



## ПОДОБРЯВАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКОТО ОБСЛУЖВАНЕ НА ВЪЗДУХОПЛАВАТЕЛНИТЕ СРЕДСТВА ЧРЕЗ УПРАВЛЕНИЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННАТА НАДЕЖДНОСТ

СВЕТЛОЗАР АСЕНОВ, АНГЕЛИНА ЧОЖГОВА

**Резюме:** *Повишаването на техническото обслужване на въздухоплавателните средства има за цел да осигури изискванията за безопасност на полета, редовност и максимално натоварване, поддържане на необходимата изправност с минимални разходи от време, труд и средства. Тази задача може да бъде решена чрез управление на експлоатационната надеждност на въздухоплавателните средства.*

**Ключови думи:** *въздухоплавателни средства, техническо обслужване, експлоатационна надеждност*

## IMPROVE ON TECHNICAL MAINTENANCE OF AIRCRAFT THROUGH MANAGING THE OPERATIONAL RELIABILITY

SVETLOZAR ASENOV, ANGELINA CHOZHGOVA

**Abstract:** *The main purpose of improving the technical maintenance of aircraft is to assure that all safety requirements of a regular flight are met with a minimum time and labor input. This problem could be solved by managing the operational reliability of the aircraft.*

**Key words:** *aircraft, technical maintenance, operational reliability*

### 1. Въведение

Управлението на експлоатационната надеждност (ЕН) на въздухоплавателните средства (ВС) се извършва с цел поддържане и повишаване на ефективността на процеса на техническото обслужване (ТО) на ВС, т. е. за изпълнение на изискванията за безопасност на полета, редовност на полетите, осигуряване на максимално използване на ВС с поддържане на необходимата изправност и минимални разходи от време, труд и средства. Този подход позволява да се усъвършенстват програмите за ТО на конструкцията, функционалните системи

(ФС), двигателя за конкретния парк ВС. Всеки процес на управление предполага проверка на съответствието на действащите програми за ТО, отразени в ръководствата, и поставените изисквания [1, 5, 6].

В процеса на управлението първата стъпка е приемане на решение за оценка ефективността на действащите програми за ТО на ВС. Необходимо е да се разгледа ефективността на програмите за ТО, като ефективност на работа, извършена при ТО и фиксирани в програмата за техническо обслужване и ремонт (ТОиР) на ВС (обем и

периодичност на изпълнение на регламентирани мероприятия). Ефективната работата при ТОиР е тази, която довежда до откриване и отстраняване на неизправности и, съответно, неефективна се счита тази работа, която не е довела до откриване и отстраняване на неизправности и откази на авиационната техника (АТ). Такъв подход е целесъобразен при преоценка на действащите програми за профилактични работи (периодични форми на ТО) [5].

## 2. Оценка на ефективността на програмите за ТО.

Оценката на ефективността на програмите на ТО се осъществява чрез методите на избор на контрол въз основа на статистическия контрол по алтернативния признак (да-не). Ако обозначим нивото на неефективната работа  $q=N-n/N$ , където:  $N$  е количеството на проведените контролни работи за календарен срок и  $n$  - количество на ефективни работи за този период. Обемът от извадката  $N$  се формира при наблюдение за резултатите от експлоатацията на определен парк ВС. Решението, което се приема при оценка на ефективността на програмите на ТО, представлява проверка на статистическите хипотези: основна  $H_0$  (програмите на ТО са ефективни) и конкурентната  $H_1$  (програмите на ТО са неефективни).

На базата на тези разсъждения се определя редът за оценка на ефективността на програмите на ТО:

- формулира се основната и конкурентната хипотези:  $H_0$  (положително решение) и  $H_1$  (отрицателно решение);

- определя се нивото на значимост, като се изхожда от оценката на загубите на невярно приетите решения;

- избира се критична област за оценяване нивото на ефективност на програмите за ТО така, че вероятността  $H_0$  в случай на нейната справедливост е равна на  $\alpha$ , а вероятността за приемане  $H_1$  е била равна на  $\beta$ ;

- приема се решение: хипотезата  $H_0$  се отхвърля, ако извадката за оценка на ефективността на програмите за ТО се намира в критичната област; в противен случай хипотезата  $H_0$  се приема.

