

## ЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ КАК ОСНОВА НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

Рассмотрены процессы технического обслуживания воздушных судов для получения максимально возможной прибыли от их эксплуатации - обоснован показатель эффективности при эксплуатации воздушных судов. Выявлено, что все состояния функциональных систем в процессе технического обслуживания имеют вероятностный характер, и для их определения необходимо разрабатывать математические модели на основе теории регенерирующих процессов.

Ключевые слова: национальная безопасность государства, эффективность эксплуатации воздушных судов, рациональная система, технической эксплуатации судов, экономическая эффективность, обеспечение безопасности полетов.

**1. Постановка проблемы.** Одним из главных стратегических направлений ускоренного развития государства является научно-технический прогресс. Объем и характер задач, выдвинутых перед авиацией, требуют не частичных решений, а комплексных мер, которые бы обеспечили дальнейший качественный прорыв в ее развитии. Перестройка гражданской авиации Украины возможна лишь на основе внедрения современной авиационной техники (АТ), функциональных систем (ФС), из которых она состоит, прогрессивных технологий ее использования, технической эксплуатации и в частности технического обслуживания, как основной составляющей технической эксплуатации АТ.

**2. Анализ исследований и публикаций по данной проблеме.** Существенное снижение трудозатрат на техническое обслуживание и ремонт АТ может быть достигнуто широким применением встроенных систем контроля (ВСК) и автоматизацией наземных средств эксплуатационного контроля (АНСЭК). Однако, внедрение ВСК порождает проблему ложных снятий изделий АТ с борта воздушных судов (ВС), что в свою очередь влечет за собой увеличение числа заявок на запасное изделие и к неоправданному завышению количества запасных изделий в обменный фонд (ОФ) авиапредприятия.

Поэтому задача рационального построения системы технической эксплуатации перспективных ВС представляет важную народнохозяйственную проблему не только в отношении экономической эффективности, но и в отношении обеспечения безопасности полетов.

По мнению многих специалистов, автоматизация процессов эксплуатации ведет к уменьшению количества бортового и наземного контрольного оборудования, снижению требований к уровню его подготовки и, как следствие, к уменьшению затрат. Это не совсем верно, так как выигрывая в стоимости, можно существенно проиграть трудоспособности ВС.

В работе [1] представлены зависимости, которые позволяют определить прибыль с помощью разработанных алгоритмов оптимизации марковских моделей. Далее она используется для расчета обобщенных и удельных затрат для конкретной реализации системы технического обслуживания ВС и формирования требований к повышению ее эффективности, в частности экономической.

Целый ряд работ [2-9] посвящен формализации и математическому описанию систем технического обслуживания АТ как составной части системы эксплуатации, тем не менее исследованию управлением эффективностью систем технического обслуживания авиационной техники уделено мало внимания.

**3. Формирование целей статьи.** Целью данной статьи является выбор и обоснование процессов использования воздушных судов для получения максимально возможной прибыли от их эксплуатации. Поставлена задача, как организовать техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) воздушного судна и его ФС, чтобы обеспечить максимальную прибыль.

Показатель эффективности можно записать следующим образом:

$$F = \Pi - Z_3, \quad (1)$$

где  $\Pi$  - прибыль ВС за год эксплуатации;

$Z_3$  - средние годовые издержки на эксплуатацию ВС и его ФС.

Вполне очевидно, что прибыль ( $\Pi$ ) вычисляется по следующей формуле:

$$\Pi = dT, \quad (2)$$

где  $d$  - доход, приносимый ВС за час полета;

$T$  - планируемый налет ВС за год, определенный в разделе 3.

Кроме того, необходимо учитывать, что авиапредприятие (АП) может нести потери из-за задержек рейса в базовом аэропорту (БАП) и транзитном аэропорту (ТАП). Выражение (1) в этом случае приобретает вид:

$$F = dT - (Z_1 + Z_2) - Z_3, \quad (3)$$

где  $Z_1$  - потери, связанные с задержкой рейса в ТАП;

$Z_2$  - потери, связанные с задержкой рейса в БАП;

$Z_3$  - затраты на эксплуатацию ВС.

