

# ГАЗОВИЙ АНАЛІЗ ЯК ОСНОВНИЙ МЕТОД МОНІТОРИНГУ СТАНУ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

**С.Т. Самуляк**

Аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж  
ІФНТУНГ

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76000

Контактний тел.: (068) 541-24-13

e-mail: scipion.st@gmail.com

*В даній статті розглянуті основні алгоритмічні підходи проведення газового аналізу – методи лінійного та нелінійного моделювання, фільтрування і згладжування, використання нейромереж та експертних систем, теорія нечітких множин та генетичний алгоритм. Також проаналізовані їх переваги та недоліки*

## 1. Вступ

Газотурбінна установка – складна машина, для опису функціонування якої використовуються різні науки, такі як аеродинаміка, термодинаміка, механіка, гідромеханіка і хімія. І кожна з цих наук пропонує різні підходи і технології для моніторингу стану двигуна. В цілому, моніторинг можна умовно розділити на чотири функціональні області: газовий аналіз і тренди продуктивності, моніторинг масел і уламків, моніторинг вібрації, і моніторинг залишкового ресурсу газової турбіни. Ефективний моніторинг об'єднує в собі методи декількох функціональних областей, тим самим забезпечуючи найбільш обумовлений і імовірний результат. Дана стаття є аналізом останніх досягнень в області газового аналізу.

## 2. Суть газового аналізу

Газовий аналіз (GPA) є сферою, якій було присвячено більшість виданих робіт про моніторинг стану газотурбінних установок. Суть газового аналізу – визначення проблем в її компонентах за властивостями потоків газу. До поломок газотурбінних установок можна віднести ерозію, корозію, забруднення, пошкодження чужорідними об'єктами, зношені затвори, деформацію лопаток ротора, забивання паливних сопел, тріщини в лопатках, викликані зносом тощо [1]. Оскільки більшість відмов, які виникають в різних компонентах газотурбінних установок, впливають на потік газу, що проходить через неї, даний метод виявлення поломок є достатньо ефективним.

Мета моніторингу газового потоку полягає в тому, щоб зв'язати зміни, що спостерігаються у вимірюваних величинах і внутрішні відхилення параметрів газо-

турбінної установки. Ці внутрішні відхилення стають відчутнішими з часом, крім того збільшення розміру відхилень може бути прискорене специфічним робочим середовищем.

## 3. Основні алгоритми проведення газового аналізу

Відомо багато алгоритмічних підходів, які використовуються при аналізі газового потоку. Найбільш часто використовувані підходи описані нижче.

Оригінальна концепція газового аналізу базувалася на аналізі чутливості параметрів і одночасній оцінці комбінації первинних помилок і похибок датчиків [2]. В основному, аналіз чутливості забезпечує оцінку співвідношень між незалежними відхиленнями машинних параметрів і залежними змінними. Перевага аналізу чутливості параметрів полягає в тому, що він може виявити і виділити одиничні і множинні відмови, тим самим ізолюючи дефектні компоненти. Наприклад для більшості двигунів ефективність компресора може бути обчислена безпосередньо після вимірюваних температур і тиску [3].

Цей підхід широко застосовується як до тривалих змін, таких як деградація, так і до швидкоплинних змін, таких як помилки вимірювальних приладів.

Зв'язок між залежними і незалежними параметрами газотурбінної установки є нелінійним. Але на певному етапі для спрощення опису цього зв'язку вводиться лінійна апроксимація наступного вигляду:

$$\bar{z} = H \cdot \bar{x},$$

де  $\bar{z}$  – вектор залежних параметрів газотурбінної установки,

$H$  – матриця коефіцієнтів впливу,

$\bar{x}$  – вектор незалежних параметрів газотурбінного двигуна.

Використання методів на основі лінійного моделювання дозволяє проводити діагностування при невеликій продуктивності обчислювальної техніки. Але у цього підходу є недоліки, які в першу чергу виражаються наявністю похибок і шумів у вимірювальних приладах та необхідність постійно однакового набору некорельованих вимірних даних.

