

**И.А. КОЗЛЮК**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ ЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

**Abstract:** *The processes of maintenance service of air craft for reception of the greatest possible profit from their operation – are considered the given expenses for operation of functional systems of air craft courts are determined. Is revealed, that by development of the complex approach to optimization of processes of operation of perspective air craft courts by technical and economic criteria of efficiency of maintenance service and repair all condition of functional systems during maintenance service have probability character, and for their definition mathematical it is necessary to develop models on the basis of the theory of recycling processes.*

**Key words:** *functional system, maintenance service and repair given expenses.*

**Анотація:** *Розглянуто процеси технічного обслуговування повітряних суден для одержання максимально можливого прибутку від їх експлуатації. Визначено наведені витрати на експлуатацію функціональних систем повітряних суден. Виявлено, що при розробці комплексного підходу до оптимізації процесів експлуатації перспективних повітряних суден за техніко-економічними критеріями ефективності технічного обслуговування й ремонту всі стани функціональних систем у процесі технічного обслуговування мають імовірнісний характер, і для їх визначення необхідно розробляти математичні моделі на основі теорії процесів, що регенерують.*

**Ключові слова:** *функціональна система, технічне обслуговування й ремонт, наведені витрати.*

**Аннотация:** *Рассмотрены процессы технического обслуживания воздушных судов для получения максимально возможной прибыли от их эксплуатации. Определены приведенные затраты на эксплуатацию функциональных систем воздушных судов. Выявлено, что при разработке комплексного подхода к оптимизации процессов эксплуатации перспективных воздушных судов по технико-экономическим критериям эффективности технического обслуживания и ремонта 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:** *функциональная система, техническое обслуживание и ремонт, приведенные затраты.*

### **1. Введение**

Уровень развития транспортной системы государства – один из важнейших признаков его технологического прогресса и цивилизованности. Функционирование экономики невозможно без развитой сети грузовых и пассажирских перевозок, в том числе и перевозок, осуществляемых авиационным транспортом; тем более, что Украина считается авиационной державой с развитой инфраструктурой, системой подготовки высококвалифицированных кадров, знаменитыми традициями авиаконструкторской мысли.

За девяностые годы имело место резкое снижение производства как в авиастроении, так и на воздушном транспорте. Рост количества авиакомпаний не привел к положительному изменению качественных показателей. Значительное число авиаперевозчиков имели самолетный парк, не превышающий нескольких самолетов в основном устаревших модификаций. Мелкие авиакомпании, специализирующиеся преимущественно на чартерных перевозках, не уделяли достаточного внимания безопасной технической эксплуатации воздушных судов.

Выход из сложившейся ситуации в среднесрочной перспективе может заключаться в поддержании конкурентоспособности авиационного транспорта за счет оптимизации затрат путем обновления авиационного парка наиболее экономичными в эксплуатации машинами и эффективной системой технического обслуживания и ремонта воздушных судов нового поколения. В условиях нехватки конкурентоспособной техники украинского производства для полетов на

международных воздушных линиях таковыми в настоящее время являются иностранные образцы дальнемагистральных и среднемагистральных самолетов. А это вызвано следующими причинами:

1. Большая стоимость западных воздушных судов может быть компенсирована за счет существенно более высокого платежеспособного спроса на зарубежных авиалиниях и гибкости системы оплаты приобретаемых самолетов.

2. Зарубежные машины могут эксплуатироваться существенно более интенсивно, чем отечественные, вследствие преимуществ по ресурсу, что обеспечивает снижение затрат на эксплуатацию.

3. Зарубежные воздушные суда пока превосходят отечественные по уровню комфорта, что весьма важно при относительно высокой стоимости билетов.

4. Зарубежные самолеты имеют устойчивый положительный имидж за рубежом и среди граждан Украины, осуществляющих зарубежные поездки (как правило, имеющих достаточно высокие доходы), что немаловажно при выборе пассажиром авиаперевозчика. Следует также учитывать возможность организации успешных компаний по дискредитации отечественной техники при отсутствии у Украины реальных рычагов эффективного воздействия на общественное мнение.

