

## СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА САМОЛЕТИ С ВОЕННО ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

Ангелина Чожгова<sup>1</sup>, Светлозар Асенов<sup>2</sup>, Николай Загорски<sup>3</sup>

*Технически университет – София, филиал Пловдив*  
e-mail: <sup>1</sup>ani\_angeliq@abv.bg, <sup>2</sup>asenov49fish@abv.bg, <sup>3</sup>nzagorski\_bbc@abv.bg

**Ключови думи:** въздухоплателно средство, техническо обслужване и ремонт, експлоатационна технологичност

**Резюме:** Една от най-важните експлоатационно-технически характеристики на съвременните въздухоплателни средства (ВС) е експлоатационната технологичност. Качеството на системата за техническо обслужване и ремонт (ТОР) съществено зависи от степента на пригодност на конструкцията на въздухоплателното средство и функционалните му системи за изпълнение на задачите по предназначение. От качеството на системата за ТОР в значителна степен зависи обемът на разходи за комплексното техническо обслужване на ВС през жизнения му цикъл – разходи за персонал, горива и смазочни материали, резервни части, стойността на средствата за обслужване на земята, за доработки и модернизация на ВС.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF PERFORMANCE OF AIRCRAFT ON MILITARY SERVICE

Angelina Chozhgova<sup>1</sup>, Svetlozar Asenov<sup>2</sup>, Nikolay Zagorski<sup>3</sup>

*Technical University – Sofia, Plovdiv Branch*  
e-mail: <sup>1</sup>ani\_angeliq@abv.bg, <sup>2</sup>asenov49fish@abv.bg, <sup>3</sup>nzagorski\_bbc@abv.bg

**Keywords:** aircraft, maintenance and repair service, manufacturability

**Abstract:** One of the most important operational and technical characteristics of modern aircraft is operational workability. Quality system maintenance and repair significantly depends on how the airplane structure and functional systems are suitable for tasks as directed. To a great extent it depends on the cost of complex maintenance life cycle - staff costs, fuel and lubricants, spare parts, maintenance and cost of funds to service the land adjustments and modernization of aircraft.

### Въведение

Една от най-важните експлоатационно-технически характеристики на съвременните въздухоплателни средства (ВС) е експлоатационната технологичност (ЕТ). Под експлоатационна технологичност се разбира съвкупност от зададени и конструктивно реализирани свойства, определящи приспособеността на ВС към извършване на целия комплекс от дейности по техническото и технологичното обслужване и ремонт с използване на икономически най-изгодните технологични процеси (с минимални разходи на време, труд и материални средства). Качеството на системата за техническо обслужване и ремонт (ТОР) съществено зависи от степента на пригодност на конструкцията на ВС и функционалните му системи за изпълнение на задачите по предназначение. От качеството на системата за ТОР в значителна степен зависи обемът на разходи за комплексното техническо обслужване на ВС през жизнения му цикъл – разходи за персонал, горива и смазочни материали, резервни части, стойността на средствата за обслужване на земята, за доработки и модернизация на ВС. Тези разходи за повечето от ВС значително превишават цената за придобиването им. Практически, всички елементи на тези разходи в една или друга степен са свързани с конструктивните особености на ВС и се формират още на най-ранните етапи при проектирането им. В условията на експлоатация тези свойства се проявяват и

усъвършенстват (повишават) с отчитане на реалните потребности и възможности на типовите технологични процеси. Така например, преминаването на ВС към експлоатация по техническо състояние налага преоценка на съдържанието на всички свойства на ЕТ на конструкциите на отделните изделия и на функционалните системи като цяло [7, 8, 10].

### Експериментална част

На сегашния етап на развитие на самолетостроенето за извършване на задълбочен анализ и оценка на конструкциите на ВС, не е достатъчно използването на експлоатационната технологичност да се ограничи единствено с качествена сравнителна характеристика на две или повече изделия. Реалните свойства на изделията се съпоставят с редица специфични изисквания, на които трябва да отговаря конструкцията на ВС при изпълнение на типови работи (регулировки, зареждане, смазване, и др.). Необходим е количествен анализ на ЕТ, който се съпровожда с определяне и изчисляване на определени показатели.

