

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Чекрыжев Н.В., Коптев А.Н.

В процессе эксплуатации воздушные суда (ВС), его узлы и агрегаты подвергаются постоянному воздействию эксплуатационных факторов, изменяя его техническое состояние в виде отклонений от номинала их параметров вследствие износа, старения деталей и разрегулировки агрегатов.

Внутренний механизм возникновения отказа представляет собой временной процесс изменения структуры и свойств изделия, вызванными нагрузками, температурой и другими факторами.

Анализ надёжности функциональных систем ВС показывает, что большинство эксплуатационных отказов носит постепенный характер и связано с нарастающим старением изделий системы [1].

Информацию о нарастающем старении систем можно получить из рассмотрения динамики некоторых определяющих параметров, например, количественной оценки механического износа элемента конструкции, расхода топлива, напряжения пружины, повышения вибрации вращающихся деталей, технологических и режимных параметров (температура, нагрузка, давление, влажность и др.), частиц износа в смазке и т.д.

Условия использования, приводящие к отклонению в параметрах источника отказа (условный отказ), вызывают разрушение материала объекта системы (начинающийся отказ), что является прямой причиной сбоев в работе (надвигающийся отказ), что, в свою очередь, приводит к состоянию нарушения функционирования системы (крутому или катастрофическому отказу), как показано на рисунке 1 [2].

Развитие отказа



Рисунок 1 – Схема развития отказа

Многообразие и стохастический характер воздействия эксплуатационных факторов объекты авиационной техники приводят к тому, что при одной и той же наработке или продолжительности эксплуатации объекты имеют различное фактическое состояние. В связи с этим наработка или календарный срок службы не характеризуют однозначно техническое состояние объекта в процессе эксплуатации.

Из теории надежности известно, что неисправное состояние, характеризующееся несоответствием любого параметра требованиям нормативно – технической документации, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, называется предельным.

Согласно критериям предельного состояния, устанавливающим пределы использования по назначению, выделены следующие методы эксплуатации:

- до выработки ресурса,
- до отказа,
- до предельного состояния.

Для выявления предельных состояний изделий в системе Технического обслуживания и ремонта (ТОиР), каждому методу экс-

платации ставятся плановые работы технического обслуживания (ТО) [3]:

- методу эксплуатации по выработке ресурса (ТЭР) – работы по контролю наработки,
- методу эксплуатации до отказа (ТЭО) – работы по контролю работоспособности с определением уровня надежности,
- методу до предотказного состояния (ТЭП) – работы по контролю значения определяющего параметра состояния.

Совокупность правил выполнения работ по поддержанию и восстановлению надежности изделия определяется [4] как стратегия восстановления технического состояния изделия.

Связь стратегии обслуживания со стратегией эксплуатации представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Связь стратегии обслуживания со стратегией эксплуатации

<i>Стратегия технического обслуживания</i>	<i>Стратегия эксплуатации</i>		
	<i>до выработки ресурса (срока службы)</i>	<i>до предотказного состояния</i>	<i>до отказа</i>
<i>По наработке</i>	+	–	–
<i>По состоянию с контролем уровня надежности</i>	–	–	+
<i>По состоянию с контролем параметров</i>	–	+	–

Метод ТЭР со стратегией по наработке (ТОН), называемое реактивное обслуживание (РО), до сих пор применяется в ГА. Структурная схема управления техническим состоянием объекта представлена на рисунке 2.

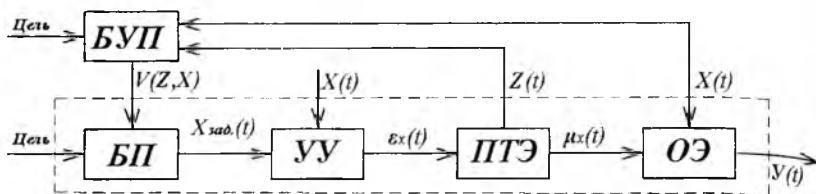


Рисунок 2 – Схема управления техническим состоянием объекта при методе ТЭР и стратегии ТОН

$X(t)$ - входной параметр, $Y(t)$ - выходной параметр, $Z(\tau)$ – параметр воздействия процесса (ТЭ) на управление программой ТОиР, $X_{зад.}(t)$ – задающий параметр, $БУП$ – блок управления программой, $БП$ – блок программы ТОиР объекта, $УУ$ – устройство управления. $ПТЭ$ – процесс технической эксплуатации, $ОЭ$ – объект эксплуатации.