#### 4. Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов

Природа возникновения потерь  $Z_1$  и  $Z_2$  хотя и связана с отказами ФС, но имеет свои особенности. Так, потери  $Z_1$ , которые несет АП, большей частью зависят от перечня допустимых неисправностей (ПДН), характера взаимодействия между БАП и ТАП и квалификации обслуживающего персонала (ОП) в ТАП. Потери  $Z_2$  в основном зависят от стратегии формирования ОФ в БАП и производительности труда ОП. Для определения потерь АП из-за задержки рейса обратимся к графу, изображенному на рис. 1.

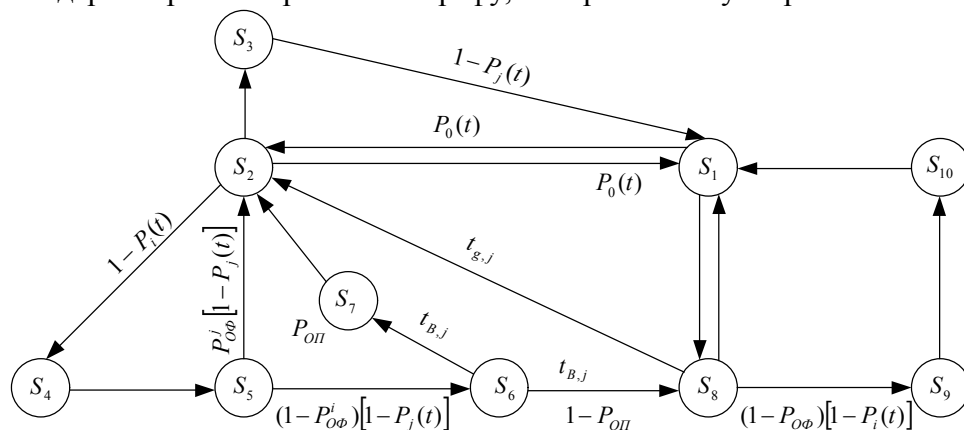


Рис. 1. Граф состояний ФС

Здесь приняты следующие обозначения состояний и операций с ФС:

$S_1$  - вылет из БАП;

$S_2$  - вылет из ТАП;

$S_3$  - отказ ФС, входящей в ПДН;

$S_4$  - отказ ФС, входящей в перечень недопустимых неисправностей;

$S_5$  - обращение в комплектовку ТАП;

$S_6$  - задержка рейса в ТАП из-за отсутствия отказавшей  $j$  - й системы;

$S_7$  - восстановление ФС в АТБ ТАП;

$S_8$  - обращение в комплектовку БАП;

$S_9$  - задержка рейса в БАП;

$S_{10}$  - восстановление ФС в АТБ БАП;

Вероятности переходов и состояний имеют следующий смысл:

$P_0(t)$  - вероятность нахождения всех ФС в работоспособном состоянии;

$P_i(t)$  - вероятность работоспособности  $i$ -й ФС из класса ПДН;

$P_j(t)$  - вероятность работоспособности  $j$ -й ФС из класса ПДН;

$P_{O\Phi}^j$  - вероятность наличия в комплектовке ОФ ТАП требуемой  $j$ -й системы;

$t_{B,j}$  - время восстановления  $j$ -й системы в ТАП;

$t_{\partial,j}$  - время доставки ФС из БАП в ТАП;

$t_B$  - время восстановления ФС в БАП;

$P_{O\Phi}$  - вероятность наличия в комплектовке ОФ БАП требуемого типа ФС;

$P_{OP}$  - вероятность наличия в ТАП требуемого ОП для восстановления  $j$ -й ФС.