Такава необходимост възниква в следните случаи:

- при разработване на техническите изисквания към нов образец ВС;
- при избор на най-добрия от няколко възможни конструктивни варианти;
- при сравняване на няколко „конкурентни“ проекти на изделия с еднакво предназначение;
- при изследване на макета и провеждане на изпитвания на прототипа (опитния образец) на ново изделие ВС.

Номенклатурата на показателите на ЕТ се определя преди всичко от структурата и показателите на ефективността на процеса на техническа експлоатация на ВС, а също и за изпълнение на изискванията за поддържане на нивото на безопасност на полетите, редовност на полетите, интензивност на използване и икономичност на експлоатацията [4].

Показателите на ЕТ трябва да изпълняват следните изисквания:

- максимално да отчитат факторите, определящи ЕТ и да притежават достатъчна чувствителност към тяхната промяна;
- да осигуряват възможност за изчисляване и представяне в числен вид на техническите изисквания към новите типове изделия;
- да осигуряват удобство за практическо използване на показателите при оценка на ЕТ на етапите на създаване, изпитване и експлоатация на ВС.

За извършване на количествен анализ на експлоатационната технологичност на ВС се използва съвкупност от обобщени (основни) и единични (допълнителни) показатели.

Значенията на обобщените показатели се определят от съвкупността на единичните свойства на конструкциите на отделните изделия (достъпност за контрол, унифицираност, взаимозаменяемост, лесен демонтаж и монтаж и др.). Тези свойства характеризират съответната съвкупност от единични показатели [4, 6].

Структурните съставляващи на експлоатационната и ремонтна технологичност – обслужване, способност за контрол и възстановяване, а следователно и тяхното ниво зависи от редица частни свойства, които в крайна сметка определят продължителността, трудоемкостта и качеството на ТОР. Към частните свойства се отнасят - удобство за работа, достъпност и защитеност от допускане на грешки. На фиг.1 е отразена структурата и факторите, определящи нивото на експлоатационната и ремонтна технологичност на ВС.



Фиг. 1

За всеки конкретен тип ВС, функционална система и група от структурни елементи се изчисляват и използват следните единични показатели на експлоатационната технологичност:

1) Коефициент на достъпност  $K_{Дi}$  до отделното  $i$ -то изделие от конкретна функционална система на ВС. Определя се по формулата:

$$(1) \quad K_{Дi} = 1 - \frac{\eta_{1i} \cdot T_{Допi}}{T_{Допi} + T_{Оснi}},$$

където:  $T_{Допi}$  – средната трудоемкост на изпълняваните допълнителни работи, човекочасове;

$T_{Оснi}$  – средната трудоемкост на основните работи, човекочасове;

$\eta_{1i}$  – коефициент, отчитащ сложността при изпълнение на основната и допълнителната работи на ВС (характеризира достъпа до зоната за извършване на основната работа – мястото на монтаж на  $i$ -тото изделие на ВС).

Към допълнителните работи ( $T_{Допi}$ ) се отнасят такива, като демонтажа и монтажа на люкове, капаци, обтекатели, топло- и звукоизолация; демонтаж и монтаж на съседни елементи, монтирани и подлежащи на принудителен демонтаж; блокове от оборудването и други работи, провеждани в зоната на  $i$ -тото изделие.

За основни работи се считат всички операции по контрол на състоянието, регулировка, смазване, зареждане, демонтаж и монтаж на подлежащи за замяна изделия на ВС.

След изчисляване на стойностите на  $T_{Оснi}$ ,  $T_{Допi}$  и  $\eta_{1i}$  за отделните изделия се определят стойностите на  $K_{Д}^C$  за цялата функционална система, състояща се от  $n$  изделия.

$$(2) \quad K_{Д}^C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n T_{Допi}}{\sum_{i=1}^n (T_{Допi} + T_{Оснi})}$$

2) Коефициент на взаимозаменяемост  $K_{Вi}$  на  $i$ -тото изделие от самолетна система или елемент от конструкцията на ВС. Определя се по формулата

$$(3) \quad K_{Вi} = 1 - n_{2i}^C \left( \frac{n_{1i} \cdot T_{Подгi}}{T_{Подгi} + T_{ДМi}} \right),$$

където:  $T_{Подгi}$  – средната трудоемкост на работите за довършване, проверка и настройка при замяна на  $i$ -тото изделие, човекочасове;

$T_{ДМi}$  – трудоемкост на демонтажно-монтажните работи на  $i$ -тото изделие, човекочасове;

$n_{2i}^C$  – коефициент, отчитащ допълнителните разходи за извършване на проверки на работоспособност на функционалната система като цяло при замяна на  $i$ -тото изделие.

