

УДК 004.852

**Кропивницька Віталія Богданівна**

*кандидат технічних наук, доцент*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

**Kropyvnytska Vitaliia**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

ORCID: 0000-0001-5231-7104

**Магас Дмитро Михайлович**

*аспірант*

*Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*

**Mahas Dmytro**

*Postgraduate Student of the*

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

## МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ RUL В КОНТЕКСТІ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

### RUL ESTIMATION APPROACHES IN OIL AND GAS INDUSTRY

**Анотація.** Визначення залишкового терміну експлуатації (RUL) відіграє ключову роль у прогнозованому технічному обслуговуванні та продовженні оригінального часу експлуатації, які в свою чергу дозволяють мінімізувати час простою підприємства та уникнути непередбачуваних ситуацій. В рамках цієї статті ми розглянемо основні методи розрахунку RUL в контексті нафтогазової промисловості.

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

**Summary.** Remaining Useful Life (RUL) estimation is one of the most important parts of predictive maintenance and original life extension. It helps to minimize the downtime and to avoid the unpredictable situations. In this article we'll have a look the main methods of RUL estimation in a context of oil and gas industry.

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

**Вступ.** Визначення залишкового терміну експлуатації (RUL) існуючих потужностей та технічного оснащення з метою продовження їх терміну експлуатації вважається однією з найбільш прибуткових стратегій управління нафтогазових підприємством. До переваг прогнозованого технічного обслуговування відносять: зменшення незапланованого простою, уникнення виробничих втрат, зменшення шкоди довкіллю спричиненого раптовими відмовами.

Методи визначення RUL у нафтогазовій сфері включають в себе як детерміновані так і імовірнісні. Класично прийнято виділяти наступні підходи [1]:

- фізичний;
- на основі даних;
- змішаний.

Дослідники Ахмадзаде Ф. (Ahmadzadeh F.) та Лундберг Я. (Lundberg J.) також виділяють експериментальний метод [2].

Фізичний метод передбачає формулювання теоретичних математичних моделей для інтерпретації деградації технічного оснащення та моделювання подальшого пошкодження. Дані моделі включають оцінку станів відмов таких як поширення тріщин та корозії, швидкість зносу, тощо [3]. У ситуаціях де точність передбачення є надзвичайно важливою і доступ до даних є обмеженим, фізичні моделі є хорошим варіантом. Однією з їх переваг є можливість включати додаткові складові при моделюванні, наприклад фактори навколишнього середовища. Ці моделі нерідко виражаються за допомогою диференціальних рівнянь і можуть

бути вирішені аналітичним методом або обрахунком з огляду на рівень їх складності. З їх допомогою з вираховували RUL швартових ланцюгів, підводних pomp, визначали ступінь майбутньої деградації внаслідок корозії та тріщин, формували рішення по продовженню терміну експлуатації.

Метод на основі даних інкорпорує використання мережі сенсорів для моніторингу стану спорядження. Опісля дані отримані з сенсорів та деякі з моделей (наприклад Байєсівська, Кокса, регресивні моделі, тощо) використовуються для оцінки залишкового часу експлуатації. Зокрема Калленберг розробив ймовірнісний підхід визначення RUL труб для печей риформінгу [4]. Запропонована методологія була використана для визначення кумулятивної ймовірності відмови, час до формування тріщин та час до відмови з огляду на терміни функціонування печі. Також Калленберг та Мюнстерман використали метод на основі даних щоб презентувати інструкцію по визначенню RUL для реактору каталітичного риформінгу у нафтопереробному заводі [5]. Роботи інших дослідників на основі даного методу стосувались RUL дросельних клапанів, впливу корозії на RUL коксових печей, залежності товщини трубопроводу та його RUL, тощо.

Змішаний метод був запропонований з огляду на обмеження обидвох попередніх методів — фізичного та на основі даних. Зі змішаним підходом переваги одного методу нівелюють недоліки іншого. Він поєднує дані отримувані з сенсорів та дані на основі фізичних розрахунків, щоб сформувавши новий та більш ефективний у визначенні RUL системи набір даних. У морському (шельфовому)

напрямку нафтогазової промисловості було декілька праць котрі базувались на змішаному підході та здебільшого стосувались підтримки процесу прийняття рішень. Дослідники Джаск та Шеннон поєднали аналітичні моделі з параметризованою технікою технічного огляду щоб передбачити RUL труб реформатору [6]. Науковець Ністад [7] запропонував модель передбачення для визначення RUL дросельних клапанів на платформі, що піддається ерозії спричиненої піском у свердловинах. Гола та Ністад [7] запропонували діагностично-прогностичну модель для передбачення RUL та технічний стан дросельних клапанів у нафтогазових платформах.

Експериментальний підхід передбачає збір даних для передбачення RUL на основі експериментів. Це дозволяє отримати більш точну репрезентацію та розуміння експлуатації та зміни стану технічного оснащення. Типовий процес базується на зіставленні даних отриманих з пришвидшеного тестування (ALT) у лабораторних умовах та тестових установок, які імітують реальні умови.

**Висновок.** Було розглянуто основні види підходи до визначення терміну залишкової експлуатації (RUL). Підмітимо що більшість дослідників схиляються до фізичного методу та методу на основі даних. Однак більшість таки схиляється до фізичного методу. Дослідник Хокстад підмічає, що з огляду на обмежений доступ до якісних даних в межах нафтогазової промисловості, фізичний підхід визначення RUL є найбільш вдалим для аналізу продовження терміну експлуатації (LE). Основною причиною цього є те, що даний підхід вимагає менше даних у порівнянні з іншими.

#### Література

1. Varde P. V., Tian J. and Pecht, M. G. Prognostics and health management based refurbishment for life extension of electronic systems // IEEE International Conference on Information and Automation, 28–30 July, Hailar, Hulun Buir, China. 2014. P. 1260–1267.
2. Ahmadzadeh F., Lundberg J. Remaining useful life estimation: review // International Journal of Systems Assurance Engineering and Management. 2013. No 5(4). P. 461–474.
3. Galar D., Kumar U., Lee J. Zhao W. Remaining useful life estimation using time trajectory tracking and support vector machines // 25th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering, Conference Series 364 (2012) 012063, 18–20 June 2012, Huddersfield, United Kingdom. doi: 10.1088/1742-6596/364/1/012063
4. Kallenberg G. P. Remaining life assessment of steam/methane and hydrogen reformer furnace tubes // NACE International Conference, 22–27 March, San Diego, California, USA, 1998. P. 1–10.
5. Animah I., Shafiee M. Condition assessment, remaining useful life prediction and life extension decision making for offshore oil and gas assets // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2017.
6. Jaske C. E., Shannon B. E. Current issues in optimizing the useful life of reformer tubes // Proceeding of the Corrosion Conference and Expo, 11–15 March, Nashville, Tennessee. 2007. P. 1–13.
7. Nystad B. H., Gola G., Hulsund J. E. Lifetime models for remaining useful life estimation with randomly distributed failure thresholds // European Conference of Prognostics and Health Management Society, 3–5 July, Dresden, Germany. 2012. P. 1–7.