

Иленко Е.Ю.

**ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ
ВЕРТОЛЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба

Постановка та мета дослідження. На основании обработки статистических данных об отказах и неисправностях совокупности турбореактивных, турбовинтовых и двухконтурных двигателей различного назначения в процессе эксплуатации были получены следующие зависимости показателей надёжности (наработки, приходящейся на одно выключение двигателя в полёте $T_{\text{ОПВ}}$, на один досрочный съём двигателя $T_{\text{ДСД}}$ и на суммарное количество неисправностей T_{Σ}) от основных эксплуатационных факторов [1, 2]:

$$T_{\text{ОПВ}} = a_{\text{ОПВ}} \cdot \rho^{-0,572} \cdot h^{0,797} \cdot \tau_{\Sigma}^{0,422} \text{ тыс. час/отк.}; \quad (1)$$

$$T_{\text{ДСД}} = a_{\text{ДСД}} \cdot \rho^{-0,161} \cdot h^{0,967} \cdot \tau_{\Sigma}^{0,284} \text{ тыс. час/отк.}; \quad (2)$$

$$T_{\Sigma} = a_{\Sigma} \cdot \rho^{-0,379} \cdot h^{0,098} \cdot \tau_{\Sigma}^{0,246} \text{ тыс. час/отк.}, \quad (3)$$

где ρ – средняя относительная величина использования максимальных режимов за ресурс; h – средняя величина продолжительности полёта; τ_{Σ} – величина суммарной наработки (с начала эксплуатации) парка двигателей данного типа (млн. час); $a_{\text{ОПВ}}$, $a_{\text{ДСД}}$, a_{Σ} – соответствующие постоянные коэффициенты.

Влияние на надёжность авиационных двигателей (АД) суммарной наработки парка двигателей данного типа τ_{Σ} эквивалентно совокупности влияния на АД уровня ресурса, интенсивности эксплуатации, уровня совершенства технической и летной эксплуатации, уровня конструктивного и производственно-технологического совершенства двигателя. С увеличением суммарной наработки парка двигателей в силу действия эффекта обратной связи средняя наработка, приходящаяся на один отказ АД, увеличивается [1].

Определение величин $a_{\text{ОПВ}}$, $a_{\text{ДСД}}$, a_{Σ} для конкретного двигателя осуществляется на основании материалов обобщения и анализа информации об их отказах и неисправностях, имеющих место в процессе эксплуатации.

В работах [3, 4] обобщены и проанализированы данные об отказах и неисправностях двигателей ГТД-350, устанавливаемых на вертолетах Ми-2, которые эксплуатировались для обучения курсантов-летчиков в лётных частях Харьковского университета Воздушных сил имени Ивана Кожедуба в период с 1995 по 2005 год. В течение 11 лет зафиксировано 35 случаев отказа АД ГТД-350, которые привели к досрочному снятию двигателей в ремонт при наработке двигателей за рассматриваемое время более 36 тыс. час.

На основании выражений (1–3) представляется возможным оценить влияние эксплуатационных факторов ρ и h при известном значении $\tau_{\Sigma} = 2$ млн. час, на показатели надёжности АД ГТД-350.

Для получения расчетных формул, по которым можно определить влияние входящих в них факторов на показатели надёжности, необходимо знать величины постоянных коэффициентов $a_{\text{ОПВ}}$, $a_{\text{ДСД}}$, a_{Σ} . Для их определения используем значения эксплуатационных факторов и полученные при этом значения показателей надёжности.

При значениях среднего процента использования взлетного режима $\rho = 8\%$, средней продолжительности полета $h = 0,3$ час и общей наработке двигателей данного типа с начала эксплуатации $\tau = 2$ млн. час получены следующие значения показателей надёжности АД ГТД-350 [3]: $T_{\text{ДСД}} =$

= 898,6 час/отк., $T_{Oy\text{Э}}=2620,8$ час/отк., $T_{\Sigma}=669,1$ час/отк. Где $T_{Oy\text{Э}}$ – отказ, обнаруженный и устраненный в эксплуатации. Показатель надежности $T_{OПВ}$ – наработка на один отказ, приведший к выключению двигателя в полете, не рассматривается, по причине отсутствия таких случаев за время эксплуатации.

