времени и средств для поддержания летной годности ВС. Применительно к транспортным самолетам ГА при разработке стратегии и методов ТОиР основное внимание уделяется плановым профилактическим работам, т. к. на них приходится наибольшая трудоемкость работ рис.2.

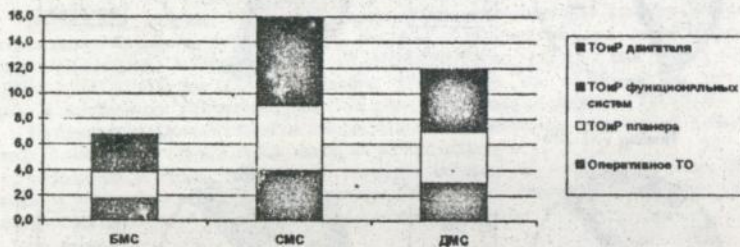


Рис.2. Распределение трудоемкости работ на час полета ВС.

Функционирование сложных технических систем АТ описывается целым рядом моделей, имеющих стохастическую природу. Для исследования этих моделей широко применяется аппарат управляемых случайных процессов. При этом исследуются динамические задачи управления, когда принимаемые решения зависят от предистории или, в марковском случае, от состояния процессов в текущий момент времени.

Разработка и совершенствование средств и методов диагностирования позволяют объективно оценивать ТС ряда изделий АТ. Опыт применения прогрессивных методов ТОиР свидетельствует о их перспективности и мобильности, так как в зависимости от конструктивных особенностей ВС, степени их контролепригодности, кратности резервирования возможна оптимизация и трансформация методов в широком диапазоне. Так, ТОиР по ресурсу часто переходит в обслуживание до отказа для таких изделий, отказы которых не влияют на БП.

Вопросом оценки надежности систем посвящено большое количество работ. Однако в ряде случаев возникает необходимость рассматривать задачи оценки надежности, которые не укладываются в уже отработанные модели. Это, в частности, относится и к задачам оценки надежности сложных систем АТ обладающих рядом свойств характеризующих сложный процесс эксплуатации ВС:

- переменный режим эксплуатации;
- различная периодичность и глубина контроля состояния элементов системы;
- не полная достоверность контроля;
- различная дисциплина ТО и восстановления, и др.

Большинство работ по методам контроля рассматривают его как метод улучшения ремонтпригодности изделий и повышения достоверности оценки их технического состояния. В этих работах задача о влиянии системы контроля на надежность изделий в целом не ставится, а критерием эффективности выбираются показатели, характеризующие эффективность профилактических работ, вероятность обнаружения повреждений, достоверность оценки технического состояния изделий. Условия контроля работоспособности идеализируются и предполагается, что все отказы обнаруживаются мгновенно при непрерывном и с некоторой задержкой при периодическом контроле.

Внедрение в эксплуатацию метода ТО и Р по техническому состоянию предусматривает в частности для отдельных изделий объекта эксплуатации контроль параметров характеризующих его техническое состояние. К таким изделиям например можно отнести авиационный двигатель, у которого ведется контроль за показателями газодинамических параметров, вибрации и т.д. При этом возможен отказ самого контрольного элемента и подача ложной информации о состоянии изделия. При периодических проверках в процессе выполнения форм ТО выявляются неисправности и отказы элементов, которые не охвачены непрерывным контролем, а также сами элементы контроля.

Решение поставленных в работе задач проведено в соответствии со схемой исследований рис.3.

При исследовании систем ТО ЛА в работе использованы модели с конечным множеством состояний. Для описания таких моделей использованы марковские процессы с непрерывным временем. Этот вид марковских процессов позволяет более полно описывать функционирование ЛА с соответствующей системой ТО, носящее случайный характер. Закон распределения моментов перехода из одного состояния в другое задается случайным потоком, и момент перехода отождествляется с осуществлением события из этого случайного процесса.

В большинстве задач прикладного характера использование марковской аппроксимации приводит к получению решений с погрешностью, находящейся в пределах точности исходных данных. Статистическое моделирование различных задач показало, что в большинстве случаев эта погрешность ограничена 3.5%.