Потери из-за задержек рейса в ТАП определяются из выражения:

$$Z_1 = h \left\{ \sum_{j=0}^m [1 - P_j(t)] (1 - P_{O\Phi}^j) [P_{OP} t_{B,j} + (1 - P_{OP}) t_{\partial}] \right\}, \quad (4)$$

где  $h(P/2)$  - удельные штрафные потери АП из-за задержки рейса по техническим причинам;

$m$  - количество ФС, входящих в класс НН.

Потери из-за задержек рейса в БАП определяются из следующего выражения

$$Z_2 = h \left\{ \sum_{i=1}^N [1 - P_0(t)] (1 - P_{O\Phi}) t_B \right\} \quad (5)$$

Итак, средние годовые издержки АП определяются из выражения

$$Z_0 = d \frac{\Delta S}{V} + Z_1 + Z_2 + Z_3 \quad (6)$$

В выражении (6) составляющая  $Z_3$  характеризует затраты АП на приобретение, техническое обслуживание и ремонт ФС. Эти затраты определяются из выражения

$$Z_3 = K_0 \sum_{i=1}^N C_i + \sum_{i=1}^N Z_i^{TOIP} + \sum_{i=1}^N Z_i^{O\Phi} + \sum_{i=1}^N Z_i^{PK} + C_{ГСМ} + C_{OP}, \quad (7)$$

где  $C_i$  - стоимость  $i$ -й ФС, установленной на ВС;

$K_0$  - нормативный коэффициент окупаемости ВС;

$Z_i^{ТОиР}$  - приведенные средние затраты на ТОиР  $i$ -й системы;

$Z_i^{ОФ}$  - средние годовые затраты на приобретение ОФ  $i$ -й системы;

$Z_i^{РК}$  - средние годовые затраты на приобретение ремонтных комплектов предприятием, осуществляющим ремонт на год;

$C_{ОП}$  - зарплата летно-технического персонала.

Раскроем более подробно смысл составляющих  $Z_i^{ТОиР}$  и  $Z_i^{ОФ}$ . Для этого обратимся к графу возможных состояний ФС (на примере двигателя для ВС типа Ан-148), изображенному на рис.2.

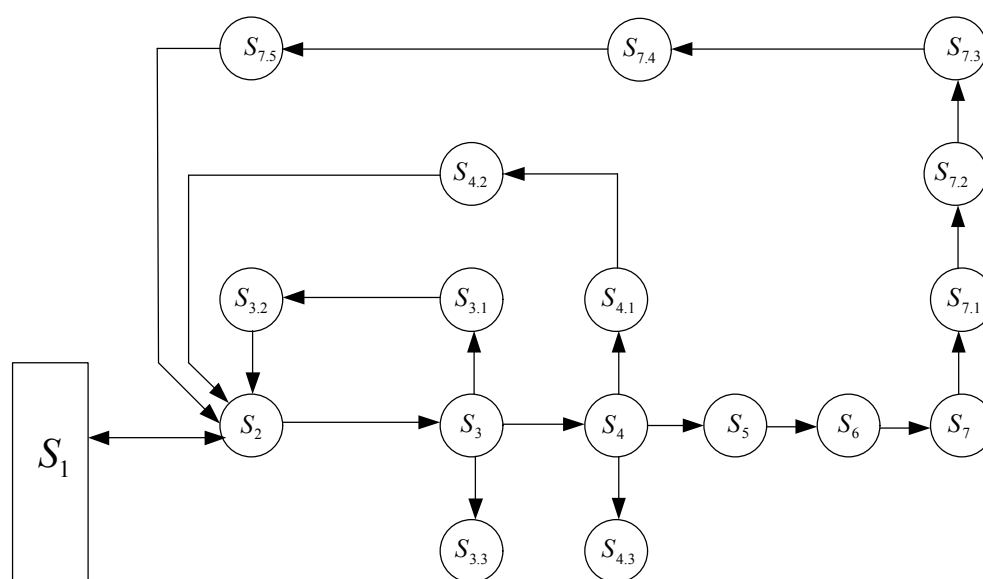


Рис. 2. Граф возможных состояний ФС (на примере двигателя для ВС типа Ан -148)

