

УДК 629.7.083

НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПО КРИТЕРИЯМ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

С.В. ДАЛЕЦКИЙ, Ю.М. ЧИНЮЧИН, Н. ОЙДОВ

С позиции теории надёжности рассмотрены схемы обоснования объёмов и принципы построения структуры форм периодического технического обслуживания (ремонта) воздушных судов гражданской авиации в зависимости от условий эксплуатации с учетом требований по обеспечению безотказности, долговечности воздушных судов и безопасности полетов.

Ключевые слова: надёжность, воздушное судно, техническое обслуживание, ремонт, безотказность, долговечность, условия эксплуатации, форма обслуживания.

Основной целью периодического ТО (ремонта) ВС является поддержание и восстановление надёжности ВС таким образом, чтобы безотказность и долговечность ВС обеспечивали безопасность полётов и экологическую эффективность эксплуатации.

Выделяя долю ТОиР в обеспечении безопасности полетов ВС, можно сказать, что в части безотказности ВС в целом планомерно поддерживается и восстанавливается на периодическом ТО в реальных условиях эксплуатации применительно к каждому экземпляру конкретного типа ВС.

При ТО ВС выполняются следующие виды работ [1]: технологическое обслуживание, контроль состояния, поддержание и восстановление надёжности. Периодическое ТО в полной мере свойственно работам по поддержанию и восстановлению надёжности.

В связи с тем, что нормативные документы (НЛГС) регламентируют требования к безотказности отдельно по функциональным системам (ФС) ВС, представляющим «совокупность конструктивных элементов и агрегатов, предназначенных для выполнения определенных функций, связанных с полетом», целесообразно характеризовать безотказность ВС относительно функциональных систем ВС.

Тогда обобщенное воздействие j -х условий эксплуатации ВС на надежность его i -й ФС проявляется через воздействие отдельных эксплуатационных факторов и может быть представлено функционалом вида

$$P_{i,j}(t) = P_{i0}(t) \prod_{i=1}^n \varphi_{i,j}(\Delta x_{i,j}), \quad (1)$$

где $P_{i,j}(t)$ – функция надежности i -й ФС в j -х условиях эксплуатации;

$P_{i0}(t)$ – функция надежности i -й ФС в типовых условиях;

$\varphi_{i,j}(\Delta x_{i,j})$ – относительные функции связи надежности i -й ФС с j -м эксплуатационным фактором.

Реальные эксплуатационные факторы, характеризующие воздействие на надежность ФС в эксплуатации, могут быть разделены по общности действия на три группы: функциональные, региональные и технические. Функциональные факторы связаны с выполнением функций систем при использовании ВС по назначению. Региональные факторы связаны с воздействием на ВС внешней среды. Технические факторы связаны с процессами в системе ТЭ.

Реализации функционала (1) в различных условиях эксплуатации иллюстрируются на рис. 1, 2.

На рис. 1 показана зависимость изменения надежности i -й ФС от условий эксплуатации. Тогда, если \bar{t}_{ijH} есть момент ожидания (м.о.) времени пересечения функцией P_{ij} предельно-допустимого уровня P_{in} , условие (1) будет выполняться с заданной вероятностью, если восстановление i -й ФС в j -х условиях эксплуатации ВС выполнить при наработке

$$t_{ij} = \bar{t}_{ijH} - \alpha \sigma(t_{ijH}), \tag{2}$$

где α – коэффициент, зависящий от вида закона распределения t_{ijH} и уровня достоверности $1 \leq a \leq 3$;

σ – среднеквадратичное отклонение.

