

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Вінницький навчально-науковий інститут економіки
Кафедра економіки, обліку та оподаткування

Рибак О.О

Підвищення ефективності діагностування двигунів
ЯМЗ-238
Improving the efficiency of engine diagnostics
YaMZ-238

Спеціальність 274 – Автомобільний транспорт
Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи
АТмвн-21

Кваліфікаційна робота
Допущено до захисту
_____ 2024 р.
Завідувач кафедри
_____ В.М.Пилявець

Вінниця 2024

АНОТАЦІЯ

Рибак О.О. Підвищення ефективності діагностування двигунів ЯМЗ-238 . - Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», освітньо-професійна програма. - Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024.

У роботі проведено аналіз впливу факторів на ефективність системи централізованого ремонту за технічним станом (ЦРТС) компонентів автомобілів, розроблено методику виявлення дефектів компонентів автомобілів за допомогою математичних моделей штучних нейронних мереж (ШНМ), розроблено систему метрологічного забезпечення для експериментального дослідження на етапі передремонтної діагностики в рамках ЦРТС.

ANNOTATION

Ribak O.O. Improving the efficiency of engine diagnostics YaMZ-238. - Manuscript.

Continuing to obtain the master's degree in specialty 274 "Automotive transport", educational and professional program. - Western Ukrainian National University, Ternopil, 2024.

The work carried out an analysis of the influx of factors on the effectiveness of the centralized repair system at the technical mill (CRTS) of automobile components, developed a method for identifying defects in automobile components using mathematical models of piece neural networks (CNM), a metrological security system has been developed for experimental follow-up at the stage of pre-repair diagnostics within the framework of the CRTS.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
УСТАТКУВАННЯ.....	6
1.1.Конструкція та технічна характеристика двигуна ЯМЗ-238.....	6
1.2.Тепловий розрахунок двигуна ЯМЗ-238 на дослідницьких режимах паливоподачі.....	12
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ.....	
2.1. Ефективність ЦРТС агрегатів автомобільного транспорту.....	16
2.2. Застосування штучних когнітивних систем в процесах діагностування складних технічних пристроїв.....	22
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ АРМ ОПЕРАТОРА- ДІАГНОСТА.....	
3.1. Структурна схема АРМ оператора-діагнosta.....	29
3.2. Розрахунок порівняльного економічного ефекту результатів дослідження.....	34
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42
ДОДАТКИ.....	45

ВСТУП

Актуальність дослідження. Централізований ремонт за технічним станом (ЦРТС) представляє собою передовий підхід до обслуговування автомобільного транспорту, заснований на детальній діагностиці кожного компоненту перед ремонтом для виявлення можливих дефектів. Основною особливістю цього методу є активна участь оператора-діагноста, який взаємодіє з машинною системою під час діагностичних процедур. Втім, людський фактор часто виявляється найбільш вразливою частиною системи, оскільки оператор може припускатися помилок через суб'єктивне сприйняття інформації або недостатній професійний рівень.

Ретельний аналіз діагностичних процесів виявив, що значна кількість помилок при виявленні дефектів і подальшому направленні агрегатів на ремонт зумовлена впливом оператора. Мінімізація або повне усунення цього впливу може знизити кількість діагностичних помилок. Це можливо через впровадження автоматизованих систем та розробку інтелектуальних діагностичних технологій, які б забезпечували об'єктивне та точне оцінювання стану агрегатів, незалежно від людського фактора. Така автоматизація процесів діагностики не лише зменшить число помилок, але й забезпечить підвищення ефективності ремонтних робіт та забезпечить надійний контроль за якістю виконання ремонтів.

Для зниження втрат, пов'язаних з помилками передремонтного діагностування автомобільних агрегатів, перспективним є використання штучних когнітивних систем, що базуються на математичному апараті штучних нейронних мереж (ШНМ).

Теоретична база дослідження ґрунтується на роботах вітчизняних і зарубіжних учених, які займаються вдосконаленням процесів визначення технічного стану автомобільного транспорту під час технічного обслуговування і ремонту, а також у сфері застосування ШНМ для технічної діагностики. Серед них - праці Є.В. Бондаренка, Н.Я. Говорущенка, Л.В. Дехтерінського, А.А.