По стойностите за  $T_{Подгi}$ ,  $T_{ДМi}$  и  $n_{2i}^C$  за отделните елементи може да се определи значението на  $K_{Вi}$  за изследваната функционална система като цяло по формула (4):

$$(4) \quad K_{В}^C = 1 - \eta_{2i} \left( \frac{\sum_{i=1}^n T_{Подгi}}{\sum_{i=1}^n (T_{Подгi} + T_{ДМi})} \right)$$

3) Коефициент за лесен демонтаж  $K_{Лi}$  на  $i$ -тото изделие от функционална система се определя по формула (5):

$$(5) \quad K_{Лi} = 1 - \eta_{1i} \left( \frac{T_{Допi} + \eta_{2i}^C \cdot T_{Оснi}}{T_{Допi} + T_{Подгi} + T_{ДМi}} \right)$$

В случаите, когато е известно еталонното (базовото) значение на трудоемкостта на демонтажно-монтажните работи за разглежданото изделие  $T_{ДМi}^{ет}$  (зададено в изискванията или определено по аналогичен образец изделие, прието за еталон), коефициентът за лесен демонтаж се определя по формула (6):

$$(6) \quad K_{Лi} = 1 - \frac{T_{ДМi} - T_{ДМi}^{ет}}{T_{ДМi}}$$

В отделни случаи е целесъобразно да се използва коефициентът за удобство  $K_{удi}$  за извършване на работите за  $i$ -тото изделие, който характеризира приспособеността на изделията за

изпълнение на дейности в удобна за изпълнителя поза, което означава и по-висока производителност на труда. Стойностите на  $K_{уд_i}$  се определят по формула (7):

$$(7) \quad K_{уд_i} = 1 - \frac{K_{пт} \cdot T_{осн_i}}{T_{осн_i}}$$

където:

$K_{пт}$  - коефициент за намаляване на производителността на труда в зависимост от позата на изпълнителя.

Коефициентът, определящ удобството за извършване на работите в някоя от функционалните системи като цяло се определя от следната формула:

$$(8) \quad K_{уд_i}^c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n K_{пт} \cdot T_{осн_i}}{\sum_{i=1}^n T_{осн_i}}$$

Представените единични коефициенти са безразмерни и могат да приемат стойности от 0 до 1. Счита се, че конструкцията напълно отговаря на изискванията за определени свойства в случаите, когато коефициентът, характеризиращ това свойство, е равен или близък към единица.

В таблица №1 са представени резултатите от извършените пресмятания на единичните показатели на ЕТ за еднотипен агрегат – хидравлична помпа на няколко типа самолети. Посочените коефициенти са определени на базата на предоставените от „ТЕРЕМ-Г.Бенковски“ – Пловдив данни за трудоразходите и продължителност на операциите при ремонт на хидравличните помпи НП-34М-1Т (МиГ-21), НП-70 (МиГ-23) и НП-103А (МиГ-29). Получените резултати показват, че по отношение на експлоатационната технологичност, конкретно към процеса на подмяна на хидравличните помпи на посочените типове самолети, те са най-добри за самолет МиГ-29, който е представител на четвъртото поколение въздухоплавателни средства.

Таблица № 1

№	Тип самолет, тип на хидравличната помпа	Кдi	Квi	Куд
1.	МиГ-21 , НП-34М-1Т	0,87	0,89	0,81
2.	МиГ-23, НП- 70	0,83	0,85	0,76
3.	МиГ-29, НП-103А	0,94	0,95	0,91

В таблица №2 са представени резултатите от други извършени пресмятания на единичните показатели на ЕТ, за хидравлични усилватели от системата за управление на полета (усилватели на вертикалното кормило) на три различни поколения самолети БУ-210Б (МиГ-21), БУ-270 (МиГ-23) и РП-270 (МиГ-29). Анализът на получените показатели показва, че те са най-добри за самолет МиГ-21, което се обяснява с по опростената конструкция на вертикалния стабилизатор, приложените технологии за закрепване и съкратена технология за проверка след монтажа.