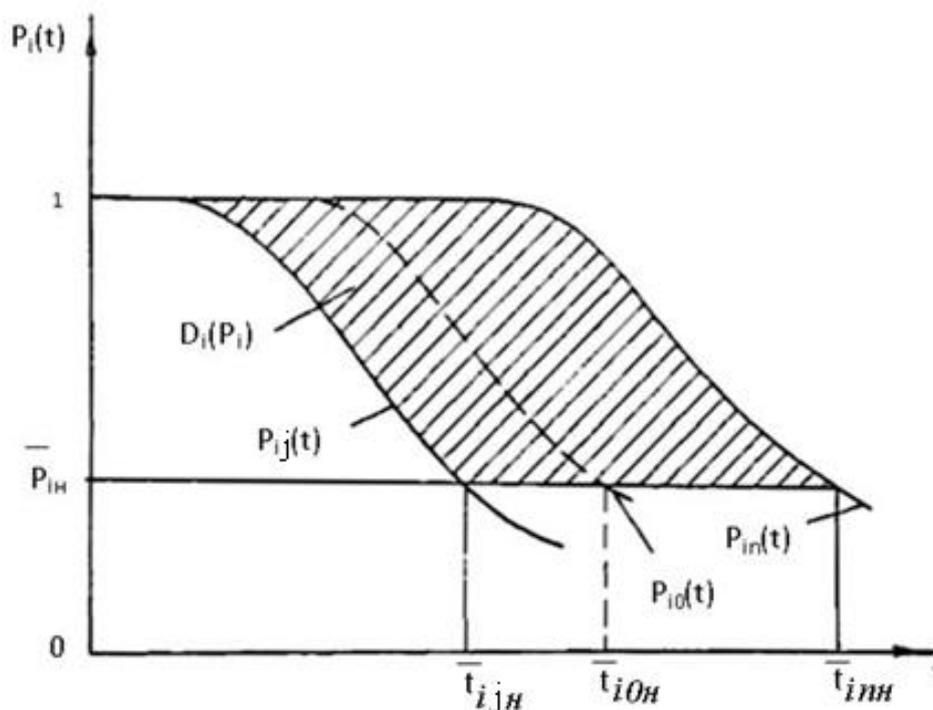


Рис. 1. Реализация надежности i -й системы ВС в различных условиях эксплуатации: $D_i(P_i)$ - область определения возможных реализаций функции надежности i -й системы в допускаемых условиях эксплуатации; $P_{io}(t)$, $P_{in}(t)$ - граничные реализации функции надежности i -й системы в наиболее и наименее благоприятных условиях эксплуатации соответственно; $P_{io}(t)$ - реализация функции надежности системы в расчетных условиях эксплуатации; t_{in} - наработка, при которой надежность системы достигает предельно допустимого минимального значения; P_{in} - минимально допустимый уровень надежности i -й системы

Если восстановление i -й ФС ВС производить при наработке:

$$t_i = \min \{ \bar{t}_{ijH} - \alpha \sigma(t_{ijH}) \}, \quad j = \overline{1, N}, \tag{3}$$

то условие (3) будет выполняться с принятой достоверностью для любого из N ВС парка.

Рассматривая ВС как совокупность n составляющих его i -х ФС (или ФС как совокупность k составляющих ее элементов) и учитывая существенные различия в фактических уровнях надежности каждой i -й ФС и в функциональной значимости каждой системы с позиций обеспечения безопасности и регулярности полетов, периодичность τ проведения полного восстановления всех ФС любого ВС парка можно определить по худшим условиям эксплуатации ВС

$$\tau = \min \{ \bar{t}_{ij} - \alpha \sigma(t_{ij}) \} \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, N}. \quad (4)$$

Поскольку влияние неслучайных эксплуатационных факторов приводит к внутренней неоднородности процессов изменения технического состояния ФС и их элементов, что вызывает неэргодичность процесса изменения надежности для различных ВС парка, задачу реализации условий (1) можно рассматривать: для всего парка ВС; для группы ВС, эксплуатирующихся в одинаковых условиях; для одиночного ВС. Очевидно, что не меняя условий эксплуатации ВС при заданной организации и технологии выполнения процессов ТОиР, управляющее воздействие на надежность можно осуществлять только изменением режимов планового периодического ТОиР, т.е. изменением объемов работ и периодичности выполнения форм ТОиР.

