

**ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЛОЖНЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**
(на примере радиотехнической системы ближней навигации РСБН-4Н)

Ю. Т. Зырянов¹, Д. Н. Ледовских², И. Г. Рязанов¹, А. Ю. Наумова¹

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ» (1), г. Тамбов, Россия; ; zut-tmb@mail.ru;
ФГКВУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского
и Ю. А. Гагарина» (2), г. Воронеж, Россия*

Ключевые слова: коэффициент технического использования; определяющий параметр; оптимальный период технического обслуживания; стратегии эксплуатации; эффективность системы технического обслуживания.

Аннотация: Предложен способ определения оптимальной периодичности технического обслуживания сложных информационно-измерительных систем. Способ позволяет избавиться от необходимости задания закона изменения во времени параметров интенсивности отказов и использует фактические данные о текущем техническом состоянии сложных информационно-измерительных систем с целью обеспечения заданных эксплуатационных и технико-экономических характеристик в эксплуатации.

Введение

Безотказность функционирования сложных информационно-измерительных систем (СИИС) авиационного назначения является обязательным условием соблюдения безопасности и регулярности полетов. Существующие тенденции развития теории технической эксплуатации сложных систем свидетельствуют о том, что в последнее время значительное внимание уделяется вопросам обеспечения заданных эксплуатационных (ЭХ) и технико-экономических характеристик (ТЭХ), во многом определяющих требуемую эффективность их применения. Рассматриваются такие характеристики, как безопасность эксплуатации, ремонтно- и контролепригодность, стоимость и трудоемкость технического обслуживания (ТО), а также экономические, эргономические и экологические показатели, обеспечивающие их эффективную эксплуатацию. Усложнение конструктивных решений новых СИИС и их подсистем непосредственно влияет на стоимость эксплуатации, а также обуславливает новые требования к системе ТО.

Таким образом, необходима модификация известных и разработка новых методов обеспечения заданных ЭХ и ТЭХ СИИС в процессе эксплуатации.

Эффективность системы ТО

Основными задачами системы ТО СИИС являются:

- подготовка к целевому использованию;
- поддержание заданного уровня безотказности, обусловленного требованиями к безопасности и регулярности полетов;

– минимизация перерывов в целевом использовании для проведения мероприятий ТО;

– поддержание заданного уровня долговечности;

– минимизация трудовых и материальных затрат на ТО.

Эффективность системы ТО определяет ее способность поддерживать заданные уровни надежности и готовности к целевому использованию СИИС в определенных условиях эксплуатации [1, 2].

На основании руководящих документов, регламентирующих эксплуатацию в государственной авиации РФ, проведена оценка временных параметров ТО СИИС. В качестве комплексного показателя использован коэффициент технического использования $K_{ТИ}$, характеризующий пребывание изделия в работоспособном состоянии относительно общей продолжительности эксплуатации СИИС. В работе [3] приведены значения $K_{ТИ}$ для основных типов СИИС, эксплуатируемых в государственной авиации РФ. Значения $K_{ТИ}$ распределены в интервале [0,5...0,88], что приводит к определенному несоответствию между реальным техническим состоянием (ТС) СИИС и существующей системой их ТО. Также на значение $K_{ТИ}$ оказывает влияние тот факт, что для некоторых изделий время, затрачиваемое на ТО, сопоставимо со временем их непосредственного использования по назначению. Следствием такого подхода к организации ТО является значительное повышение затрат, при незначительном увеличении, а иногда и уменьшении уровней надежности и готовности СИИС. Также следует отметить, что при проведении профилактических работ выявляется и устраняется лишь 18 – 21 % отказов, остальные обнаруживаются в предполетную подготовку и непосредственно в процессе обеспечения полетов [1, 3, 4]. В значительной степени это обусловлено недостаточной эффективностью системы ТО. Таким образом, существующая система ТО СИИС не в полной мере обеспечивает заданные ЭХ и ТЭХ в процессе их эксплуатации, что приводит к необходимости пересмотра подходов к формированию более эффективной системы ТО.

Исследования [1, 2] показывают, что в настоящее время именно для отечественных СИИС сохраняет актуальность вопрос о широкомасштабном внедрении технической эксплуатации по состоянию (ТЭС) с условным ограничением ресурсов и сроков службы изделий. В отличие от традиционной планово-предупредительной системы эксплуатации по ресурсу, ТЭС позволяет существенно снизить временные, трудовые и материальные затраты на ТО и плановый ремонт при сохранении заданных уровней обеспечения безопасности полетов [3].