Управляющим входным воздействием на схему является цель ТОиР (обеспечение безопасности и регулярности полетов, сохранение заданных ЛТХ АТ) на протяжении установленных ресурсов и сроков службы.

Система управления является разомкнутой, т.к. управляющее воздействие на процесс технической эксплуатации определяется не выходным параметром объекта $Y(t)$, а внешним воздействием $X(t)$. В качестве параметра $X(t)$ используется календарное время или наработка $X(t) = t$ в соответствии с принятой программой ТОиР.

Зависимость $X(t)$ носит случайный характер и имеет большую дисперсию поэтому, при отсутствии жесткой обратной связи метод ТОиР по наработке обеспечивает слабое взаимодействие между процессом изменения технического состояния объекта и его технической эксплуатации. Лишь по истечении довольно длительного времени τ эксплуатации большого числа однотипных объектов (с

параметрами $X(t)$) в программу ТОиР объекта может быть внесено изменение $Z(\tau)$. Внесение этой корректировки влияет на изменение ресурса эксплуатирующего изделия, но система управления остается разомкнутой.

Для однотипных объектов эксплуатации реализация случайного изменения определяющего параметра $X(t)$ во времени условно характеризуются зависимостями, приведенными на рисунке 3.

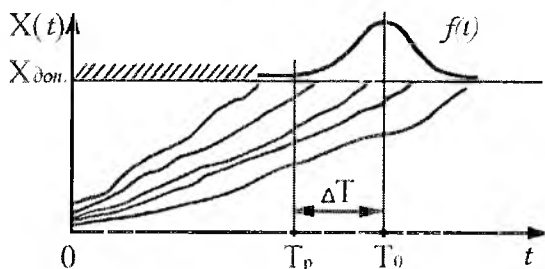


Рисунок 3 – Изменение определяющего параметра объекта

На нем обозначено $X_{дон.}$ - граница допустимых значений параметра $X(t)$, $f(t)$ - плотность распределения вероятности отказа, T_0 - математическое ожидание, т.е. средняя наработка объекта до отказа.

По соображениям безопасности полетов для агрегатов, подверженных износу и старению, устанавливается межремонтный ресурс T_p меньше среднего значения времени наработки на отказ T_0 в лучшем случае на величину среднего времени недоработки объекта до его предельного состояния $\Delta T = 3\sigma$, где σ - среднее квадратичное отклонение времени отказа [20]. В зависимости от типа объекта $\sigma = (0,1 \div 0,3) T_0$.

Относительный коэффициент недоиспользования фактического ресурса объекта $\beta = 0,3 \div 0,9$ [5], откуда следует, что в подав-

ляющем большинстве случаев (~99,865%) замены агрегатов производятся преждевременно, до выработки ими индивидуальных ресурсов, а в 0,135% случаев имеют место отказы агрегатов и их досрочная замена, при этом, большая часть регламентных работ выполняется при фактическом отсутствии их необходимости.

Таким образом, метод ТЭР изделий приводит к недоиспользованию $0,3 \pm 0,9$ времени их фактического ресурса, т.е. к значительным экономическим потерям и не удовлетворяет возросшим требованиям по обеспечению безопасности и регулярности полетов.