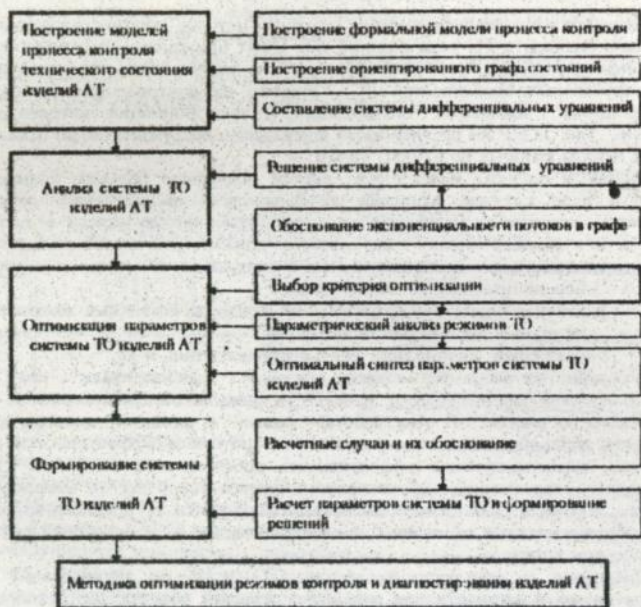


Рис.3.Схема исследований

Вторая глава посвящена построению моделей и математическому моделированию процессов функционирования изделий АТ, что позволяет на более высоком уровне разрабатывать оптимальные планы ТУ, определять характеристики объектов эксплуатации на различных режимах функционирования, учитывать влияние эксплуатационных факторов.

Построение моделей сложных систем с восстановлением вызывает необходимость промежуточного этапа формализации, рассматривающей процессы с общих формально-теоретических позиций и фиксирующей в знаковой форме все основные свойства и связи в сложных системах.

Процесс функционирования сложной системы можно представить через эволюцию ее состояния во времени:

$$\Pi = \{S, P, W, U\},$$

где S - вектор структурного строения системы;

P - вектор состояния элементов системы;

W - вектор состояния среды;

U - вектор управления.

Для дискретного описания процесса изменения состояния системы $\Pi(n)$ необходимо определить последовательность изменения этих параметров на каждом "n+1" шаге процесса.

Процессы Π_n, Π_{n+1} , изменения состояния и управления U_n, U_{n+1} системы на n+1 шаге представляется рядом последовательных отображений:

$$P: \{P(n), S(n), W(n), U(n), \Delta t(n)\} \rightarrow P_{n+1}$$

$$W: \{P(n+1), W(n), \Delta t(n)\} \rightarrow W(n+1)$$

$$S: \{P(n+1), S(n), W(n+1), U(n), \Delta t(n)\} \rightarrow S(n+1)$$

$$U: \{P(n+1), S(n+1), W(n+1), U(n), \Delta t(n)\} \rightarrow U(n+1)$$

$$\Delta t: \{P(n+1), S(n+1), W(n+1), U(n+1), \Delta t(n)\} \rightarrow t(n+1)$$

где P, S, W, U, t - операторы, реализующие изменение соответствующих векторов.

Полученная математическая схема отражает структурные и функциональные закономерности развития в сложной системе и может служить основой ее формально-теоретического описания, предметом анализа и основой построения математических моделей.

Схема дает общую идею построения формальной теории синтеза управления и позволяет строить практические методы математического моделирования сложных систем. Выбор критериев и ограничений соответствует выбору факторов и характера действий, с помощью которых достигается выполнение задачи.

Выбрав в качестве исследуемых объектов систему "объект-контрольный элемент - его состояние" модель эксплуатации можно представить в виде графа состояний, представленного на рис.4.

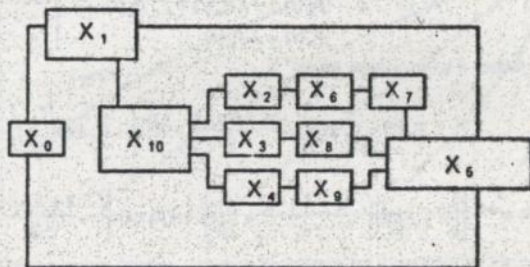


Рис. 4. Граф состояний.

