

УДК 623.4.017

Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, Д.В. Фоменко

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков*

## ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*В статье рассматриваются вопросы построения программы технического обслуживания и ремонта сложных технических систем (СТС) на основе смешанной стратегии технического обслуживания и ремонта. Вводится понятие оптимальной стратегии технического обслуживания и ремонта СТС, при которой обеспечивается наиболее тесное взаимодействие между процессом изменения технического состояния СТС и процессом ее технической эксплуатации. Формулируется оптимизационная задача назначения стратегии технического обслуживания и ремонта СТС, предлагается подход к ее решению.*

**Ключевые слова:** стратегия технического обслуживания и ремонта, сложная техническая система.

### Введение

**Постановка проблемы.** Анализ состояния длительно эксплуатируемых сложных технических систем (СТС) показывает, что в современных условиях становится проблематичным поддержание работоспособности и надежности СТС на приемлемом уровне. Одним из направлений решения этой проблемы является совершенствование программы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р). Под программой ТО и Р понимается документ, устанавливающий стратегии, количественные характеристики видов ТО и Р, порядок их корректировки на протяжении срока службы с начала эксплуатации до списания изделия [1]. Программа ТО и Р, основанная на выполнении заданных объемов восстановительных работ через заранее запланированные интервалы времени или наработки независимо от фактического состояния изделий, обеспечивает слабое взаимодействие между указанными процессами для поддержания требуемого уровня работоспособности и надежности объектов и эффективности их использования.

Совершенство той или иной программы ТО и Р определяется степенью взаимодействия между объективно существующим процессом изменения технического состояния изделия и процессом его технической эксплуатации, предназначенным для поддержания работоспособного состояния и надежности СТС. Степень взаимодействия этих процессов существенно разная при различных стратегиях ТО и Р. Установлено, что более тесную связь между этими процессами обеспечивает программа, основанная на стратегиях ТО и Р по состоянию [2]. При этом состояние процесса эксплуатации, объем и содержание восстановительных работ назначаются в соответствии с фактическим состоянием объектов. При такой программе ТО и Р за счет применения оптимальных стратегий ТО и Р объектов эксплуатации обеспечивается высокая экономичность эксплуатации СТС. При этом наиболее полно исполь-

зуется запас работоспособности конкретного изделия СТС.

В связи с этим вопросы разработки программы ТО и Р СТС по состоянию являются актуальными.

**Анализ литературы.** По проблеме ТО и Р по состоянию за последние годы опубликовано большое количество работ теоретического и прикладного характера. Их анализ показывает, что для рассматриваемого периода времени характерным является совершенствование теории и практики технической эксплуатации СТС по состоянию [1]. Получен ряд результатов способствующих успешному решению проблемы технической эксплуатации по состоянию авиационной техники [2] и других СТС. Вместе с тем имеется определенная группа вопросов, по которым нет единства взглядов специалистов и достаточного числа публикаций, в частности по проблеме разработки программы ТО и Р СТС по состоянию.

Современные СТС, как правило, характеризуются большим разнообразием различного оборудования по физическим принципам, уровню надежности, эксплуатационной технологичности и т.д. Вся совокупность возможных стратегий ТО может быть объединена в три группы: ТО по наработке или календарным срокам эксплуатации (ТОР), ТО по состоянию с контролем уровня надежности (ТОН), ТО по состоянию с контролем параметров (ТОП), а стратегии ремонта – в две группы: регламентированный ремонт (по наработке или календарному сроку эксплуатации) (РР) и ремонт по техническому состоянию (РТС). Наиболее слабое взаимодействие имеет место при ТОР и РР, более тесное при ТОН и РТС и, наконец, самое тесное при ТОП и РТС.

Очевидно, что оптимальной стратегией ТО и Р СТС будет смешанная стратегия, то есть стратегия при которой одна часть элементов СТС обслуживается и ремонтируется по состоянию, другая часть – по наработке или календарным срокам эксплуата-

ции [2]. В целях разработки программы ТО и Р в большей степени приспособленной к конструкционным особенностям и режимам использования каждой конкретной СТС сформулируем оптимизационную задачу назначения стратегии ТО и Р.

**Цель статьи.** Сформулировать задачу назначения оптимальной стратегии технического обслуживания и ремонта сложной технической системы и изложить методику ее решения.