Іцковича, В.І. Карагодіна, В.Н. Красовського, Е.С. Кузнєцова, В.В. Попцова, А.М. Шейніна та інших, а також Л.Н. Ясницького, Е. Frisk, D.W. Dawei, С. Svärd, що вивчали застосування ШНМ у технічній діагностиці.

Мета дослідження полягає у створенні підсистеми передремонтної діагностики компонентів автомобілів (на прикладі двигунів ЯМЗ-238) за допомогою автоматизованого робочого місця діагноста-оператора. Це дозволить знизити виробничі втрати в рамках системи централізованого ремонту за технічним станом. Завдяки автоматизації, діагностична система на основі штучних нейронних мереж (ШНМ) забезпечить більш точне виявлення дефектів та об'єктивне визначення технічного стану агрегатів, підвищуючи ефективність ремонтних робіт та зменшуючи ризик діагностичних помилок.

Завдання дослідження включають:

1.Провести аналіз впливу факторів, що впливають на ефективність системи централізованого ремонту за технічним станом (ЦРТС) компонентів автомобілів, та оцінити їх вплив на якість ремонту.

2.Розробити методику виявлення дефектів компонентів автомобілів за допомогою математичних моделей штучних нейронних мереж (ШНМ), з метою оптимального розподілу компонентів по технологічних маршрутах ремонту, що визначаються комплексами ремонтних робіт (КРР).

3.Розробити систему метрологічного забезпечення для експериментального дослідження на етапі передремонтної діагностики в рамках ЦРТС, що гарантує точність та відтворюваність результатів.

4.Створити структурну схему автоматизованого робочого місця (АРМ) діагноста-оператора, основою якого є оригінальне програмне забезпечення (ПЗ), призначене для підтримки процесу діагностики та розподілу агрегатів за маршрутами ремонту.

5.Провести оцінку очікуваного економічного ефекту від впровадження результатів дослідження у процес централізованого ремонту, оцінюючи зниження втрат та підвищення якості ремонтних робіт.

Об'єкт дослідження охоплює компоненти вантажних автомобілів, зокрема двигуни ЯМЗ-238 та їхні модифікації, що входять у процес централізованого ремонту за технічним станом.

Предмет дослідження зосереджено на виявленні та класифікації дефектів в автомобільних агрегатах, які надходять на ремонт, та їх подальшому розподілі за технологічними лініями ремонту на основі діагностики їх технічного стану.

Наукова новизна дослідження полягає у такому:

Розроблено методику систематизації агрегатів автомобілів по технологічним маршрутам ремонту (КРР), засновану на використанні математичних моделей штучних нейронних мереж (ШНМ), що значно зменшує вплив суб'єктивної оцінки діагноста на процес ідентифікації та класифікації дефектів, виявлених під час централізованого ремонту за технічним станом.

Створено методику аналізу емпіричних даних для конструювання ШНМ, здатних із високим ступенем точності ідентифікувати дефекти в агрегатах автомобілів, які поступають до ЦРТС, і відповідно розподіляти їх за належними маршрутами ремонту.

Наукова новизна дослідження полягає у тому, що вперше експериментально доведено ефективність використання штучних нейронних мереж у процесі передремонтної діагностики компонентів автомобілів, що проходять через ЦРТС, що підтверджує їхню високу ефективність та перспективність для автоматизації діагностичних процедур.

Практична значимість дослідження полягає у розробці структурної схеми організації та взаємодії елементів автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-діагноста, що забезпечує оптимальний розподіл агрегатів автомобілів, які надходять в ЦРТС, за технологічними маршрутами ремонту (КРР) на підприємстві. Це сприяє зниженню втрат, підвищенню ефективності процесів ремонту та об'єктивності діагностування.