X_0 - состояние готовности к полету; X_1 - оба исправны; X_2 - объект исправен, контрольный элемент неисправен; X_3 - объект неисправен, контрольный элемент исправен; X_4 - оба неисправны; X_5 - профилактика контроля, очередная; X_6 - профилактика контроля, контрольный элемент неисправен; X_7 - устранение неисправности контрольного элемента; X_8 - устранение неисправности объекта; X_9 - устранение неисправности объекта и контрольного элемента; X_{10} - полет.

Решая задачу в общей постановке представим схему в упрощенном виде рис.5.

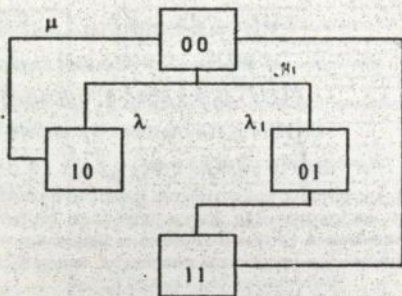


Рис. 10. Упрощенный граф состояний.

В соответствии со схемой система дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} P'_{00}(t) &= -(\lambda + \lambda_1)P_{00}(t) + \mu P_{10}(t) \\ P'_{10}(t) &= -\mu P_{10}(t) + \lambda P_{00}(t) \\ P'_{01}(t) &= -\lambda P_{01}(t) + \lambda_1 P_{00}(t) \\ P'_{11}(t) &= \lambda P_{01}(t) \end{aligned} \right\}$$

имеющих решение в следующем виде:

$$P_{00}(t) = C_1 \exp\left\{\left(-\frac{\lambda + \lambda_1 + \mu}{2} + R\right)t\right\} + C_2 \exp\left\{\left(-\frac{\lambda + \lambda_1 + \mu}{2} - R\right)t\right\}$$

$$P_{10}(t) = e^{-\mu t} \left(\int_0^t \lambda C_1 \exp\left\{\left(-\frac{\lambda + \lambda_1 + \mu}{2} + R\right)t\right\} + \lambda C_2 \exp\left\{\left(-\frac{\lambda + \lambda_1 + \mu}{2} - R\right)t\right\} e^{\mu t} dt + C \right)$$

$$P_{01}(t) = \frac{\lambda C_1 \left(\exp\left\{\left(-\frac{\lambda + \lambda_1 + \mu}{2} - R\right)t\right\} - e^{-\lambda t} \right)}{-\left(\frac{\lambda - \lambda_1 + \mu}{2} + R\right)} + \frac{\lambda_1 C_2 \left(\exp\left\{\left(-\frac{\lambda + \lambda_1 + \mu}{2} - R\right)t\right\} - e^{-\lambda t} \right)}{-\left(\frac{\lambda - \lambda_1 + \mu}{2} + R\right)}$$

$$P_{11}(t) = \lambda_1 \lambda \left(\frac{C_1 \left(\exp\left\{\left(-\frac{\lambda + \lambda_1 + \mu}{2} - R\right)t\right\} - 1 \right)}{\left(-\frac{\lambda_1 - \lambda + \mu}{2} + R\right) \left(-\frac{\lambda_1 + \lambda + \mu}{2} + R\right)} + \frac{C_1 (e^{-\lambda t} - 1)}{\lambda \left(-\frac{\lambda_1 - \lambda + \mu}{2} + R\right)} \right) + \lambda_1 \lambda \left(\frac{C_2 \left(\exp\left\{\left(-\frac{\lambda + \lambda_1 + \mu}{2} - R\right)t\right\} - 1 \right)}{\left(-\frac{\lambda_1 - \lambda + \mu}{2} + R\right) \left(-\frac{\lambda_1 + \lambda + \mu}{2} + R\right)} + \frac{C_2 (e^{-\lambda t} - 1)}{\lambda \left(-\frac{\lambda_1 - \lambda + \mu}{2} + R\right)} \right)$$

Таким образом получены формулы для расчета вероятности $P_{00}(t), P_{10}(t), P_{01}(t), P_{11}(t)$ дающие возможность при известных параметрах λ, λ_1 и μ вычислить их фактические значения.

Для оптимизации режима контроля необходим выбор критериев оптимизации и установить математические зависимости между критерием оптимизации и вероятности возможных состояний системы "объект эксплуатации - контрольный элемент - состояние".

