

УДК 629.735.083.02/.03.004.58(043.3)

О.Н. Цуриков, И.А. Терейковский

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НА ПРИМЕРЕ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

*Рассмотрены вопросы создания системы оптимизации режима двухпараметрического контроля агрегатов функциональных систем воздушных судов. Сформулирована постановка задачи оптимизации режима двухпараметрического контроля оптимизации, обоснован критерий оптимизации, построена оптимизационная модель.*

Оптимизация режима контроля и связанных с ним профилактических работ агрегатов функциональных систем воздушных судов является одним из основных путей экономической эффективности процесса технического обслуживания воздушных судов [1].

Большинство из научных работ [1; 2; 3], посвященных разработке системы оптимизации режима контроля, направлены на исследование системы оптимизации однопараметрического режима контроля.

Проведенные исследования позволили построить зависимости показателей оптимального однопараметрического режима контроля от факторов, учет которых необходим при оптимизации. Для некоторых агрегатов функциональных систем воздушных судов разработаны практические рекомендации по назначению оптимального однопараметрического режима контроля. Однако существующие системы оптимизации однопараметрического режима контроля имеют серьезные недостатки. Основным недостатком является невозможность применения таких систем для агрегатов, техническое состояние которых определяется несколькими определяющими параметрами. Поэтому логическим развитием систем оптимизации однопараметрического режима контроля является создание системы оптимизации многопараметрического режима контроля, первой из которых должна стать система оптимизации двухпараметрического режима контроля.

Оптимизация двухпараметрического режима контроля невозстановливаемых агрегатов происходит в интервале наработки агрегата  $[T_1, T_2]$  – интервале оптимизации. Для стандартизации последующих оптимизационных расчетов проведем нормировку интервала оптимизации:

$$T_{1N} = (T_1 - T_1) / (T_2 - T_1) = 0; \quad (1)$$

$$T_{2N} = (T_2 - T_1) / (T_2 - T_1) = 1, \quad (2)$$

где  $T_{1N}, T_{2N}$  – нормированные величины пределов интервала оптимизации;  $(T_2 - T_1)$  – интервал оптимизации.

Таким образом, нормированный интервал оптимизации равен  $[0, 1]$ . Проведенная нормировка позволяет использовать при расчете оптимального режима контроля различных агрегатов один и тот же нормированный интервал оптимизации.

Предположим, что техническое состояние контролируемого агрегата можно однозначно оценить по величине двух определяющих параметров  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ . Если величина каждого определяющего параметра находится соответственно в пределах  $(\Pi_{1\min}, \Pi_{1\max})$  и  $(\Pi_{2\min}, \Pi_{2\max})$  агрегат считается работоспособным. Значения  $\Pi_{1\min}$ ,  $\Pi_{1\max}$ ,  $\Pi_{2\min}$  и  $\Pi_{2\max}$  должны быть заданы в технической документации агрегата. Области  $(\Pi_{1\min}, \Pi_{1\max})$  и  $(\Pi_{2\min}, \Pi_{2\max})$  назовем областями работоспособности  $R_1$  и  $R_2$ . При выходе любого определяющего параметра за пределы области работоспособности происходит отказ агрегата. Отказ фиксируется независимо от контроля, режим которого оптимизируется. Рассмотрим случай возрастания каждого определяющего параметра от  $\Pi_{\min}$  к  $\Pi_{\max}$ , что позволит использовать одностороннюю область работоспособности. В таком случае математическая формулировка отказа агрегата имеет вид:

$$P_1 > \Pi_{1\max} \text{ или } P_2 > \Pi_{2\max} \quad (3)$$

Для упрощения последующих расчетов проведем нормировку пределов  $R_1$  и  $R_2$  и значений  $P_1$  и  $P_2$ . Алгоритм нормировки пределов  $R_1$  и  $R_2$  состоит из следующих формул:

$$P_{1\min} = (\Pi_{1\min} - \Pi_{1\min}) / (\Pi_{1\max} - \Pi_{1\min}) = 0; \quad (4)$$

$$P_{1\max} = (\Pi_{1\max} - \Pi_{1\min}) / (\Pi_{1\max} - \Pi_{1\min}) = 1; \quad (5)$$

$$P_{2\min} = (\Pi_{2\min} - \Pi_{2\min}) / (\Pi_{2\max} - \Pi_{2\min}) = 0; \quad (6)$$

$$P_{2\max} = (\Pi_{2\max} - \Pi_{2\min}) / (\Pi_{2\max} - \Pi_{2\min}) = 1, \quad (7)$$