Структура дипломної роботи. Дана дипломна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Конструкція та технічна характеристика двигуна ЯМЗ-238Д

Двигун ЯМЗ-238 - це восьмициліндровий, V-подібний дизельний двигун з високим ступенем надійності, який широко застосовується в автомобілях, спецтехніці, тракторах та інших машинах.

Двигуни ЯМЗ-238 встановлюються на вантажні автомобілі КрАЗ, Урал, МАЗ; спецтехніку МоАЗ; бульдозер ДЗ-240С; суднові двигуни і дизель-редукторні агрегати; кормозбиральні комбайни; дорожні машини; моторні платформи; залізнодорожні крани; автомотриси; шнекороторні снігоочисники; дизель-електростанції і блоки живлення АД100, ЕД100 потужністю 100 кВт; дизель-генераторні установки.

Тип двигуна: дизель, 8-циліндровий, з V-подібним розташуванням циліндрів, чотиритактний з запалюванням від стиснення, безпосереднім впорскуванням палива, рідинним охолодженням. Існують атмосферні версії двигуна, а також більш потужні моделі з газотурбінним наддувом [14].

Дизелі ЯМЗ-238 розраховані на експлуатацію при температурі навколишнього повітря від -45°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

Двигуни ЯМЗ-238 мають багато модифікацій та виконань, для яких технічні характеристики можуть відрізнятися. В даній магістерській роботі розглядається двигун модифікації ЯМЗ-238Д.

Система живлення дизеля ЯМЗ-238 складається з паливного насоса, форсунок, трубопроводів низького і високого тиску, повітроочисника, впускного і випускного колекторів, паливних фільтрів грубого і тонкого очищення, паливного бака, встановленого на автомобілі, тракторі або екскаваторі.

На дизель ЯМЗ-238 і його модифікації встановлюється паливний насос високого тиску «ЯЗТА». Всі моделі насосів приводяться від колінчастого вала

дизеля через розподільні шестерні. Паливний насос має всережимний регулятор і підкачуючий насос поршневого типу, два важелі управління.

Основні технічні характеристики двигуна:

Характеристика	Значення
Тип двигуна	Дизельний, чотиритактний, V-подібний
Кількість циліндрів	8
Кут розвалу блоків циліндрів	90°
Робочий об'єм, л	14,86
Діаметр циліндра, мм	130
Хід поршня, мм	140
Ступінь стиснення	16,5
Номінальна потужність, к.с.	240-330 (залежно від модифікації)
Номінальна частота обертання, об/хв	2000
Максимальний крутний момент, Н·м	1274 при 1400-1600 об/хв
Маса двигуна (сухий), кг	985
Система живлення	Механічний паливний насос високого тиску (ПНВТ)
Система впуску	Безнаддувний або з турбонаддувом (модифікації)
Система охолодження	Рідинна, замкнута, з примусовою циркуляцією
Система мастила	Комбінована: під тиском і розбризкуванням
Паливо	Дизельне паливо
Питома витрата палива, г/кВт·год	218-238 (в залежності від режиму роботи)
Ресурс до капітального ремонту, год	8000-10000

У регуляторі насоса розміщується коректор подачі палива, автоматичний збагачувач подачі палива (на пускових обертах), а крім того, є пневматичний обмежувач димлення (пневмокоректор).

Підкачуючий насос встановлений на корпусі насоса високого тиску і наводиться ексцентриком кулачкового вала.

Робочі деталі паливних насосів змащуються проточним маслом, що надходить із системи мащення дизеля в корпус насоса через спеціальний отвір у фланці. Злив масла з корпусу насоса в картер дизеля здійснюється через спеціальне свердління у фланці. (зовнішній вигляд двигуна зображено у ДОДАТКУ А).

Двигуни родини ЯМЗ-236/238/240 відомі у великій кількості виконань – як атмосферні, так і з газотурбінним наддувом. Тому, згідно до теми магістерського дослідження впливу параметрів паливоподачі на техніко-економічні показники дизельного двигуна, в розділі наведено аналіз досліджень провідних фахівців за даним напрямком, визначено вимоги до основних показників дизеля, що впливають на його потужність та питому витрату палива.