В третьей главе представлены результаты анализа влияния на качество процессов ТО характеристик средств контроля и диагностирования технического состояния изделий АТ, осуществлен выбор критериев оптимизации параметров системы ТО, корректировка которых необходима для выполнения требований к показателям надежности ВС.

Установлено, что одинаковые значения достоверности контроля могут быть получены как повышением надежности изделий АТ $\{P(t)\}$, так и изменением ошибок первого и второго рода. Характер изменения достоверности контроля от надежности изделий АТ и параметра C_K показан на рис.6, где:

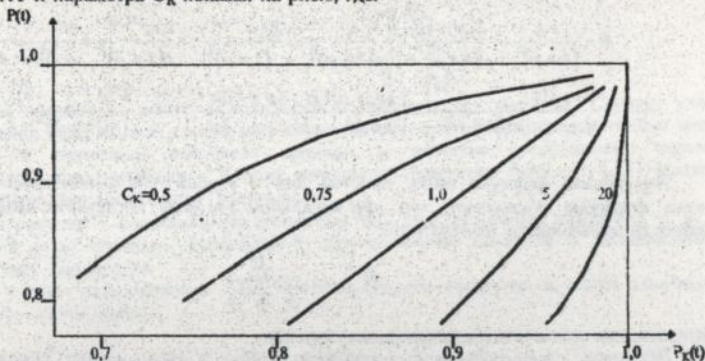


Рис. 6. Зависимость достоверности контроля от надежности изделия и параметра

$$C_K = \frac{1 - \alpha(t)}{\beta(t)}$$

В качестве критерия выбран коэффициент оперативной готовности $K_{ОГ}$:

$$K_{ОГ} = K_G \cdot P(t)$$

где: K_G - коэффициент готовности; $P(t)$ - вероятность безотказной работы.

При периодическом контроле технического состояния изделий АТ вероятность правильного функционирования технических средств $P_{ПК}$ влияет только на K_G и равна:

$$P_{ПК} = K_G + (1 - K_G) e^{-\frac{\tau}{K_G t_B}}$$

где t_B - среднее время проведения контроля (восстановления).

Для решения задачи оптимизации параметров системы ТО изделий АТ необходимо определить зависимость критерия от параметров модели системы ТО.

$$K_G^* = \frac{\mu}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda_1 (-\mu^2 B + \Lambda \mu (\lambda + \mu))}{\tau \mu (\lambda + \mu) + \lambda (1 - e^{-(\lambda + \mu)\tau})} + \dots$$

где значения коэффициентов Λ и B равны:

$$\begin{aligned} A &= \frac{2\tau\mu\lambda}{(\lambda + \mu)^3} + \frac{\tau^2\mu^2}{2(\lambda + \mu)^2} + \frac{(\lambda^2 - 2\lambda\mu)(1 - e^{-(\lambda + \mu)\tau})}{(\lambda + \mu)^4} - \frac{\lambda^2\tau e^{-(\lambda + \mu)\tau}}{(\lambda + \mu)^3} - \frac{\mu\tau}{\lambda(\lambda + \mu)} + \\ &+ \frac{\mu(1 - e^{-\lambda\tau})}{\lambda^2(\lambda + \mu)} + \frac{\lambda(1 - e^{-(\lambda + \mu)\tau})}{\mu(\lambda + \mu)^2} + \frac{e^{-\lambda\tau} - 1}{\mu(\lambda + \mu)} \\ B &= \frac{\tau\lambda}{(\lambda + \mu)^2} - \frac{\lambda(\mu - \lambda)}{\mu(\lambda + \mu)^3} - \frac{\tau\lambda^2 e^{-(\lambda + \mu)\tau}}{\mu(\lambda + \mu)^2} + \frac{2\lambda e^{-(\lambda + \mu)\tau}}{(\lambda + \mu)^3} - \frac{\lambda e^{-(\lambda + \mu)\tau}}{\mu(\lambda + \mu)^2} + \frac{\mu(e^{-\lambda\tau} - 1)}{\mu\lambda(\lambda + \mu)} + \\ &+ \frac{\lambda(e^{-(\lambda + \mu)\tau} - e^{-\lambda\tau})}{\mu\mu_1(\lambda + \mu)} - \left(\frac{(\mu_1 + \mu)\tau\mu}{\mu\mu_1(\lambda + \mu)} + \frac{(\mu - \lambda)(e^{-\lambda\tau} - 1)}{\lambda\mu} + \frac{\lambda^2(e^{-(\lambda + \mu)\tau} - 1)}{\mu(\lambda + \mu)^2} \right) \end{aligned}$$