Здесь обозначения  $S_{i,j}$  имеют следующий смысл:

$S_1$  - использование ФС по назначению;

$S_2$  - контроль работоспособности ФС с помощью встроенных средств контроля (ВСК);

$S_3$  - демонтаж ФС, признанного по результатам контроля ВСК неработоспособным;

$S_{3,1}$  - замена демонтированной ФС на работоспособную;

$S_{3,2}$  - монтаж замененной из обменного фонда ФС на борт ВС;

$S_{3,3}$  - восстановление ФС;

$S_4$  - контроль работоспособности демонтированной ФС с помощью НСК;

$S_{4,1}$  - замена изделия, признанного НСК неработоспособным на работоспособное из запасов ОФ;

$S_{4,2}$  - монтаж замененного изделия;

$S_{4,3}$  - восстановление ФС;

$S_5$  - контроль работоспособности и диагностирование ФС с помощью НСК-2 (второго уровня);

- $S_6$  - разборка ФС, признанной НСК неработоспособным;
- $S_7$  - поиск отказавшего структурно-съёмного элемента (ССЕ) в ФС;
- $S_{7.1}$  - замена отказавшего ССЕ на работоспособный из запасов ОФ;
- $S_{7.2}$  - сборка ФС;
- $S_{7.3}$  - настройка и регулировка ФС;
- $S_{7.4}$  - контроль работоспособности ФС с помощью НСК;
- $S_{7.5}$  - монтаж ФС после восстановления;

Необходимо отметить, что отказ двигателя входит в класс недопустимых неисправностей, то есть для таких ФС при обнаружении неисправностей в транзитном аэропорту вылет ВС не разрешается до тех пор, пока отказ не будет устранен путем замены на работоспособный легкосъёмный блок (ЛСБ) двигателя или восстановлением ЛСБ, или всего двигателя в целом.

Определим затраты в системе ТОиР, построенной в соответствии с рис. 2. Поскольку в качестве примера функциональной системы ВС типа Ан-148 рассмотрены двигатели, которые имеют модульную конструкцию (т.е. состоят из ряда структурно-съёмных элементов), то для технического обслуживания необходимо наличие в авиационно-технической базе (АТБ) наземных средств контроля двух уровней. Наземные средства контроля первого уровня (НСК-1) первого уровня определяют факт работоспособности всей ФС (двигателя), а наземные средства контроля второго уровня (НСК-2) производят поиск легкосъёмного модуля. Как правило, НСК-1 и НСК-2 выполняются в виде одного изделия.

Таким образом, затраты  $Z_i^{ТОиР}$  и  $Z_i^{ОФ}$  в выражении (7) можно записать следующим образом:

$$Z = C_{\text{Э}} + E_H K, \quad (8)$$

где  $C_{\text{Э}}$  - себестоимость эксплуатации ФС в течение года;  $K$  - удельные капитальные вложения в НСК и обменный фонд;  $E_H$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Итак, себестоимость эксплуатации ФС в течение года должна включать в себя годовые затраты на эксплуатацию ФС, а также амортизационные отчисления на НСК и ОФ.

