

УДК 629.735.45.036.3: 519.233.33

Анипко О.Б., Иленко Е.Ю.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОДНОРОДНОСТЬ ВЫБОРКИ ДАННЫХ ОБ ОТКАЗАХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕРТОЛЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба

Современные авиационные двигатели (АД) эксплуатируются в широком диапазоне условий эксплуатации, которые с точки зрения влияния на надежность АД характеризуются рядом эксплуатационных факторов [1]:

1. Состояние воздушной среды (температура, влажность, давление, плотность).
2. Внешние воздействия атмосферы (порывы ветра, дожди, туманы, град, птицы, запыленность, радиация).
3. Условия полета (высота, скорость горизонтальная, скорость вертикальная).
4. Масса летательного аппарата (загрузка).
5. Уровень совершенства технического обслуживания.
6. Уровень подготовки летного и инженерно-технического состава.
7. Конструктивно-производственные особенности.
8. Характеристика эксплуатационного цикла (продолжительность полета, загрузка цикла).

В связи с этим возникает необходимость оценки влияния этих факторов или их сочетаний на интенсивность исчерпания ресурса.

В идеале такую оценку можно сделать на основе обработки экспериментальных исследований эксплуатации объектов авиационной техники (АТ) в идеальных, с точки зрения однородности, условиях, отличных от расчетного режима эксплуатации.

Однако такие экспериментальные исследования затруднительно проводить даже крупным производителям как авиационных двигателей, так и авиационной техники в целом. Причина заключается не только в больших финансовых и временных затратах, но и в необходимости обеспечения идентичности условий проведения эксперимента при существующем разнообразии всех возможных сочетаний неблагоприятных факторов. Поэтому представляет ценность информация об отказах и неисправностях, полученная из летных частей, при эксплуатации АТ в условиях, отличных от расчетных.

С целью оценки влияния эксплуатационных факторов на интенсивность исчерпания ресурса вертолетных двигателей авторами работ [2,3] была выбрана учебная авиационная часть. Спецификой эксплуатации двигателей в рассматриваемых условиях является характеристика эксплуатационного цикла, которая включает среднюю продолжительность полета и загруженность цикла, то есть долю в нем взлетного и номинального режимов работы двигателя. Такая особенность обусловлена требованиями программы курса учебно-летной подготовки летчиков, которая предусматривает выполнение определенного количества полетов с заданной продолжительностью и строгим содержанием полетного задания [4,5], что и позволяет в определенной степени считать условия эксплуатации двигателей одинаковыми, при отсутствии возможности проведения специальных экспериментов такого рода.

В работах [2,3] рассмотрены вопросы надежности двигателей ГТД-350, устанавливаемых на вертолетах Ми-2, при эксплуатации их в условиях летной учебной части. Дан анализ основных факторов, оказывающих влияние на надежность двигателей, осу-

ществлено прогнозирование γ -процентного ресурса двигателей. В основе исследований лежит анализ данных об отказах и неисправностях двигателей ГТД-350 за период с 1995 по 2006 год. Полученные в работах результаты свидетельствуют о снижении остаточного ресурса двигателей на соответствующих этапах эксплуатации по сравнению с расчетным режимом.

Эксплуатация исследуемых двигателей проводилась в близких климатических условиях, при одинаковых требованиях к погодным условиям для производства полетов, по единой программе подготовки летчиков и для контингента обучаемых, прошедшего одинаковую теоретическую подготовку. Однако условия проведения эксперимента нельзя считать идентичными. Отличия обусловлены изменениями температуры окружающей среды в течение суток, несоответствием погодных условий разных календарных лет, различным уровнем подготовки обучаемых по субъективным причинам. Несмотря на отличия отдельных условий, предлагаемый подход по обработке данных об отказах и неисправностях двигателей ГТД-350 можно считать достаточно корректным. Но такая оценка представляется поверхностной без проверки статистической однородности данных эксплуатации за 11 лет с точки зрения разработки регулярного подхода к решению задачи определения остаточного ресурса АД с учетом специфических условий эксплуатации.