Полученная формула имеет простой вид и удобна для выполнения расчетов. Анализ формулы показывает, что при идеальном контроле, когда $\lambda_1 = 0$, коэффициент готовности определяется выражением:

$$K_G^* = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

что полностью соответствует физическому смыслу.

Четвертая глава посвящена разработке методики оптимизации периодичности контроля параметров отдельных изделий АТ по коэффициенту готовности, которая может быть использована для предупреждения параметрических отказов изделий АТ или для отдельных агрегатов, которые не оказывают существенного влияния на работоспособность сложных систем АТ в целом.

Формирование оптимальных режимов контроля объектов эксплуатации проводится на основе анализа эффективном его применении в условиях эксплуатации. Поскольку техническое состояние системы контроля следует считать случайным меняющимся во времени, то правила выбора и оценки режимов контроля, обеспечивающих заданную эффективность, можно сформулировать в результате решения задачи управления случайным процессом.

Использование марковской модели позволяет оптимизировать параметры системы ТО с учетом надежности элементов контроля, неполной достоверности оценки состояния изделий, неполного их восстановления после отказа и др. И хотя параметры системы ТО уже реализованы в документации и их эффективность зависит от оптимальности принятых решений на стадиях разработки и проектирования, на основе результатов эксплуатации о выполнении требований к параметрам ТО отдельных агрегатов можно наметить пути совершенствования систем контроля или провести оптимальную корректировку режимов их использования.

Если время наработки до отказа и время восстановления распределены по экспоненциальному закону, то без учета надежности средств контроля имеем:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad K_r = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

Представим значения функций $f_1(z)$, $f_2(z)$, $f_3(z)$ в виде:

$$f_1(z) = e^{-(\mu+\lambda)/\mu z}$$

$$f_2(z) = \mu / (\mu + z\lambda)^2$$

$$f_3(z) = f_1(z) \cdot f_2(z)$$

Обозначая $(1 + \lambda/\mu) = a$, запишем функцию $f_3(z)$:

$$f_3(z) = e^{-a z} \cdot \mu / (\mu + z\lambda)$$

Тогда оптимальная периодичность контроля равна:

$$\tau_{opt} = \frac{2(\mu + \lambda)}{\lambda a \mu \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4\mu}{\lambda a}} \right)}$$

Это выражение можно использовать в практических расчетах. Следует учесть, что функция $f_3(z)$ вблизи своего максимума имеет пологий вид, следовательно можно говорить о некотором интервале времени, в котором располагается значения оптимальной периодичности. В этом интервале значения функции $f_3(z)$ меняется незначительно по абсолютной величине.

На рисунке 7 представлены изменения K_{of} при различных значениях μ , λ , а в таблице 2 даны значения оптимальной периодичности контроля в зависимости от исследуемых параметров.

С учетом надежности и характеристик средств контроля, а также полученных ранее результатов имеем:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad K_r = \frac{\mu}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda_1 (-\mu^2 B + A\mu(\lambda + \mu))}{\tau \mu (\lambda + \mu) + \lambda (1 - e^{-(\lambda + \mu)\tau})}; \quad \tau_{opt} = \frac{\lambda + \mu}{\lambda \mu z}$$

В этом случае значения функции $f_1(z)$ и $f_2(z)$ равны:

$$f_1(z) = e^{-(\mu + \lambda)/\mu z}$$

$$f_2(z) = \frac{\mu}{\mu + z\lambda} - \frac{\lambda_1 (-\mu^2 B + A\mu(\lambda + \mu)) z}{(\lambda + \mu)^2 / (\lambda z) + z\lambda (1 - e^{-(\lambda + \mu)^2 / (\lambda \mu z)})}$$

