

ЕФФЕКТИВНОЕ 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 управлению эффективностью систем технического обслуживания авиационной техники удалено 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 Π - прибыль ВС за год эксплуатации;

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

Вполне очевидно, что прибыль (Π) 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.

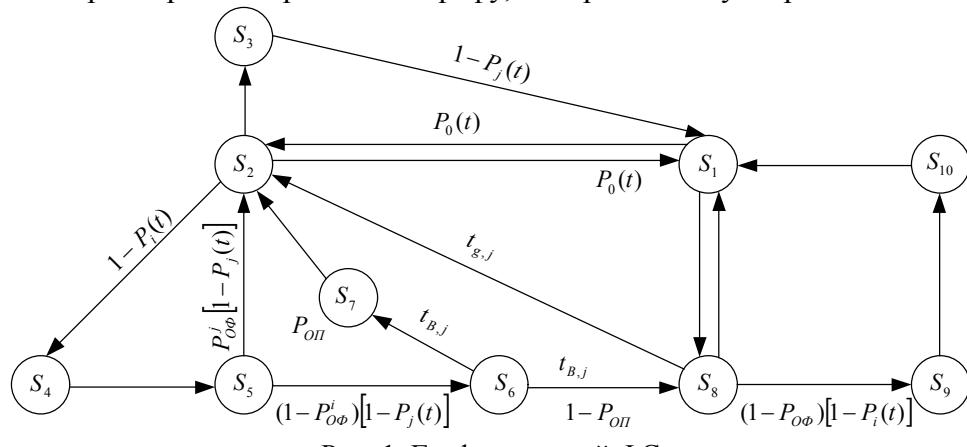


Рис. 1. Граф состояний ФС

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;

$t_{o,j}$ - 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:

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

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

$$\mathcal{Z}_0 = d \frac{\Delta S}{V} + Z_1 + Z_2 + \mathcal{Z}_3 \quad (6)$$

В выражении (6) составляющая \mathcal{Z}_3 характеризует затраты АП на приобретение, техническое обслуживание и ремонт ФС. Эти затраты определяются из выражения

$$\mathcal{Z}_3 = K_0 \sum_{i=1}^N C_i + \sum_{i=1}^N \mathcal{Z}_i^{TOIP} + \sum_{i=1}^N \mathcal{Z}_i^{O\Phi} + \sum_{i=1}^N \mathcal{Z}_i^{PK} + C_{PCM} + C_{Op}, \quad (7)$$

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

K_0 - нормативный коэффициент окупаемости ВС;

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

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

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

C_{OP} - зарплата летно-технического персонала.

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

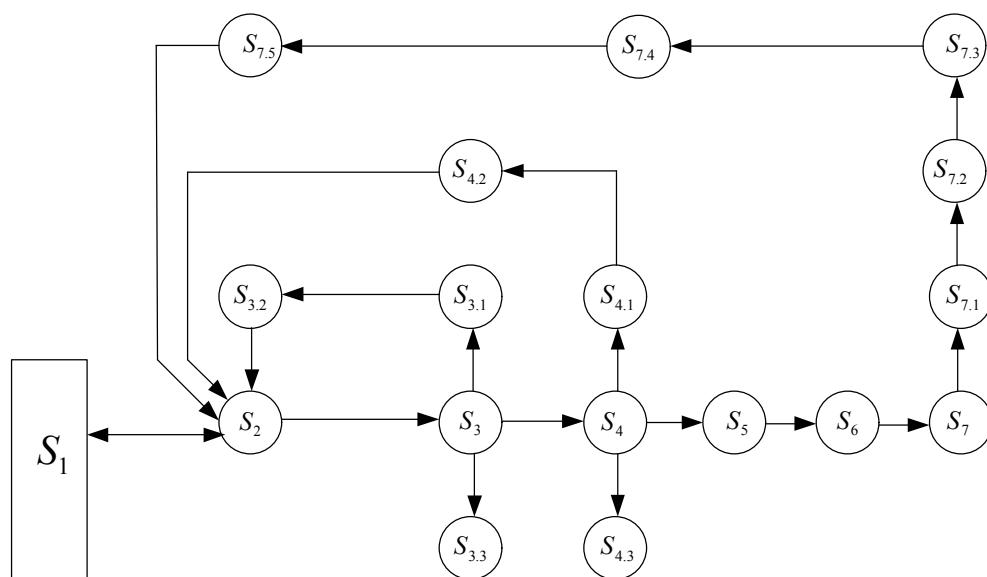


Рис. 2. Граф возможных состояний ФС (на примере двигателя для ВС типа Ан -148)

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-съемного 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 легкосъемный 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-съемных 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) в производят поиск легкосъемного модуля. Как правило, НСК-1 и НСК-2 выполняются в виде одного изделия.

Таким образом, затраты Z_i^{TOIP} и $Z_i^{O\Phi}$ в выражении (7) можно записать следующим образом:

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

где C_{\varTheta} - 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_{\varTheta} имеет вид:

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

где t_{Π} - 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;

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

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:

$$Z = C_3(t_{\Pi})T_{\Pi H} + (E_H + E_{O\Phi})K_{O\Phi} + (E_H + E_A)K_{HCK}, \quad (10)$$

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_μ ($\mu = \overline{1, r}$), равна отношению среднего времени, проведенного системой в состоянии E_μ 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.