Подставив в зависимости (2, 3) значения эксплуатационных факторов и показателей надежности, получаем значения коэффициентов: $a_{ДСД}=3,3044$; $a_{\Sigma}=1,4588$. Тогда зависимости, определяющие влияние эксплуатационных факторов на показатели надежности двигателя, принимают вид:

$$T_{ДСД} = 3,3044 \cdot \rho^{-0,161} \cdot h^{0,967} \cdot \tau_{\Sigma}^{0,284} \text{ тыс. час/отк.}; \quad (4)$$

$$T_{\Sigma} = 1,4588 \cdot \rho^{-0,379} \cdot h^{0,098} \cdot \tau_{\Sigma}^{0,246} \text{ тыс. час/отк.} \quad (5)$$

Выражение для показателя надежности $T_{Oy\text{Э}}$ получаем из $T_{Oy\text{Э}} = \frac{T_{ДСД} \cdot T_{\Sigma}}{T_{ДСД} - T_{\Sigma}}$:

$$T_{Oy\text{Э}} = \frac{4,8205 \rho^{-0,540} h^{1,065} \tau_{\Sigma}^{0,530}}{3,3044 \rho^{-0,161} h^{0,967} \tau_{\Sigma}^{0,284} - 1,4588 \rho^{-0,379} h^{0,098} \tau_{\Sigma}^{0,246}} \quad (6)$$

Общие закономерности (4–5) позволяют получить расчетные формулы, определяющие влияние на показатели надежности двигателя ГТД-350 каждого отдельного эксплуатационного фактора при фиксированных значениях других.

Влияние процента использования взлетного режима ρ при средней продолжительности полета $h=0,3$ час и общей наработке двигателей с начала эксплуатации $\tau_{\Sigma}=2$ млн. час на величину $T_{ДСД}$ (рисунок 1):

$$T_{ДСД} = 1,2559 \cdot \rho^{-0,161} \quad (7)$$

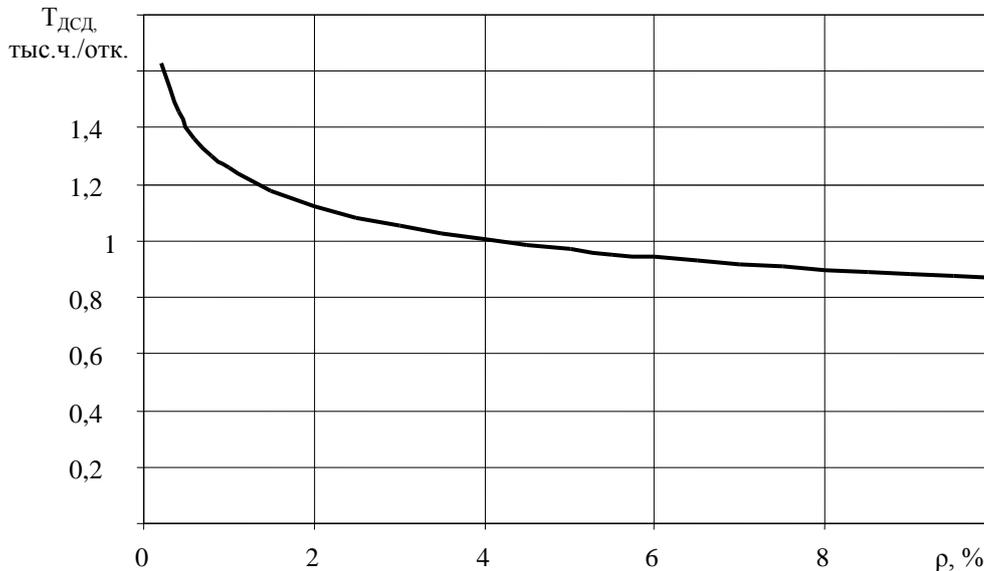


Рисунок 1 – Зависимость $T_{ДСД}$ от среднего процента использования взлетного режима ρ при $h=0,3$ час и $\tau=2$ млн. час

Влияние средней продолжительности полета h при среднем проценте использования взлетного режима $\rho=8\%$ и общей наработке двигателей с начала эксплуатации $\tau=2$ млн. час на величину $T_{ДСД}$ (рисунок 2):

