



УДК 004.4

PREDICTION MODELS FOR RUL ESTIMATION IN OIL AND GAS INDUSTRY**ПРОГНОСТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ПІДРАХУНКУ RUL В КОНТЕКСТІ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ****Kropyvnytska V.B. / Кропивницька В.Б.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-5231-7104

Mahas D.M. / Магас Д.М.*post-graduate student / аспірант**Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano-Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, 76019*

Анотація. Дана стаття розглядає використання прогностичних моделей для підрахунку залишкового терміну експлуатації (RUL). Були представлені загальні сценарії використання окремих моделей для визначення показника RUL.

Ключові слова: залишковий термін експлуатації, RUL, прогнозоване технічне обслуговування, нафтогазова промисловість.

Вступ.

Визначення показника залишкового терміну експлуатації (RUL) є одним з ключових елементів прогнозованого технічного обслуговування та продовження терміну експлуатації технічного оснащення, що дозволяє зменшити час незапланованого простою підприємства та зменшити кількість забруднення навколишнього середовища спричиненого відмовами.

Основний текст.

Моделі для прогнозування RUL технічного оснащення, які найбільш широко використовуються в нафтогазовій промисловості, включають:

- модель Байєса;
- статистичні та стохастичні моделі;
- моделі обчислюваного інтелекту (англ. computational intelligence);
- фізика відмови (англ. PoF).

Після аналізу потенційних сценаріїв відмов технічних систем та оснащення певна прогностична модель повинна бути вибрана в кожному конкретному випадку. Одним зі способів вибору моделі є зіставлення підходів передбачення RUL та виду деградації (напр. деформація, зношення, корозія) або даних. Вибір оптимальної прогностичної моделі залежить від домінуючого виду відмови, що стосується певного технічного оснащення або підсистеми. Залежність деяких видів деградації та прогностичних моделей дослідив у своїй праці Око К. (таблиця 1) [1].

Байєсова модель (також відома як байєсова мережа) – це ймовірнісна графова модель, що представляє собою набір змінних та їхніх умовних залежностей за допомогою орієнтованого ациклічного графу. Дана модель дозволяє визначити як попередні розрахунки повинні бути зміненими, щоб врахувати нову інформацію (наприклад, зміну температури, отримання нових

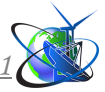


показників з приладів, тощо). Підхід Байєса дає змогу модифікувати початковий розрахунок витрат часу на основі додаткової інформації з метою отримання оновленого прогнозу витрат часу. Вайдя П. стверджував [2], що визначення RUL на основі моделі Байєса надає можливості для поєднання даних з систем моніторингу та експертних рішень з метою ефективною оцінки технічного стану оснащення та підсистем. Вибір даних для формування початкового значення є однією з складностей при використанні даної моделі, оскільки забезпечення потреби наявності якісних та достовірних даних є комплексною задачею. За відсутності попередніх даних, оптимальним способом вибору попереднього розподілу буде оцінка експерта. Розгорнуто питання використання моделі Байєса розглядає Гельман А. [3].

Таблиця 1 – Залежність окремих видів деградації та прогностичних моделей

Вид деградації	Вид прогностичної моделі			
	Байєсова	Стохастичні і статистичні	Обчислюваний інтелект (CI)	Фізика відмов (PoF)
Втома	+	+	+	+
Зношення	+	+	+	+
Деформація	-	-	-	+
Корозія	+	+	+	+

Статистичні розрахунки та стохастичні моделі використовуються у випадку зростаючої частоти появи відмови. Зокрема статистичні методи використовуються для обробки даних та допомоги у звуженні вибірки ймовірних відмов. Статистичний аналіз часто застосовується при розрахунку надійності технічного оснащення та оптимізації технічного обслуговування, на основі даних про відмови зібраних протягом часу функціонування системи. До поширених методів відносять: чисельні розрахунки, регресійний аналіз та визначення тенденцій. Варто зазначити, що також існують довідники (напр. MIL-HDBK-189, MIL-HDBK-217F, OREDA), які містять статистичні дані та моделі для механічних та електричних компонент, відповідно. Більш ґрунтовний огляд способів визначення RUL на основі статистичних даних було зроблено Сі С.Ш. у його дослідженні [4]. Однак, Вайдя П. та Росанд М. [5] зазначають у своїй праці, що даний підхід не повинен застосовуватись для визначення залишкового терміну експлуатації (RUL) для певних видів технічного оснащення та систем нафтогазової промисловості. Основною причиною, як зазначають автори, є недостатня кількість даних, що не дає змоги забезпечити достатньо низьку похибку. З іншого боку, стохастичні моделі застосовуються для моделювання процесу деградації технічного оснащення, інкорпоруючи динамічні змінні та погодні умови. Одними з поширених стохастичних моделей є: регресійні моделі, моделі пропорційної небезпеки,



моделі Кокса та Вейбула. Більш детальний огляд використання стохастичних моделей для підрахунку зробив Сінгпурвала Н.Д. [6].

