

КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Розглянуто показники для оцінки ефективності системи технічного обслуговування бортових радіоелектронних систем. Запропоновано комплексний критерій оптимізації системи технічного обслуговування. Наведено аналітичні вирази для розрахунку пропонованих показників.

Рассмотрены показатели для оценки эффективности системы технического обслуживания бортовых радиоэлектронных систем. Предложен комплексный критерий оптимизации системы технического обслуживания. Приведены аналитические выражения для расчета предлагаемых показателей

The are considered measures for evaluating the effectiveness of the maintenance system on aircrafts electronic systems are considered. A complex optimization criterion for the maintenance system is proposed. Analytical expressions for calculating the proposed measures are given.

Постановка проблемы. В настоящее время готовится к вводу в эксплуатацию ряд перспективных воздушных судов (ВС), которые оснащены системами авионики нового поколения. Особенностью этих систем является наличие встроенных систем контроля (ВСК), позволяющих осуществлять контроль работоспособности (КР) на борту ВС. Однако из-за конечной точности ВСК, сбоев в системах и линиях связи, ошибок обслуживающего персонала возникает проблема "неподтвержденных дефектов". Так, согласно статистическим данным авиакомпаний от 40 до 85% демонтированных с борта блоков радиоэлектронных систем (РЭС) на самом деле являются работоспособными [1]. Большое количество неподтвержденных дефектов влечет за собой необходимость создания специального обменного фонда (ОФ) запасных блоков для поддержания регулярности полетов, что приводит к значительным капитальным затратам. Снижение этих затрат возможно за счет использования наземных автоматизированных систем контроля (НАСК), которые позволяют осуществлять перепроверку демонтированных блоков с высокой достоверностью и предотвращать ошибочную отправку работоспособных блоков на восстановление. Однако приобретение и эксплуатация таких систем контроля требует значительных инвестиций. Поэтому возникает проблема правильного выбора системы технического обслуживания (ТО) ВС.

Анализ литературных источников. В настоящее время в литературных источниках приводится ряд показателей для оценки эффективности ТО РЭС, при этом задачи оптимизации системы ТО решаются разрозненно, одни из показателей позволяют оценить только стоимостные составляющие [2-4], другие основываются на оптимизации количества запасных изделий [5], но не учитывают влияние показателей достоверности контроля. Причем, известные показатели не учитывают влияние структуры НАСК на систему ТО. Таким образом, отсутствует

комплексный критерий, позволяющий произвести выбор оптимального варианта системы ТО с учетом взаимосвязи показателей достоверности контроля, количества запасных изделий и стоимости операций ТО.

Постановка задачи. Из множества возможных вариантов стратегий организации ТО систем авионики W_{abc} , выделены для исследования следующие: вариант W_{111} – эксплуатант не имеет НАСК и все забракованные на борту и демонтированные блоки РЭС отправляются на завод-изготовитель (ЗИ) для восстановления; вариант W_{121} – в базовом аэропорту (БА) используется НАСК-L для перепроверки блоков, забракованных на борту. При этом каждый демонтированный блок отправляется на ЗИ только в том случае, если НАСК подтверждает его неработоспособность. Если НАСК не подтверждает результат бортового контроля, то блок устанавливается обратно на борт ВС; вариант W_{122} – эксплуатант имеет НАСК-S высокого уровня, который может перепроверять забракованные блоки в БА и осуществлять на месте поиск места отказа в блоке с глубиной до сменно-сборочных модулей. При этом в ремонт отправляются только сменно-сборочные модули. Таким образом, целью статьи является разработка комплексного критерия, позволяющего произвести выбор оптимального варианта системы ТО из ряда альтернативных вариантов.

Разработка критерия оптимизации. Выбор оптимального варианта системы ТО осуществляется по критерию эффективности системы ТО. Критерий эффективности – это правило, позволяющее на основе анализа значений показателей эффективности определить наилучший вариант из множества рассматриваемых альтернативных вариантов системы ТО.