Большой накопленный опыт эксплуатации авиационной техники показывает, что стратегии ТО по наработке присущи следующие недостатки:

- значительное недоиспользование индивидуальных возможностей агрегатов и узлов, заменяемых после выработки межремонтного или назначенного ресурсов. Опыт ремонта агрегатов ФС отечественных ЛА показывает, что свыше 60% агрегатов, поступающих в ремонт после отработки межремонтного ресурса, находятся в нормальном рабочем состоянии;

- длительные простои самолетов и значительные трудозатраты, вызванные заменой агрегатов, выработавших ресурс, а также полной или частичной разборкой и дефектацией ЛА при капитальном и профилактическом ремонте;

- большие материальные затраты на создание обменного фонда запасных частей, устанавливаемых на ЛА после снятия отказавших или выработавших ресурс агрегатов.

Стратегия ТЭО с контролем уровня надежности – одна их наиболее распространенных. Практическое применение данной стратегии существенно сокращает затраты на техническое обслуживание не только на новые типы ВС, но и эксплуатирующиеся длительное время [6].

Особенности стратегии ТЭО следующие: каждое изделие эксплуатируется до отказа, межремонтный ресурс для них не устанавливается, техническое обслуживание каждого конкретного изделия заключается в выполнении необходимого объема работ по регули-

ровке, обнаружению возникших отказов и неисправностей и их устранению. Применительно ко всему парку однотипных изделий осуществляется контроль уровня надежности.

Структурная схема управления процессом ТЭО техническим состоянием объекта с контролем уровня надежности представлена на рис. 4.

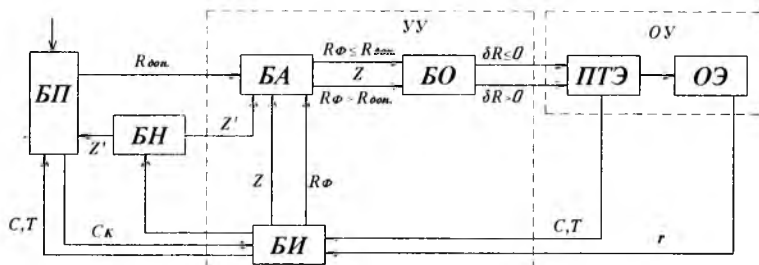


Рисунок 4 – Схема управления процессом ТЭО однотипных изделий при применении стратегии обслуживания с контролем уровня надежности

ОУ - объект управления, *ОЭ* – объект эксплуатации, *ПТЭ* – процесс технической эксплуатации, *БП* - программный блок, *БИ* - блок информации, *БА* - блок анализа, *БО* - оперативный блок, *БН* - блок накопления информации

Объектом управления (*ОУ*) является совокупность однотипных изделий ФС ВС и процесс их технической эксплуатации (ПТЭ). Информация о надежности изделий r поступает в блок обработки информации (*БИ*), где происходит определение фактического уровня надежности R_{ϕ} , накопление качественной и количественной информации по отказам Z , информации о наработке объектов T и технико-экономической информации C .

На основе сравнения характеристик надежности R_{ϕ} с допустимыми $R_{доп}$ и анализа информации по отказам Z с Z' за предыдущий период, блок анализа (*БА*) и оперативный блок (*БО*)

преобразуют результаты анализа в команды управления, воздействующие на процесс технической эксплуатации однотипных изделий.

Если фактический уровень $R_{\phi} \leq R_{доп.}$, то оператор вырабатывает команду на продолжение эксплуатации с контролем уровня надежности $\delta R \leq 0$, если же $R_{\phi} \geq R_{доп.}$, то оператор вырабатывает команду на изменение процесса эксплуатации ($\delta R \geq 0$) в виде назначения дополнительных работ по техническому обслуживанию, выполнение конструкторских доработок и т.п.

Программный блок *БП* служит для формирования допустимого уровня надежности $R_{доп.}$ в зависимости от характеристик наработки T и экономических факторов C .

Методики контроля уровня надежности авторами Смирновым Н.Н., Воробьевым В.Г. представлены в работах [3, 5].