Причиной необходимости решения вопроса о статистической однородности рассматриваемой выборки данных об эксплуатации авиационных двигателей, кроме различий во влиянии внешних факторов, может являться обработка данных об отказах [6]:

однотипных двигателей, но выпущенных разными заводами;

двигателей, выпущенных одним заводом, но в разное время, что может быть связано с введением в производство каких-либо изменений;

двигателей, эксплуатирующихся в разных условиях.

Формально – это задача о проверке статистических гипотез: должна быть проверена гипотеза о возможности пренебрежения различиями в надежности двигателей нескольких групп.

Для проверки статистических гипотез широкое применение нашел критерий согласия "хи-квадрат" Пирсона [6,7,8]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - M_i)^2}{M_i}, \quad (1)$$

где k – число групп, на которые разбиты статистические данные; m_i – число наблюдений изучаемого события, попавших в i -ю группу (число отказов); M_i – математическое ожидание числа событий (отказов) в i -й группе при принятой гипотезе.

$$M_i = \frac{t_{\Sigma i}}{T_{дсд}}, \quad (2)$$

где $T_{дсд}$ – наработка на досрочное снятие двигателя в ремонт для всей совокупности двигателей с одинаковым межремонтным ресурсом; $t_{\Sigma i}$ – общая наработка двигателей i -й группы.

Так как

$$T_{\text{дсд}} = \frac{t_{\Sigma}}{m_{\Sigma}}, \quad (3)$$

то выражение (2) можно записать в следующем виде

$$M_i = \frac{t_{\Sigma i} m_{\Sigma}}{t_{\Sigma}}, \quad (4)$$

где t_{Σ} – наработка всех групп двигателей с одинаковым межремонтным ресурсом; m_{Σ} – общее число отказов всех групп двигателей с одинаковым межремонтным ресурсом.

Проверка статистической гипотезы в рассматриваемой задаче сводится к проверке равенства

$$T_{\text{дсд}} = T_{\text{дсд1}} = T_{\text{дсд2}} = \dots = T_{\text{дсдк}}. \quad (5)$$

Распределение величины, вычисленной по формуле (1), приближается при большом числе опытов к распределению хи-квадрат с числом степеней свободы

$$r = k - s, \quad (6)$$

где s – число независимо наложенных связей или условий (число оцениваемых параметров).

Эксплуатация двигателей ГТД-350 проводилась на трех аэродромах. Для оценки однородности статистических данных об отказах, приводящих к досрочному снятию АД в ремонт, представляется целесообразным разделить исследуемые двигатели на группы в зависимости от места дислокации и величины межремонтного ресурса (1500, 1000, 750, 500 часов) с целью оценки однородности данных об отказах по критерию Пирсона.

В рассматриваемом случае число степеней свободы для трех групп двигателей ($k = 3$) и одного оцениваемого параметра ($s = 1$) равно $r = 2$.

Данные проверки однородности статистических данных об отказах для двигателей с межремонтными ресурсами 1500, 1000, 750, 500 часов приведены в таблицах 1, 2, 3, 4 соответственно. Значения наработки на досрочное снятие в ремонт для двигателей всех групп межремонтного ресурса были получены в работе [3] и составляют $T_{\text{дсд1500}} = 845,4$ часа, $T_{\text{дсд1000}} = 8531$ час, $T_{\text{дсд750}} = 704,5$ часа, $T_{\text{дсд500}} = 642,5$ часа.

Общее количество вертолетных двигателей ГТД-350, находящихся в эксплуатации, составило 177 единиц [3]. За рассматриваемый период некоторые АД эксплуатировались на разных аэродромах. Этим объясняется несоответствие суммарного количества АД, отраженного в таблицах 1-4, с их общим количеством.

На основании проведенного анализа данных об отказах вертолетных двигателей ГТД-350 с вероятностью не менее $\gamma=0,95$ можно утверждать, что статистическая гипотеза об однородности выборки данных может быть принята для групп двигателей с межремонтным ресурсом 1500 часов, и с вероятностью $\gamma=0,999$ - для групп двигателей с ресурсами 750 часов и 500 часов. Величина $\gamma=0,95$ дает право рассматривать однородность данных как практически достоверное событие. Данные об отказах двигателей этих групп корректно использовать при анализе и прогнозировании показателей надежности.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Таблица 1 – Однородность статистических данных для двигателей с межремонтным ресурсом 1500 часов