### Основная часть

При известных характеристиках надежности (безотказности, контроле- и ремонтпригодности) СТС, при заданном уровне поддержания эффективности функционирования комплекса, известных средних удельных затратах на профилактические и восстановительные работы назначить такую стратегию ТО и Р, которая обеспечивает минимальные затраты на ТО и Р СТС при условии поддержания эффективности ее функционирования на уровне не ниже требуемого. Будем считать возможным разбиение СТС на отдельные объекты ТО и Р (ОТО и Р), например, по признакам выполнения отдельных независимых функций, конструкционным и другим особенностям. Пусть в каждом варианте разбиения имеется  $p$  ОТО и Р. Введем параметр назначения

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если для } k\text{-го объекта назначается} \\ & j\text{-я стратегия ТО и Р с } i\text{-й} \\ & \text{совокупностью параметров;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Будем считать известными матрицу показателей эффективности функционирования  $k$ -го ОТО и Р при  $j$ -й стратегии ТО и Р с  $i$ -й совокупностью параметров  $\underline{Q}$  и матрицу удельных стоимостей ТО и Р  $k$ -го ОТО и Р при  $j$ -й стратегии ТО и Р с  $i$ -й совокупностью параметров  $\underline{C}$ , а также функциональную зависимость показателя эффективности функционирования СТС от показателей эффективности функционирования его  $k$ -го ОТО и Р  $F(\underline{Q})$ . Тогда задачу назначения оптимальной стратегии ТО и Р можно сформулировать следующим образом.

Найти такое разбиение СТС на составляющие его ОТО и Р и для него назначить такую совокупность стратегий ТО и Р, чтобы удельная стоимость ТО и Р

$$\sum_k \sum_j \sum_i C_{ijk} X_{ijk} \rightarrow \min \quad (1)$$

была минимальной при условии поддержания эффективности функционирования на уровне не ниже требуемого, то есть

$$F(\underline{Q}, \underline{X}) \geq Q_{\text{треб}} \quad (2)$$

и при условии, что для каждого  $k$ -го ОТО и Р может

быть назначена одна из  $m$  стратегий ТО и Р с одной из  $n$  совокупностей параметров

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ijk} = 1, \quad k = \overline{1, p}. \quad (3)$$

Решение сформулированной задачи (1)...(3) осложнено трудностью количественной оценки элементов матриц  $\underline{Q}$  и  $\underline{C}$ .

Предлагается методика решения задачи назначения оптимальной стратегии ТО и Р СТС, требующая меньшего объема количественной исходной информации и состоящая из следующих последовательных этапов.

1. СТС (или ее агрегаты, элементы) разбивается на функционально-независимые подсистемы, модули, блоки - ОТО и Р.

2. Для каждого выделенного ОТО и Р выбором одного из предлагаемых ответов на каждый ключевой вопрос оцениваются значения признаков  $\left(\prod_{jk}^{(i)}\right)$ , характеризующие его приспособленность к ТО и Р по  $j$ -ой стратегии.

3. По полученной совокупности признаков рассчитывается значение функции  $F_{kj}$ , характеризующее степень приспособленности  $k$ -го ОТО и Р к обслуживанию по  $j$ -ой стратегии ТО и Р.

4. Путем сравнения рассчитанного для  $k$ -го ОТО и Р значения функции приспособленности с граничным  $F_{гр}$  для данного ОТО и Р выбирается стратегия, к которой данный объект приспособлен в большей степени. При этом, если  $F_{kj} \leq F_{гр,j}$  только для одной стратегии, то в качестве оптимальной для  $k$ -го ОТО и Р назначается  $j$ -я стратегия ТО и Р. Если  $F_{kj} \leq F_{гр,j}$  для двух и более стратегий, то назначается стратегия, обладающая минимумом затрат на реализацию. Если  $F_{kj} > F_{гр,j}$ , то анализируется возможность дальнейшего разбиения ОТО и Р. Если разбиение возможно, то осуществляется переход к пункту 1. В противном случае назначается стратегия для которой значение  $|F_{kj} - F_{гр,j}|$  будет минимальным.

Решение задачи назначения стратегии ТО и Р СТС основывается на сравнении меры близости  $k$ -го ОТО и Р с классом  $\Omega_j$ , заданным объектами в большей степени приспособленными к ТО и Р по  $j$ -й стратегии. При оценках приспособленности ОТО и Р к той или иной стратегии ТО и Р предполагается возможным установить значимость каждого признака или его "вес". Поэтому в качестве меры близости целесообразно использовать взвешенное евклидово расстояние [3]

$$F_{kj} = \sqrt{\frac{1}{L_j} \sum_{l=1}^{L_j} \sum_{i=1}^{n_j} W_{ij} \left( \prod_{jk}^{(i)} - \prod_{jl}^{(i)} \right)^2}, \quad (4)$$

где  $L_j$  – количество эталонных объектов, образующих класс  $\Omega_j$ ;  $n_j$  – количество признаков  $j$ -й стратегии ТО и Р;  $\prod_{jl}^{(i)}$  – значение  $i$ -го признака  $l$ -го эталонного объекта  $j$ -й стратегии ТО и Р;  $\prod_{jk}^{(i)}$  – значение  $i$ -го признака  $k$ -го ОТО и Р, выставленное по результатам оценки его приспособленности к ТО и Р по  $j$ -й стратегии;  $W_{ij}$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака  $j$ -й стратегии ТО и Р.