Применение стратегии обслуживания с контролем уровня надежности имеет ряд недостатков. При замене изделия после возникновения безопасного отказа, особую актуальность приобретает задача оперативной оценки надежности серийных изделий в эксплуатации, вследствие определения эффективности проведенных мероприятий по повышению надежности и уточнения режимов профилактических работ в эксплуатации.

Определение ряда показателей надежности (средняя наработка до первого отказа $t_{ср.0}$, средняя наработка до первой замены $t_{ср.з}$) на ранней стадии эксплуатации оказывается невозможным, поэтому возникает необходимость в применении других показателей.

Существующая в настоящее время система сбора и учета информации о надежности объекта не обеспечивает необходимую полноту и достоверность информации для решения задачи безопасности и регулярности полетов. Область применения данной стратегии обслуживания ограничено изделиями, для которых имеет место экспоненциальное распределение вероятности безотказной

работы, т.к. использование других методов для контроля уровня надежности затруднено из-за особенностей «реального плана» эксплуатационных наблюдений.

Современный уровень развития средств технического диагностирования позволил применить стратегию обслуживания и ремонта систем и изделий ВС по состоянию с контролем параметров, позволяющей эксплуатировать их до предотказового состояния (ТЭП).

В этом случае задача технического обслуживания сводится к управлению техническим состоянием каждого конкретного объекта. По результатам непрерывного или периодического контроля параметров изделия принимается решение о продолжении его эксплуатации до следующего контроля, или проведении восстановительных работ, или о замене.

Структурная схема взаимосвязи ТОиР с выходными характеристиками $X(t)$ при методе ТЭП представлена на рис. 5.

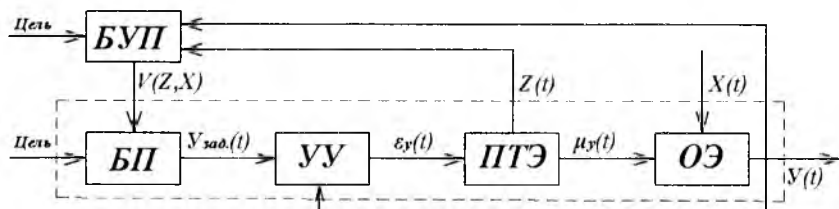


Рисунок 5 – Замкнутая схема управления техническим состоянием объекта при методе ТЭП

$Y(t)$ - выходной параметр, БУП – блок управления программой, ОЭ – объект эксплуатации, ПТЭ – процесс технической эксплуатации, УУ – устройство управления, БП – блок программы ТОиР объекта, $V_{зад}(t)$ - задающее воздействие.

Замкнутая схема реализует принцип управления по наблюдаемому отклонению $\varepsilon(t)$ регулируемой величины (выходного параметра) $Y(t)$ с задающим воздействием $V_{зад}(t)$. В зависимо-

сти от наблюдаемого отклонения $\varepsilon(t)$ формируется соответствующее управляющее воздействие $\varepsilon_y(t)$ на процесс технической эксплуатации, а через него и регулирующее $\mu_y(t)$ на объект, которое уменьшает это отклонение. При заданной программе управления функционирует контур схемы, отмеченный штриховыми линиями на рис. 1.10. При появлении отклонения $\varepsilon(t)$ выходного параметра $Y(t)$ от его заданного значения $Y_{зад}(t)$ по жесткой обратной связи оно немедленно корректирует управление процессом ТОиР, введя оператор $V(Z, Y)$, обеспечивающий изменение алгоритмов управления.

Для выявления предотказового состояния используют принцип упреждающих допусков на диагностические параметры (рис. 6.).