Методи основані на нелінійному моделюванні на відміну від лінійних методів припускають, що процес функціонування газотурбінної установки є нелінійним. Нелінійний зв'язок між залежними і незалежними параметрами газотурбінної установки може бути виражений наступним чином:

$$\bar{z} = F(\bar{x}) + \bar{v},$$

де  $\bar{z}$  – вектор залежних параметрів газотурбінної установки,

$F$  – нелінійна функція зв'язку,

$\bar{x}$  – вектор незалежних параметрів газотурбінної установки,

$\bar{v}$  – вектор, що враховує зашумленість вимірювальних пристроїв.

Методи на основі нелінійного моделювання є більш адекватними для діагностування і виявлення несправностей, але на відміну від методів на основі лінійного моделюванні їх порівняно складніше реалізувати і крім того вони потребують більш великої продуктивності обчислювальної техніки.

Фільтрування і згладжування – це процес виявлення найбільш відповідних значень для минулого і поточного станів певної змінної і відкидання не властивих для них значень [4]. Керовані даними фільтрування і згладжування є методами, які одними із перших почали використовуватись для моніторингу станів і виявлення несправностей. І аналіз чутливостей, і оціночні методи є підходами, заснованими на моделюванні, оскільки вони сильно покладаються на фізичну модель. А фільтрування – невід'ємна частина всіх заснованих на моделюванні підходів – воно використовується для поліпшення якості зібраних даних перш, ніж вони використовуватимуться моделлю.

Керовані даними фільтрування застосовується безпосередньо до вимірюваних змінних. Фільтр може бути лінійним і нелінійним. Приклади типового лінійного фільтру – експоненціальний фільтр, усереднюючий фільтр тощо. До нелінійних фільтрів можна віднести нейронні мережі, комбінації різних фільтрів і статистичних виводів [5, 6].

Один з найперспективніших напрямків газового аналізу є використання нейромереж. Нейромережі досить часто фігурують у наукових проектах та розробках вітчизняних та закордонних науковців, які стосуються проблеми діагностування газотурбінних двигунів. Засновані на нейронній мережі виявлення помилок в першу чергу розглядають як проблему розпізнавання образів, яка базується на виборі засобів, а також вимірюваннях.

В основному для діагностики газотурбінних установок використовуються три основні типи штучних нейронних мереж: нейромережа з прямим зв'язком,

нейромережа на основі радіальної базисної функції, і автоасоціативна нейромережа [7].

Нейромережі однаково ефективні як для моделювання тривалих деградацій, так і для виявлення швидкоплинних відхилень. Крім того, нейромережі більш ефективні для діагностування відмов в газотурбінних установках при повному навантаженні, ніж при частковому навантаженні у зв'язку з нелінійною зміною стану компонентів двигуна.

Теорія нечітких множин підходить для виявлення несправностей по неповній або неточній інформації. Спочатку виміряні дані на вході розподіляються на нечіткі набори, які характеризуються лінгвістичними змінними і функціями належності. Потім набори порівнюються і результатом цієї операції є вивід у вигляді числової величини або значень «true» та «false». Теорія нечітких множин типово застосовується до виявлення нетривалих за часом деградацій [8].

Генетичний алгоритм – це метод, оснований на моделюванні який по своїй природі схожий на методи на основі нелінійного моделювання. Генетичний алгоритм є найвідомішим на даний момент представником еволюційних алгоритмів і за своєю суттю є алгоритмом для знаходження глобального екстремуму багатоекстремальної функції. Він застосовується як ефективний оптимізаційний інструмент для знаходження набору параметрів двигуна, які використовуються для прогнозування за допомогою нелінійної моделі газотурбінної установки залежних параметрів, які найбільше збігаються з вимірними параметрами. Розв'язок вважається знайденим, коли мінімізуючи функція, яка є різницею між прогнозованими і фактичними значеннями залежних параметрів двигуна, набуває мінімального значення. Суть генетичного алгоритму полягає в паралельній обробці безлічі альтернативних рішень. При цьому пошук концентрується на найбільш перспективних з них [9].

Експертні системи і дерева прийняття рішень так само часто використовуються як ефективні інструментальні засоби пошуку несправностей та виявлення помилок.

Експертна система представляє собою комп'ютерну програму, яка пов'язана з базою знань на певну спеціалізовану тему, на основі цих знань вирішує проблеми або надає поради.