Моделі обчислюваного інтелекту (англ. CI) опираються на різноманітні підходи та технології, серед яких: штучні нейронні мережі (англ. ANN), генетичні алгоритми (англ. GA) та нечітку логіку. Вони в свою чергу опираються на вхідні дані для формування результату та часто згадуються як методи м'яких обчислень (англ. soft computing). Дані отримані з сенсорів та іншого моніторингового обладнання можуть бути використані CI моделями для визначення терміну залишкової експлуатації (RUL). Детальний огляд CI моделей зробив Сіддік А. [7]. Однак, Вайдя П. та Росанд М. [5] стверджують, що використання даних моделей є непридатним для визначення RUL підводних конструкцій та технічного оснащення. Основними причинами цього є недостатня кількість вхідних даних, що спричинює неможливість тренування мережі, а також брак кваліфікованого персоналу для роботи з даними моделями.

Методи фізики відмови (англ. PoF) вимагають параметризованих даних та опираються на працювання з таких тем як оцінка життєвого циклу, екологічні процеси, умови експлуатації, вибір матеріалів та види деградації. Основною ціллю даних методів є виявити потенційні причини відмов та на основі аналізу даних знайти спосіб попередити їх на етапі проектування системи. В основі методів PoF лежать математичні принципи, котрі дають змогу оцінити термін служби та надійність складових системи. Методологія PoF може бути застосованою у широкому колі систем. Згідно з Вайдя П. та Росанд М. [5], даний підхід є ефективним способом визначення RUL в контексті нафтогазової промисловості, особливо для підприємств морського базування. Однією з причин є те, що значна частина управління здійснюється дистанційно та вимагає правильних та точних моделей для підтримки рішень стосовно продовження терміну експлуатації. Методи фізики відмов вважаються доволі надійними та точними для виконання LE аналізу та потребують менше даних з датчиків для формування ймовірного значення RUL. Вінінг І. і Белхімер Е. [8] стверджують, що дані з сенсорів нафтогазового підприємства морського базування є ненадійними, популяризуючи рішення на основі PoF. Останні в свою чергу є придатними для визначення RUL технічного оснащення, що піддається різноманітній деградації (напр. корозії, ерозії, тріщин від втоми металу).

Висновки.

Було розглянуто основні моделі та методи визначення залишкового терміну експлуатації (RUL). Наведено особливості використання моделей кожного розглянутого виду та висвітлено окремі актуальні роботи в контексті нафтогазової промисловості. Розуміння способів визначення RUL та розуміння їх доцільності в контексті кожного окремого підприємства, технічного оснащення або системи, дозволять з більшою ефективністю впроваджувати інноваційні підходи до продовження терміну експлуатації.

**Література:**

1. Okoh, C., Roy, R., Mehnen, J. and Redding, L. // Overview of Remaining Useful Life prediction techniques in Through-life Engineering Services. *Procedia CIRP*, 16, 158–163.
2. Vaidya, P. (2010). Prognosis - subsea oil and gas industry // Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, 10 - 14 October, Portland, USA, pp. 1–10.
3. Gelman, A., Carlin, J.B., Stern, H.S. and Rubin, D.B. // Bayesian data analysis. Boca Raton, FL, USA: Chapman & Hall/CRC.
4. Si, X.S., Wang, W., Hu, C.H. and Zhou, D.H. // Remaining useful life estimation - A review on the statistical data driven approaches. *European Journal of Operational Research*, 213(1), 1–14.
5. Vaidya, P. and Rausand, M. // Remaining useful life, technical health, and life extension. *Journal of Risk and Reliability*, 225(2), 219–231.
6. Singpurwalla, N.D. // (1995) Survival in dynamic environments. *Statistical Science*, 1(10), 86-103
7. Siddique, A., Yadava, G.S. and Singh, B. // (2003) Applications of artificial intelligence techniques for induction machine stator fault diagnostics: review. In; 4th IEEE International Symposium Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, 24-26 August, Georgia USA, pp. 29–34.
8. Winning, I.G. and Belhimer, E. // (2006) Practical Aspects of Field Monitoring of Corrosion. In: NACE International Conferene, 12-16 March, San Diego, California, USA, pp. 1-18.

Abstract. *This article is focused on the usage of prediction models for remaining useful life (RUL) estimation. General scenarios for the usage of specific models for RUL estimation were presented.*

Key words: *remaining useful life, RUL, predictive maintenance, oil and gas industry.*

Науковий керівник: к.т.н., доц. Кропивницька В.Б.

Стаття відправлена: 12.09.2022 г.

© Магас Д.М.