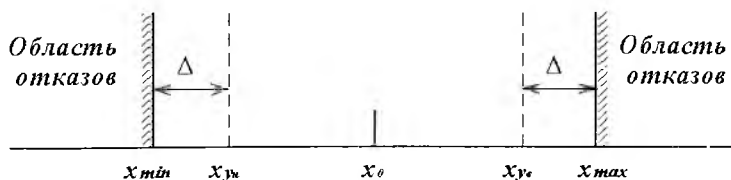


Рисунок 6 – Схема упреждающих допусков

Поле допусков определяющего параметра X_0 расположено между границами X_{min} и X_{max} . Выход параметра за эти пределы этих границы является отказом. Границы $X_{y.n.}$ (нижняя) и $X_{y.v.}$ (верхняя) определяют границы упреждающих допусков. При пересечении параметром этих границ принимается решение о проведении восстановительных работ. Величина упреждения Δ допуска назначается с учетом скорости ухода параметра, длительности межконтрольного периода, допустимой вероятности достижения параметром границ.

Упреждающий допуск означает совокупность значений параметров, заключенных между предельным n_2 и предотказным n_1 уровнями. Выход параметра за предельный уровень означает отказ, а достижения предотказного уровня означает необходимость проведения профилактических мероприятий (рис. 7.).

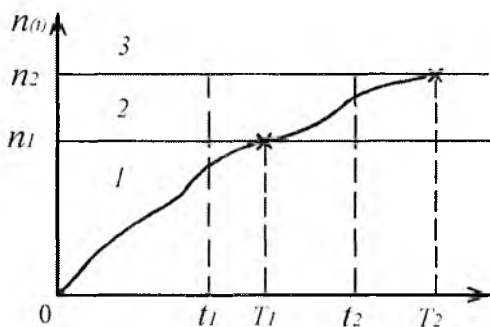


Рисунок 7 – Принцип предупреждения отказов:

1 – исправное состояние; 2 – предотказное состояние; 3 – неработоспособное состояние (отказ); t_1 и t_2 - моменты первой и второй проверок; T_1 и T_2 - моменты пересечения реализацией случайного процесса $n(t)$ уровнями n_1 и n_2

Метод определения предотказового состояния изделия заключается в совокупности состава диагностических параметров, периодичности их проверки и упреждающими допусками на параметры. Существенное значение с точки зрения управления техническим состоянием ВС имеет техническое диагностирование его на земле при оперативном контроле, проводимым при подготовке АТ к полетам.

При внешней простоте такого подхода его реализация наталкивается на ряд существенных трудностей: выбор совокупности контролируемых параметров, область работоспособности для каждого из выбранных параметров и аппаратурная реализация, обу-

словленная необходимостью применения большого числа разнородных диагностических средств [7].

Область применения стратегии ТЭП ограничена системами и изделиями, которые по соображениям безопасности полетов не могут быть допущены к эксплуатации до отказа, а по экономическим соображениям – к эксплуатации до выработки установленного межремонтного ресурса.

Прежде всего, это дорогостоящие системы и изделия с высокой функциональной значимостью, имеющие недостаточную степень резервирования и вместе с тем обладающие высоким уровнем эксплуатационной технологичности и контролепригодности.

Библиографический список

1. Александровская, Л.Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем / Л. Н. Александровская, А. П. Афанасьев, А. А. Лисов. – М. : Логос, 2001. – 208 с.
2. Fitch, E.C. Extending Component Service Life Through Proactive Maintenance. / E. C. Fitch // An FES / BarDyne Technology Transfer Publication #2. Tribolitics, Inc., 1998.
3. Далецкий, С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. / С. В. Далецкий. – М. : Воздушный транспорт, 2005.– 416с.
4. Далецкий, С.В. Проблемы формирования системы технического обслуживания и ремонта воздушных судов гражданской авиации [Текст] / С. В. Далецкий. – М. : Изд-во МАИ, 2001. – 186с.
5. Воробьев, В.Г. Техническая эксплуатация авиационного оборудования [Текст] / В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов, В. Г. Денисов и др. – М. : Транспорт, 1990. – 296с.
6. Смирнов, Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию [Текст] / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович. – М. : Транспорт, 1980. – 232с.
7. Барзилович, Е.Ю. Эксплуатация авиационных систем по состоянию [Текст] / Е. Ю. Барзилович, В. Ф. Воскобоев. – М. : Транспорт, 1981. – 197с.