Таким образом, для повышения $K_{ТИ}$ СИИС предпочтительным является применение ТЭС. Перевод на ТЭС требует решения целого комплекса задач, основными из которых являются [3]:

– выбор необходимого и достаточного количества определяющих параметров, адекватно отражающих ТС;

– установление областей допустимых значений изменения этих параметров, обеспечивающих нормальное функционирование СИИС;

– построение аналитических моделей деградационных изменений определяющих параметров при эксплуатации СИИС;

– разработка алгоритмов прогнозирования ТС СИИС на заданный интервал времени;

– разработка алгоритма принятия решения о продолжении эксплуатации или проведении ТО;

– выбор методов и средств измерения определяющих параметров;

– оценка количественных показателей эксплуатационной надежности при выбранной стратегии эксплуатации.

Формализованная постановка задачи исследования

Техническое состояние сложных информационно-измерительных систем, по своей сути, является совокупностью свойств выражаемых количественными и качественными признаками – параметрами ТС. В процессе эксплуатации параметры претерпевают изменения под воздействием факторов внешней среды. Эти изменения проявляются в виде случайных отклонений параметров и их дрейфа в сторону предельных границ. В результате таких изменений происходит ухудшение ЭХ и ТЭХ СИИС и, как следствие, снижение эффективности их функционирования.

Обозначим совокупность параметров ТС СИИС в виде вектора $\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_m)$, где m – размерность вектора параметров; $\mathbf{v}_B = (v_1^B, v_2^B, \dots, v_m^B)$, $\mathbf{v}_H = (v_1^H, v_2^H, \dots, v_m^H)$ – векторы верхних и нижних предельно допустимых значений параметров ТС соответственно.

Процесс изменения ТС СИИС $\mathbf{v}(t)$ представим в виде комбинации некоторой детерминированной функции (тренда) $\boldsymbol{\eta}(t)$ и случайного процесса $\mathbf{Z}(t)$ для аддитивного случая

$$\mathbf{v}(t) = \boldsymbol{\eta}(t) + \mathbf{Z}(t). \quad (1)$$

В качестве модели $\boldsymbol{\eta}(t)$ применяют функции различного вида и сложности. Таким образом, если в начальный момент времени вектор параметров ТС находится в пределах допустимых значений, то момент первого же пересечения случайным процессом (1) границ, заданных векторами \mathbf{v}_B и \mathbf{v}_H , определяет случайное время работы системы до отказа

$$T = \min\{t : \mathbf{v}(t) < \mathbf{v}_H \cup \mathbf{v}(t) > \mathbf{v}_B\}. \quad (2)$$

Следовательно, вероятность безотказной работы (ВБР) за время t равна $P(t) = P(T > t)$. При переводе СИИС на ТЭС возникает задача определения ВБР на заданном интервале времени, то есть определение вероятности невыхода параметров за границы допусков. Для решения такой задачи известны различные методы, один из которых приведен ниже.

Цель управления ТС состоит в обеспечении заданного уровня надежности, готовности и эффективности при минимальных затратах на их эксплуатацию. Систему показателей эффективности управления ТС представим в виде

$$\Xi(t) = \{C_\Sigma(\mathbf{U}, t), K_{ТИ}(\mathbf{U}, t), W(\mathbf{U}, t)\}, \quad (3)$$

где $\mathbf{U} = (U_1, U_2, \dots, U_n)$ – вектор параметров, обусловленный характеристиками системы ТО; $C_\Sigma(t)$ – суммарные затраты на ТО; $K_{ТИ}(t)$ – коэффициент технического использования; $W(t)$ – эффективность применения.

Одним из важных требований, предъявляемых к системе ТО, является ограниченность ресурсов, а именно, суммарных затрат при неограниченном возрастании времени

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{C_\Sigma(\mathbf{U}, t)}{t} < \infty. \quad (4)$$

Выполнение условия (4) обеспечивается выбором соответствующей стратегии и рациональной организации ТО.