Паливна система дизельного двигуна забезпечує зберігання, підготовку і подачу палива в певний період робочого циклу і його розподіл в камері згорання. Система також здійснює дозування палива при подачі його в циліндри [1]. Для згорання в циліндрі паливо розпилюється на краплі розміром в декілька мікрон. Цього вдається досягти при впорскуванні палива через отвір форсунки діаметром 0,1...0,8 мм зі швидкістю 200...400 м/с. Це потребує подачі палива під високим тиском (до 150...250 МПа) [1, 2].

При роботі двигуна зміна теплоти згорання паливоповітряної суміші можлива лише шляхом коригування якості суміші, тобто коефіцієнта надлишку повітря α .

В дизельному ДВЗ кількість повітря, що потрапляє до циліндрів, залишається незмінною, а змінюється витрата впорскуваного через форсунку палива. Це призводить до зміни α . Такий спосіб регулювання називається якісним регулюванням.

Специфічні особливості утворення робочої суміші і процесу згорання в дизеля визначають можливість швидкого запалювання та повного згорання палива при великих коефіцієнтах надлишку повітря [1]. За характером процесу сумішоутворення і пов'язаного з ним процесу згорання можна говорити про три типи процесів сумішоутворення: об'ємному, плівковому і об'ємно-плівковому. Практично в сучасних дизельних двигунах реалізується змішаний тип сумішоутворення [3].

Повне згорання палива в циліндрі ДВЗ отримати дуже складно. В дизельних двигунах неповне згорання має місце навіть у тому випадку, коли є надлишок повітря в порівнянні з теоретично необхідною його кількістю для повного окислення основних компонентів палива. Це пояснюється труднощами організації рівномірного змішування палива з повітрям. Тому, хоча в камері згорання є надлишок повітря, в багатьох зонах камери згорання паливо не знаходить необхідного для повного згорання кисню за обмежений проміжок часу [4].

Своєрідність згорання палива в дизелях полягає ще й в тому, що при локальній нестачі повітря вуглець палива майже не згорає в оксид вуглецю, а утворює сажу. Процес утворення сажі інтенсифікується при тиску 5...7 МПа і температурах вище за 650...750 °С.

Якщо при незмінній кількості повітря, що надійшло до циліндра працюючого дизеля, збільшувати кількість впорскнутого палива, то повнота згорання прогресивно погіршується. Об'єктивно це погіршення можна спостерігати по збільшенню димності відпрацьованих газів. Ступінь димності оцінюють кількістю сажі, що міститься в одиниці об'єму відпрацьованих газів.

Ступінь димності R відпрацьованих газів залежить від коефіцієнта надлишку повітря α . Зазвичай димність висловлюють в г/м³ або у відсотках (при використанні оптичних димомірів).

Існує найбільша допустима ступінь димності відпрацьованих газів, вищеякої робота дизеля стає неекономічною і ненадійною.

Сажа є продуктом неповного згоряння палива. Тому збільшення вмісту сажі у відпрацьованих газах пов'язано з підвищенням питомої витрати палива. Окрім того, сажа потрапляє у зазори між кільцями і поршневими канавками, змішується з маслом, що сприяє нагароутворенню та пригоранню кілець. Це веде до порушення герметичності циліндра, що, в свою чергу – до зниження потужності і зростанню питомої витрати палива [4, 5].

Для швидкохідних дизелів найбільшу допустиму ступінь димності відпрацьованих газів R_d можна прийняти рівною (для нових дизелів) приблизно $0,6 \text{ г/м}^3$, або 85 % по фотодимоміру і 50 % по фільтродимоміру. Для дизелів, які працювали понад 6 місяців в експлуатації або після капітального ремонту, R_d може бути прийнятою рівною $0,9 \text{ г/м}^3$, або 90 % і 60 % по фото- і фільтродимоміру відповідно [4].

Коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає найбільшій допустимій димності відпрацьованих газів, називається найменшим допустимим за ступенем димності відпрацьованих газів коефіцієнтом надлишку повітря. Позначимо його через α_d . Величина, зворотна α_d , називається коефіцієнтом використання повітря ($\omega_d = 1 / \alpha_d$). В сучасних дизелях α_d значно більше одиниці. Залежно від способу утворення суміші (типу камери згоряння) його значення коливається в межах $\alpha_d = 1,2 \dots 1,8$ (ω_d має значення відповідно від 85 % до 55 %). Чим менше α_d , тим більше кисню повітря в циліндрі дизеля використовується в процесі згоряння, тобто, більша кількість палива може бути спалено і, отже, більшу потужність зможе розвинути двигун. Таким чином, α_d – один з найважливіших параметрів, що характеризують роботу дизеля [4].

Зі сказаного випливає, що в порівнянні з двигунами із зовнішнім сумішоутворенням, що працюють при значеннях коефіцієнта надлишку повітря, близькими до одиниці ($\alpha \approx 1$), в дизелях гірше використовується робочий об'єм циліндра і, отже, питомі потужності виявляються меншими. Величина α_d визначається якісним рівнем організації процесів сумішоутворення і згоряння в камерах згоряння дизелів. Зменшення α_d в

дизелях досягається, головним чином, організацією руху (завихренням) повітря в камері згорання [5].

В роботі [20] розглянуто взаємозв'язок коефіцієнта надлишку повітря дизелів та умов згорання палива в циліндрі. При малих навантаженнях дизеля коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 3,5 \dots 4,0$. Максимальне значення границі ефективного збіднення суміші визначається якістю процесів розпилювання палива, турбулізації заряду, інтенсифікації дифузійного догорання палива в останній частині заряду [20].

При значному збідненні суміші ($\alpha > 4,0$), що відповідає дуже малим навантаженням дизеля, повнота згорання зменшується. З ростом навантаження в дизелях відбуваються наступні процеси. Зменшується коефіцієнт надлишку повітря. Зростає механічний ККД, знижується питома ефективна витрата палива [20]. Оптимальне значення ефективного ККД і питомої витрати палива в дизелі мають місце при певному навантаженні – 80...85 % від повного навантаження двигуна. Саме в цьому діапазоні навантажень має місце максимальне значення ефективного ККД і мінімальне – питомої витрати палива. Коефіцієнт надлишку повітря при цьому складає $\alpha = 1,4 \dots 1,5$.

Як правило, збільшення циклової дози палива обмежене деяким значенням. Якщо цього не притримуватись, то подальше зростання навантаження при $\alpha > 1,3$ приведе до різкого погіршення процесу згорання. В першу чергу, це пояснюється нестачею в повітрі кисню, необхідного для окиснення впорскнутого в циліндр палива. Повне згорання палива не забезпечиться, різко підвищиться температура газів в циліндрі. В умовах високої температури і нестачі кисню в повітрі незгорівше вуглеводневе паливо буде підвергатися піролізу (термічному крекінгу) з утворенням твердих частинок вуглецю – сажі. Дизель почне диміти, а підвищення температури може призвести до перегріву деталей дизеля і вивести дизель з ладу [20].

1.2. Тепловий розрахунок двигуна ЯМЗ-238 на дослідницьких режимах паливоподачі

Тепловий розрахунок двигуна ЯМЗ-238 на дослідницьких режимах паливоподачі полягає у визначенні розподілу теплової енергії, що виділяється під час згоряння палива, між корисною роботою, втратами на охолодження, механічними втратами, викидами з відпрацьованими газами та тепловим випромінюванням. Мета такого розрахунку - оцінити вплив різних режимів подачі палива (мінімальної, номінальної та форсованої) на ефективність роботи двигуна, його економічність, теплові втрати, екологічні показники та можливі зміни в температурному режимі.

Це дослідження дозволяє виявити оптимальний режим роботи двигуна, за якого досягається баланс між продуктивністю, витратою палива, рівнем теплових втрат та тривалістю експлуатації. Окрім цього, аналіз дозволяє визначити, як змінюється ККД двигуна та економічність в умовах різних сценаріїв паливоподачі, враховуючи технічні й експлуатаційні особливості двигуна.

