

## ОЦЕНКА НА ЕКСПЛОАТАЦИОННАТА НАДЕЖДНОСТ НА ГАЗОТУРБИНИ ДВИГАТЕЛИ НА ВЕРТОЛЕТИ СРЕДЕН КЛАС

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

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

**Ключови думи:** техническа експлоатация, газотурбинен двигател, експлоатационна надеждност

**Резюме:** Техническата експлоатация (ТЕ) е най-важният стадий от жизнения цикъл на едно изделие. В експлоатацията се разкриват способностите на изделието, заложи в него при проектирането и производството. Авиационният газотурбинен двигател (ГТД) е сложна динамична система с голямо количество взаимодействащи елементи и подсистеми. По тази причина изборът на система от параметри, най-пълно разкриващи отказите на вертолетните ГТД, е изключително важна и актуална задача за експлоатиращите организации. Решаването и може да се осъществи чрез усъвършенстване на техническата система за обслужване и ремонт.

## AN EVALUATION OF OPERATIONAL RELIABILITY OF THE GAS-TURBINE ENGINES OF THE MIDDLE CLASS HELICOPTERS

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

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

**Keywords:** technical operation, gas-turbine engine, operational reliability

**Abstract:** Technical operation (TE) is the most important stage in the life cycle of a product. In operation reveal the capabilities of the product, set it in the design and production. An aero gas turbine engine (GTE) is a complex dynamic system with plenty of interactive elements and subsystems. For this reason, the choice of system of parameters revealing at full the helicopter GTE failures is extremely important task about the operational organizations. Solving it can be achieved by improving the technical system for maintenance and repair.

### Въведение

Вертолетните ГТД работят в относително неголям диапазон от скорости и височини на полета (скоростта, като правило е в диапазона 250...400 km/h, височина – не повече от 5000...6000 m). Ориентировъчните значения на техническите параметри на вертолетните ГТД са следните: мощност – 200...8500 kW, относителна маса – 0,11...0,55 kg/kW, относителен разход на гориво – 0,22...0,40 kg/kW.h. С цел постигане на по-висока безопасност на полета, по-широко приложение са получили схемите с два ГТД, работещи за един общ редуктор.

Надеждността е способност на обекта да изпълнява зададените функции, като запазва във времето стойностите на определени показатели, съответстващи на зададени режими и условия на използване, техническо обслужване, ремонт, съхранение и транспортиране [5].

Техническата експлоатация (ТЕ) е най-важният стадий от жизнения цикъл на едно изделие. Именно в експлоатацията изделието реално е в съприкосновение с околната среда и с нейните дестабилизиращи фактори, с обслужващия персонал и с други фактори. В експлоатацията се разкриват способностите на изделието, заложи в него при проектирането и производството. Способностите на изделието се проявяват чрез неговите свойства, които са пасивна или активна реакция при функционирането му. Към свойствата на техническите

изделия се отнасят: *здравина, издръжливост, функционалност, адаптивност, устойчивост и други* [10].

Основен показател на надеждността на авиационната техника (АТ) е вероятността за безотказна работа за времето на изпълнение на полетното задание  $P(\tau)$  определен съгласно [4, 6].

$$(1) \quad P(\tau) = \exp[-\omega^*(\Delta t) \cdot T]$$

където:

$\omega^*(\Delta t)$  - средната стойност на параметъра на потока на отказите за целия парк от авиационната техника от даден тип (N броя ВС) за времето на изпълнение на полетно задание, отк/h;

$\Delta t$  - интервал за статистическо изследване, h;

$\tau$  - време за изпълнение на полетното задание, h.

Във формула (1) средната стойност на параметъра на потока на отказите се определя статистически за определен календарен период  $\Delta t$  (1 година) съгласно (2):

$$(2) \quad \omega^*(\Delta t) = \frac{\sum_{i=1}^n r_i(\Delta t)}{\sum_{i=1}^n t_i(\Delta t)}$$

където:

$r_i(\Delta t)$  - сумарен брой откази (възстановяеми и невъзстановяеми) в интервала  $\Delta t$  ;

$t_i$  - пролетяно време на i-тото ВС за интервала  $\Delta t$  ;

N – брой наблюдавани ВС за интервала  $\Delta t$  .