За организация на посочения контрол предварително се определя план за контрол-съвкупност от значенията на  $N$  (обем от наблюдавана извадка), количеството на ефективни работи  $n_0$ , при които се приема положително решение; количеството на ефективни работи  $n_m$ , при което се приема

отрицателно решение. В плана за контрол се установят такива  $n_0$  и  $n_m$  при фиксирано  $N$ , за да се минимизират грешките  $\alpha$  и  $\beta$  и предварително да се знаят техните стойности. Основната характеристика в плана за контрол е оперативната характеристика  $L(q)$  - вероятност за приемане на положително решение за ефективността на програмите на работа на ТО в случай, че нивото на неефективните работи е множеството  $q$  [5].

Оперативната характеристика се определя от системата от уравнения:

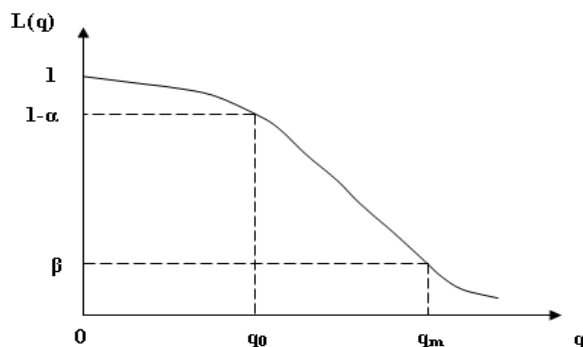
$$\begin{cases} L(q_0) \geq 1 - \alpha \\ L(q_m) \leq \beta \end{cases} \quad (1)$$

където:

$q_0 = \frac{N-n_0}{N}$  - ниво на неефективните работи на ТО, при което с вероятност  $(1 - \alpha)$  се приема хипотезата  $H_0$  (положително решение);

$q_m = \frac{N-n_m}{N}$  - ниво на неефективните работи на ТО при което с вероятност  $\beta$  се приема хипотезата  $H_1$  (отрицателно решение).

Такъв план за контрол носи наименованието двустранен (Фиг. 1) и от него се вижда, че колкото по-малко е нивото на неефективни работи  $q$ , толкова по-голяма е вероятността за приемане на положително решение (програмите за ТО са ефективни) и при осъществяване на контрол със случайна извадка.



Фиг. 1. Оперативна характеристика на плана за контрол на ефективността на програмите за ТО на ВС.

За описване на оперативната характеристика е необходимо да се пресметне вероятността за поява на неефективни работи  $P_{N-n}$ , като вероятност за възникване на дискретни събития.

$$L(q) = \sum_{N-n=-0}^{N-n_0} P_{N-n} \quad (2)$$

Практическите изследвания са показали, че най-целесъобразно за пресмятане на  $P_{N-n}$  е да се използва биноминалният закон или закона на Пуасон [5].

Контрол със случайна извадка на ефективността на програмите за ТО в зависимост от възможностите за наблюдаване при провеждане на профилактични работи на функционалните системи в ремонтно-експлоатационните бази може да бъде организиран по няколко способа:

1) Еднократна оценка на ефективността на програмите за ТО.

Използва се едностепенен контрол по алтернативен признак, като решението се приема по резултатите от контрола на единната извадка за определен календарен срок от време:

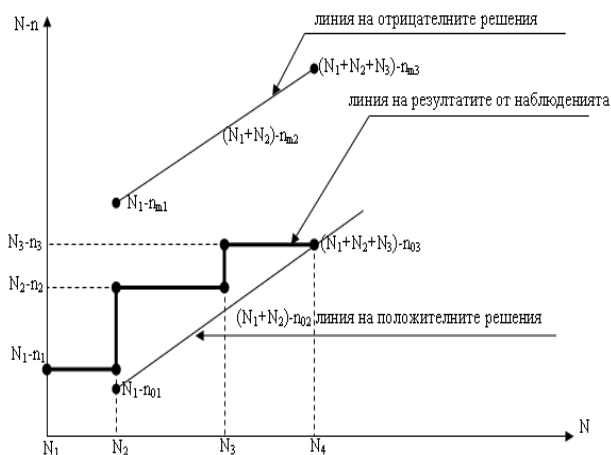
$$L(q) = \sum_{N-n=0}^{N-n_0} P_{N-n} \quad (3)$$

2) Периодичен контрол на ефективността на програмите за ТО.

Провежда се в случаи на натрупване на наблюдения за „к“ контролни календарни срокове („к“ извадки). Използва се многостепенен контрол по алтернативен признак, когато решението се приема по резултатите от контрола на няколко извадки

3) Последователен контрол на ефективността на програмите за ТО.