Суть питання теплового розрахунку двигуна ЯМЗ-238 на дослідницьких режимах паливоподачі полягає в аналізі теплових процесів, що відбуваються в двигуні внутрішнього згоряння, для оцінки ефективності його роботи за змінених режимів подачі палива.

Двигуни родини ЯМЗ-238 мають високий запас міцності та часто піддаються різного роду форсуванню. Один з найпростіших способів підвищення показників роботи двигуна – зміна коефіцієнта надлишку повітря α з відповідною зміною циклової подачі палива $\Delta m_{\text{тц}}$, в той час як циклова подача повітря $\Delta m_{\text{вц}}$, з огляду на принцип роботи дизельного двигуна, очевидно, залишається незмінною.

Згідно методики теплового розрахунку, наведеної в розділі 3, проводимо підготовку величин для комп'ютерної програми Engine Calculation. Ті з них, які

відрізняються від значень для номінального режиму при $\alpha = 1,7$, заносимо до таблиці. Розрахунок проводимо для $\alpha = 1,5 \dots 2,3$ з кроком $\alpha = 0,2$.

Побудуємо індикаторні діаграми $p(V)$, $T(V)$ для двигуна ЯМЗ-238Д, що працює на номінальному режимі, при різних значеннях α (рис. 1.1, 1.2).

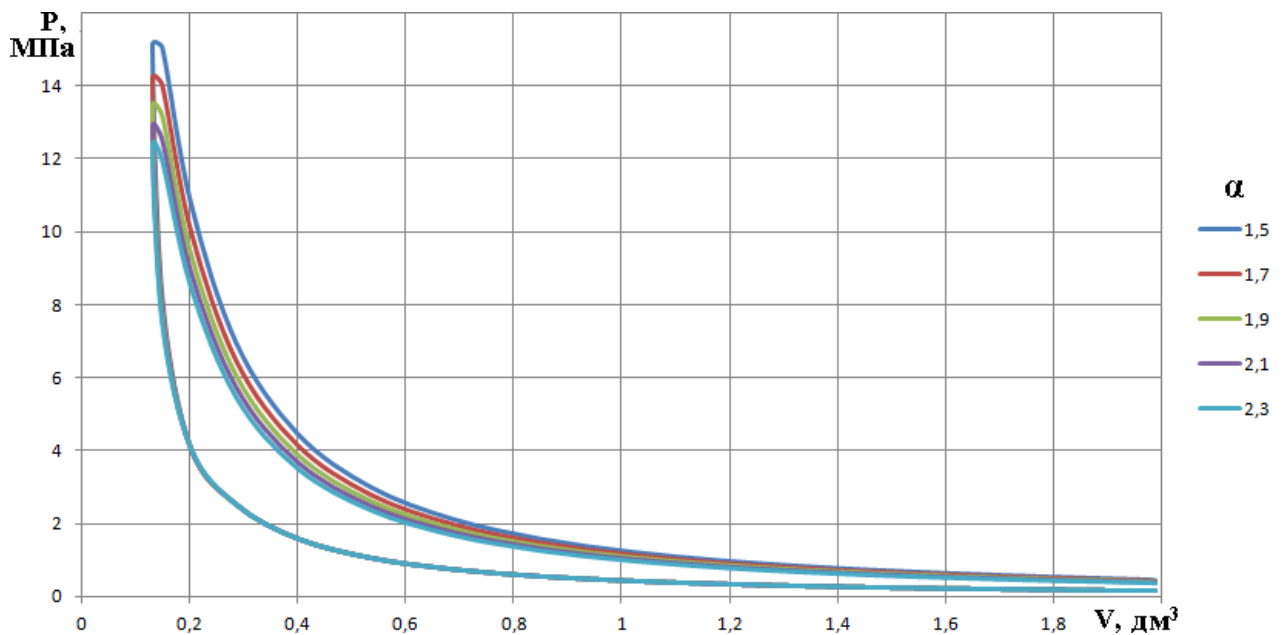


Рис. 1.1 Індикаторна діаграма тиску двигуна ЯМЗ-238Д при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря α

