



Наступний крок – визначення алгоритму керування: створення точки доступу між WIFI і гаджетом, щоб в подальшому виконувати подання команд маніпулятору через браузер, або використання MQTT протоколу [2] і формування обміну даними через брокера, що потребує доєднання до інтернету через WIFI з можливістю подальшого керування з будь-якої точки світу.

Надалі планується дослідити обидва способи керування і налагодити керування маніпулятором. Розвиток даного напрямку відкриває горизонти формування безпечного дистанційного контролю і керування маніпуляторами та іншими пристроями на виробництві [3].

Перелік посилань

1. Онлайн симулятор електричних кіл [Електронний ресурс] // Wokwi : сайт. – Режим доступу: <https://wokwi.com> (27.04.25)
2. MQTT platform [Електронний ресурс] // EMQX Cloud : сайт. – Режим доступу: <https://www.emqx.com/en> (27.04.25)
3. Fatih Cemal Can Arduino based planar two dof robot manipulator [Text] / Fatih Cemal Can // Journal of Mechanics Engineering and Automation. – 2018. – Vol. 8. – P. 110-117. – doi: 10.17265/2159-5275/2018.03.002
4. Security at the Edge for Resource-Limited IoT Devices [Text] / D. Canavese, L. Mannella, L. Regano, C. Basile // Sensors. – 2024. – Vol. 24. – 590 p. doi: <https://doi.org/10.3390/s24020590>

АЛГОРИТМ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ГТД З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

В. Р. Галетинко, О. Д. Дегтярьов, К. В. Фесенко

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Газотурбінні двигуни (ГТД) є критичними компонентами у різних галузях, таких як енергетика, авіація, транспортна та морська інфраструктура. Для забезпечення безперебійної та ефективної роботи ГТД важливо постійно контролювати їх технічний стан. Віддалений моніторинг з метою діагностики є важливою частиною технічного обслуговування, що дозволяє оператору отримувати інформацію про роботу двигуна в режимі реального часу, без необхідності безпосереднього фізичного доступу до нього.

Сучасні технології віддаленого моніторингу включають використання різних методів збору, передачі та обробки даних. Використання таких методів у поєднанні з алгоритмами машинного навчання й штучного інтелекту (ШІ) дає змогу значно покращити ефективність моніторингу та мінімізувати ризики несправностей і аварій.

За допомогою різних методів можна здійснювати оперативний аналіз потоку даних, отриманих від датчиків, для виявлення аномалій, прогнозування несправностей, а також оптимізації роботи обладнання. Алгоритми, що використовуються для обробки даних сенсорів, варіюються залежно від типу зібраних даних, задачі та специфіки застосування. Основною метою таких алгоритмів є



перетворення величезного обсягу сирих даних у корисну інформацію з мінімальними затримками, що дозволяє приймати ефективні рішення щодо стану об'єкта та здійснювати швидкі коригувальні дії. Завдяки розвитку методів машинного навчання, ці алгоритми стають більш точними і ефективними, що дозволяє значно покращити безпеку та продуктивність технічних систем.

Штучний інтелект стає важливим інструментом для оптимізації технічного обслуговування в різних галузях, включаючи енергетичну, транспортну, промислову та інші сфери. Застосування ШІ дозволяє знизити витрати на обслуговування, підвищити ефективність робочих процесів, покращити безпеку та продовжити термін служби обладнання. Впровадження таких технологій забезпечує високу надійність обладнання та систем, що є критично важливим для забезпечення безперервної роботи складних технічних систем.

Для отримання алгоритму віддаленого моніторингу стану ГТД із можливим застосуванням методів штучного інтелекту зроблено деякі дослідження, а саме:

- проведено умовні збір і обробку великого масиву даних параметрів еталонного двигуна на прикладі дослідження кліматичної характеристики ГТД;
- розраховано дросельну характеристику двигуна за різних температурах повітря на вході в ГТД з метою подальшого збору даних (рис. 1);
- отримано математичну залежність потужності двигуна від витрати палива та температури атмосферного повітря (тут потужність обрано як один з основних контролюємих параметрів двигуна) з можливістю подальшої імплементації цієї функції для навчання ШІ.

Математична залежність потужності двигуна від витрати палива та температури атмосферного повітря отримана за допомогою регресійного аналізу, вона дозволяє порахувати потужність двигуна в залежності від витрати палива при будь-якій температурі атмосферного повітря в діапазоні від -50 до 50 °C.

На прикладі отримання цієї залежності можна розробити алгоритм віддаленого моніторингу цього параметру ГТД. Ось основні його кроки:

1. Збір і обробка великого масиву даних досліджуваного параметра еталонного двигуна.
2. Створення математичної залежності досліджуваного параметра від факторів, які впливають на його зміну, за допомогою регресійного аналізу.
3. Валідація створеної залежності, знайдення меж її використання.
4. За допомогою машинного навчання впровадження створеної залежності в систему віддаленого моніторингу стану двигуна.
5. За допомогою ШІ миттєве розпізнавання позаштатної ситуації, яка виникає при отриманні значення дослідженого параметра, яке виходить за межі валідних значень створеної залежності.
6. Усунення позаштатної ситуації.