Таблица № 2

№	Тип самолет, тип на хидравличен усилвател	Кдi	Квi	Куд
1.	МиГ-21 , БУ-210Б	0,91	0,94	0,96
2.	МиГ-23, БУ- 270	0,87	0,89	0,91
3.	МиГ-29, РП- 270	0,91	0,93	0,93

Ако се изследва самолет Су-25 на етапите на неговото проектиране, конструиране и изпитване, високите показатели на ЕТ се постигат чрез:

- оптимална стратегия за техническо обслужване и ремонт;
- автономност при обслужване на чуждо летище;
- пригоденост за контрол на функционалните системи и на самолета като цяло;
- самостоятелност, независимост от средствата за обслужване на земята, лесен достъп до кабината от екипажа и техническия персонал;

- оптимално количество информация за обслужващия технически персонал, чрез маркировка върху технологичните капази, люкове и точки за зареждане на условни обозначения за предназначението им и периодичност на работите [2, 3].

Подобрените експлоатационни характеристики на самолет Су-25 са решени чрез:

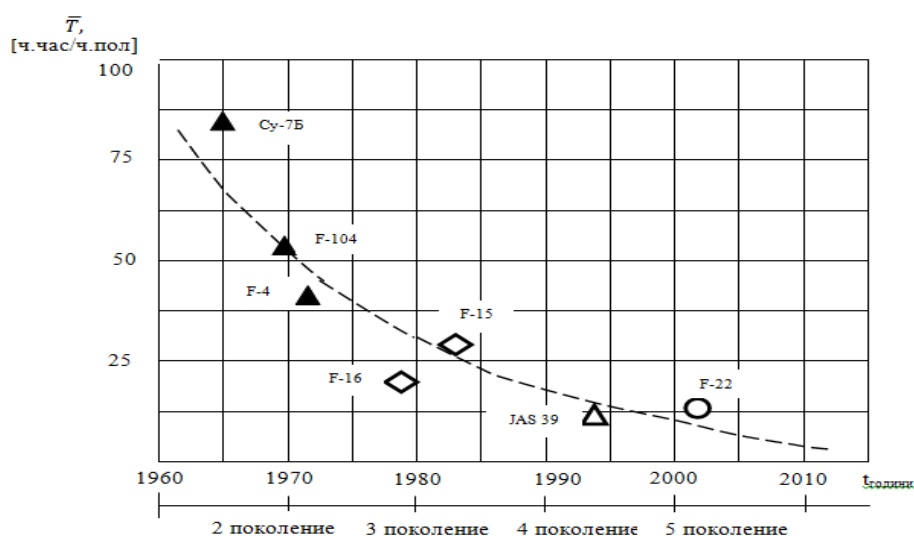
- намаляване продължителността и трудоемкостта на линейното и базовото обслужване;
- осигуряване контрол на изправността на системите и оборудването при линейното техническо обслужване без използване на средства за наземен контрол;
- намаляване на трудоразходите при базово техническо обслужване;
- осигуряване автономност на действие;
- подобряване удобството на техническото обслужване.

Изчисленията показват, че при намаляване времето за подготовка за повторно излитане с 5 min се намалява относителната трудоемкост на техническото обслужване с 0,5 [човекочаса/час полет], което съставлява около 4 % от целия обем трудоемкост и се намалява стойността на техническото обслужване за жизнения цикъл на самолет Су-25 с 0,25% [3]. В таблица №3 е отразен броят на точките за зареждане и параметрите на системите, свързани с работата на самолета и двигателя, които подлежат на контрол при различните видове линейно обслужване. За сравнение със самолетите с военно предназначение от второ поколение (МиГ-21), трето (МиГ-23, Л-39) и четвърто поколение (МиГ-29) самолет Су-25 има с около 50÷70% по-малко контролни точки за зареждане и проверки, което е показател за по-висока експлоатационна технологичност [1, 2, 9].

Таблица № 3

№ по ред	Вид линейно обслужване	Брой на контролните точки				
		МиГ-21	МиГ-23	МиГ-29	Л-39	Су-25
1.	Предварителна подготовка	19	6	-	18	-
2.	Предполетна подготовка	18	14	21	15	7
3.	Подготовка за повторен полет	11	9	17	8	6
4.	Следполетна подготовка	15	11	18	-	11

На фиг. 2 са показани обобщените данни на относителните трудоразходи за техническо обслужване на самолетите с военно предназначение от различни поколения.



