

НАПРАВЛЕНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПРАВНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ САМОЛЕТОВ ЭКСПЛУАТАНТАМИ

Рассматривается возможность оптимизации режимов диагностирования изделий авиационной техники. Разработана методика анализа режимов диагностирования, основанная на использовании дифференциальных уравнений Колмогорова.

Ключевые слова: функциональные системы, режимы диагностирования, система уравнений, граф состояний.

Диагностирование авиационной техники преследует решение двух задач. При эксплуатации агрегатов самолета по фактическому техническому состоянию осуществляется периодический либо непрерывный контроль их параметров с целью прогнозирования интервала работы до достижения предотказного состояния. Диагностические проверки выполняются чаще в структуре периодических форм технического обслуживания.

Вполне естественно желание исследователей оптимизировать периодичность диагностирования и проверок. При техническом обслуживании с контролем параметров периодичность диагностирования связана с предотказным допуском на эти параметры. Чем больше периодичность диагностирования, тем больше предотказный допуск, и агрегат будет отправлен в ремонт при большем значении недоиспользованного ресурса. Недоиспользование ресурса агрегата и выполнение работ по диагностированию связаны с затратами средств эксплуатантом. Кроме того, выполнение диагностирования увеличивает простой самолета на техническом обслуживании.

Известен метод оптимизации периодичности диагностирования и величины предотказного допуска, которому присвоено наименование метода экранов [1]. Применение метода сопряжено с необходимостью построения распределения диагностического параметра при значении времени налета самолета, соответствующего каждому моменту диагностирования, а также распределения моментов времени достижения диагностическим параметром предотказного значения и значения, принимаемого за отказ. Построение этих распределений крайне затруднительно, а по статистическим материалам эксплуатантов и невозможно.

Диагностические проверки функциональных систем выполняются с целью выявления неисправных и отказавших агрегатов, что существенно уменьшает долю отказов из их общего потока, проявляющихся в полете.

В данном случае цель диагностирования существенно отличается от диагностирования агрегата, обслуживаемого по состоянию с контролем параметров, а его оптимизация методом экранов становится неосуществимой.

Построение метода оптимизации основывается на использовании статистической информации о параметрах процесса технического обслуживания и эксплуатационных характеристиках агрегатов и рассматриваемой информационной системы в целом. К параметрам системы технического обслуживания в задаче оптимизации относятся следующие: периодичность контроля τ_n , продолжительность контроля τ_k , длительность устранения

отказов и неисправностей $\tau_{уст}$ и соответствующие им стоимостные характеристики. В качестве характеристик агрегатов и систем принят параметр потока отказов и неисправностей системы ω и составляющие его параметры потока отказов и неисправностей, выявляемые при проверках ω_k и в полете ω_n .

Функционирование рассматриваемой функциональной системы и системы ее технического обслуживания в условиях стационарности процесса предложено представить в виде размеченного графа состояний (рис. 1).

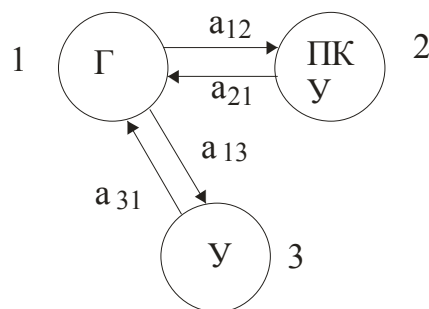


Рис. 1. Граф состояний системы с периодическим контролем: 1 – состояние готовности (исправности) реализуется в полете и во всех других случаях обеспечения коммерческого использования самолета; 2 – состояние проверок при периодическом техническом обслуживании включает устранение отказов и неисправностей, выявленных при проверках; 3 – состояние устранения отказов и неисправностей, выявленных в полете и отмеченных в замечаниях экипажа

Вероятности пребывания системы в рассматриваемых состояниях могут быть определены из решения системы дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(a_{12} - a_{13})P_1(t) + a_{21}P_2(t) + a_{31}P_3(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= a_{12}P_1(t) - a_{21}P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= a_{13}P_1(t) - a_{31}P_3(t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Интенсивности переходов a_{ij} выражаются через параметры системы технического обслуживания и характеристики агрегатов рассматриваемой функциональной системы следующим образом:

$$a_{12} = \tau_n^{-1}$$

$$\begin{aligned} a_{21} &= (\tau_k + \omega_k \tau_{уст})^{-1} \\ a_{13} &= \omega_n \\ a_{31} &= \tau_{уст}^{-1} \\ \omega_k &= \omega(1 - \tau_n \omega) \\ \omega_n &= \omega - \omega_k \end{aligned} \quad (2)$$