№	Аэродром	Число АД	Наработка ГТД-350, час	Число отказов	$m_i - M_i$	χ_i^2	$\chi_{0,95}$	Подтверждение гипотезы
1.	I	36	6376	8	0,46	0,03		гипотеза подтверждается $\gamma = 0,95$
2.	II	19	4029	1	-3,77	2,98		
3.	III	26	3122	7	3,31	2,96		
	Всего:	81	13527	16		5,96	5,99	

Таблица 2 – Однородность статистических данных для двигателей с межремонтным ресурсом 1000 часов

№	Аэродром	Число АД	Наработка ГТД-350, час	Число отказов	$m_i - M_i$	χ_i^2	$\chi_{0,2}$	Подтверждение гипотезы
1.	I	21	6073	1	0,29	0,12		гипотеза не подтверждается ($\gamma = 0,2$)
2.	II	3	52	-	-0,01	0,01		
3.	III	12	2406	-	-0,28	0,28		
	Всего:	36	8531	1		0,40	0,446	

Таблица 3 – Однородность статистических данных для двигателей с межремонтным ресурсом 750 часов

№	Аэродром	Число АД	Наработка ГТД-350, час	Число отказов	$m_i - M_i$	χ_i^2	$\chi_{0,999}$	Подтверждение гипотезы
1.	I	14	1572	4	1,77	1,40		гипотеза подтверждается $\gamma = 0,999$
2.	II	19	3590	1	-4,10	3,29		
3.	III	5	474	3	2,33	8,05		
	Всего:	38	5636	8		12,74	13,82	

Таблица 4 – Однородность статистических данных для двигателей с межремонтным ресурсом 500 часов

№	Аэродром	Число АД	Наработка ГТД-350, час	Число отказов	$m_i - M_i$	χ_i^2	$\chi_{0,999}$	Подтверждение гипотезы
1.	I	20	1283	6	4,00	8,02		гипотеза подтверждается $\gamma = 0,999$
2.	II	18	2732	2	-2,25	1,19		
3.	III	9	2410	2	-1,75	0,82		
	Всего:	47	6425	10		10,04	13,82	

Данные об отказах групп двигателей с межремонтным ресурсом 1000 часов рассматривать как однородные некорректно по причине недостаточного количества наблюдений изучаемого события (отказов, приводящих к досрочному снятию двигателя в ремонт). Статистически эта группа двигателей не определена, что подтверждается результатом оценки однородности данных по критерию согласия "хи-квадрат" Пирсона.

Литература

1. Алексеев К.П. Надёжность и технико-экономические характеристики авиационных двигателей. – М.: Транспорт, 1980. – 102 с.
2. Анипко О.Б., Иленко Е.Ю. Факторы, влияющие на надежность вертолетного двигателя ГТД-350, как сложной технической системы / Збірник наукових праць ХУ ПС. – Харків: ХУ ПС. – 2005. – №5 – С. 26–29.
3. Анипко О.Б., Иленко Е.Ю. Прогнозирование γ -процентного ресурса вертолетного двигателя на основании данных эксплуатации / Інтегровані технології та енергозбереження. Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – №2 – С. 89–96.
4. Курс учебно-летней подготовки на учебном вертолете Ми-2 (КУЛП-УВ-95г).– Харьков: ХИЛ, 1995. – 104 с.
5. Анипко О.Б., Иленко Е.Ю. Эксплуатационный цикл авиационного двигателя как критерий оценки его ресурса / Збірник наукових праць ХУ ПС. – Харків: ХУ ПС. – 2006. – №2(8) – С. 4–6.
6. Акимов В.М. Основы надежности газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1981. – 207 с.
7. Косточкин В.В. Надежность авиационных двигателей и силовых установок. – М.: Машиностроение, 1976. – 248 с.
8. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятности и ее инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.

УДК 629.735.45.036.3: 519.233.33

Аніпко О.Б., Іленко Є.Ю.

СТАТИСТИЧНА ОДНОРІДНІСТЬ ВИБІРКИ ДАНИХ ПРО ВІДМОВИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВЕРТОЛІТНИХ ДВИГУНІВ

За допомогою критерію "хі-квадрат" Пірсона перевірена статистична однорідність даних про відмови вертолітних двигунів ГТД-350 за 11 років їх експлуатації в умовах навчальної льотної частини.