Систему организации процесса ТО будем называть оптимальной, если обеспечивается выполнение условия

$$\Phi(W_{abc}^*) = \text{extr } \Phi(W_{abc}),$$

$$\text{при } W_{abc}^* \subset \overrightarrow{W_{abc}},$$

где: $\Phi(*)$ – показатель эффективности системы ТО; $\overrightarrow{W_{abc}}$ – вектор управляемых параметров оптимизации; extr – операция поиска экстремума функции, которая определяется как

$$\text{extr} = \begin{cases} \min, \text{ если в качестве } \Phi(*) \text{ выбирается } TLEC; \\ \max, \text{ если в качестве } \Phi(*) \text{ выбирается } K_r \text{ или } P_3, \end{cases}$$

где $TLEC$ – текущее значение полных эксплуатационных затрат; K_r – текущее значение коэффициента готовности; P_3 – текущее значение эксплуатационной вероятности безотказной работы.

Выбор критерия эффективности системы ТО зависит от того, к какому из подклассов, приведенных в табл. 1, относится РЭС. В табл. 1 приведены классификация РЭС и критерии эффективности системы ТО. В таблице приняты следующие обозначения: M – количество альтернативных вариантов построения систем ТО; P_3^D – предельно-допустимое значение ЭВБР; $K_{ог}^D$ – предельно-допустимое значение КОГ; K_r^D – предельно-допустимое значение КГ.

Критерии эффективности системы ТО

Класс РЭС	Критерий эффективности системы ТО
Отказ системы влияет только на экономические показатели	$\min_k TLEC \quad (k = \overline{1, M})$
Отказ системы влияет на готовность ВС	$\min_k TLEC \quad (k = \overline{1, M})$ при ограничении $K_r \geq K_r^D$
Отказ системы влияет на безопасность полета ВС	$\min_k TLEC \quad (k = \overline{1, M})$ при ограничении $P_э \geq P_э^D$

Затраты $TLEC$ включают в себя различные составляющие в зависимости от варианта системы ТО и действия гарантийных обязательств поставщика.

Поскольку показатель $TLEC$ существенно зависит от затрат на ОФ (количества блоков в ОФ) и капитальных затрат на закупку НАСК, то оптимизация по критерию минимума $TLEC$ должна решаться комплексно, с учетом оптимальных значений затрат на ОФ и стоимости выбранного варианта НАСК.

На рис. 1 приведена последовательность принятия решений при выборе оптимального варианта организации системы ТО РЭС ВС. Как видно из рис. 1, на первом этапе выбираются показатели эффективности процесса эксплуатации в зависимости от степени влияния РЭС на безопасность полетов (БП).

На втором этапе оценивается возможность приобретения НАСК. При этом возможны следующие решения:

- НАСК приобретаться не будет;
- будет приобретаться НАСК–L;
- будет приобретаться НАСК–S.

Если выбрана система ТО без использования НАСК, то далее переходят к выбору варианта организации системы управления запасами (СУЗ). Если выбрана система ТО с использованием НАСК, то далее выбирается структура НАСК. Здесь возможны варианты: будет приобретаться НАСК с распределенной структурой или будет приобретаться универсальная одноместная НАСК.

В зависимости от выбранной структуры, на следующем этапе выбирается вариант СУЗ. При этом, запасные блоки (LRUs) могут находиться в ОФ на разных уровнях хранения: только в БА или одновременно в БА и в региональном центре (РЦ). Если в БА установлена НАСК–S, то ОФ можно формировать из съемно-сборочных модулей – SRUs.

Далее производится оценка оптимального количества запасных изделий в ОФ, и после этого оцениваются показатели эффективности для каждого из вариантов системы ТО. После чего выбирается оптимальный вариант по заданному критерию.