Експертні системи виходячи із значень основних вимірюваних параметрів класифікують стани газотурбінного двигуна і тим сам виявляють несправності в ньому. Закордонні вчені прийшли до висновку, що експертні системи самостійно не вирішують усіх проблем діагностування газотурбінного двигуна, але додають багато нових можливостей, які роблять цей процес більш ефективним, а також більш зручним.

Гібридні методи моніторингу стану двигуна є найбільш вигідними у зв'язку з тим, що вони суміщають в собі переваги використовуваних індивідуальних методів. Крім того в гібридних методах можна зменшувати вплив окремих індивідуальних методів залежно від типу даних, що обробляються.

---

#### 4. Висновки

---

Але навіть з використанням гібридних методів, не завжди можна добитися точної ідентифікації відмов

і їх джерел із-за браку інформації. Цей брак інформації виникає перш за все із-за недостатньої точності вимірювань або чутливості вимірювальних приладів, а також наявності однакових симптомів для різних видів відмов для певного набору даних. В результаті з'являється невизначеність по відношенню до стану газотурбінного двигуна.

Щоб зменшити невизначеність, діагностичні результати газового аналізу необхідно зіставляти з результатами інших діагностичних підходів, таких як аналіз вібрації і аналіз масел.

#### Література

1. Urban, L. A.; "Gas Path Analysis Applied to Turbine Engine Condition Monitoring;" J. of Aircraft, Vol. 10, No. 7, July 1973.
2. Urban, L. A.; "Gas Path Analysis Applied to Turbine Engine Condition Monitoring;" AIAA Paper 72-1082, December 1972.
3. Doel, D. L.; "Interpretation of Weighted-Least-Squares Gas Path Analysis Results;" Proceedings of ASME Turbo Expo 2002, Amsterdam, The Netherlands.
4. Bryson, A. E. and Ho, Y. C.; Applied Optimal Control – Optimization, Estimation, and Control; revised printing, Hemisphere Publishing Corporation, 1975.
5. Ganguli, R.; "Data Rectification and Detection of Trend Shifts in Jet Engine Gas Path Measurements using Median Filters and Fuzzy Logic;" Proceedings of ASME Turbo Expo 2001, New Orleans, USA.
6. DePold, H., et al.; "Validation of Diagnostic Data with Statistical Analysis and Embedded Knowledge;" Proceedings of ASME Turbo Expo 2003, FT2003-38764.
7. Mattern, D. L., et al.; "Using Neural Networks for Sensor Validation;" paper presented at the 34th Joint Propulsion Conference, Seattle, WA, 1998; AIAA 98-3547.
8. Ganguli, R.; "Application of Fuzzy Logic for Fault Isolation of Jet Engines;" Proceedings of ASME Turbo Expo 2001, New Orleans, USA; 2001-GT-0013.
9. Cranfield University; "Introduction to Genetic Algorithms;" Gas Turbine Diagnostics, Prognostics, and Simulation Short Course, London, UK, March 2004.

УДК 004.9: 912,648

# РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МІСТА КУП'ЯНСЬКА

*У статті розглянуті питання, пов'язані з можливістю удосконалення та оптимізацією робіт міської служби водопостачання за допомогою ГІС – технологій. Описані методи допоможуть вирішити значно ширший спектр задач по обслуговуванню інженерної мережі та здійснювати контроль за її станом*

**А.Є. Мезиненко**  
Студентка\*

Контактний тел.: 8-066-558-38-84  
E-mail: Mezinenko-Anna@mail.ru

**В.Д. Шипулін**

Кандидат технічних наук, професор  
Кафедра геоінформаційних систем та геодезії\*  
Контактний тел.: (057) 707-31-04  
E-mail: vshypulin@yahoo.com

\*Харківської національної академії міського господарства  
вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61002

#### Вступ

Останнім часом відбувається швидкий розвиток геоінформаційних систем (ГІС). Це дає змогу опти-

мізувати, підняти на наступний рівень роботу служб водопостачання міста.

Мета статті – довести, що актуальні задачі, у рішенні яких зацікавлені робітники Водоканалу, можливо