В качестве критерия оптимизации управления ТС примем минимум затрат на ТО при условии выполнения целевых требований по повышению $K_{ТИ}$ и эффективности применения СИИС. Известно, что ТО целесообразно проводить в сроки, обеспечивающие требуемое качество функционирования каждого изделия и системы в целом. Поэтому оптимизация управления ТС возможна, в том числе и за счет определения оптимальной периодичности ТО $T_{ТО}$ при фиксированных остальных значениях параметров вектора \mathbf{U} системы ТО. Тогда задача определения оптимального периода ТО может быть записана в виде

$$C_{\Sigma}(T_{ТО}^*, t | \mathbf{U}) = \min_{T_{ТО} \in \mathbf{U}} \{C_{\Sigma}(T_{ТО}, t | \mathbf{U})\} \text{ при } \begin{cases} K_{ТИ}(T_{ТО}, t | \mathbf{U}) \geq \hat{K}_{ТИ}; \\ W(T_{ТО}, t | \mathbf{U}) \geq \hat{W}, \end{cases} \quad (5)$$

где $T_{ТО}^*$ – оптимальный период ТО; $\hat{K}_{ТИ}$ – заданное значение $K_{ТИ}$; \hat{W} – заданное значение эффективности применения СИИС по назначению.

В работах [3, 4] рассмотрен случай оптимизации периодичности ТО по критерию максимума $K_{ТИ}$, однако, для учета не только временных, но и экономических характеристик системы ТО СИИС следует использовать критерий, наиболее полно учитывающий условия (3) и (4). Поэтому в предлагаемом способе в качестве критерия оптимизации выбран минимум относительного непроизводительно расходуемого ресурса $R_{ОТН}^*(\tau_i)$ изделия за время τ_i , который позволяет учесть в том числе и суммарные затраты на ТО за время τ_i и определяется по выражению

$$R_{ОТН}^*(\tau_i) = \frac{C_o \left[\tau_i - \int_0^{\tau_i} P_{\text{пар}}(t) dt \right] + C_k \tau_k + C_{\text{п}} \tau_{\text{п}} P_{\text{пар}}(\tau_i) + C_{\text{в}} \tau_{\text{в}} (1 - P_{\text{пар}}(\tau_i))}{C_{\text{ф}} \int_0^{\tau_i} P_{\text{пар}}(t) dt + C_o \left[\tau_i - \int_0^{\tau_i} P_{\text{пар}}(t) dt \right] + C_k \tau_k + C_{\text{п}} \tau_{\text{п}} P_{\text{пар}}(\tau_i) + C_{\text{в}} \tau_{\text{в}}}, \quad (6)$$

в этом случае оптимальный период ТО определяется по формуле

$$T_{ТО}^* = \max \left\{ \tau_i : R_{ОТН}^*(\tau_i) \rightarrow \min \right\}, \quad (7)$$

где $R_{ОТН}^*(\tau_i)$ – затраты относительного непроизводительно расходуемого ресурса изделия за время τ_i ; τ_i – интервалы времени между предполагаемыми ТО изделия $\tau = t_n - t_{n-1}$; $C_o, C_k, C_{\text{в}}, C_{\text{ф}}$ – средние расходы ресурсов изделия в единицу времени при нахождении изделия в состоянии скрытого отказа, проведении контроля работоспособности, ТО, аварийно-восстановительных работ, при нахождении изделия в работоспособном состоянии соответственно; $\tau_k, \tau_{\text{п}}, \tau_{\text{в}}$ – среднее время контроля работоспособности изделия, проведения планового ТО, аварийно-восстановительных работ; $P_{\text{пар}}(\tau_i)$ – параметрическая вероятность безотказной работы изделия за время τ_i .

Модифицированный способ определения оптимального периода ТО

Очевидно, что при решении задачи нахождения оптимального периода ТО при ТЭС, основные затруднения вызывает необходимость определения ВБР СИИС.

При наличии нескольких определяющих ТС параметров, параметрическая вероятность безотказной работы изделия определяется по формуле

$$P_{\text{пар}}(\tau_i) = \prod_{r=1}^M P_r(\tau_i), \quad (8)$$

где M – число определяющих предельное состояние параметров изделия; $P_r(\tau_i)$ – вероятность невыхода r -го определяющего параметра ТС за пределы допусков в течение прогнозируемого периода τ_i .

