

УДК 519.248: 005.6

Фролов М.В.¹, Назарова К.О.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-211м НУ «Запорізька політехніка»

ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРУ ФОРМИ РОЗПОДІЛЕННЯ ВІДМОВ СПЕЦІАЛЬНИХ ПІДШИПНИКІВ ДЛЯ АВІАДВИГУНІВ ПРИ ПЛАНУВАННІ ВИПРОБУВАНЬ

Підшипники встановлені в авіадвигунах відносяться до одних з найбільш навантажених елементів, що крім того працюють в екстремальних умовах, тому для цих цілей проектується та виготовляються спеціальні підшипники з жароміцних сплавів. Від їх надійності в значній ступені залежить надійність двигуна в цілому, тому особлива увага має приділятися проведенню їх випробувань. Одним з підходів є випробовування з нульовими відмовами сутність якого полягає у визначенні об'єму вибірки та часу випробовування на протязі якого ні один з елементів вибірки не має відмовити. При цьому обґрунтовано приймається підпорядкування розподілення відмов закону Вейбулла. Час випробування t в залежності від об'єму вибірки n визначається зі співвідношення [1] при цьому комбінація значень є предметом економічних міркувань:

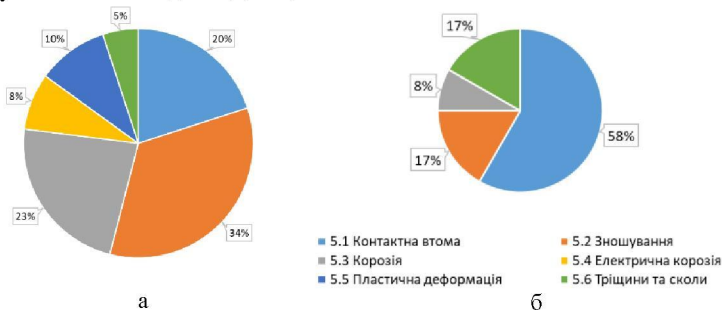
$$t \geq L_L \left[\frac{\ln(1-q)}{n \cdot \ln\left(1 - \frac{p}{100}\right)} \right]^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (1)$$

де L_L – нижня межа часу безвідмовної роботи з імовірністю відмови p в %; q – довірча імовірність, та вираз $1 - q$ тут розглядається як ризик споживача; α – параметр форми розподілення Вейбулла.

Параметр форми α в повній мірі відображає фізичну природу факторів, що призводять до відмови будь якого технічного об'єкту [2] та його значення можна прогнозувати за наслідками дослідження причин відмов. Причини відмов підшипників класифікуються та деталізуються в стандарті ISO15243:2017. До них відносяться: контактна втома (5.1), зношування (5.2), корозія (5.3), електрична корозія (5.4), пластична деформація (5.5), тріщини та сколювання (5.6). Така класифікація дає можливість уніфікувати причини відмов підшипників та порівнювати їх за різних умов експлуатації.

Один з провідних виробників підшипників загального користування, компанія SKF, збирає та узагальнює інформацію про відмови підшипників за допомогою хмарного програмного забезпечення BART (Bearing Analysis Reporting Tool) та наводить статистику відмов, представлену на Рис. 1а. З чого видно що основною причиною відмов є зношування (34%), що відповідає коефіцієнту форми $\alpha = 1,5$ [2] – значенню широко відомому в інженерній практиці розрахунків підшипників.

Аналіз металургійних досліджень, проведених виробником авіадвигунів та відповідно спеціальних підшипників для них, свідчить, що в більшості випадків двигуни знімаються з експлуатації внаслідок появи стружки в маслосистемі двигуна джерелом якої є саме підшипники. Причини що призводять до зазначеного явища наведені на Рис. 1б з чого видно, що основною є руйнування елементів підшипника внаслідок контактної втоми (58%), особливо приймаючи до уваги, що втомне руйнування додатково зустрічається в комбінації зі зношуванням та руйнуванням внаслідок підвищених контактних навантажень.



а – підшипники загального призначення;
б – спеціальні підшипники для авіадвигунів.

Рисунок 1 – Причини відмов підшипників за ISO15243:2017.

Оскільки втомному руйнуванню відповідає параметр форми $\alpha \approx 3$ [2], то з наведених міркувань можна прогнозувати, що саме таке значення параметру має бути використано при плануванні випробувань. Наведені теоретичні міркування разом з оцінкою часу безвідмовної роботи потребують експериментального уточнення при проведенні подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Luko S. N. Weibull analysis with assumed Weibull slope where no failures are observed / S. N. Luko // International Off-Highway and Powerplant Congress and Exposition. – Milwaukee, WI : SAE International, 1998. – 9 p.
2. Weibull analysis handbook / R. B. Abernethy et al. – West Palm Beach, FL : Pratt & Whitney Aircraft, 1983. – 228 p.