З діаграми $P(V)$ на рисунку 1.1 видно, що коефіцієнт надлишку повітря α суттєво впливає на тиск робочого тіла в циліндрі. Під час такту стиснення ($\varphi = 180 \dots 360^\circ$ ПКВ) різниці тиску немає. Під час такту розширення ($\varphi = 360 \dots 540^\circ$ ПКВ) збільшення α на 0,2 призводить до зменшення тиску в середньому на 4,4...5,4 %. Відсутність зміни тиску в процесі стиснення пояснюється тим, що в циліндрах двигуна, незалежно від величини α , знаходиться одна і та сама кількість повітря. А паливо впорскується за

$$\Delta\varphi_{\text{оп}} = 25^\circ \text{ до ВМТ}$$

З індикаторної діаграми $T(V)$ на рисунку 1.2 видно, що збільшення коефіцієнта надлишку повітря α на кожні 0,2 одиниці призводить до зменшення

температури на 4,1...5,1 % під час такту розширення (43...128 К в абсолютному зчисленні). А під час такту стиснення температура незмінна.

Максимальні значення тиску і температури за цикл наведено в таблиці

Величини максимального тиску $p_{\max}$ при різних α визначено при 365 ° п.к.в., максимальної температури $T_{\max}$ – при 371...372 ° п.к.в.

Таблиця 1.1

Максимальний тиск $p_{\max}$ і температура $T_{\max}$ за цикл

Величина	Значення				
α	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3
$p_{\max}$, МПа	15,973	14,914	14,086	13,413	12,856
$T_{\max}$, К	2601,1	2429,4	2292,1	2179,7	2085,9

З протоколів теплового розрахунку визначено індикаторні показники (середній індикаторний тиск p_i , індикаторна робота L_i , індикаторний ККД η_i , питома індикаторна витрата палива g_i) на номінальному режимі двигуна ЯМЗ-238Д, при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря α . Ці дані заносимо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

Індикаторні показники двигуна ЯМЗ-238Д

Величина	Значення				
α	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3
p_i , МПа	1,528	1,365	1,234	1,127	1,037
L_i , Дж/цикл	2838,5	2535,9	2293,0	2093,5	1926,8
η_i	0,502	0,508	0,513	0,518	0,522
g_i , кг/(кВт·год)	0,1688	0,1667	0,1650	0,1635	0,1622

За допомогою формул на основі індикаторних показників з таблиці 1.2. розраховуємо ефективні показники (середній ефективний тиск p_e , ефективну потужність N_e , ефективну питому витрату палива g_e , ефективний ККД η_e)

двигуна ЯМЗ-238Д при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря α .
Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3.

Ефективні показники двигуна ЯМЗ-238Д

Величина	Значення				
α	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3
p_e , МПа	1,070	0,956	0,864	0,789	0,726
N_e , кВт	278,17	248,52	224,71	205,16	188,83
g_e , кг/(кВт·год)	0,241	0,238	0,236	0,234	0,232
η_e	0,351	0,356	0,359	0,363	0,366
$G_{п}$, кг/год	67,07	59,18	52,96	47,91	43,74