Ключевые вопросы формируются по признакам определяющим стратегии ТО и Р и характеризующим уровень надежности ОТО и Р, функциональную значимость (влияние последствий отказов на возможность применения СТС по прямому назначению), возможность оперативной оценки работоспособности, углубленного контроля и прогнозирования технического состояния, стоимость (блоков, съемных элементов), затраты на амортизацию технологического оборудования и средств измерений, обслуживающий персонал и т.п.

Описание классов эталонных объектов формируется путем опроса опытных специалистов по разработке и технической эксплуатации СТС и выделения совокупности эталонных объектов, для которых они четко знают, какую из стратегий ТО и Р целесообразно назначить. В качестве граничного значения функции приспособленности  $F_{гр,j}$  для данной стратегии ТО и Р принимается значение величины среднеквадратичного разброса эталонных объектов внутри класса  $\Omega_j$ , определяемое по соотношению [3]

$$F_{гр,j} = \sqrt{\frac{1}{L_j} \frac{1}{L_j - 1} \sum_{p=1}^{L_j} \sum_{l=1}^{n_j} W_{ij} \left( \prod_{jl}^{(i)} - \prod_{jp}^{(i)} \right)^2}, \quad (5)$$

где  $\prod_{jl}^{(i)}$  и  $\prod_{jp}^{(i)}$  – соответственно значения  $i$ -го признака  $l$ -го и  $p$ -го объектов, образующих класс эталонных объектов  $\Omega_j$ .

Необходимые для оценки приспособленности  $k$ -го ОТО и Р к  $j$ -й стратегии ТО и Р данные о безотказности, эксплуатационной технологичности ОТО и Р определяются на основе анализа расчетных характеристик надежности, опыта эксплуатации прототипа СТС, результатов заводских и государственных испытаний, а также статистических данных, накапливаемых за определенные периоды эксплуатации.

## Выводы

Таким образом, задача разработки программы ТО и Р СТС продиктована требованиями практики. В организационном плане ее суть сводится к установлению такого порядка, когда к новой СТС изготовитель будет отрабатывать программу ТО и Р на длительный период эксплуатации. В этой программе должна быть предусмотрена корректировка стратегий ТО и Р на разных этапах эксплуатации СТС в зависимости от величин и динамики изменения ее показателей надежности. Предложенная формализация задачи назначения оптимальной стратегии ТО и Р и методика ее решения позволяют разрабатывать эффективные программы ТО и Р.

## Список литературы

1. ГОСТ 24212-80. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения.
2. Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н.Н. Смирнов, А.А.Ицкович. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
3. Горелик А.Л. Современное состояние проблемы распознавания / А.Л. Горелик, И.Б. Гуревич, В.А. Скрипник. – М.: Радио и связь, 1985. – 160 с.

Поступила в редколлегию 11.09.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Б.М. Ланецький, В.В. Лук'янчук, Д.В. Фоменко

*В статті розглядаються питання побудови програми технічного обслуговування та ремонту складних технічних систем на основі суміщеної стратегії обслуговування та ремонту. Вводиться поняття оптимальної стратегії технічного обслуговування та ремонту СТС, при якій забезпечується найбільше тісна взаємодія між процесом зміни технічного стану СТС і процесом її технічної експлуатації. Формулюється оптимізаційна задача призначення стратегії технічного обслуговування та ремонту складної технічної системи, пропонується підхід до її вирішення.*

**Ключеві слова:** стратегія технічного обслуговування та ремонту, складна технічна система.

## MOTIVATION OPTIMUM STRATEGY TECHNICAL MAINTENANCE AND REPAIR OF THE COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

B.N. Lanetskij, V.V. Lukjanchuk, D.V. Fomenko

*In article are considered questions of the building of the program of the technical maintenance and repair of the complex technical systems (STS) on base of the mixed strategy of the technical maintenance and repair. It is Entered notion to optimum strategy of the technical maintenance and repair STS, under mounted-swarm is provided the most close-fitting interaction between process of the change the technical condition STS and process its technical usage. It Is Formulated optimized task of the purpose to strategies of the technical maintenance and repair STS, is offered approach to its decision.*

**Keywords:** strategy of the technical maintenance and repair, complex technical system.