

Аніпко О. Б., Тюріна В. Ю., Панкул О. М.

ЩОДО ОДНОГО ПІДХОДУ ДО ІНТЕГРАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МЕТОДОЛОГІЮ АНАЛІЗУ ДЕРЕВА ВІДМОВ

Анотація. Гібридний підхід поєднує аналіз дерева відмов (FTA) з нейронними мережами (LSTM) для підвищення точності прогнозування деградації авіаційних двигунів на основі часових рядів експлуатаційних даних, що сприяє переходу до прогнозованого технічного обслуговування (Predictive Maintenance).

Ключові слова Ключові слова: дерево відмов, ІІІ, LSTM, прогнозоване обслуговування, надійність, PHM.

Abstract. A hybrid approach combining Fault Tree Analysis (FTA) with LSTM neural networks is proposed to enhance the accuracy of aircraft engine degradation prediction based on operational time series data, facilitating the transition to Predictive Maintenance.

Key words: Keywords: fault tree, AI, LSTM, predictive maintenance, reliability, PHM.

Забезпечення надійності та безвідмовності авіаційної техніки є ключовим чинником підвищення бойової ефективності. Вирішальну роль відіграють авіаційні двигуни. Умови сучасних бойових дій висувають підвищені вимоги, а відмова силової установки становить загрозу. Завдання прогнозування технічного стану набуває пріоритетного значення [1-3]. Під терміном «елемент» розуміється як окрема деталь, так і вузол, система [4-5].

Розвиток методів діагностики спрямований на перехід до прогнозованого технічного обслуговування (Predictive Maintenance) у межах парадигми Prognostics and Health Management (PHM). Метод Fault Tree Analysis (FTA) ефективний, але не враховує динаміку зношення.

$$\text{Для систем без резервування ймовірність відмови: } P_{\text{sys}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (1)$$

$$\text{Інтегральна оцінка надійності: } P_{\text{int}} = \sum_{i=1}^n \omega_i - P_i(t) \quad (2)$$

Пропонований гібридний підхід (FTA-LSTM) інтегрує FTA з рекурентними нейронними мережами Long Short-Term Memory (LSTM). Модель LSTM навчається на часових рядах експлуатаційних параметрів (температура, вібрація, тиск) передбачати функцію імовірності відмови:

$$P_i(t + \Delta t) = f_{\text{LSTM}}(X_i(t)) \quad (3)$$

Отримані прогнози LSTM динамічно підставляються у дерево відмов, що дозволяє оновлювати оцінку надійності системи в реальному часі.

Інтеграція FTA та LSTM-мереж є доцільним напрямом для підвищення ефективності прогнозованого обслуговування авіаційного транспорту.

Список використаних джерел:

1. Аніпко О. Б., Калкаманов С.А., Приймак А. В. Формули пріоритетів і хінсайд-аналіз... – 2020. – №2. – С. 11-19.
2. Anipko O., Loginov V. An 'Intergation index'... // Transactions on Aerospace Research. – 2024. – Vol. 277, №4. – P. 27-44. DOI 10.2478/tar – 2024-0021.
3. Аніпко О.Б., Білий М.Ф. Дистрибутивний підхід... // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2020. – №2 – С. 79-83. DOI 10.20998/2078-5364.2020.2.09.
4. Стандарт ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Київ, ДП «УкрНДНЦ» 1994. – 96 с.
5. Стандарт ДСТУ 2498-94. Основні норми взаємозамінності. Київ, ДП «УкрНДНЦ» 1994. – 59 с.

6. Аніпко О.Б., Приймак А.В. Комплексування показників досконалості... // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2014. – №4 – С.43-50.
7. Аніпко О.Б., Приймак А.В., Миргород Ю.І. Перечень показателей свойств... / Інтегровані технології та енергозбереження. – 2013. – №1. – С. 123–125.
8. Труханов В.М. Надежность технических систем... Москва: Машиностроение, 2003. – 320 с.
9. Максимов Н.А., Боборыкин С.А., Виноградов А.И... Инженерно-авиационная служба... – Київ: КВИАВУ ВВС, 1969. – 467 с.
10. Mitrakhovych M.M. Skladni tekhnichni systemy. Kyiv: Nichlava, 1998.
11. Bar-Yam, Y. General Features of Complex Systems // Encyclopedia of Life Support Systems. EOLSS UNESCO Publishers, Oxford, UK, 2002.
12. Виклюк Я. І., Камінський Р. М., Пасічник В. В. Моделювання складних систем: навч. посібник. Львів: НУ «ЛП», 2024. 248 с.
13. Нові інформаційні технології, моделювання та автоматизація: монографія / За ред. О. Д. Мороза. Київ: Техніка, 2023. 320 с.
14. Шуай Фу і Ніколас П. Авделідіс. Прогнозування та управління станом... Кренфілдський університет, 23(19), 8124. <https://doi.org/10.3390/s23198124>
15. Кішор С. Триведі Андреа Боббіо. Аналіз дерева несправностей. Cambridge University Press. с. 201 – 270. <https://doi.org/10.1017/9781316163047.009>.
16. Лю Х. і Лю З. Гібридний підхід до діагностики несправностей... // Cambridge University Press. Випуск 118. с. 81– 97. <https://doi.org/10.1017/S0001924000008940>.

Аніпко Олег Борисович – доктор технічних наук, професор кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: o.m.pankul@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків. ORCID <https://orcid.org/0000-0000-3678-2529>. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.

Тюріна Валерія Юрійвна – кандидат технічних наук, кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: valery.kharkiv@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3444-143X>. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.

Панкул Олександр Миколайович – старший викладач кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: o.m.pankul@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків. ORCID <https://orcid.org/0000-0000-3005-0730>.

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.

Anipko Oleh Borysovych – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Aviation Engineering Support, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind. 61023, e-mail: o.m.pankul@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0000-3678-2529>

Tiurina Valeriia Iuriivna – Candidate of Technical Sciences, Department of Aviation Engineering Support, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind. 61023, e-mail: valery.kharkiv@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3444-143X>

Pankul Oleksandr Mykolaiovych – Senior Lecturer of the Department of Aviation Engineering Support, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind. 61023, e-mail: o.m.pankul@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0000-3005-0730>