Друг показател на надеждност, подходящ за ТЕ на ВС и показващ влиянието на тази или друга система на ВС върху общата вероятност на безотказна работа е коефициентът на отказите  $K_{oi}$  , определен съгласно (1):

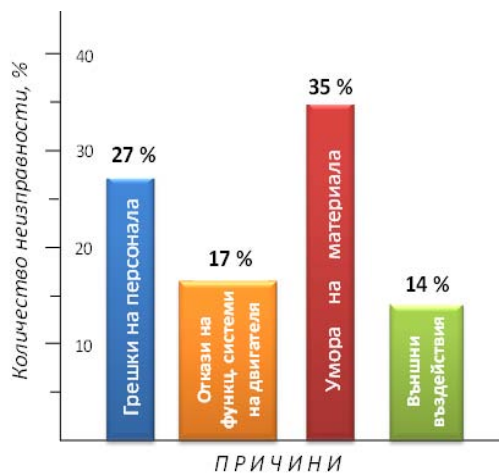
$$(3) \quad K_{oi} = \frac{r_i(\Delta t)}{r_{\Sigma}(\Delta t)}$$

където:

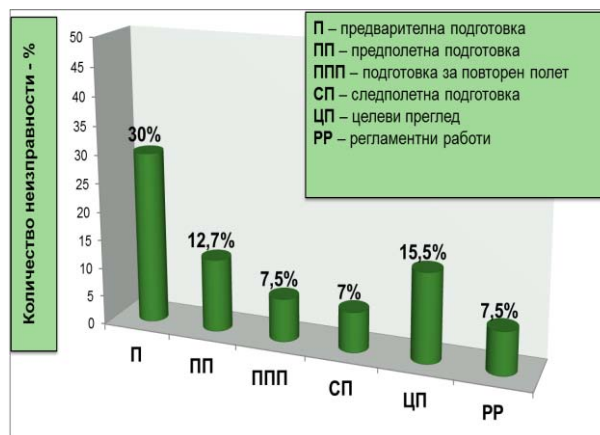
$r_i(\Delta t)$  - откази (възстановяеми и невъзстановяеми) по съответната специалност или система за интервал  $\Delta t$  ;

$r_{\Sigma}(\Delta t)$  - сумарен брой откази по всички специалности и системи на ВС.

Авиационният газотурбинен двигател (ГТД) е сложна динамична система с голямо количество взаимодействащи елементи и подсистеми. В процеса на продължителна експлоатация възникват дефекти от различен характер в различни агрегати и по множество причини. Резултатите от обработката на обобщения статистически материал предоставен от ВВС и български авиокомпани (АК) за експлоатацията на вертолетните двигатели по причини на възникване са показани на фиг. 1. Данните са обобщени за периода 1985÷2010 год. за 250 броя двигатели от типа ТВ2-117 и ТВ3-117 експлоатирани в България . Неизправностите открити на земята на видовете подготовки (линейно обслужване) и регламентни прегледи (базово обслужване) са представени на фиг. 2.



Фиг. 1



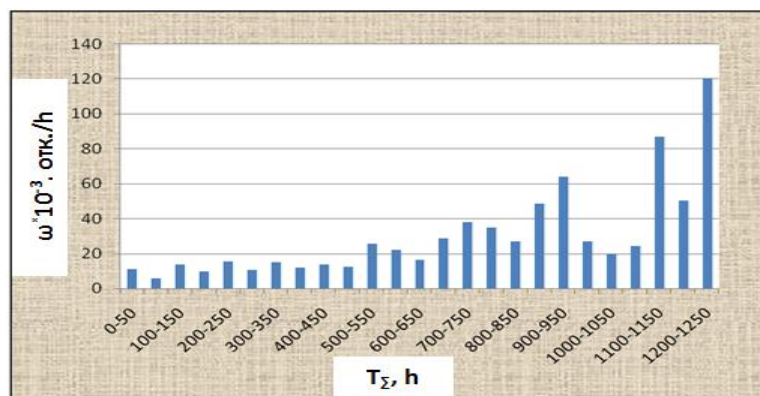
Фиг. 2

В таблица № 1 е представено сумарното количество откази на планера, двигателите, авиониката на вертолетите Ми-8 и Ми-17 и техният относителен дял. Статистиката е събрана и обобщена за периода 1988-2011 години.