$$T_{ДСД} = 2,8787 \cdot h^{0,967} . \quad (8)$$

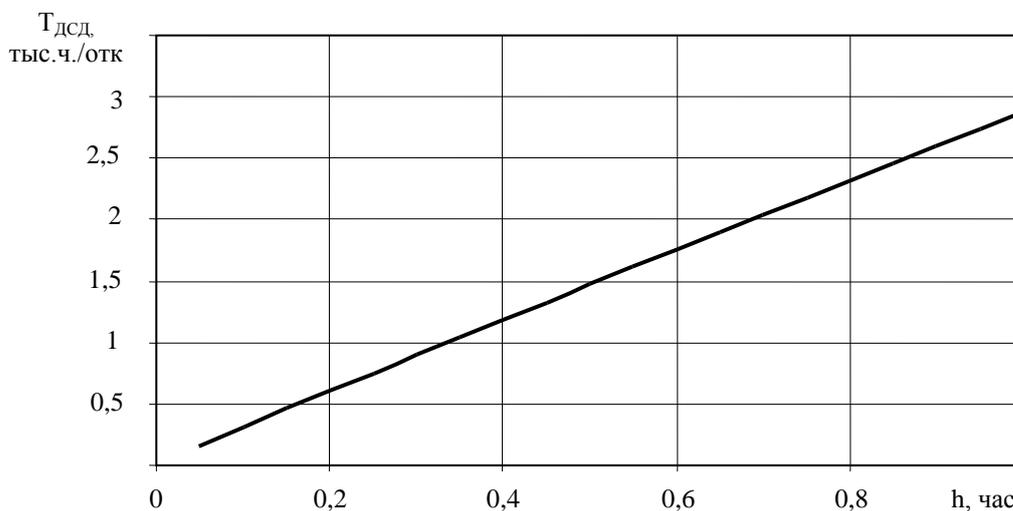


Рисунок 2 – Зависимость $T_{ДСД}$ от средней продолжительности полета h при $\rho=8\%$ и $\tau=2$ млн. час

Влияние процента использования взлетного режима ρ при средней продолжительности полета $h=0,3$ час и общей наработке двигателей с начала эксплуатации $\tau=2$ млн. час на величину T_{Σ} (рисунок 3):

$$T_{\Sigma} = 1,5375 \cdot \rho^{-0,379} . \quad (9)$$

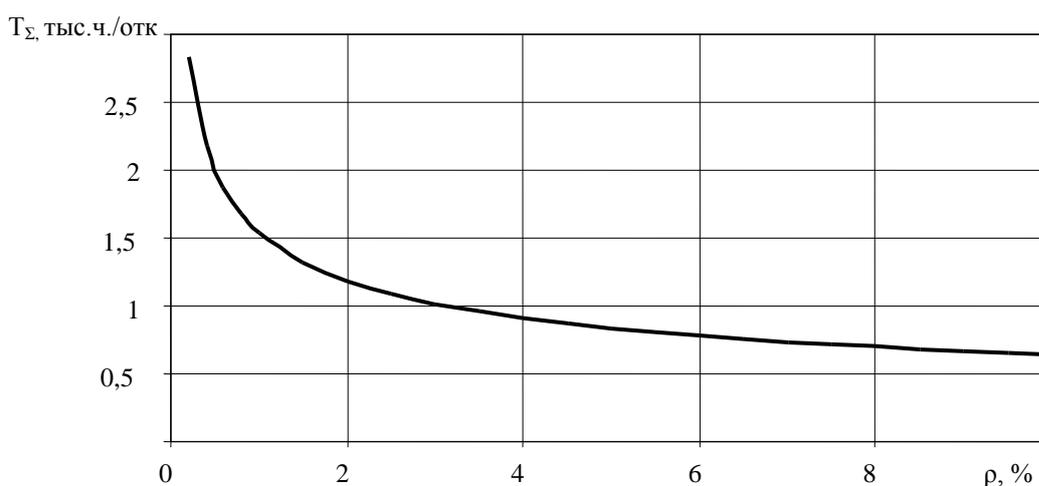


Рисунок 3 – Зависимость T_{Σ} от среднего процента использования взлетного режима ρ при $h=0,3$ час и $\tau=2$ млн. час

Влияние средней продолжительности полета h при среднем проценте использования взлетного режима $\rho=8\%$ и общей наработке двигателей с начала эксплуатации $\tau=2$ млн. час на величину T_{Σ} (рисунок 4):