Так как на процесс изменения параметра во времени влияет множество различных независимых факторов, то вероятность безотказной работы (невыхода параметра за пределы допуска) изделия по r -му определяющему параметру за время $T = t_n - t_{n-1}$ определяется как

$$P_r(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_r^2(T)}} \int_{v_r^H}^{v_r^B} \exp\left\{-\frac{[v_r - \bar{v}_r(T)]^2}{2\sigma_r^2(T)}\right\} dv_r, \quad (9)$$

где t_{n-1} – момент времени проведения последнего измерения определяющего параметра; v_r^B и v_r^H – соответственно верхняя и нижняя границы допуска r -го определяющего предельное состояние системы параметра; $\bar{v}_r(t)$ – наиболее адекватная модель r -го определяющего ТС параметра; $\sigma_r^2(t)$ – дисперсия r -го определяющего параметра.

Формирование математических моделей изменения определяющих параметров во времени осуществлялось на основе методов анализа и прогнозирования временных рядов (метод группового учета аргументов, сингулярный спектральный анализ и т.д.) в области полиномов вида

$$v(t) = \sum_{i=0}^n a_i t^i + \sum_{j=2}^n b_j t^{j-1}, \quad i, j \in Z, \quad n \leq n_{\text{max}}, \quad (10)$$

где a_i, b_j – неизвестные коэффициенты; Z – множество натуральных чисел; n_{max} – установленное значение максимальной степени полинома.

Расчет коэффициентов математических моделей проводится на основе обучающей части исходных данных объемом k_0 .

В качестве критерия адекватности математических моделей изменения определяющих параметров выбрана относительная квадратическая погрешность временного тренда

$$\Delta_m^2(v) = \frac{\sum_{j=1+k_0}^k (v_{jm} - \tilde{v}_j)^2}{\sum_{j=1+k_0}^k \tilde{v}_j^2}, \quad (11)$$

где \tilde{v}_j – измеренное значение определяющего параметра; v_{jm} – значение определяющего параметра в j -й момент времени, полученное с помощью m -й модели; k – объем исходных данных, $k = k_n + k_0$, k_n – объем проверочной части исходных данных.

Известные подходы определения оптимального периода ТО [2, 5] в ряде случаев обладают невысокой точностью, при этом требуют для своей реализации больших объемов как временных, так и материальных затрат, а результаты могут

значительно отличаться от значений, полученных при испытаниях [6], так как не учитываются индивидуальные особенности изделия, условия его эксплуатации, значения показателей надежности, зависящие от конструкции, внешних воздействий, принятой системы ТО и других факторов.

Для устранения данных недостатков в работе предлагается модифицированный способ определения оптимального периода ТО в сложных системах при ограниченных ресурсах [6], отличающийся возможностью определения ВБР СИИС по совокупности изменения параметров ТС. Достоинством предлагаемого метода является то, что, в отличие от классических методов определения ВБР по известным законам распределения времени наработки на отказ [5, 7], он позволяет учитывать индивидуальные особенности конструкции, условий эксплуатации, а главное фактическое (текущее) ТС СИИС в динамике. При этом обеспечивается более высокая точность определения ВБР, чем при использовании статистических методов, что особенно актуально при эксплуатации новых и единичных образцов техники, для которых еще не накоплено достаточное количество статистических данных.

Реализация способа

Ниже приведены примеры определения оптимального периода ТО изделия по способу-прототипу [5] и с использованием предлагаемого способа [6]. В общем виде алгоритм включает следующие этапы: ввод исходных данных, построение модели (тренда) каждого из определяющих параметров, определение значений параметров на необходимую глубину прогноза, сравнение прогнозных значений каждого параметра с границами допусков на данные параметры, построение параметрической модели системы по моделям определяющих параметров, вычисление параметрической ВБР на глубине прогноза, расчет величины затрат относительного непроизводительно расходуемого ресурса, определение параметров ТО СИИС (периодичности, полноты и т.д.), выдача рекомендаций по оптимизации параметров системы ТО (в данном случае периодичности ТО) сложной ИИС.

Для проверки алгоритма на участке времени $\tau_i = [0, 200]$ ч проводились измерения на одном из блоков СИИС. В качестве изделия выбран блок БИ-007 (индикатор кругового обзора (ИКО)), входящий в состав радионавигационной станции ближней навигации РСБН-4Н. Для данного изделия согласно тактико-техническим характеристикам наработка на отказ составляет 20 000 ч, то есть параметр потока отказов равен $\lambda(\tau_i) = 2 \cdot 10^{-4}$ 1/ч. На данном изделии проведено 20 измерений с интервалом 10 ч. В контрольном гнезде блока БИ-007 «ИМП. МАСШТАБА», согласно тактико-техническим характеристикам должен быть импульс положительной полярности, амплитудой не более 20 В и длительностью $\tau_{\text{имп}} = (2700 \pm 300)$ мкс, следующей с частотой 300 Гц. Измеренные длительности импульсов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Длительность импульсов