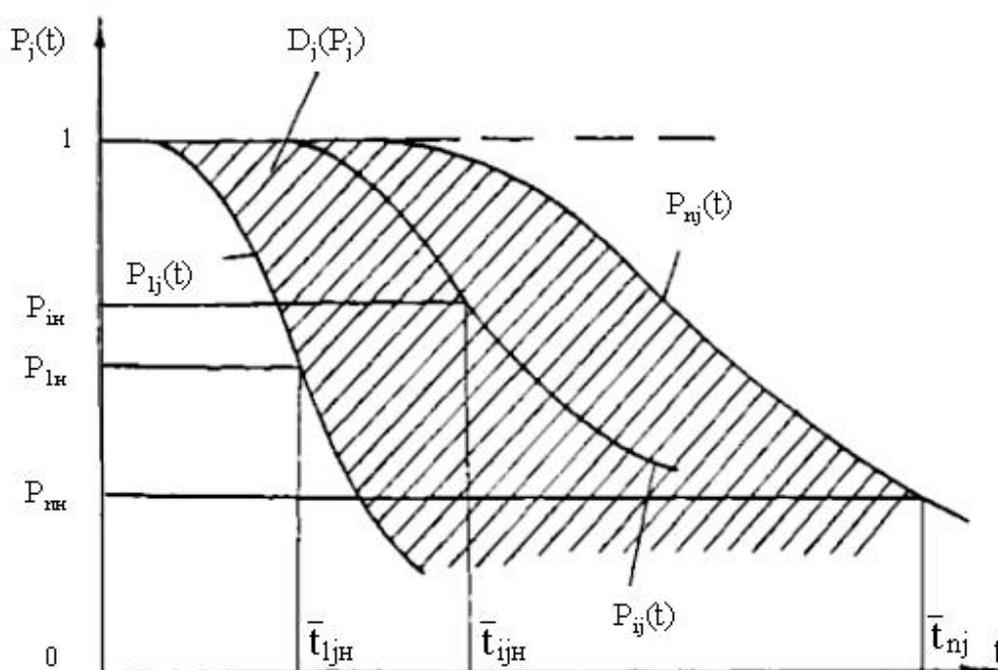


Рис. 2. Надежность j -го ВС как совокупности составлявших его систем в данных условиях эксплуатации: $D_j(P_j)$ - область определения реализаций функций надежности i -х систем j -го самолета; $P_{ij}(t)$, $P_{nj}(t)$ - реализации надежности наименее и наиболее надежных систем ВС в конкретных условиях его эксплуатации; \bar{t}_{ijn} - наработка i -й системы в условиях эксплуатации j -го ВС, при которой достигается минимально допустимый уровень надежности данной системы; P_{in} - минимально допустимый уровень надежности i -й системы

В настоящее время совершенствование авиационной техники привело к тому, что безопасность полетов в большей степени обеспечивается конструктивными особенностями ВС, чем регламентом ТО, что позволяет в широких пределах изменять периодичность и объемы работ применительно к конкретным условиям эксплуатации и потребностям авиакомпаний.

Поэтому периодичность выполнения базовой формы периодического ТО обычно задается директивно и может изменяться в широких пределах по мере накопления опыта эксплуатации типа ВС и адаптации режимов к организационным структурам авиапредприятий.

Формирование объемов работ ТОиР периодического ТО (ремонта) ВС может базироваться на 4-х основных принципах:

- а) полное восстановление;
- б) регламентированное восстановление;

- в) восстановление по состоянию;
- г) восстановление, дифференцированное по наработке.

Формирование объемов работ по принципу полного восстановления на каждой форме ТОиР базируется на следующих положениях:

- поток событий, характеризующий потребность в выполнении работ по ТОиР элементов ВС, является стационарным;
- количество событий определяется только величиной интервала наработки, независимо от этапа наработки ВС с начала эксплуатации.

Следовательно, случайный процесс появления потребности в выполнении работ по ТОиР определяется как стационарный поток восстановления без последействия.

При полном восстановлении на каждой периодической форме ТО и при ремонте периодичность определяется согласно (4) (рис. 1, 2).

Изучение реализации процесса изменения надежности i -й ФС и ее элементов в наихудших условиях эксплуатации приводит к тому, что периодичность работ по ТОиР и их объемы удовлетворяют условию (1) для наименее надежной ФС ВС, эксплуатирующихся в наиболее тяжелых условиях. Отсюда объем работ планового восстановления для любой формы определяют из условия

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{v=1}^{q_i} B_{H_{ijv}} ; \quad v = \overline{1, q_i} ; \quad j = \overline{1, N_i} , \quad (5)$$

- где v – вид отказа;
- j – элемент i -й ФС;
- k – форма ТО.

Это связано с тем, что из гипотезы о стационарности потока восстановления и условия полного восстановления на каждой форме следует, что в моменты $t = \tau$ происходит полное восстановление всех ФС и далее отсчет наработки начинается с нуля.