Таблица № 1

Година	Планер	Двигател	Авионика	Общо			
					%	%	%
1988-1989	14	6	107	127	11	5	84
1990-1991	7	1	79	87	8	1	91
1992-1993	5	-	108	113	4	0	96
1994-1995	8	1	66	75	11	1	88
1996-1997	14	5	73	92	15	5	79
1998-1999	15	3	82	100	15	3	82
2000-2001	11	4	77	92	12	4	84
2002-2003	12	2	75	89	13	2	84
2004-2005	12	4	68	84	14	5	81
2006-2007	11	1	71	83	13	1	86
2008-2009	8	5	65	78	10	6	83
2010-2011	10	2	63	75	13	3	84
Общо	127	34	934	1095	12	3	85

Пресметнати са основни надеждностни характеристики на вертолетите:  $\omega^*(\Delta t)$  - средна стойност на параметъра на потока на отказите, резултатите са представени на фиг. 3.



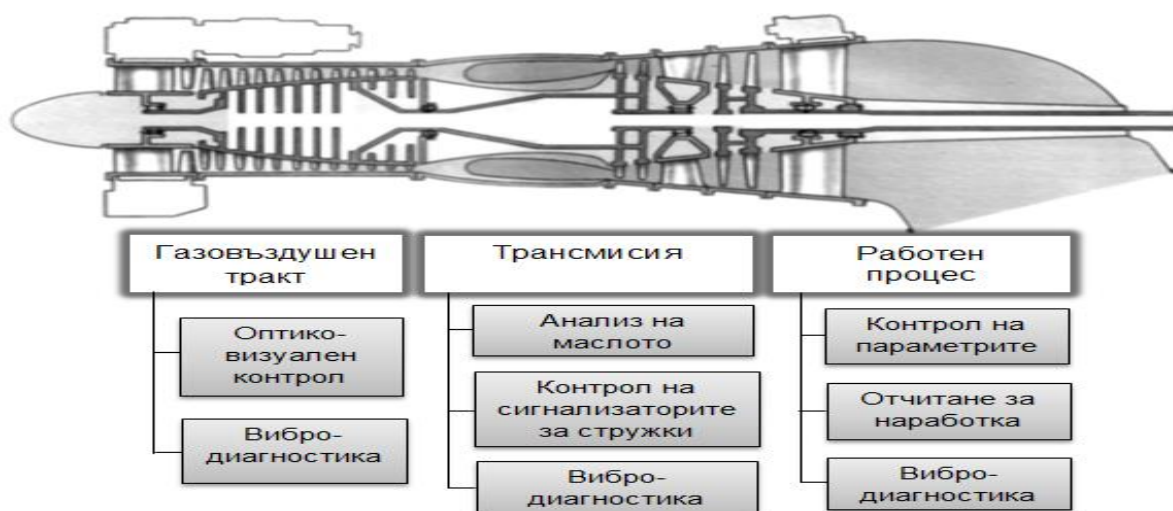
Фиг. 3

Един от основните пътища за икономична експлоатация на авиационната техника е усъвършенстването на техническата система за обслужване и ремонт на основата на внедряване на информационно-диагностични системи и перспективни методи за безразрушителен контрол [1, 3, 8, 9, 11].

Диагностиката на газовъздушния тракт на двигателя по газодинамичните параметри е основана на анализа на тенденциите на отклоненията на параметрите, диагностичните признаци и специални параметри (времето за спиране на ротора, ръста на температурата при запуск, времето на сработване на механизмите на компресора) определени като причина за развитието на неизправностите и отклоненията от еталонните значения (технически условия). Този подход позволява в експлоатацията да се открият прогаряния, изкорубвания на жаровите тръби на горивните камери и сопловите апарати на турбината, остатъчни деформации, корозионни и ерозионни повреди на лопатките на турбокомпресора, разрушения на елементи и много други неизправности [5].

Вибродиагностиката на ГТД позволява да се констатира в процеса на тяхната експлоатация увеличаването на неуравновесеността на ротора поради откъснати лопатки, разрушаване на елементите на опорите или повишено износване на лагерите на опорите на ротора. Тясна връзка съществува между скоростта на износване на детайлите на ГТД смазвани с масло и натрупването в него на физико-химическите свойства, което превръща маслото в носител на ценна диагностична информация [2].