5. Новые украинские машины, даже в целом соответствуя требованиям ICAO по уровню шума и безопасности, в обозримой перспективе не могут модернизироваться темпами, опережающими по данным показателям западные аналоги. Это может позволить иностранным конкурентам, учитывая их лоббистские возможности, в нужный момент «отсекать» украинские авиакомпании от занимаемых сегментов рынка путем ужесточения нормативных требований.

Одним из главных стратегических направлений ускоренного развития гражданской авиации Украины 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 могут быть достигнуты широким применением на воздушных судах нового поколения 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 в 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 уделено мало внимания.

### **3. 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 функциональных систем (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.

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.

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.

Здесь приняты следующие обозначения состояний и операций с ФС:

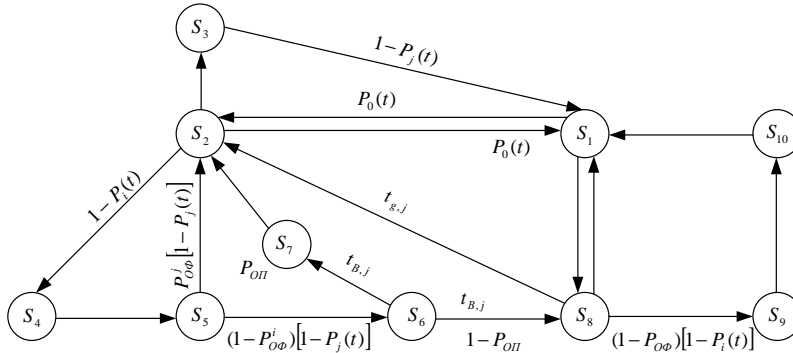


Рис. 1. Граф состояний ФС

- $S_1$  – 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;
- $P_{ОФ}^j$  – вероятность наличия в комплектовке ОФ ТАП требуемой  $j$ -й системы;
- $t_{в,j}$  – время восстановления  $j$ -й системы в ТАП;
- $t_{д,j}$  – время доставки ФС из БАП в ТАП;
- $t_{б}$  – время восстановления ФС в БАП;
- $P_{ОФ}$  – вероятность наличия в комплектовке ОФ БАП требуемого типа ФС;
- $P_{ОП}$  – вероятность наличия в ТАП требуемого ОП для восстановления  $j$ -й ФС.

Потери из-за задержек рейса в ТАП определяются из выражения

$$Z_1 = h \left\{ \sum_{j=0}^m [1 - P_j(t)] (1 - P_{ОФ}^j) [P_{ОП} t_{в,j} + (1 - P_{ОП}) t_{д}] \right\}, \quad (4)$$

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

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

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

$K_0$  – нормативный коэффициент окупаемости ВС;

$Z_i^{TOuP}$  – 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;

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

Раскроем более подробно смысл составляющих  $Z_i^{TOuP}$  и  $Z_i^{O\Phi}$ . Для этого обратимся к графу возможных состояний ФС (двигателя), изображенному на рис. 2.