Последователният контрол е целесъобразен при оперативно управление на ефективността на ТО на ВС в ремонтно-експлоатационните бази. Посочената схема на последователен контрол се използва когато решението е взето след всеки контролен срок (Фиг. 2).



Фиг. 2. Схема на процедурата на последователния контрол на ефективността на режимите на ТО.

При използване на всеки един от трите способа, решението за оценка на ефективността на програмите за ТО се извършва по следната схема:

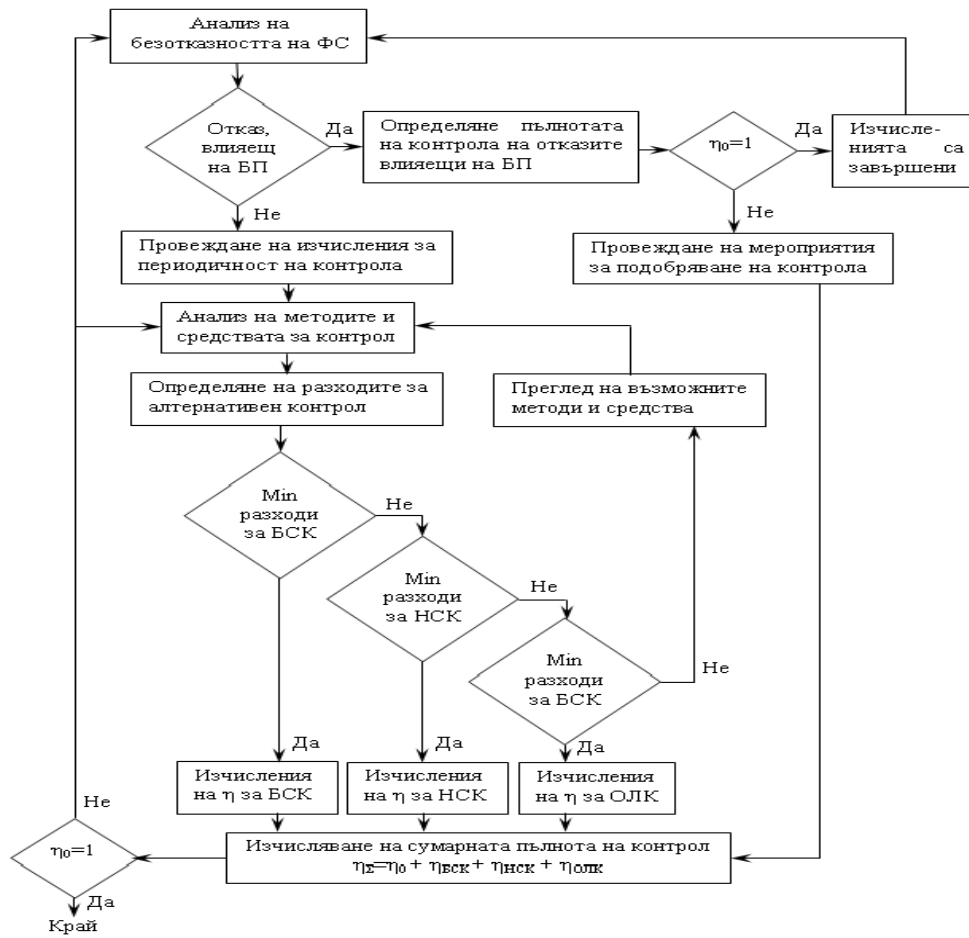
$q \leq q_0$  - програмата е ефективна;  $q \geq q_m$  - програмата е неефективна;  $q_0 \geq q \geq q_m$  - програмата е ефективна с вероятност  $(1 - \alpha)$  и неефективна с вероятност  $\beta$  (зоната на неопределеност). Приемането на решения за неефективността на програмата за ТО предполага промяна на изменението на периодичността и обема на работи, които се определят от известните методи на пресмятания  $t_{пр\ opt}$  по натрупаните значения на наработката до отказ или до появата на неизправности на ФС.

Реализацията на разглежданите методи за оценка ефективността на програмите за ТО предполага контролна извадка за профилактичните работи на ВС като цяло, което е представено като алгоритъм на Фиг. 3.

