

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПОШКОДЖЕННЯ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РОБОЧИХ ЛОПАТОК КОМПРЕСОРІВ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

к.т.н. А.Є. Тіхоміров, к.т.н. В.О. Табуненко
(подав д.т.н., проф. О.Б. Аніпко)

В статті розглядається підхід, який дозволяє оцінити довговічність пошкоджених лопаток компресорів газотурбінних двигунів літальних апаратів.

Обґрунтування ресурсу елементів авіаційної техніки (АТ) в сучасних умовах є актуальною задачею. Нині залишковий ресурс при наявності ушкоджень лопаток, що перевищують припустимі норми, є недостатньо обґрунтованим з наукового погляду. У зв'язку з цим пропонується методика визначення міцності і довговічності ушкоджених робочих лопаток компресора на основі математичної моделі їх напруженого стану. При використанні зазначеної методики передбачено такі етапи розрахунку довговічності лопаток компресора з концентратором напруги типу забійна (тріщина):

1. Визначення місця розташування, розміру і форми найбільш небезпечного дефекту по перу лопатки методами візуально-оптичної діагностики.

2. Розрахунок напруженого стану лопатки від дії всіх експлуатаційних навантажень окремо. Ця операція містить у собі визначення параметрів руйнування, якими, зокрема, є коефіцієнти інтенсивності напруг (КІН) для тріщин, еквівалентних даному дефекту.

3. Розрахунок критичної величини тріщини, у якому використовуються K_{max} , і визначаються експериментально характеристики тріщиностійкості матеріалу лопатки, а після цього визначаються довговічності роботи лопатки при дії експлуатаційних навантажень (відцентрових, газових і динамічних).

4. Визначення тривалості роботи лопатки на заданому режимі роботи ГТД, виходячи із сумарного числа циклів напруження до руйнування.

5. Видача рекомендацій щодо подальшого використання ушкодженої лопатки й обґрунтування шляхів забезпечення заданого ресурсу роботи лопатки.

При розрахунку напруженого стану лопатки використовується метод кінцевих елементів (КЕ) [1]. Лопатка апроксимується плоскими трикутними трьохвузловими КЕ з п'ятьма ступенями волі в кожному вузлі. Застосування

в моделі лопатки спеціального елемента дозволяє визначити КІН, що, у свою чергу, дозволяє вийти на визначення довговічності лопатки з тріщиною [2].

При цьому для оцінки довговічності конструкції з ушкодженнями необхідно визначити два періоди: N_1 – появи макротріщини і N_2 – поширення макротріщини до критичного стану. Число циклів напруження, необхідних для появи макротріщини у вершині витягнутого концентратора, визначається за емпіричним законом Коффіна-Менсона.

$$\Delta N \cdot \Delta \epsilon_p^n = C_0,$$

де C_0 – постійна, що характеризує властивості матеріалу лопатки; $\Delta \epsilon_p^n$ – розмах пластичної деформації поблизу вершини концентратора.

Період поширення макротріщини до критичного стану визначається за емпіричним законом Періса для швидкості поширення тріщини

$$v = dl/dN = C \cdot (K_{\max})^n; \quad N_2 = \int_{l_0}^{l_k} dl / C \cdot (K_{\max})^n,$$

де K_{\max} – один з максимальних КІН, в залежності від виду домінуючої деформації; l_0 , l_k – початкова і критична довжина тріщини; n , C – постійні, що характеризують властивості матеріалу лопатки.

Імовірність запропонованої методики підтверджена порівнянням результатів розрахунків з експериментальними даними, отриманими в Інституті проблем міцності НАН України.

Геометричні параметри лопатки й ушкодження показані на рис. 1 та рис. 2. Довговічність визначалася в годинах роботи двигуна на заданому режимі його роботи.

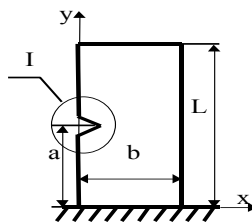


Рис. 1. Геометричні параметри лопатки

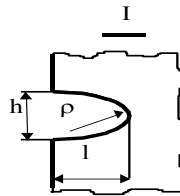


Рис. 2. Геометричні параметри пошкодження

В результаті розрахунку отримано графічні залежності довговічності лопатки від глибини, координати і геометричних параметрів ушкодження (забоїни) на передній крайці пера лопатки при різних режимах роботи АД. Ці залежності дозволяють визначити припустиму величину забоїн, при яких

лопатка не зруйнується протягом визначеного терміну експлуатації, а також визначити довговічність лопатки на заданому режимі роботи АД при наявності забоїн заданої величини і координати її розташування. На рис. 3 показані залежності довговічності лопатки від глибини забоїни та її координати по висоті пера лопатки при роботі АД на злітному режимі.

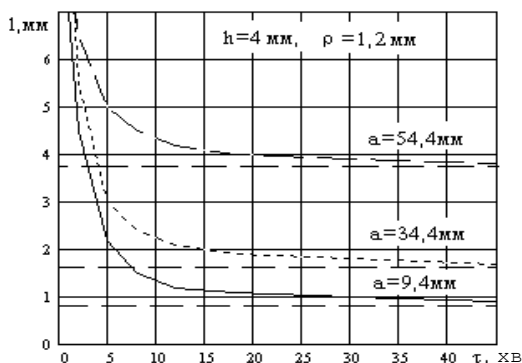


Рис. 3. Вплив глибини пошкодження на довговічність лопатки

Видно, що припустима глибина забоїни в периферійному перетині значно більше припустимої глибини забоїни в корені лопатки. Так, наприклад, якщо забоїна розташована на відстані 9,4 мм від кореневого перетину, то її припустима величина для роботи АД по сумарному наробітку протягом 50 хв складає 0,8 мм, а для забоїни, віддаленої на 54,4 мм від кореневого перетину складає 3,8 мм.

Таким чином, запропонована методика дозволяє оцінити довговічність ушкоджених лопаток компресора авіаційних ГТД і обґрунтувати рекомендації щодо його подальшої експлуатації. Дана методика може бути включена до складу загальної системи підтримки ухвалення рішення на продовження показників експлуатації авіаційної техніки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Морозов Е.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. – М.: Наука, 1980. – 186 с.
2. Тихомиров А.Е. Моделирование дефектов типа сквозных трещин при исследовании динамических характеристик элементов роторов авиационных двигателей // Научно-методические материалы по конструкции и системам управления авиационных силовых установок. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского. – 1985. – С. 97 – 106.

Надійшла 10.07.2002

ТИХОМИРОВ Андрій Євгенович, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри ХІ ВПС. В 1974 році закінчив Куйбишевський авіаційний інститут. Галузь наукових інте-

ресів – розробка, створення та експлуатація авіаційних двигунів.

ТАБУНЕНКО Володимир Олександрович, канд. техн. наук, нач. науково-дослідної лабораторії XI ВПС. В 1978 році закінчив Харківський інститут радіоелектроніки. Галузь наукових інтересів – розробка, створення та експлуатація літальних апаратів.