Фиг. 2

Пример за високо ниво на експлоатационна технологичност е двуконтурният турбореактивен двигател с форсаж (ТРДДФ) F119-PW-100, монтиран на самолета пето поколение F-22A Raptor, който конструктивно има с около 40% по-малко възли и детайли, отколкото неговия предшественик F100-PW-200, установен на самолета трето поколение F-15 Eagle, като в същото време нивото на надеждност и технологичност са с около 80% по-високи. Двигател F-119 притежава конструкция, изградена на модулен принцип. Той се състои от 29 модула, всеки един от които може да бъде заменен за около 20 минути, като при това замяната на повечето от модулите се извършва с използване само на ръчен инструмент [11].

Високото ниво на технологичност, като изискване към съвременните самолети с военно предназначение, се реализира чрез усъвършенстване на елементите от конструкцията на планера. Това е постигнато преди всичко чрез използване на композитни материали и перспективни метални сплави. Оптимизирани са и процесите на проектиране и производство. Като цяло, това е оказало съществено значение за намаляване на масата на ВС и за увеличаване на ресурса, за съкращаване на разходите за техническо обслужване и ремонт на самолета.

Перспективните изследвания във водещите компании в САЩ са насочени към разработване на самолет-изтребител с интегрална конструкция, която да позволи значително съкращаване на количеството детайли (до 50÷60%) и на закрепващи елементи (до 30÷40%) [11, 12].

### **Заклучение**

В съвременните самолети с военно предназначение конструктивно са заложили технически решения, които позволяват те да притежават високи показатели на експлоатационната технологичност. Пример за този извод е самолета Су-25, който е на въоръжение в българските ВВС от 1985г. Практиката показва, че конструктивните решения с цел постигане на висока ЕТ, в процеса на експлоатацията позволяват стабилно нарастване на експлоатационните качества на военните самолети от по-нови поколения.

### **Литература:**

1. А с е н о в, С., Избор на основни и частни показатели на експлоатационната и ремонтна технологичност, Юбилейна научна сесия „40 години от първия полет на човек в космоса“, ВВВУ „Г. Бенковски“, 2001 г.
2. А с е н о в, С., Оценка на основните показатели на експлоатационната и ремонтна технологичност на самолет Су-25.
3. А т а н а с о в, М., Д. Л а л о в, Тенденции и перспективи в развитието на авиационната техника, Сборник от доклади на научна сесия на факултет „Авиационен“ към НВУ, Д. Митрополия, 24-25.04.2003г., стр. 281-285.
4. Б е д р е т д и н о в, И., Щурмовик Су-25 и его модификации, Изд. 2-е, переработанное и дополненное, М., Издательская группа Бедретдинов и Ко, 2002.
5. Д а л е ц к и й, С., О. Я. Д е р к а ч, А. Н. П е т р о в, Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации.- М.: Воздушный транспорт, 2002.
6. И л и н, В., Модернизация самолета Су-25. Авиационная и ракетная техника, №20, 1997, с.5-6.
7. С м и р н о в, Н. Н., А. М. А н д р о н о в, Н. И. В л а д и м и р о в, Ю. И. Л е м и н, Эксплуатационная надежность и режимы технического обслуживания самолетов. М., Транспорт, 1974.
8. С м и р н о в, Н. Н., Ю. М. Ч и н ю ч и н, Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. М.: Транспорт, 1994. 256 с.
9. С м и р н о в, Н. Н., А. А. И ц к о в и ч, Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – 2-е изд.- М.: Транспорт, 1987.
10. С о т и р о в, Г., Г. Д о н о в, Прогнозиране на възможностите за удължаване на техническия ресурс на авиационната радиоелектронна апаратура. Сборник доклади от Научно-приложна сесия на международната изложба ХЕМУС- 1996, стр.221-227.
11. Z a f i r o v, D., The Aircraft's Lifecycle Management, , International Congress Mechanical Engineering Technologies '04, September 23-24, 2004, Varna.
12. Н ü н е с к е, K., Modern Combat Aircraft Design: Technology and Function, Hardcover, 254 Pages, Published 1987.
13. Н ü н е с к е, K., Die Technik des modernen Verkehrsflugzeuges, Hardcover, 203 Pages, Published 2008.