Една от основните задачи на експлоатиращите и ремонтни органи е поддържането на определено ниво на експлоатационна надеждност на ГТД и осигуряване безопасността на полетите, чрез своевременно търсене и отстраняване на скритите дефекти за ГТД, като сложен технически обект. Практиката показва, че най-много време се разходва за търсене на неизправностите им. В момента за определяне на техническото състояние на вертолетните двигатели се използват различни методи за контрол и диагностика, които са представени на фиг. 4.



Фиг. 4

Следващите поколения вертолетни ГТД, рязко ще увеличат своя ресурс: междуремонтен до 4000 - 5000 h (8000...10000 цикъла за двигателите на бойните вертолети и 6000...7500 цикъла за военно-транспортните вертолети), пълен технически - до 12000...15000 h (за основните детайли, които не се подменят в процеса на ремонта). Залагат се и следните надеждностни характеристики – увеличаване на пролетяното време до отказ - 20000 h за двудвигателен вертолет и 50000 h за едновдигателни, и съкращаване на трудоразходите до 0,25...0,3 h на час полет.

Информацията от ГОСНИИЕРАТ – МО Русия обобщава разпределението на инцидентите по видове откази на системите за вертолетите Ми-24 и Ми-8 [12]. За силовата установка те са съответно 29,4% (за Ми-24) и 37% (за Ми-17) от общият брой откази за посочените типове вертолети. Причините за преждевременно им снемане от експлоатация са: повредите на лопатките на компресора, а за двигател ТВ2-117 отказите открити на земята (увеличен разход на маслото, нехерметичност на опорите на двигателя) – 68,4% [12]. Поради голямото количество инциденти, свързани със СУ на вертолета, в таблица №2 са посочени най-характерните откази на двигателите и системите, осигуряващи тяхната работа.

Таблица № 2

Функционални системи на двигателя	Откази, %	
	ТВ3 - 117	ТВ2 – 117А
Система за регулиране на двигателя	47,3	53,3
Компресор	18,4	13,3
Система за смазване	13,2	13,3
Средства за контрол работата на СУ	7,9	13,3
Приводи на агрегатите	7,9	6,8
Изходящо устройство	5,3	-

Газовъздушният тракт на вертолетните ГТД в условията на експлоатация се контролира чрез регистрираните от датчиците вибрации, визуалния и с оптически прибори контрол. По данните от полета и при проба на земята може да се констатира повишеното ниво на вибрации над допустимите норми. Чрез приборите за визуален контрол се откриват деформациите на компресора и състоянието на лопатите на турбината.

### Заклучение

Газовъздушният тракт на вертолетните ГТД в условията на експлоатация се контролира чрез регистрираните от датчиците вибрации, визуалния и с оптически прибори контрол. По данните от полета и при проба на земята може да се констатира повишеното ниво на вибрации над допустимите норми. Чрез приборите за визуален контрол се откриват деформации на компресора и състоянието на лопатите на турбината.

### Литература:

1. А т а н а с о в, М., Д. Л а л о в. Тенденции и перспективи в развитието на авиационната техника, Сб. От доклади на научна сесия на научна сесия на факултет „Авиационен“ към НВУ, Д. Митрополия, 24-25.04.2003 г., стр. 281-285.
2. Б е д ь і П. И., Дефектоскопия деталей при експлуатации авиационной техники, М., Воениздат, 1978, 230 с.
3. Д е р к а ч, О. Я., Формирование систем технического обслуживания самолетов при их создании. М., Машиностроение, 1993, 223 с.
4. Д о р о ж к о, С. М., Контроль и диагностирование технического состояния газотурбинных двигателей по вибрационным параметрам. М., Транспорт, 1984, 128 с.
5. К е б а, И. В., Диагностика авиационных газотурбинных двигателей. М., Транспорт, 1980, 345 с
6. Л о з и ц к и й, Л. П. и др., Оценка технического состояния авиационных ГТД. М., Транспорт, 1982, 160 с.

7. С м и р н о в, Н. Н., Ч и н ю ч и н Ю. М. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. М.: Транспорт, 1994. 256 с.
8. С м и р н о в, Н. Н., И ц к о в и ч А. А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – 2-е изд.- М.: Транспорт, 1987.
9. 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
10. П е т р о в, Н., С. А с е н о в, Е. П е т р о в. Управление на техническата експлоатация на летателните апарати и авионни системи. DIGITALPRINT, Бургас, ISBN 978-954-92-761-5-2, 2012.
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. АО «Мотор Сич». Модернизация силовой установки вертолѐта Ми-8. Презентация. 2013.