где  $P_{1\min}$ ,  $P_{2\min}$ ,  $P_{1\max}$  и  $P_{2\max}$  - нормированные значения пределов  $R_1$  и  $R_2$ ,  $(\Pi_{1\max} - \Pi_{1\min})$  и  $(\Pi_{2\max} - \Pi_{2\min})$  величины  $R_1$  и  $R_2$ .

Нормировка пределов  $R_1$  и  $R_2$  позволяет использовать вместо двух одну нормированную область работоспособности. Нижний и верхний пределы нормированной области работоспособности соответственно равны  $\Pi_{\min} = 0$  и  $\Pi_{\max} = 1$ .

Применение нормированной области работоспособности предопределяет использование нормированных величин  $P_1$  и  $P_2$  -  $P_{1N}$  и  $P_{2N}$ . Алгоритм нормировки  $P_1$  и  $P_2$  имеет следующий вид:

$$P_{1N} = (P_1 - \Pi_{1\min}) / (\Pi_{1\max} - \Pi_{1\min}); \quad (8)$$

$$P_{2N} = (P_2 - \Pi_{2\min}) / (\Pi_{2\max} - \Pi_{2\min}). \quad (9)$$

Применение нормированной области работоспособности,  $P_{1N}$  и  $P_{2N}$  позволяет сформулировать условие отказа агрегата (1):

$$P_{1N} > 1 \text{ или } P_{2N} > 1. \quad (10)$$

Условие работоспособности агрегата имеет вид:

$$P_{1N} \in [0, 1] \text{ и } P_{2N} \in [0, 1]. \quad (11)$$

Режим контроля представляет собой совокупность периода контроля и упреждающих допусков  $U_{d1}$  и  $U_{d2}$  на  $P_1$  и  $P_2$ .

Периодом контроля является интервал наработки агрегата между двумя последовательными моментами контроля. Предположим, что контроль  $P_1$  и  $P_2$  происходит с одинако-

вым периодом контроля. Предполагается, что  $P_K = \text{const}$  и  $0 < P_K < T$ . Проведенная нормировка периода оптимизации предопределяет нормировку периода контроля. Нормированный период контроля определим следующим образом:

$$P_{KN} = P_K / (T_2 - T_1). \quad (12)$$

Нормированный период контроля изменяется в пределах  $0 < P_{KN} < 1$ .

Если в момент контроля  $P_1$  находится в области  $(\Pi_{1\max} - U_{d1}, \Pi_{1\max})$  или  $P_2$  находится в области  $(\Pi_{2\max} - U_{d2}, \Pi_{2\max})$ , то проводят профилактическую работу, которая заключается в снятии агрегата с эксплуатации. Применение одной нормируемой области работоспособности предопределяет необходимость нормирования  $U_{d1}$  и  $U_{d2}$ . Нормировку  $U_{d1}$  и  $U_{d2}$  проведем следующим образом:

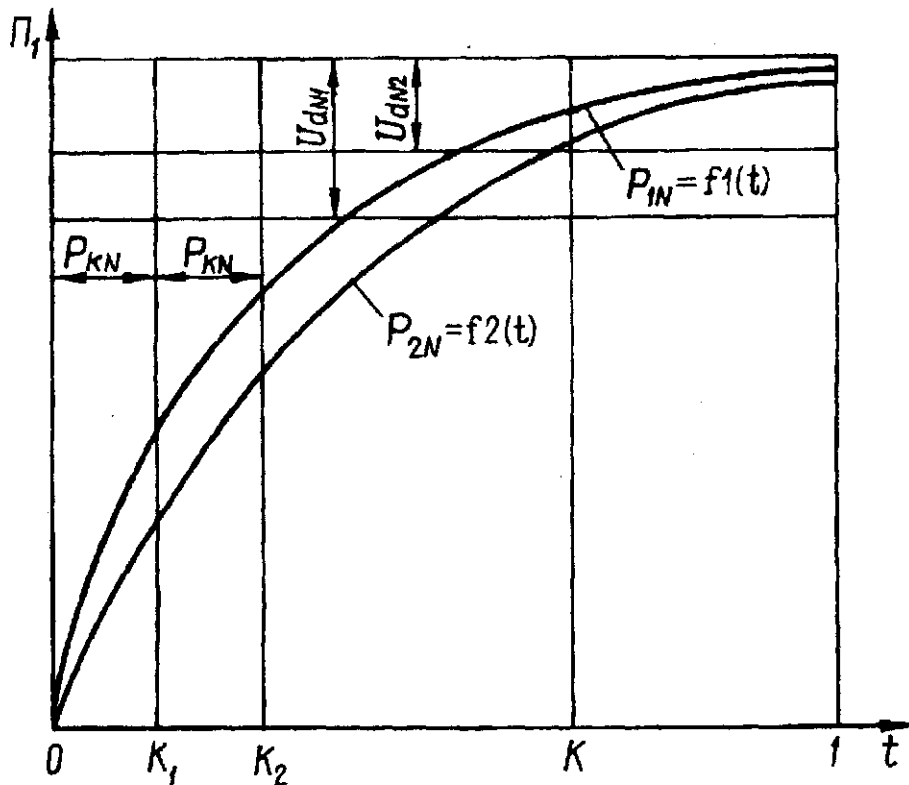
$$U_{dN1} = (U_{d1} - \Pi_{1\min}) / (\Pi_{1\max} - \Pi_{1\min}); \quad (13)$$

$$U_{dN2} = (U_{d2} - \Pi_{2\min}) / (\Pi_{2\max} - \Pi_{2\min}), \quad (14)$$

где  $U_{dN1}$  и  $U_{dN2}$  – нормированные величины  $U_{d1}$  и  $U_{d2}$ .

При этом  $U_{dN1}$  и  $U_{dN2}$  принадлежат интервалу  $[0, 1]$ .

Графическая интерпретация постановки задачи оптимизации двухпараметрического режима контроля показана на рисунке.



Динамика определяющих параметров П:

$t$  – наработка агрегата;  $K_i$  – моменты контроля;  
 $P_{1N}$  и  $P_{2N}$  – функции  $P_1$  и  $P_2$

Следующим этапом исследований является обоснование критерия оптимизации. На основании работ [2; 3] будем оценивать экономическую эффективность режима контроля. В этом случае критерием оптимизации являются приведенные к единице наработки суммарные расходы, связанные с контролем, профилактическими работами и устранением последствий отказа. Причем учитываются только те расходы, которые изменяются при изменении режима контроля. Таким образом, критерий оптимизации имеет следующий вид:

$$S_c \rightarrow \min. \quad (15)$$

Структурно критерий (15) включает в себя приведенные расходы на проведение контроля  $S_k$ , профилактических работ  $S_{пр}$  и устранение последствий отказа в полете  $S_o$ . Таким образом, суммарные расходы равны:

$$S_c = S_k + S_{пр} + S_o. \quad (16)$$

Стоимостные потери  $S_k$ ,  $S_{пр}$ ,  $S_o$  представим в виде:

$$S_k = S_{k1} + S_{k2}; \quad (17)$$

$$S_{пр} = S_{пр1} + S_{пр2}; \quad (18)$$

$$S_o = S_{o1} + S_{o2}, \quad (19)$$

где  $S_{k1}$  и  $S_{k2}$  – стоимости проведения контроля по  $P_1$  и  $P_2$ ;  $S_{пр1}$  и  $S_{пр2}$  – стоимости проведения профилактических работ по результатам контроля  $P_1$  и  $P_2$ ;  $S_{o1}$  и  $S_{o2}$  – стоимости устранения отказа в результате выхода  $P_1$  и  $P_2$  за пределы соответствующих областей работоспособности.