Тарт

Таблица 2
 $\lambda_1 = 0$

$\lambda \backslash \mu$	6	4	2	1	0,8	0,6	0,5
$1,0 \cdot 10^{-6}$	40	50	70	100	110	130	140
$0,5 \cdot 10^{-6}$	60	70	100	140	160	180	200
$1,0 \cdot 10^{-5}$	130	160	225	315	355	410	450
$0,5 \cdot 10^{-5}$	180	225	315	450	500	580	630
$1,0 \cdot 10^{-4}$	410	500	710	1000	1120	1290	1415
$0,5 \cdot 10^{-4}$	580	710	1000	1415	1580	1825	2000

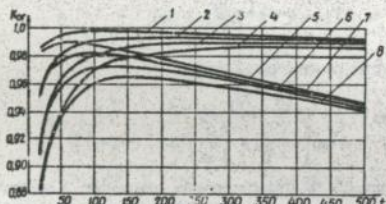


Рис. 7. Изменение коэффициента операционной готовности по наработке при различных значениях λ и μ : 1- $\lambda=10^{-6}$, $\mu=3,0$; 2- $\lambda=10^{-6}$, $\mu=1,0$; 3- $\lambda=10^{-6}$, $\mu=0,5$; 4- $\lambda=10^{-5}$, $\mu=0,5$; 5- $\lambda=0,5 \cdot 10^{-5}$, $\mu=3,0$; 6- $\lambda=0,5 \cdot 10^{-5}$, $\mu=1,0$; 7- $\lambda=0,5 \cdot 10^{-5}$, $\mu=0,5$

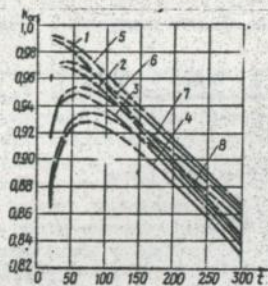


Рис. 8. Изменение коэффициента операционной готовности по наработке при различных значениях λ, μ и μ : 1- $\lambda=10^{-6}$, $\mu=3,0$; 2- $\lambda=10^{-6}$, $\mu=1,0$; 3- $\lambda=10^{-6}$, $\mu=0,5$; 4- $\lambda=10^{-5}$, $\mu=0,5$; 5- $\lambda=0,5 \cdot 10^{-5}$, $\mu=3,0$; 6- $\lambda=0,5 \cdot 10^{-5}$, $\mu=1,0$; 7- $\lambda=0,5 \cdot 10^{-5}$, $\mu=0,5$; 8- $\lambda=10^{-4}$, $\mu=0,5$

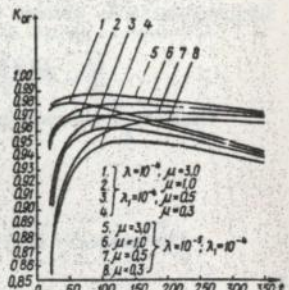


Рис. 9. Изменение коэффициента операционной готовности по наработке при различных значениях λ, μ

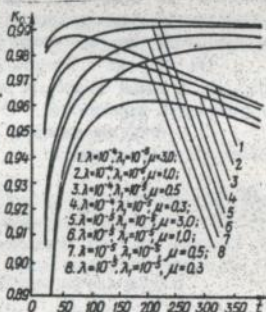


Рис. 10. Изменение коэффициента операционной готовности по наработке при различных значениях λ, μ

Функцию $f_2(Z)$ представим в виде удобном для дальнейшего использования в задаче, подставляя значения λ, μ :

$$f_2(z) = \frac{\mu}{\mu + z\lambda} - \frac{\lambda\lambda_1\mu z}{(\lambda + \mu)^3} \left(-\mu^2 \left(\frac{\lambda - \mu}{(\lambda + \mu)^3} - \left(1 - \frac{(\lambda + \mu)^2}{\lambda\mu z} \right) \left(\frac{2\lambda - \lambda(\lambda + \mu)/\mu}{(\lambda + \mu)^3} + \frac{\lambda(\lambda + \mu) + \lambda^2\mu_1}{\mu\mu_1(\lambda + \mu)^2} \right) + \left(1 - \frac{\lambda + \mu}{\mu z} \right) \left(\frac{(\mu - \lambda) + (\mu^2 - \lambda^2)/\mu_1}{\mu\mu_1\lambda(\lambda + \mu)} - \frac{\mu^2(\lambda + \mu) - \lambda^3\mu_1}{\mu\mu_1\lambda(\lambda + \mu)^2} \right) + \right. \\ \left. + \mu \left(\frac{z^2 + \left(1 - \frac{(\lambda + \mu)^2}{\lambda\mu z} \right) (2\lambda\mu - \lambda^2) - 2\mu}{(\lambda + \mu)^3} \right) \right)$$