$$T_{\Sigma} = 0,7866 \cdot h^{0,098} . \quad (10)$$

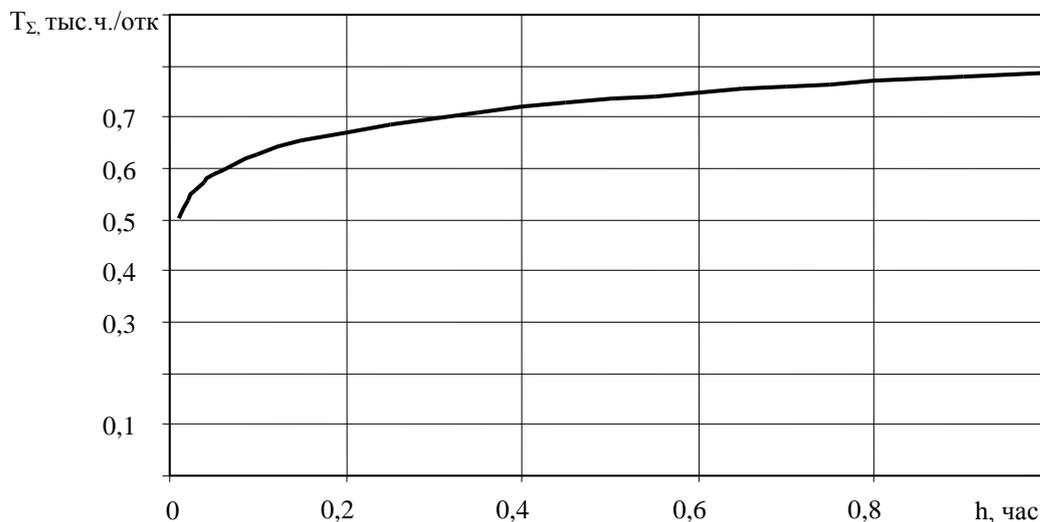


Рисунок 4 – Зависимость T_{Σ} от средней продолжительности полета h при $\rho=8\%$ и $\tau=2$ млн. час

Выводы. Таким образом, увеличение средней продолжительности полета h приводит к практически пропорциональному увеличению наработки $T_{\text{ДСД}}$ на всем диапазоне возможных значений h (рисунок 2). Наиболее значительное уменьшение $T_{\text{ДСД}}$ наблюдается при малых значениях средней продолжительности полета. Величина $T_{\text{ДСД}}$ при $h=10$ мин. примерно в 5 раз меньше, чем при средней продолжительности полета $h=1$ час.

Наработка на суммарное количество неисправностей T_{Σ} минимальна при значениях средней продолжительности полета h до 6 мин. (рисунок 4). Далее с ростом h степень влияния фактора на показатель надежности T_{Σ} уменьшается.

Увеличение средней величины использования максимальных режимов за ресурс ρ приводит к уменьшению наработок $T_{\text{ДСД}}$ (рисунок 1) и T_{Σ} (рисунок 3). Наименьшие значения $T_{\text{ДСД}}$ и T_{Σ} принимают при значениях ρ , превышающих 10%. В диапазоне величин ρ от минимальных значений до 5% наблюдается наиболее интенсивная динамика роста влияния эксплуатационного фактора на величины наработок $T_{\text{ДСД}}$ и T_{Σ} .

Полученные аналитические зависимости (7–10) позволяют прогнозировать надежность вертолетных двигателей ГТД-350 в процессе применения их по назначению с учетом эксплуатационных факторов.

Литература

1. Алексеев К.П. Надёжность и технико-экономические характеристики авиационных двигателей. – М.: Транспорт, 1980. – 102 с.
2. Анипко О.Б., Иленко Е.Ю. Управление надежностью объектов авиационной техники как сложных технических систем. / Интегровані технології та енергозбереження. Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». Харків: НТУ «ХПІ». – 2005. – №2 – С. 145–149.

3. Анипко О.Б., Иленко Е.Ю. Прогнозирование γ -процентного ресурса вертолетного двигателя на основании данных эксплуатации / Интегровані технології та енергозбереження. Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – №2 – С. 89–96.

4. Анипко О.Б., Иленко Е.Ю. Прогнозирование остаточного ресурса объектов вооружения и военной техники в нерасчетных условиях эксплуатации / Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сб. науч. трудов Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”. Харьков: НАКУ “ХАИ”. – 2008. – №1(52) – С. 15–20.

УДК 629.735.45.036

Иленко Е.Ю.

**ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ
ВЕРТОЛІТНИХ ДВИГУНІВ**

Виявлені залежності впливу експлуатаційних факторів на показники надійності вертолітних двигунів ГТД-350. Результати отримані на основі загальних закономірностей впливу експлуатаційних факторів на показники надійності авіаційних двигунів та даними про відмови вертолітних двигунів ГТД-350, що експлуатувались протягом 11 років в умовах навчальних льотних частин.

Penko Ye.Yu.

IMPACT OF OPERATIONAL FACTORS ON RELIABILITY INDICES OF HELICOPTER ENGINES

The impact of operational factors on reliability indices of GTD-350 helicopter engines has been established. The results have been obtained based on the general pattern of the effect of operational factors on reliability indices of aircraft engines as well as failure data for GTD-350 engines that have been operated in training flying units for 11 years.