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tau_{\text{имп}}$, мкс	2690	2670	2640	2610	2680	2700	2720	2640	2650	2660
Номер измерения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\tau_{\text{имп}}$, мкс	2680	2670	2640	2660	2730	2740	2720	2710	2750	2730

Исходные данные для расчетов: $\tau_{\text{п}} = 1$ ч; $\tau_{\text{к}} = 0,1$ ч; $\tau_{\text{в}} = 5$ ч; $C_{\text{ф}} = 1$ – условная единица ресурса в час, ед./ч; $C_0 = 1$ ед./ч; $C_{\text{в}} = 10$ ед./ч; $C_{\text{к}} = 1$ ед./ч; $C_{\text{п}} = 1$ ед./ч; законы изменений во времени ВБР и интенсивности отказов изделия $P(\tau) = e^{-\lambda\tau}$ и $\lambda(\tau) = 10^{-6}\tau$ соответственно; среднее значение интенсивности отказов изделия (кусочно-непрерывная аппроксимация непрерывной функции интенсивности отказов на интервале времени $[0, \tau_i]$) $\lambda(\tau_i) = 2 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹; значения интервалов времени между предполагаемыми техническими ТО изделия $\Delta\tau = 1$ ч. Верхняя и нижняя границы допусков измеренного параметра изменяются соответственно от $\tau_{\text{имп}}^{\text{в}} = 3000$ до $\tau_{\text{имп}}^{\text{н}} = 2400$ мкс. При расчетах значения интервалов времени между предполагаемыми ТО τ_i задавалось в условных единицах, соответствующих реальным значениям времени в часах. В соответствии с выражением (10) получена модель вида

$$\bar{\tau}_{\text{имп}}(t) = 0,0038t^2 - 0,5008t + 2677,8022. \quad (12)$$

Значение критерия (11) при этом равно $\Delta_m^2(\tau_{\text{имп}}) = 1 \cdot 10^{-5}$.

Значение оптимального периода ТО (табл. 2), рассчитанное по способу-прототипу с параметром интенсивности отказов $\lambda(\tau_i) = 2 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹ и законом изменения во времени ВБР изделия, равным $P(\tau) = e^{-\lambda\tau}$ при $\tau = 120$ ч, $R_{\text{отн}}(\tau_{120}) = 0,03$, является минимальным, однако в качестве оптимального периода ТО целесообразно принять значение, полученное с использованием предлагаемого способа, то есть $T_{\text{ТО}}^* = \tau_{174} = 174$ ч, соответственно при этом $R_{\text{отн}}(\tau_{174}) = 6,46 \cdot 10^{-3}$.

Для приведенного примера погрешность определения оптимального периода ТО изделия по способу-прототипу, по сравнению с предлагаемым способом, составит

$$\Delta = \frac{\tau_{174} - \tau_{120}}{\tau_{174}} \cdot 100\% = \frac{174 - 120}{174} \cdot 100\% = 31\%. \quad (13)$$

Относительный выигрыш в величине относительного непроизводительно расходимого ресурса изделия составит

$$\Lambda = \frac{R_{\text{отн}}(\tau_{120})}{R_{\text{отн}}^*(\tau_{174})} = \frac{0,03}{0,00646} = 4,64. \quad (14)$$

Таблица 2

Определение оптимального периода технического обслуживания

<i>По способу-прототипу</i>										
τ_i , усл. ед.	1	2	3	4	...	40	...	120	...	210
$R_{\text{отн}}(\tau_i)$	0,526	0,359	0,274	0,222	...	0,04	...	0,03	...	0,035
<i>По предлагаемому способу</i>										
τ_i , усл. ед.	1	2	3	4	...	120	...	174	...	210
$R_{\text{отн}}(\tau_i)$	0,524	0,355	0,268	0,216	...	0,009	...	0,00646	...	0,083