Тогда функция $f_3(Z) = f_1(Z)f_2(Z)$ равна:

$$f_3^*(z) = e^{-a/z} \left(\frac{\mu}{\mu + z\lambda} - \frac{\lambda^2\lambda_1\mu_1\mu^4 z^2 (\mu - \lambda)}{(\lambda + \mu)^3} \right)$$

Приравняем первую производную к нулю:

$$\frac{d}{dz} e^{-a/z} \left(\frac{\mu}{\mu + z\lambda} - \frac{\lambda^2\lambda_1\mu_1\mu^4 z^2 (\mu - \lambda)}{(\lambda + \mu)^3} \right) = 0$$

и применяя формулу дифференцирования по частям $(UV)' = U'V + UV'$, где

$$U = e^{-a/z}; \quad V = \left(\frac{\mu}{\mu + z\lambda} - \frac{\lambda^2\lambda_1\mu_1\mu^4 z^2 (\mu - \lambda)}{(\lambda + \mu)^3} \right),$$

окончательно получаем:

$$z^6 - \frac{(\lambda + \mu)^2 + 2\lambda^2}{\lambda^2} z^5 + \frac{\mu^2}{\lambda^3} (1 + \lambda) z^4 + \frac{2\mu^2}{\lambda^3} (\mu - \lambda) z^3 + \\ + \frac{(\lambda + \mu)^3 + \lambda\mu^2(\lambda + 1) + 3}{\lambda^5\lambda_1\mu_1\mu^3} z^2 - \frac{a(\lambda^6 + 2\lambda\mu + \mu^2)}{\lambda^4\lambda_1\mu_1\mu^3} z - \frac{a(\lambda + \mu)^2}{\lambda^5\lambda_1\mu_1\mu^2} = 0$$

Расчет оптимальной периодичности контроля изделий АТ проведен на ЭВМ, результаты которого в зависимости от различных значений исследуемых параметров,

представлены на рисунках 8-10. Методика и полученные графики могут быть использованы как для установки ориентировочных значений периодичности контроля проектируемых изделий АТ, так и для оптимальной коррекции режимов контроля серийных изделий АТ на основе статистических данных о результатах их эксплуатации в реальных условиях.

Общие выводы и рекомендации

1. Одной из актуальных проблем ГА является оптимизация процессов технической эксплуатации АТ, которым посвящено большое количество исследований.

Сложность организации технической эксплуатации объясняется тем, что состояние изделий АТ меняется случайным образом, а планируемые работы по ТО должны быть по возможности более регулярными.

Основой для планирования работ являются результаты контроля параметров авиационных систем, которые в большинстве случаев имеют лишь вероятностную связь с состоянием эксплуатируемых объектов.

Вопросам же оптимизации режимов контроля изделий АТ с учетом неидеальной системой оценки их технического состояния уделено недостаточное внимание.

2. В работе построена модель системы контроля и диагностирования изделий АТ позволяют оптимизировать параметры системы ТО с учетом надежности средств контроля, полноты и достоверности оценки технического состояния объектов эксплуатации.

3. При исследовании системы ТО в работе показана эффективность использования модели с конечным множеством состояний, для описания которой использованы марковские процессы с непрерывным временем, что позволяет более полно описывать функционирование объекта контроля с соответствующей системой ТО носящей случайный характер.

4. Осуществлен выбор и показана эффективность применения в качестве критерия оптимизации периодичности ТО изделий АТ коэффициента оперативной готовности.

5. Установлены зависимости изменения критерия оптимизации от параметров системы ТО. Построены графики изменения критерия от периодичности контроля при различных значениях исследуемых параметров, расчет которых проведен на ЭВМ.