Подставив систему (2) в систему (1), получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(\tau_n^{-1} - \omega_n)P_1(t) + (\tau_k + \omega_k \tau_{уст})P_2(t) + \tau_{уст}^{-1}P_3(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= \tau_n^{-1}P_1(t) - (\tau_k + \omega_k \tau_{уст})^{-1}P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= \omega_n P_1(t) - \tau_{уст}^{-1}P_3(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В условиях стационарного процесса эксплуатации система (3) преобразуется в систему алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -(\tau_n^{-1} - \omega_n)P_1 + (\tau_k + \omega_k \tau_{уст})^{-1}P_2 + \tau_{уст}^{-1}P_3 &= 0 \\ \tau_n^{-1}P_1 - (\tau_k + \omega_k \tau_{уст})^{-1}P_2 &= 0 \\ \omega_n P_1 - \tau_{уст}^{-1}P_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Система уравнений (4) решается относительно P_i совместно с условием нормирования

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1. \quad (5)$$

Решение для состояния 1 (рис. 1) имеет следующий вид

$$P_1 = \frac{1}{1 + \frac{\tau_n^{-1}}{(\tau_k + \omega_k \tau_{уст})^{-1}} + \frac{\omega_n}{\tau_{уст}^{-1}}} \quad (6)$$

В работе [2] для решения задачи оптимизации режима диагностических проверок (периодичности и продолжительности) записывается матрица интенсивности переходов и матрица доходов (затрат), задаются варианты этих матриц и отыскивается их совместное решение методом ускоренного поиска решения. Такой путь достаточно громоздкий, но для систем, реализующихся в эксплуатации, при большом числе состояний (более 4-х) и столь же большом числе характеристик агрегатов и параметров системы технического обслуживания, он может оказаться единственным возможным.

В рассматриваемом случае система имеет три состояния, и при ряде предпосылок приемлемое решение может быть получено из анализа зависимостей вероятностей пребывания системы в различных состояниях. К предпосылкам можно отнести тот факт, что при стационарном процессе эксплуатации в системах самолета отказывает ограниченный перечень агрегатов – от 1 до 5 в одной системе. В связи с этим технический персонал, за редким исключением, быстро обнаруживает и устраняет отказ путем замены агрегата. Проверки систем входят в структуру работ основной периодической формы технического обслуживания, и, следовательно, известна их периодичность в интервале от 300 до 600 ч в зависимости

от типа самолета. Выводить самолет из эксплуатации специально для проверок систем нецелесообразно из экономических соображений.

При бытовавшей ранее административно-командной системе управления качество работы инженерно-авиационных служб авиапредприятий определялось по максимальному значению вероятности P_1 исправности самолетного парка. При этом затраты были на втором месте. В условиях рыночной экономики каждая авиакомпания имеет возможность определить для себя значение P_1 , исходя из загруженности самолетов в обеспечении рейсов по расписанию с учетом сезонности.

В диапазоне высоких значений безотказности функциональной системы ($\omega = 10^{-3} \dots 10^{-4}$) изменение параметра потока отказов слабо влияет на вероятность нахождения самолета в исправном состоянии (рис. 2). Это влияние усиливается для малонадежных систем. Периодичность проверок (рис. 3) в реально допустимом диапазоне от 300 до 1 000 ч также оказывает слабое влияние на P_1 как при высоких, так и при низких значениях безотказности.