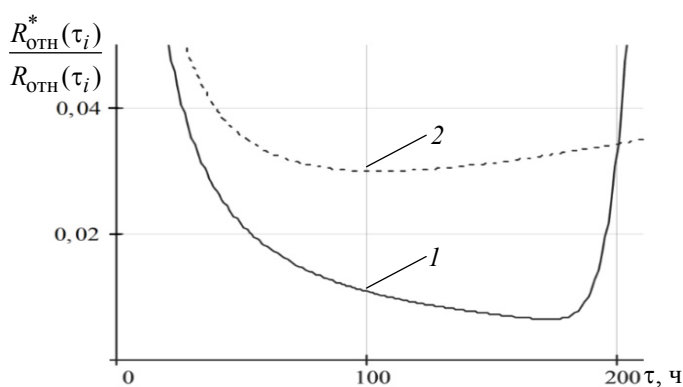


Рис. 1. Графики зависимостей величин относительного непроизводительного расхода ресурсов:

$1 - R_{отн}^*(\tau_i)$; $2 - R_{отн}(\tau_i)$

На рисунке 1 приведены графики зависимостей величин относительного непроизводительного расхода ресурсов для интервалов времени между предполагаемыми ТО изделия для способа-прототипа и предлагаемого способа.

Заключение

Таким образом, положительный эффект от использования разработанного способа заключается в повышении точности определения оптимального периода времени между очередными ТО СИИС за счет применения методов ТЭС с контролем параметров, уменьшении величины относительного непроизводительного расходуемого ресурса, а также снижении затрат при обеспечении заданных ЭХ и ТЭХ в эксплуатации.

Список литературы

1. Зырянов, Ю. Т. Планирование профилактики в организационно-технических системах / Ю. Т. Зырянов, К. А. Мальков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2004. – Т. 10. – № 2. – С. 410 – 420.
2. Буравлев, А. И., Управление техническим состоянием динамических систем / А. И. Буравлев, Б. И. Доценко, И. Е. Казаков. – М. : Машиностроение, 1995. – 240 с.
3. Зырянов Ю.Т. Планирование контроля технического состояния радиотехнических систем / Ю. Т. Зырянов, Д. Н. Ледовских // Мат. Междунар. науч.-практ. конф. «Современные технологии – ключевое звено в возрождении отечественного авиастроения», 12–13 августа 2008 г. – Казань : КГТУ им. А. Н. Туполева. – 2008. С. 326 – 329.
4. Зырянов, Ю. Т. Пути совершенствования технического обслуживания авиационных радиотехнических систем / Ю. Т. Зырянов, К. А. Мальков, Д. Н. Ледовских // Вестник Тамбовского ВВАИУРЭ (ВИ). – 2008. – № 3. – С. 32 – 40.
5. Пат. 2336570 Российская Федерация, МПК С1 G07C 3/08 (2006.01). Способ определения оптимального периода технического обслуживания изделия / И. А. Ходжаев, М. В. Королев, Н. Л. Алымов ; заявитель и патентообладатель: ГОУ ВПО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации» – № 2006143252/09 ; заявл. 06.12.2006 ; опубл. 20.10.2008, Бюл. № 29. – 10 с.
6. Пат. 2436162 Российская Федерация, МПК С2 G07C 3/08 (2006.01). Способ определения оптимального периода технического обслуживания сложных техни-

ческих систем при ограниченных ресурсах / Д. Н. Ледовских, О. А. Коновалов, Ю. Т. Зырянов, К. А. Малыков, В. М. Дмитриев ; заявитель и патентообладатель : ГОУ ВПО «Тамбовское высшее военное авиационное инженерное училище радиоэлектроники (военный институт)» ; ФГБОУ ВПО "Военный авиационный инженерный университет" (г. Воронеж) МО РФ – № 2009104302/08 ; заявл. 09.02.2009 ; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34. – 14 с.

7. Артемова, С. В. Прогнозирование и компенсация возмущения в системах оптимального управления / С. В. Артемова, Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2003. – Т. 9. – № 4. – С. 632 – 637.

8. Муромцев, Д. Ю. Методика проектирования базы знаний для активных экспертных систем / Д. Ю. Муромцев, В. В. Ермолаев, А. Ю. Коток // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. вып. № 52. – С. 92 – 95.

Optimal Maintenance Intervals of Complex Information-Measuring Systems (Example of RSBN-4N Short-Range Radio Engineering Navigation System)

Yu. T. Zyryanov¹, D. N. Ledovskikh², I. G. Ryazanov¹, A. Yu. Naumova¹

*Department of Design of Radio-Electronic and Microprocessor Systems,
TSTU (1), Tambov, Russia; zut-tmb@mail.ru;
Military Educational-Research Centre of Air Force "Air Force Academy
named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin" (2),
Voronezh, Russia*

Keywords: system maintenance effectiveness; technical utilization ratio; optimum maintenance period; operation strategy; defining parameter.