Предполага се, че програмите за ТО на ФС и на ВС като цяло са отразени в процедурите за ТО и са представени в програмите за ТО на ВС, разработени от производителя за конкретния тип ВС. В ремонтно-експлоатационната база с отчитане на условията за експлоатация на парка ВС от даден тип, може да бъде решена задачата за оценка на ефективността на програмите за ТО. В предложеният алгоритъм се предвижда използване на различни стратегии на ТО за изделията от ФС (ТОСКН-техническо обслужване с контрол на нивото на надеждност, ТОСКП-техническо обслужване с контрол на параметрите и ТОНАР-техническо обслужване по наработка) [2, 4, 6].

Оценка на ефективността на програмите за ТО, експлоатирани до отказ (стратегия ТОСКН) се извършва ежемесечно при статистическо регулиране на надеждността на еднотипните изделия от парка ВС и не изисква оценка на ефективността на програмите по алтернативен признак. За изделията, експлоатирани до предотказно състояние (стратегия ТОСКП) се извършва оперативно управление на програмите за ТО при контрол на диагностираните параметри на изделията, т.е. извършва се контрол по количествен признак. За изделията експлоатирани по наработка (стратегия ТОНАР), за ФС и ВС като цяло се формира следния план за контрол на ефективността на програмите за ТО:

- фиксира се количеството извършени работи по ТО-N, количеството ефективни работи по ТО-n, определят се риска от приемане на решения  $\alpha$  и  $\beta$  за ФС, изхождайки от неправилно приетите решения.



**Фиг. 3.** Алгоритъм за оценка ефективността на програмите за ТО на изделията, ФС, ВС.

- построява се оперативна характеристика на плана за контрол  $L(q_0, q_m, N)$  (Фиг. 1).

За получените значения за нивото на неефективни работи в блока за статистически контрол по алтернативния признак се извършва сравняване на  $q$  с  $q_0$  и  $q_m$  и се приема съответното решение.

Формулата за пресмятане на пълнотата на контрола с помощта на  $i$ -тото средство за контрол има вид:

$$\eta_i = \lambda_k / \lambda_0 \text{ или } \eta_i = q_k / q_0 \quad (4)$$

където:

$\lambda_k(q_k)$  - интензивност (вероятност) на отказа на контролираната част с помощта на  $i$ -тото средство;

$\lambda_0(q_0)$  - сумарна интензивност (вероятност) на отказа на контролираната и неконтролирана част на системата (стойности, осреднени за определен период на експлоатация).

Дълбочината на търсене на местата с отказ  $A$  с подробност до  $n$  блокове (агрегати) при използване на  $i$ -тата система за контрол се определя по изразите:

$$A_i = \lambda_n / \lambda_0 \text{ или } A_i = q_n / q_0 \quad (5)$$

където:

$q_n / q_0$  - интензивност (вероятност) на отказите на блоковете, откривани с точност до  $n$  блокове при използване на  $i$ -тата система за контрол.

Високите нива на пригодност за контрол, от една страна, определят необходимостта от увеличаване безотказността на ФС и редовността на полетите, а от друга страна, изискват големи разходи за неговото осигуряване. По тази причина възниква задачата за определяне на рационалните нива на контрол и намиране на разумните стойности и достатъчност.

Пълнотата на контрола с използване на всички средства и методи на контрол, в това число и органолептичният, трябва да бъде равна на единица. Изискванията на FAR25 определят, че информацията за отказите, влияещи върху безопасността на полета, трябва да бъде

представена на екипажа по време на полета. Това означава, че пълнотата на контрола на такива откази с помощта на бордовите средства за контрол трябва да бъде равна на единица.

### 3. Определяне пълнотата на контрола на ФС.

Определянето на пълнотата на контрола на отказите не влияещи на безопасността на полета, и разпределянето на пълнотата на контрола по средства и методи, може да бъде решено с отчитане на периодичните контролни операции. Това логично налага изискването, че по-често отказващите системи изискват по-чести контролни операции или непрекъснат контрол. Следователно контролът на такива системи е целесъобразно да се извършва с бордовите системи за контрол, а контрола на рядко отказващите системи с помощта на наземни средства.

Изискванията за осигуряване на дълбочината на търсене на местата с откази до конструктивно-схемни елементи (агрегати, модули и др.) с помощта на бордовите средства за контрол (БСК) предполага малко време за търсене на местата с откази и съответно намаляване продължителността на възстановяване за сметка на използването на автоматизирани бордови средства [3, 5].