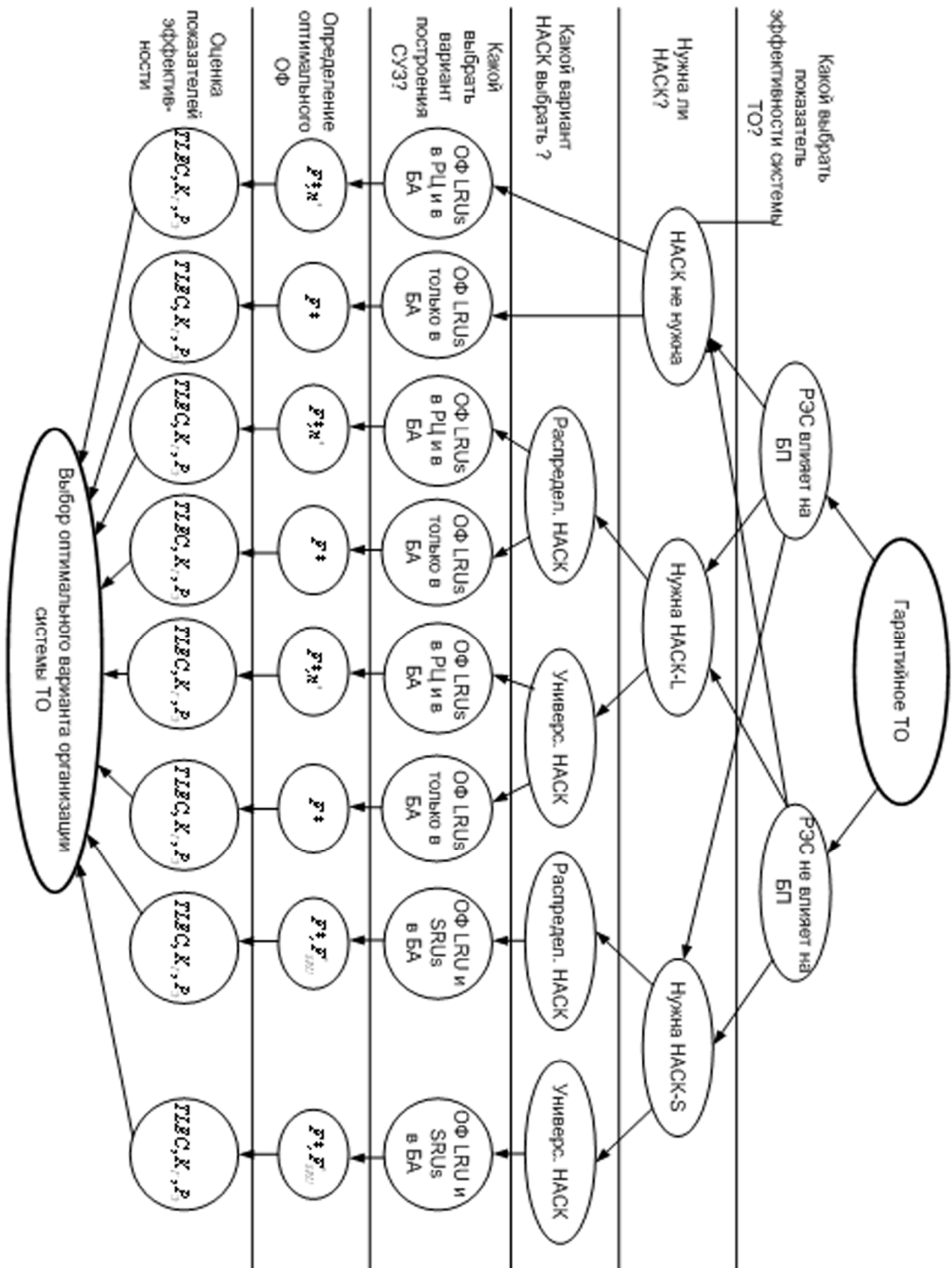


Рис. 1. Алгоритм принятия решений при выборе оптимального варианта организации системы ТО

Таким образом, комплексную задачу выбора оптимального варианта организации системы ТО РЭС ВС по критерию минимума полных эксплуатационных потерь можно сформулировать следующим образом:

$$TLEC(W^*, V^*, F^*) = \min_W \left(\min_V \left\{ \min_F [TLEC(W, V, F)] \right\} \right),$$

где $W^* \subset \overline{W_1, W_n}$ – оптимальный вариант организации системы ТО; $V^* \subset \overline{V_1, V_n}$ – оптимальный вариант структуры построения НАСК; F^* – оптимальное количество блоков в ОФ.

Для стратегии ТО W_{111} получено следующее выражение, позволяющее оценить полные эксплуатационные затраты [6]:

$$TLEC_{W_{111}} = m \left(\frac{T_0}{MTBUR_W} \right) \left\{ \sum_{t=1}^{T_W} N_{WA,t} [C_{TO,t} (t_{KP,t} + t_{M,t} + t_{D,t}) + C_{TR,t}] (1 + \varepsilon)^{1-t} \right\} + \\ + C_{LRU} (F_1 + MF_1) + C_{LRU} \sum_{t=2}^{T_W} (\Delta F_t + \Delta MF_t) (1 + \varepsilon)^{1-t}.$$