Abstract: A method for determining the optimum maintenance period of complex information-measuring systems is proposed. The method makes it possible to eliminate the need to set the law of time variation of the failure rate parameters, and uses actual data on the current technical state of complex information and measurement systems to ensure the specified operational and cost-performance characteristics.

References

1. Zyryanov Yu.T., Malykov K.A. [Planning of prevention in organizational and technical systems], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2004, vol. 10, no. № 2, pp. 410-420. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Buravlev, A. I., Dotsenko B.I., Kazakov I.Ye. *Upravleniye tekhnicheskimi sostoyaniyem dinamicheskikh sistem* [Control of the technical state of dynamical systems], Moscow: Mashinostroyeniye, 1995, 240 p.

3. Zyryanov Yu.T., Ledovskikh D.N. *Mat. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sovremennyye tekhnologii – klyuchevoye zveno v vozrozhdenii otechestvennogo avias-troyeniya»* [Materials International Scientific and practical conference "Modern technologies – the key link in the revival of domestic aircraft construction"], 12-13 August 2008, Kazan', 2008, pp. 326-329. (In Russ.)

4. Zyryanov Yu.T., Malykov K.A., Ledovskikh D.N. [Ways to improve technical maintenance of aviation radio engineering systems], *Vestnik Tambovskogo TVVAIURE (VI)* [Bulletin of Tambov TVVAIURE (VI)], 2008, no. 3, pp. 32-40. (In Russ.)

5. Khodzhayev I.A., Korolev M.V., Alymov N.L. *Sposob opredeleniya optimal'nogo perioda tekhnicheskogo obsluzhivaniya izdeliya* [Method for determining the optimal period of maintenance of the product], Russian Federation, 2008, Pat. 2336570. (In Russ.)

6. Ledovskikh D.N., Konovalov O.A., Zyryanov Yu.T., Malykov K.A., Dmitriyev V.M. *Sposob opredeleniya optimal'nogo perioda tekhnicheskogo obsluzhivaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem pri ogranichennykh resursakh* [A method for determining the optimal maintenance period for complex technical systems with limited resources], Russian Federation, 2011, Pat. 2436162. (In Russ.)

7. Artemova S.V., Muromtsev D.Yu., Gribkov A.N. [Prediction and compensation of disturbances in optimal control systems], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2003, vol. 9, no. 4, pp. 632-637. (In Russ., abstract in Eng.)

8. Muromtsev D.Yu., Yermolayev V.V., Kotok A.Yu. [Technique of designing the knowledge base for active expert systems], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2014, no. 52, pp. 92-95. (In Russ., abstract in Eng.)

Über die optimale Periodizität der Wartung komplexer Informations-und Messsysteme (am Beispiel des Funktechniksystems der nahen Navigation RSBN-4H)

Zusammenfassung: Es ist eine Methode zur Bestimmung der optimalen Periodizität der Wartung komplexer Informations-und Messsysteme vorgeschlagen. Die Methode ermöglicht es, die Notwendigkeit der Aufgabe des Gesetzes zur Änderung der Zeit der Parameter der Ausfallquote loszuwerden, und verwendet die tatsächlichen Daten über den aktuellen technischen Zustand komplexer Informations-und Messsysteme, um die angegebenen technischen und Betriebseigenschaften im Betrieb zu gewährleisten.

Sur une optimale périodicité de l'entretien technique des systèmes de mesure et d'information complexes (à l'exemple du système de radio navigation rapprochée)

Résumé: Est proposée une optimale périodicité de l'entretien technique des systèmes complexes de mesure et d'information. Le procédé permet de se débarrasser de la nécessité de définir la loi des changements dans le temps des paramètres de taux d'échec, mais utilise les données réelles sur l'état technique actuel des systèmes complexes d'information et de mesure afin d'assurer les caractéristiques opérationnelles et technico-économiques dans le fonctionnement.

Авторы: *Зырянов Юрий Трифонович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; *Ледовских Дмитрий Николаевич* – старший помощник начальника отдела ФГКВООУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Россия; *Рязанов Илья Георгиевич* – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; *Наумова Анастасия Юрьевна* – студент, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Павлов Владимир Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.