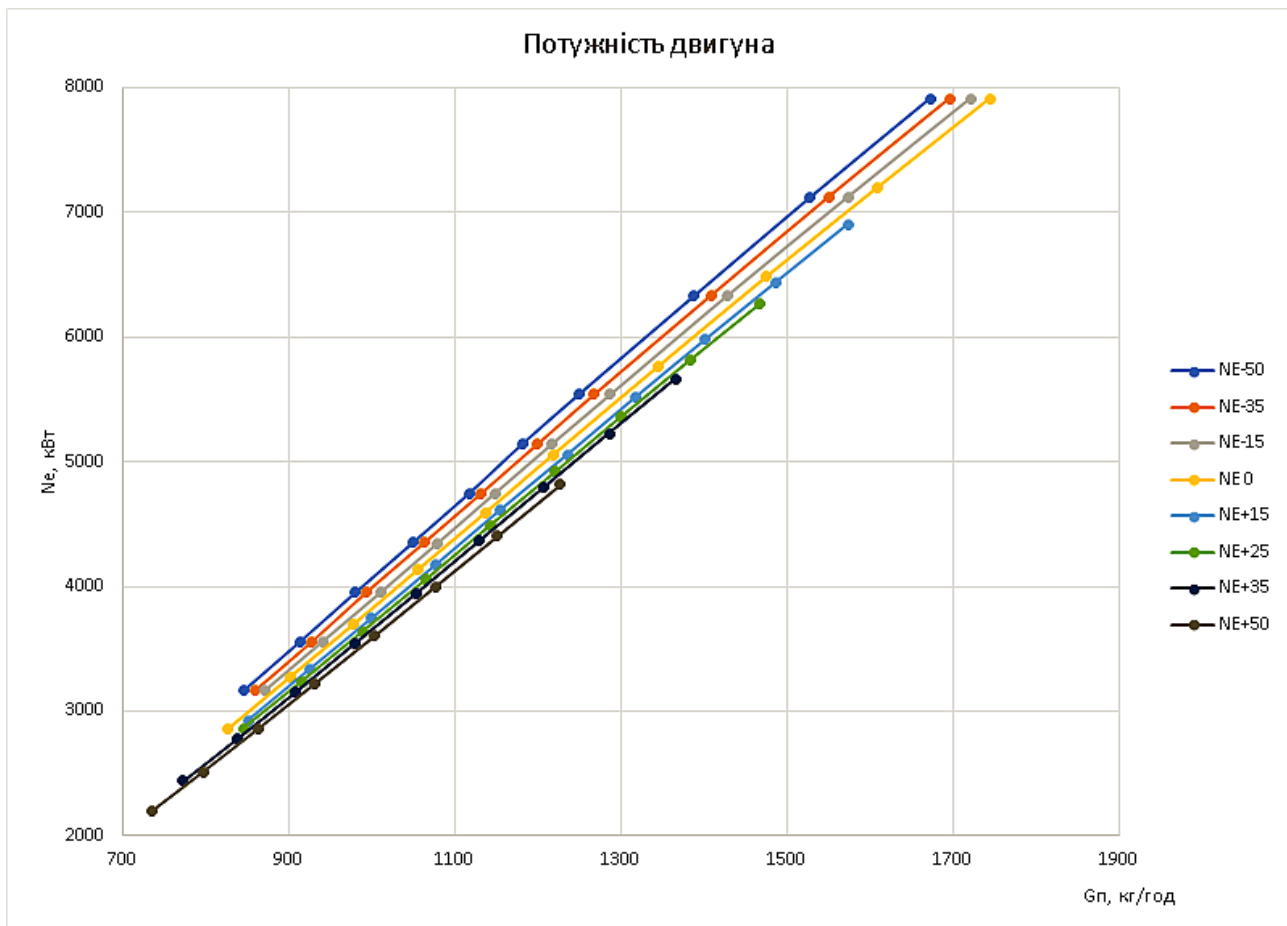


Рис. 1 – Залежність потужності двигуна від витрати палива при обраних температурах атмосферного повітря

Тут потужність обрано як один з основних контрольованих параметрів двигуна, але за допомогою ІІІ можна зробити математичні залежності для будь-яких інших параметрів двигуна, значення яких можливо виміряти датчиками.

У майбутньому одним із основних напрямків використання ІІІ у віддаленому моніторингу стану ГТД повинно бути не просто відстеження ситуації зі станом двигуна у реальному часі, а прогнозне обслуговування. ІІІ аналізуватиме дані від сенсорів, щоб передбачити можливі несправності та втручання до того, як проблема стане серйозною.