При регламентированном восстановлении на каждой форме используется то обстоятельство, что предельный уровень надежности каждой ФС достигается при различной наработке (рис. 2), поэтому с периодичностью τ на каждой форме необходимо выполнять работы по восстановлению только тех ФС, надежность которых в интервале наработки $\tau \cdot k \leq t \leq \tau(k + 1)$ достигает предельного уровня. Следовательно, регламентированное восстановление определяет поток восстановления как стационарный, периодический, случайный процесс с периодом

$$T = \max \left\{ \overline{t_{ijh}} - \alpha \sigma \left(\overline{t_{ijh}} \right) \right\} ; \quad i = \overline{1, n} ; \quad j = \overline{1, N} . \quad (6)$$

Объем работ k -й формы в пределах цикла формируется как

$$\Phi_{ik} = \Phi_{i(k-1)} + \Delta \Phi_{ik} . \quad (7)$$

Объем работ формы, замыкающей цикл, имеет вид

$$\Phi_{in} = \Phi_{i1} + \sum_{k=2}^{ni} \Delta \Phi_{ik} . \quad (8)$$

Таким образом, каждая последующая форма полностью включает все работы предыдущей, а замыкающая форма по объему определяется согласно (4), при этом происходит полное восстановление всех ФС до исходного уровня надежности, и далее отсчет наработки начинается с нуля. Эффективность регламентированного восстановления перед полным состоит в том, что каждая μ -я форма ТО или ремонта в пределах цикла меньше замыкающей формы, равной по объему выполняемых работ форме полного восстановления на величину

$$\Delta = \sum_{i=\mu}^{ni} \Delta \Phi_{ik} . \quad (9)$$

Принцип формирования объемов восстановления по состоянию предполагает, что объемы и периодичность работ по восстановлению должны определяться закономерностями изменения надежности каждого элемента в конкретных условиях его эксплуатации.

Периодичность восстановления определится из (2).

Объем восстановительных работ для обеспечения реализации условия (1) на каждом этапе наработки i -й ФС в любых условиях эксплуатации будет равен

$$\Phi_i(t) = \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{v=1}^{q_i} B_{H_{ivj}} f [\lambda_{ivj}(t); \tau_{ivj}]; \quad j = \overline{1, N}; \quad v = \overline{1, q}, \quad (10)$$

а для ВС в целом в j -х условиях его эксплуатации

$$\Phi_j(t) = \sum_{i=1}^n \Phi_i(t). \quad (11)$$

Учитывая многочисленность элементов в ФС и различных ФС на ВС, а также множество факторов, определяющих изменение их надежности в процессе эксплуатации ВС, в любой момент может возникнуть потребность в ТО или ремонте какого-либо элемента. Плановый принцип требует группировки локальных работ в формы. Это приводит к некоторому увеличению объемов выполняемых работ, так как в каждую форму необходимо включать работы по ТОиР элементов, надежность которых в интервале наработки до следующей формы ТО может достигнуть предельного уровня.

Оптимизация достигается за счет минимизации затрат труда или обеспечения максимума готовности ВС в зависимости от типа и условий его применения.

Дифференцированный по наработке принцип формирования периодического ТО (ремонта) содержит основные положения регламентированного восстановления и восстановления по состоянию, что и обуславливает особенности формирования режимов восстановления. Периодичность форм ТО определяется по принципам регламентированного восстановления. В каждую форму ТО включаются работы с базовой периодичностью, составляющие стационарный поток восстановления наиболее «слабых» элементов каждой ФС, и работы по обеспечению функционирования. Совокупность этих работ составляет объем первой, базовой формы ТО (Φ_{1i}) для каждой ФС. Объем работ k -й формы ТО для i -й ФС определяется как

$$\Phi_{ik} = \Phi_{1i} + \sum_{i=1}^k B_{(H)ik} + \sum_{c=1}^k B_{(H)cki}. \quad (12)$$

где $\hat{A}_{(H)ie}$ – дополнительные работы, свойственные только данному этапу наработки ВС и подлежащие выполнению на k -й форме, если в интервале наработки $\tau \cdot k \leq t \leq \tau(k+1)$ надежность инцидентных им элементов достигает предельного уровня;

$B_{(H)cki}$ – дополнительные работы, свойственные одной из предыдущих форм, и подлежащие выполнению, если наработка, при которой выполняется k -я форма, кратна периодичности их выполнения.