В соответствии с рис. 1 выражение для  $C_{\text{Э}}$  имеет вид:

$$C_{\text{Э}}(t_{\Pi}) = \frac{1}{t_{\Pi}} [C_{S2}t_{S2} + P_1(C_{S3} + t_{S3} + C_{S4}t_{S4} + C_{S5}t_{S5} + aC_{S41}\Delta t_{S41}) + P_3C_{S43} + P_4C_{S76}] \quad (9)$$

где  $t_{\Pi}$  - продолжительность полета ВС;

$P_1$  - вероятность решения ВСК о демонтаже ФС;

$P_3$  - вероятность отправки ФС в ремонт после контрольного ремонта (КР) с помощью НСК-1;

$P_4$  - вероятность отправки в ремонт отказавшего ССЕ после КР с помощью НСК-2;

$C_{S2}$  - средние затраты в единицу времени на КР с помощью ВСК;

$C_{S3}$  - средние затраты в единицу времени на демонтаж ФС с борта ВС;

$C_{S4}$  - средние затраты в единицу времени на КР с помощью НСК-1;

$C_{S5}$  - средние затраты в единицу времени на КР с помощью НСК-2;

$C_{S41}$  - средние потери в единицу времени из-за простоя ВС, связанного с заменой отказавшего ССЕ или ФС ( $C_{S41} = C_{S31}$ );

$\Delta t_{S41} = \Delta t_{S31}$  - среднее время экстренной доставки ССЕ или ФС при отсутствии его в обменном фонде АП.

$C_{S33}$  - средняя стоимость восстановления отказавшего блока;

$$a = \begin{cases} 0, & \text{при } \Delta t_{S41} = \Delta t_{S31} > t_c, \text{ где } t_c - \text{время стоянки в АП;} \\ 1, & \text{при } \Delta t_{S41} = \Delta t_{S31} \leq t_c. \end{cases}$$

$C_{S43}$  - средняя стоимость восстановления отказавшей ФС;

$C_{S76}$  - средняя стоимость замены отказавшего ССЕ.

Приведенные затраты на эксплуатацию ФС (двигателя) в течение года определяется из выражения:

$$Z = C_{\Sigma}(t_{\Pi})T_{\Pi\Pi} + (E_H + E_{O\Phi})K_{O\Phi} + (E_H + E_A)K_{HCK}, \quad (10)$$

где  $E_{O\Phi}$  и  $E_A$  - амортизационные отчисления на ОФ и НСК.

### 5. Выводы по данным исследованиям и перспективы дальнейших исследований по данному направлению

Необходимо учитывать, что состояния ФС в процессе ТОиР имеют вероятностный характер, и для их определения необходимо разрабатывать математические модели. Наиболее удобно использовать для этого теорию регенерирующих процессов, имеющих свойство, состоящее в том, что доля времени, в течение которого система находилась в состоянии  $E_{\mu}(\mu = \overline{1, r})$ , равна отношению среднего времени, проведенного системой в состоянии  $E_{\mu}$  за цикл регенерации, к средней длительности этого цикла.

Пользуясь данным свойством, можно определить математическое ожидание любого из состояний функциональной системы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тамаргазін О.А. Розробка методів оцінки ефективності і вдосконалення керування системою технічного обслуговування пасажирських літаків. // дис. на здобуття наук. ступ. д.т.н. за спец. 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту. – К.: НАУ, 2001. – С.221-248.
2. Шилов А.М. Оценка надежности технических устройств при наличии ошибок контроля // Надежность и контроль качества. – 1989. - № 3. – С.38-43.
3. Смирнов Н.Н. Техническая эксплуатация летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1990. – 423 с.
4. Bruce K. Donaldson Analysis of Aircraft Structures: An Introduction, Hardcover – 935 pages, 1992, McGraw Hill College Div.
5. Леонтьев А.П. Оценка критериев выбора оптимальных характеристик профилактики // Автоматика и вычислительная техника / Под ред. Е.И.Кринецкого. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
6. Ллойд Д., Липов М. Надежность: организация, исследования, методы, математический аппарат. – М.: Мир, 1974. – 612 с.
7. Волков Л.И. Надежность летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1975. – 294 с.
8. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1988. – 232 с.
9. Галичев А.Г. Экономическая эффективность технических систем. – М.: Экономика, 1971. – 270 с.

Надійшла: 12.12.2011

Рецензент: д.т.н., проф. Юдін О.К.