Анализът на ФС и опитът от експлоатацията на различни типове ВС, показва че ниските стойности на дълбочината на търсене на местата с откази с помощта на БСК не винаги се определят от голямото време на търсене на отказите и в същото време с това, че малкото време за търсене на отказите все още не осигурява малки разходи за възстановяване на обекта за контрол [2]. Това в значителна степен зависи от специфичните особености на ФС: принцип на работа, принципна схема, характера на отказите, модулност, компоновка на самолета и др. В някои ФС (горивна и ХС) намаляването на времето за възстановяване за сметка на намаляване на времето за търсене на отказа (увеличаване дълбочината на търсене на местата с откази) е несъпоставимо малко поради наличието в технологичната последователност за възстановяване на значителни по продължителност операции, свързани с източване на течността, изсушаване на резервоарите и др.

При избор на дълбочината на търсене  $A$  на местата с откази от цялата зададена съвкупност на възможни диагностични параметри се изисква да се осъществи избор на такова количество и съчетание, което би

осигурило оптимална дълбочина с минимални сумарни разходи, т.е.

$$A_i \rightarrow opt$$

при

$$\Sigma_i = F[C_p = f(t_{п.ср}, \lambda, \tau_{сн}), C_5 = \vartheta(\Delta m_1)] \rightarrow min$$

$$i \in n_{вар} \quad (6)$$

където:

$\Delta m_1$  - допълнителна маса на апаратурата за БАСК;

$\Sigma_i$  - сумарни разходи за търсене на отказите (възстановяване) при  $i$ -тият вариант;

$n_{вар}$  - количество на възможни варианти;

$C_p$  - разходи за търсене местата с отказите (замяна на блоковете със следващ контрол на работоспособността на системата);

$\lambda$  - интензивност на отказите на елементите на системата.

За повечето сложни технически системи, които са обекти за контрол (ОК) е характерно възникване в процеса на работа на откази, интензивността на отказите на които се характеризира с параметъра на потока им ( $\omega$ ) [2]. Предполага се, че сложните технически изделия са възстановими. Всеки технически обект има крайно множество възможни състояния на отказ. Част от тези състояния се отнасят към прогнозните, като приближаването им към състоянието на отказ, се определя с появата на съответната съвкупност от признаци на предотказното състояние. Интензивността на появата на такива симптоми се характеризират с параметърът на потока от предотказни състояния ( $\omega$ ). В общия случай  $\omega > \omega$ , обаче ако всички състояния на отказ имат предотказни симптоми, то  $\omega = \omega$ . Очевидно е, че скоростта на развитие на процесите на преход от предотказни състояния в откази са различни за всеки отделен вид откази. Различни са и стойностите на грешките при експлоатационния контрол, определящ предотказното състояние, както и самата оптимална периодичност на провеждане на такъв контрол. Следователно, ако се контролира с максимална честота цялата гама от параметри на обекта, съдържащи всички възможни симптоми, то тогава възниква неоправдано висока съвкупност от грешки ( $\alpha$ ) и процедурата на прогнозиране става неприемлива. Практически съществува оптимален брой прогнозни проверки.

### 4. Заключение

При разработване на методика за подбор на оптималното количество проверки на

прогнозните състояния на обектите от ВС е необходимо да се осигури приемливо значение на критерия - вероятност за безотказна работа в избрания интервал, при минимален недостоверен брак, който възниква в посочените условия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Далецкий С. В., О. Я. Деркач, А. Н. Петров** Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации. М.: Воздушный транспорт, 2002.
2. **Деркач О. Я.** Формирование систем технического обслуживания самолетов при их создании, М.: Машиностроение, 1993.
3. **Загорски Н.** Изследване на възможността за автоматизиране на процеса на анализ на видовете, последствията и критичността на отказите на въздухоплавателните средства. *Sixth Scientific Conference with International Participation „SPACE, ECOLOGY, SAFETY – SES 2010“*. 2010. 6 p.
4. **Смирнов Н. Н., Ю.М. Чинючин,** Современные проблемы технической эксплуатации воздушных судов, М.: 2008.
5. **Чинючин Ю. М.,** Методология и современные научные проблемы технической эксплуатации летательных аппаратов. М:1999.
6. **Ebeling C. E.,** An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, Waveland Pr Inc, 2005.

Department of Transportation and Aviation  
Engineering  
Technical University–Sofia, Branch Plovdiv  
25 Tsanko Dystabanov St.  
4000 Plovdiv  
BULGARIA  
E-mail: [asenov49fish@abv.bg](mailto:asenov49fish@abv.bg)  
E-mail: [ani\\_angeliq@abv.bg](mailto:ani_angeliq@abv.bg)

Постъпила на .....

Рецензент .....