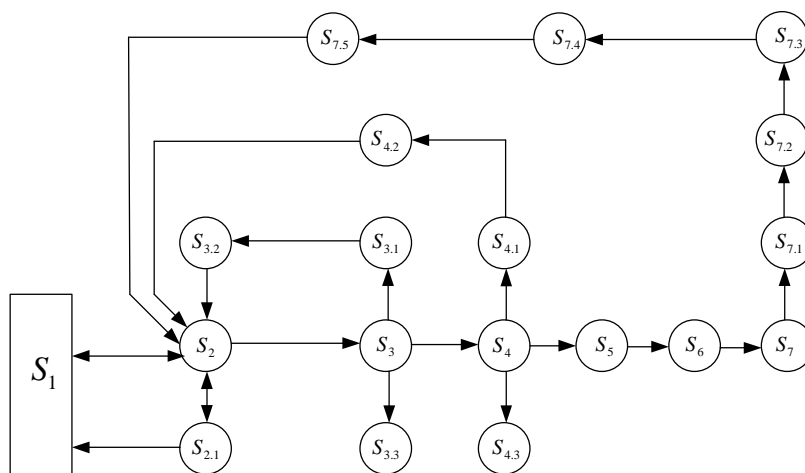


Рис. 2. Граф возможных состояний ФС (двигателя)

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);

$S_{2,1}$  – замещение путем переключения на резервный блок отказавшего блока РЭС;

- $S_3$  – 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 неработоспособной;
- $S_7$  – 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 регулирование 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 предполагается рассматривать двигатели, которые имеют модульную (блочную) 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, приведенные затраты ( $Z_i^{ТОиР} + Z_i^{ОФ}$ ) в выражении (7) можно записать следующим образом:

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

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:

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

где  $t_{\text{п}}$  – 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 АТК.

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

$$a = \begin{cases} 0, & \text{при } \Delta t_{S41} = \Delta t_{S31} > t_C; \\ 1, & \text{при } \Delta t_{S41} = \Delta t_{S31} \leq t_C; \end{cases}$$

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

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

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

$$Z = C_{\text{э}}(t_{\text{п}})T_{\text{пн}} + (E_H + E_{\text{ОФ}})K_{\text{ОФ}} + (E_H + E_A)K_{\text{НСК}}, \quad (10)$$

где  $E_{\text{ОФ}}$  и  $E_A$  – амортизационные отчисления на ОФ и НСК.

#### 4. Выводы

Одним из важнейших направлений развития технической инфраструктуры в гражданской авиации Украины является прежде всего увеличение эффективности технического обслуживания и ремонта авиационной техники за счет сокращения времени пребывания ВС в неисправном состоянии, увеличения налета часов, снижения финансовых затрат и трудоемкости ремонта. Решающую роль в этом направлении может сыграть внедрение прогрессивных методов технического обслуживания по состоянию АТ, блочного ремонта, внедрение службы диагностики, а также перестройка системы управления процессом ТОиР.

При разработке комплексного подхода к оптимизации процессов эксплуатации перспективных воздушных судов по технико-экономическим критериям эффективности технического обслуживания и ремонта необходимо учитывать, что состояния функциональных систем в процессе технического обслуживания и ремонта 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.

Полученные результаты создают предпосылку решить крупную народнохозяйственную проблему – построение рациональной системы технической эксплуатации перспективных воздушных судов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамаргазін О.А. Формування складу робіт з технічного обслуговування і ремонту функціональної системи // Проблеми системного підходу в економіці: Сб. науч. трудов. – К.: КМУЦА, 1999. – С. 74–77.
2. Шилов А.М. Оценка надежности технических устройств при наличии ошибок контроля // Надежность и контроль качества. – 1989. – № 3. – С. 38–43.
3. Леонтьев А.П. Оценка критериев выбора оптимальных характеристик профилактики // Автоматика и вычислительная техника / Под ред. Е.И. Кринецкого. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
4. Ллойд Д., Липов М. Надежность: организация, исследования, методы, математический аппарат. – М.: Мир, 1974. – 612 с.
5. Волков Л.И. Надежность летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1975. – 294 с.
6. Гличев А.Г. Экономическая эффективность технических систем. – М.: Экономика, 1971. – 270 с.
7. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1988. – 232 с.
8. Барзилович Е.Ю., Воскобоев В.Б. Эксплуатация авиационных систем по состоянию. – М.: Транспорт, 1981. – 197 с.
9. Конахович Г.Ф. Повышение эффективности обслуживания и ремонта технических систем. – Киев: Знание, 1987. – 324 с.