Таким образом:

$$S_c = (S_{k1} + S_{k2} + S_{пр1} + S_{пр2} + S_{o1} + S_{o2}). \quad (20)$$

Выражение 20 перепишем в виде [3]:

$$S_c = (C_{k1}P_{k1} + C_{k2}P_{k2} + C_{пр1}P_{пр1} + C_{пр2}P_{пр2} + C_{o1}P_{o1} + C_{o2}P_{o2})/T_n, \quad (21)$$

где  $C_{k1}$ ,  $C_{k2}$  – единичные стоимости контроля по  $P_1$  и  $P_2$ ;  $C_{пр1}$ ,  $C_{пр2}$  – единичные стоимости профилактических работ по результатам контроля  $P_1$  и  $P_2$ ;  $C_{o1}$  и  $C_{o2}$  – единичные стоимости устранения отказа в результате выхода  $P_1$  и  $P_2$  за пределы соответствующих областей работоспособности,  $P_{k1}$ ,  $P_{k2}$  – вероятности контроля по  $P_1$  и  $P_2$ ;  $P_{пр1}$ ,  $P_{пр2}$  – вероятности проведения профилактических работ по результатам контроля  $P_1$  и  $P_2$ ;  $P_{o1}$  и  $P_{o2}$  вероятности устранения отказа в результате выхода  $P_1$  и  $P_2$  за пределы соответствующих областей работоспособности;  $T_n$  – ожидаемая наработка агрегата.

Ожидаемую наработку агрегата определяют по формуле

$$T_n = T P_n, \quad (22)$$

где  $P_n$  – вероятность исправного функционирования контролируемого агрегата на протяжении интервала наработки  $T$ .

Вероятности  $P_{к1}$ ,  $P_{к2}$ ,  $P_{пр1}$ ,  $P_{пр2}$ ,  $P_{о1}$ ,  $P_{о2}$ ,  $P_{и}$  можно рассчитать с использованием марковской модели динамики  $P_{1N}$  и  $P_{2N}$  с учетом показателей периода контроля,  $U_{дN1}$  и  $U_{дN2}$ .

Используя выражение (21), запишем критерий оптимизации в виде:

$$(C_{к1}P_{к1} + C_{к2}P_{к2} + C_{пр1}P_{пр1} + C_{пр2}P_{пр2} + C_{о1}P_{о1} + C_{о2}P_{о2})/T_{и} \rightarrow \min. \quad (23)$$

Для определения оптимальных значений периода контроля и упреждающих допусков необходимо решить систему уравнений

$$\begin{cases} dS_c / P_{KN} = 0; \\ dS_c / U_{дN} = 0. \end{cases} \quad (24)$$

Выражения (1 – 24) представляют собой математическую формулировку модели оптимизации двухпараметрического режима контроля.

Таким образом, одним из основных путей повышения экономической эффективности процесса технического обслуживания воздушных судов является разработка системы оптимизации многопараметрического режима контроля агрегатов функциональных систем воздушных судов, создание системы оптимизации двухпараметрического режима контроля.

### Список литературы

1. Барзилович Е.Ю., Воскобоев В.Ф. Эксплуатация авиационных систем по состоянию. – М.: Транспорт, 1981. – 197 с.
2. Игнатов В.А., Маньшин Г.Г., Трайнев В.А. Статистическая оптимизация качества функционирования электронных систем. – М.: Энергия, 1974. – 264 с.
3. Цуриков О.Н., Терейковский И.А. Исследование режима контроля и промывки фильтров жидкостных функциональных систем воздушных судов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – К.: НАН Украины, 1999. – №1. – С.75-85.

Стаття надійшла до редакції 14 жовтня 1999 року.