Для реализации уравнения (12) необходимо определить периодичность базовой формы. При известном перечне $\{B_{k,H}\}$ работ и необходимой периодичности их выполнения $\{t_{k,H}\}$, при $\{\hat{A}_{EH}\} \ni \{t_{EH}\}$ выбор периодичности τ базовой формы может производиться по критерию минимальных потерь от недоиспользования периодичности выполнения τ_i отдельных работ при заданной периодичности τ базовой формы

$$w_{ij} = \tau_i - j\tau, \quad \text{при } 0 \leq t_i - j\tau < \tau, \quad (13)$$

где τ_i – периодичность i -й работы;

j – номер базовой формы от начала цикла.

Потери от группировки $m = \{B_{k,H}\}$ работ в j -е формы и ТО при заданном τ составят

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot x_{ij} \cdot r_i, \quad (14)$$

где x_{ij} – число работ, сгруппированных в j -й форме;

r_i – число повторений выполнения i -й работы за полный цикл форм, равный $\tau \cdot n$.

Наконец, приходим к стандартной задаче линейного программирования транспортного типа, план группировок $\|x_{ij}\|$ которой минимизирует w_{ij} .

Задаваясь несколькими значениями базовой периодичности $\tau^1, \tau^2, \dots, \tau^k$ в интервале наработок 100...1000 летных ч, находят оптимальное значение по минимуму функции $P = P(\tau)$ при $\tau = \tau^1, \tau^2, \dots, \tau^k$.

Исчисление наработки ВС для назначения каждой последующей формы ведется от цифр, кратных периодичности базовой формы Φ_1 . Если устанавливается допуск на выполнение форм, величина допуска включается в условие группировки. Например, при $(\tau \pm 0,1\tau)$ условием группировки будет $0,1\tau \leq t_i - j\tau < 0,9\tau$ и т. д. Вся процедура применяется только для работ по восстановлению состояния – B_H и контролю – B_K .

Структура работ дифференцированного восстановления позволяет осуществлять независимый перенос работ B_H из одной формы в другую, включать в формы разовые работы по конструктивной доработке, замене или целевому контролю состояния, а также ранжировать объемы выполняемых работ в зависимости от конкретных условий эксплуатации ВС.

Таким образом, указанный подход к формированию структуры периодических форм ТО возможен к применению не только для работ по восстановлению технического состояния $\{B_H\}$ ВС и их систем, но и для работ по контролю технического состояния $\{B_K\}$, если под восстановлением понимать не восстановление технического состояния изделия, а восстановление информации о техническом состоянии этого изделия.

Изложенные принципы структурного построения периодического ТО подтверждаются данными обобщения опыта эксплуатации ВС различных типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Далецкий С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. М.: Воздушный транспорт, 2005. 416 с.

NEW PRINCIPLES OF PERIODIC AIRCRAFT MAINTENANCE CONDITIONS DEFINITION IN ACCORDANCE WITH AVIATION SAFETY CRITERIA

Daletskiy S.V., Chinyuchin Yu.M., Oidov N.

Based on the reliability theory schemes of justifying the volume and structural principles of periodic maintenance (repair) of civil aircraft depending on operational conditions meeting the requirements on the failure-free operation, aircraft durability and flight safety are considered.

Keywords: reliability, aircraft, maintenance, repair, failure-free operation, durability, operating conditions, service form.

REFERENCES

1. **Daletskiy S.V.** *Formirovanie ekspluatatsionno-tekhnicheskikh kharakteristik vozdushnykh sudov grazhdanskoй aviatsii*. М.: Vozdushnyy transport, 2005. P. 416. (In Russian).

Сведения об авторах

Далецкий Станислав Владимирович, 1944 г.р., окончил МАИ (1969), доктор технических наук, начальник отдела ГосНИИ ГА, академик Российской академии транспорта и Российской академии проблем качества, эксперт Госстандарта РФ и Межгосударственного авиационного комитета, автор более 100 научных работ, область научных интересов – разработка, испытания и техническая эксплуатация воздушного транспорта.

Чинючин Юрий Михайлович, 1941 г.р., окончил КуАИ (1965), доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 350 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация и поддержание летной годности воздушных судов, анализ и синтез конструктивно-эксплуатационных свойств авиационной техники.

Ойдов Намбат, 1963 г.р., окончил ОЛАГА (2002), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – нормативно-правовое обеспечение поддержания летной годности воздушных судов и обеспечения безопасности полетов.