где m – количество однотипных блоков, установленных на борту ВС; T_0 – средний налет ВС за год; T_W – календарная продолжительность гарантийного обслуживания блока, определяемая числом лет эксплуатации; $N_{WA,t}$ – количество ВС, находящихся на обслуживании в году t ; $C_{TO,t}$ – стоимость работ по монтажу/демонтажу блоков в час в году t ; $t_{KP,t}$ – средняя стоимость контроля работоспособности блока на борту ВС; $t_{M,t}$ и $t_{D,t}$ – соответственно средняя стоимость демонтажа и монтажа блока на борту ВС в году t ; $C_{TR,t}$ – средняя стоимость транспортировки блока на ЗИ для ремонта и обратно в году t ; C_{LRU} – стоимость блока; F_t – запланированное число запасных блоков в ОФ в году t ; MF_t – незапланированное число запасных блоков, которые будут поставлены с ЗИ для обеспечения регулярности полетов в году t ; ε – норма дисконта времени, выражаемая в долях единицы или в процентах за год. Аналогичным образом получены эксплуатационные затраты для остальных стратегий ТО.

При оценке эксплуатационных затрат, как одной из составляющих TLEC, авторами предложено использовать показатель $MTBUR$ (mean time between unscheduled repairs) – средняя наработка блока между незапланированными восстановлением. Данный показатель позволяет более адекватно оценить эксплуатационные затраты по сравнению со средним временем наработки блока на отказ. Величина $MTBUR$ определяет средний цикл регенерации блока.

С использованием теории регенерирующих случайных процессов, получено выражение для среднего времени наработки блока на досрочный съем с борта ВС с учетом явных и скрытых отказов [7]

$$MTBUR = \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}}{(\lambda + \lambda_0) [1 - (1 - \alpha)e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}]} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{1 - (1 - \alpha)e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}} \left\{ e^{-\lambda_0\tau} \left[\frac{\tau(1 - \beta e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau})}{1 - \beta e^{-\lambda_0\tau}} - \frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda} \right] + \right. \\
& \left. + \frac{\lambda}{\lambda_0(\lambda + \lambda_0)} \cdot [1 - e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}] - e^{-\lambda_0\tau} [\tau + (\lambda\lambda_0)^{-1}(\lambda - \lambda_0)(1 - e^{-\lambda\tau})] \right\}.
\end{aligned}$$

где α – условная вероятность "ложного отказа" при контроле блока на стоянке ВС; β – условная вероятность "необнаруженного отказа" при контроле блока на стоянке ВС; λ и λ_0 – интенсивности скрытых и явных отказов блока.

Выводы. Авторами предложены обобщенные стоимостные показатели в виде полных средних эксплуатационных затрат для различных вариантов организации ТО, позволяющие, в отличие от известных показателей, учесть достоверность контроля, периодичность контроля, затраты на поддержание обменного фонда. Сформулирован комплексный критерий оптимального выбора стратегии системы ТО. Результаты позволяют произвести обоснование и выбор оптимальной организации стратегии технической эксплуатации РЭС ВС, оптимизировать систему управления запасами запасных блоков, сформировать оптимальный обменный фонд.

Литература

1. Burchell, V. Untangling no fault found / V. Burchell // Aviation Week. – 2007. – Feb.9. – P. 3-9.
2. Далецкий, С. В. Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации. / С. В. Далецкий, О.Я. Деркач, А.Н. Петров– М. : Воздуш. трансп., 2002. – 212 с.
3. Nakagawa, T. Two-unit redundant models / T. Nakagawa // Stochastic Models in Reliability and Maintenance. – N.Y.: Springer, 2002. – №1 – P. 165–185.
4. Смирнов Н. Н.. Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов: Учеб. пособие. - М. : МГТУ ГА, 2001. — 100с.
5. Ковтуненко, О. П. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем: Монография / О. П. Ковтуненко, М. О. Шишанов, В. В. Зубарев. – К. : Книжное изд-во НАУ, 2007. – 296 с.
6. Уланский, В. В. Обобщенные функции стоимости обслуживания до безопасного отказа легкозаменяемых блоков систем авионики / В. В. Уланский, И. А. Мачалин // Електроніка та системи управління.– 2008. –№1(15). – С. 86–97.
- Уланский, В. В. Стратегия обслуживания одноблочной системы авионики при наличии явных и скрытых отказов/ В. В. Уланский, И. А. Мачалин // Математичні машини і системи. – 2007. – №3,4. – С. 245–256.