

## ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ З ПРЕДИКТИВНОЮ МОДЕЛЛЮ ДЛЯ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ

*Д.І. Іванов<sup>1</sup>, С.Ю. Білик<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> магістрант кафедри Двигунів та Гібридних Енергетичних Установок, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

<sup>2</sup> доцент кафедри Двигунів та Гібридних Енергетичних Установок, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна [Serhii.Bilyk@khp.edu.ua](mailto:Serhii.Bilyk@khp.edu.ua)

На сьогодні у світі в експлуатації перебуває величезна кількість стаціонарних і транспортних енергетичних установок, в основі яких закладено двигун внутрішнього згоряння. Сумарна потужність ДВЗ у п'ять разів перевищує потужність всіх стаціонарних електростанцій світу, порівняно з двигунами інших типів, з енергетичними установками електричних силових установок електромобілів, гібридів, двигунів, що працюють на водні, та інших альтернативних видах палива - використання ДВЗ залишається майже безальтернативним, як станом на тепер, так і в оглядному майбутньому. Стирання кордонів між цифровим світом і фізичними продуктами призвело до появи такого поняття як четверта промислова революція, або Індустрія 4.0. В основі цієї революції знаходяться розумні технологічні програми, такі як глобальне підключення, великі дані, машинне навчання та віртуальна реальність. Технологія Digital Twin (Цифровий двійник) поєднує ці додатки та стала ключовим компонентом Індустрії 4.0. Проблема прогнозування технічного стану двигунів внутрішнього згоряння полягає в тому, що двигун сам по собі є складним агрегатом, що містить величезну кількість систем і вузлів, які працюють під впливом великої кількості чинників (температура, тиск, тертя, контакт з агресивними середовищами тощо). Проте можливість прогнозування технічного стану такого складного і дорогого агрегату є актуальною і затребуваною ідеєю.

Завдання полягає в тому, щоб, застосовуючи технологію цифрових двійників з системою прогнозування технічного стану, оцінити реальний технічний стан двигуна і, ґрунтуючись на цих даних, задати оптимальні терміни технічного обслуговування, а також запобігти аварійним випадкам, що призводять до дорогого ремонту, а то й до повної заміни агрегату.

Використання технології цифрових двійників з можливістю прогнозування технічного стану, введення адаптивних інтервалів обслуговування, та віддалений моніторинг з системою керування є доволі актуальним напрямом для проведення досліджень в цій області. Моніторинг реальних умов для двигуна покладається на систему в основі якої закладено технології цифрових двійників з прогностичною моделлю. Така система може бути інтегрована в блок керування двигуном, може бути застосована як окрема система зі своїми власними датчиками та вимірювальними пристроями [3]. Відстеження та керування такими двигунами можливо за допомогою інтернету речей (Internet of Things, IoT). Інтернет речей — це комплекс пристроїв, які взаємодіють між собою і з зовнішнім середовищем через мережу зв'язку. Завдяки IoT можна автоматично і в режимі реального часу відстежувати роботу різних систем і виконання процесів [1]. Таким чином, використовуючи інтернет речей, відстежувати роботу двигуна може не тільки компанія що експлуатує його, а і наприклад сервісна фірма, що проводить технічне обслуговування. Тим самим остання, використовуючи систему прогнозування (базовану на предиктивній моделі двигуна в інтернеті речей),

може спланувати свої роботи по технічному обслуговуванню з мінімальною участю посередніх факторів, беручи до уваги лише реальний технічний стан двигуна.

Використовуючи технологію цифрових двійників та інтернет речей всі користувачі мають доступ до інформації в реальному часі про поточний стан двигуна, покази його датчиків, крім того компанія що експлуатує двигун має можливість керування ним за потреби. Сертифікована сервісна компанія має доступ до двигуна з метою його технічного обслуговування, проведення планових, аварійних ремонтів, та налагоджувальних робіт, має постійний контакт з виробником двигуна задля обміну технічною інформацією. Технологія цифрових двійників для сервісної компанії в першу чергу несе зацікавленість в можливості інтегрування системи прогнозування технічного стану в двійника у вигляді прогностичної математичної моделі [3]. Це дає змогу адаптувати сервісні інтервали до реальних умов експлуатації, оптимізувати час проведення технічного обслуговування, спланувати складський запас необхідних запасних частин, та за можливості передбачити аварійні та позаштатні ситуації, опираючись на покази цифрового двійника [2]. Під можливістю адаптування сервісних інтервалів під умови експлуатації мається на увазі продовження або скорочення їх в залежності від того в яких експлуатаційних та навантажувальних умовах працює двигун, якої якості використовуються запчастини та розхідні матеріали для його обслуговування. Для компанії виробника використання інформації з інтернету речей про стан двигуна може бути в нагоді при настанні гарантійного або негарантійного випадку, таким чином є можливість оцінити покази та режими роботи при яких стався аварійний зупин двигуна. Також є можливість накопичити інформацію в вигляді статистичного нагляду за своїм продуктом.

На основі викладеного в статті матеріалу можна зробити висновок, що використання технології цифрових двійників з предиктивною моделлю для стаціонарних газових двигунів допомагає у вирішенні декількох задач, а саме:

1. Дозволяє контролювати стан двигуна, та керувати ним через інтернет речей.
2. Дає можливість мінімізувати аварійні випадки, та вчасно виявити несправності.
3. Адаптувати інтервали обслуговування під реальні умови експлуатації.
4. Мінімізувати людський фактор при керуванні силовою установкою.

Майбутня основна задача в цьому напрямку це синхронізація Інтернету речей, технології цифрових двійників з системою прогнозування технічного стану та конструкцією двигуна в цілому.

### **Список літератури:**

1. Прохоренко А.О., Кравченко С.С., Таланін Д.С., Самойленко Д.Є. Предиктивна модель двигуна в інтернеті речей // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT -2018)
2. Іванов Д.І., Білик С.Ю. Прогнозування технічного стану двз в інтернеті речей // Тези доповідей XXXI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2023, 17–20 травня 2023 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. — Харків : НТУ«ХПІ». — с 139.
3. Ivanov D., Bilyk S. Analysis of the problem of integrating an engine technical condition prediction system // Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor = Technical Scientific Conference of Undergraduate, Master and PhD Students, 5-7 aprilie 2023, Chișinău / comitetul științific: Bostan Viorel [et al.]. — Chișinău: [Tehnica-UTM], 2023 – 401p