6. Полученные зависимости и графики изменения критериев оптимизации могут быть использованы как для проектируемых изделий АТ в качестве ориентировочных значений, так и для оптимальной коррекции режимов контроля серийных объектов с учетом реальных условий эксплуатации.

Список опубликованных работ

1. Датта Панчанан, Ясер Ханан, Комаров А.А. Математическая модель процесса контроля и диагностирования изделий АТ. Проблемы информатизации и управления. Сборник научных трудов. Киев: КМУГА -1997. С. 166-169
2. Терейковский И.А., Датта Панчанан О модели оптимизации режима контроля агрегатов функциональных систем воздушных судов. Проблемы информатизации и управления. Сборник научных трудов. Киев: КМУГА -1997. С. 172.
3. Комаров А.А., Датта П., Маркэс Р. Модель эксплуатации изделий АТ с учетом надежности системы контроля. Проблемы эксплуатации и надежности АТ. Сборник научных трудов. Киев: КМУГА -1997. С.
4. Назаренко П.В., Маркэс Р., Борозинец Г.М., Датта П. Оценка эксплуатационной надежности нахлесточных клеесварных соединений подпольной части планера транспортных самолетов. Сборник научных трудов. Проблемы эксплуатации и надежности АТ. Киев: КМУГА - 1997.
5. Датта Панчанан. Коэффициент готовности с учетом ненадежности контрольного элемента. Тезисы докладов, «АВИОНИКА - 95». Киев: КМУГА - 1995. С. 165-166.
6. Датта Панчанан. Модель процесу технічного обслуговування виробів АТ. Тезиси докладов. Киев: КМУГА - 1996. С.11.
7. Ясер Ханан, Датта Панчанан. Концепції експлуатаційного забезпечення складних систем. Тезиси докладов. Киев: КМУГА - 1996. С.12.
8. Комаров А.А., Датта П. Оптимизация процесса контроля технического состояния изделий АТ. Тезисы докладов «АЭРОНАВИГАЦИЯ - 96». Киев: КМУГА - 1996. С.55.
9. Датта П., Терейковский И.А. Исследование коэффициента готовности от характеристик системы обслуживания. Тезисы докладов «АЭРОНАВИГАЦИЯ - 96»

Датта Панчанан

В работе представлены результаты исследований направленных на оптимизацию режимов контроля изделий АТ, при наличии ошибок оценки их технического состояния. (Применены современные методы теории надежности, теории массового обслуживания, теории вероятности и математической статистики, теории случайных процессов, теории и практики технической эксплуатации ВС).

В качестве экспериментальной базы использованы формальные имитационные и аналитические модели, а так же модели в виде графов состояний и переходов изделий АТ в процессе эксплуатации.

В качестве критерия оптимизации обоснован и выбран коэффициент оперативной готовности.

Разработана методика оптимизации режимов контроля изделий АТ на основе полученных зависимостей и графиков изменения критериев оптимизации от параметров ТО.

This thesis presents the results of research, directed on optimization of the controlling regime of complicated aviation systems with counting control errors of estimation, of its technical condition (state).

The thesis is on Ph.D degree (Engineering), specialization 05.22.14-Air-Transport maintenance, Kiev international University of Civil Aviation, Kiev, 1997.

The modern methods which were taken into consideration were: the theory of reliability, the theory of mass attendance (queueing, waiting line), the theory of probability and mathematical statistics, the theory of random process, the theory and practice of technical maintenance of complicated aviation systems were widely used.

As an experimental base has been used the formal model, the imitation model, the analytical (mathematical) model, as well as used models by way of graphs state and changing of hardware item of aviation technique in the process of maintenance.

The coefficient maintenance availability has been taken as a criterion of optimization.

The method of optimization of control regime of the complicated aviation systems has been worked out in the thesis-work.

Ключевые слова: оптимизация, контроль, диагностирование, модель технического обслуживания, коэффициенты.

Подписано в печать 21.05.97. Формат 60x84/16. Бумага типограф.
Офсетная печать. Усл.кр.-отт.5.Усл.печ.л.0,93. Уч.-изд.л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ № 124-1. Цена . Изд. № 63/IV.

Издательство КМУГА.

252058. Киев-58, проспект Космонавта Комарова,1.

436253

AB 37.965