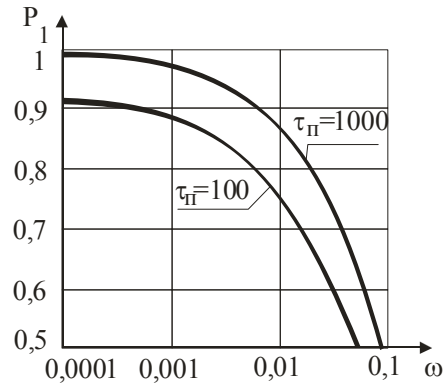


Рис. 2. Влияние параметра потока отказов на вероятность готовности изделия

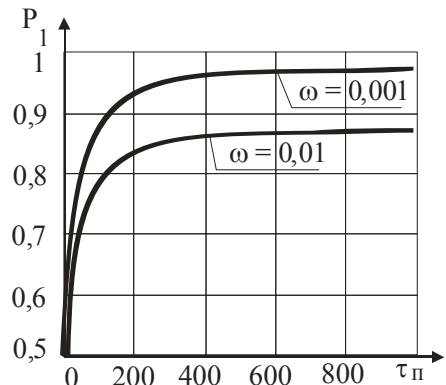


Рис. 3. Зависимость вероятности готовности изделия от периодичности проверок

Длительность устранения отказов и неисправностей $\tau_{уст}$ (рис. 4) существенно влияет на P_1 . Это влияние особенно усиливается с увеличением параметра потока отказов системы. Естественно, эксплуатанты должны повышать качество технического обслуживания с целью увеличения безотказности систем. Но здесь следует помнить, что безотказность закладывается разработчиком самолета, заложенный уровень безотказности обеспечи-

вается изготовителями агрегатов систем, а эксплуатант может только поддерживать этот уровень.

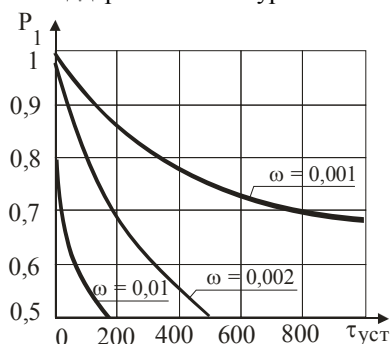


Рис. 4. Зависимость вероятности готовности изделия от длительности устранения отказов

Таким образом, эксплуатантам в системе управления затратами на техническое обслуживание доступно управление только двумя переменными: поддержанием безотказности (заданного ω) и сокращением времени устранения отказов и неисправностей.

Библиографический список

1. Емелин, Н. М. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов / Н. М. Емелин. М. : Машиностроение, 1995.
2. Емелин, Н. М. Определение периодичности диагностирования сложных систем при их техническом обслуживании по фактическому состоянию / Н. М. Емелин // Надежность и контроль качества. 1990. № 8. С. 57–60.

O. G. Boyko

DIRECTIONS OF THE EXPLOITER AIRPLANES IN GOOD CONDITION MAINTENANCE PROBLEM SOLUTION

The possibility of the aviation technique diagnose regimes optimization is viewing. The method of the diagnose regimes analysis based upon Kolmogorov differential equations is developed.

Keywords: functional systems, diagnostics moods, equation system, state graph.

УДК 662.23

Т. И. Горбенко

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ НИТРАТА АММОНИЯ¹

Проведен термодинамический анализ энергетических возможностей смесевых твердых топлив. Особое внимание уделено поиску путей повышения баллистической эффективности твердого топлива на основе нитрата аммония и установлению реальных пределов, которые может обеспечить химия высокоэнергетических компонентов. Экспериментально показано влияние каталитических добавок на способность к самостоятельному горению топлива на основе нитрата аммония при атмосферном давлении и возможность увеличения скорости горения топлива.

Ключевые слова: смесевое твердое топливо, нитрат аммония, нанодисперсный порошок алюминия (Alex), стационарная скорость горения, коэффициент избытка окислителя.

Одной из основных проблем при разработке высокоэнергетических *смесевых твердых топлив* (СТТ) на основе бесхлорных окислителей является расширение пределов регулирования их баллистических характеристик. Представляет большой интерес как с экологической, так и экономической точки зрения использование нитрата аммония (НА) для создания высокоэнергетических топлив. Интерес к использованию нитрата аммония в перспективных высокоэнергетических топливах обусловлен

тем, что он является полностью газифицируемым, производит чистые и бездымные продукты сгорания, является дешевым, доступным и экологически безопасным энергетическим материалом. Применение нитрата аммония в составе перспективных высокоэнергетических топлив связано с проблемой управления процессом их горения. На характеристики горения оказывают существенное влияние низкая реакционная способность металлических горючих, продуктов разложения и горения

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта № 2008-3-1.3-26-01 по теме «Полимерные нанокompозиты повышенной эффективности для двигательных установок и газогенераторов различного назначения», выполняемой в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007–2012 гг.».