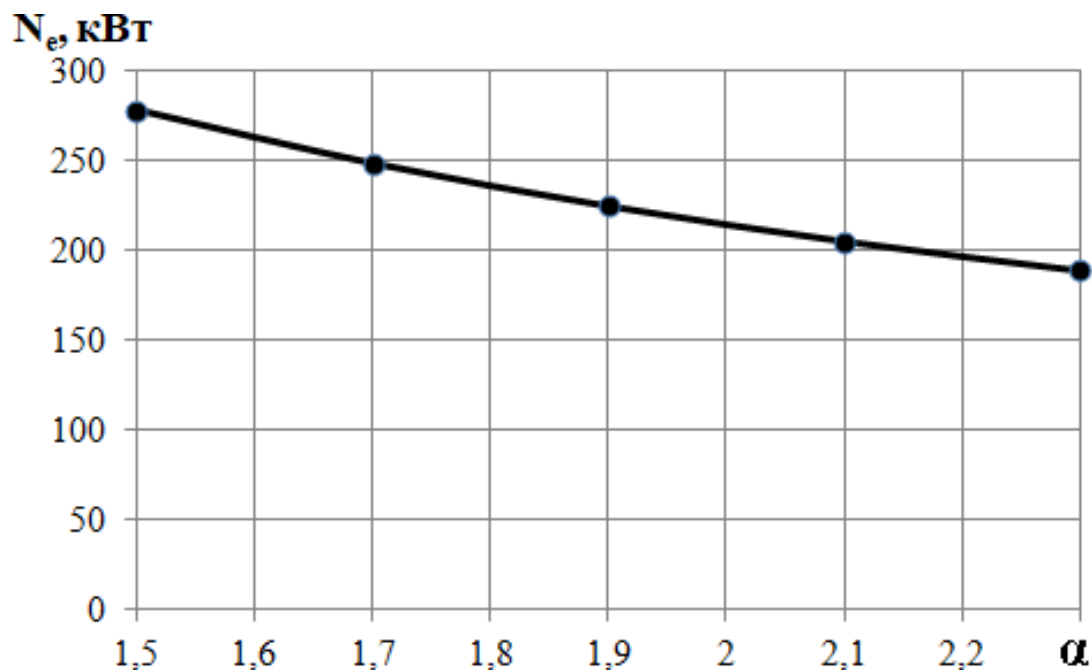


Рис. 1.2 Вплив коефіцієнта надлишку повітря α на ефективну потужність N_e двигуна ЯМЗ-238Д

З аналізу рисунків 1.1.-1.2 можна зробити висновок, що зміна коефіцієнта надлишку повітря має двоокий вплив на техніко-економічні показники двигуна ЯМЗ-238Д.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ

2.1. Ефективність ЦРТС агрегатів автомобільного транспорту

Ефективність використання автомобільного транспорту значною мірою залежить від методів підтримання його технічної справності, що забезпечується різними формами організації систем технічного обслуговування та ремонту.

Сучасні підходи до організації цих процесів включають стратегії планового технічного обслуговування і ремонту, де роботи виконуються після досягнення встановленого ресурсу напрацювання, та стратегії підтримки технічного стану на основі контролю, коли рішення про експлуатацію приймається за результатами аналізу контрольованих параметрів без жорстких обмежень щодо напрацювання.

Існуючі на даний момент форми і методи організації ТО і ремонту транспортної техніки можна звести таких основних стратегій:

Hard time maintenance and repair (планове технічне обслуговування і ремонт) передбачає встановлення для деталей, вузлів та агрегатів визначеного ресурсу напрацювання. Після досягнення цього ресурсу обов'язково проводиться регламентне технічне обслуговування або ремонт, незалежно від їх фактичного технічного стану.

Стратегія Condition monitoring базується на управлінні надійністю транспортних засобів, включаючи аналіз відмов, конструктивні зміни, удосконалення технологій ремонтних робіт та інші заходи. При цьому транспортний засіб знімається з експлуатації лише в разі відмови. В Україні широко застосовується планово-попереджувальна система технічного обслуговування і ремонту (ППС ТОіР), яка відповідає стратегії Hard time maintenance and repair. Ця система являє собою комплекс організаційно-технічних заходів, що виконуються за планом і спрямовані на підтримання працездатності та технічної справності автомобільного транспорту протягом

усього терміну його служби за умови дотримання встановлених умов та режимів експлуатації.

Згідно з регламентом ППС, для попередження відмов виконуються лише технологічні операції технічного обслуговування, а періодичність поточного ремонту не планується, оскільки виникнення відмов має ймовірнісний характер[29].

Практика показує, що принципи планово-попереджувальної системи технічного обслуговування і ремонту (ППС) не завжди демонструють високу ефективність. У реальних умовах експлуатації лінійна залежність між технічним станом автомобілів, агрегатів і терміном їхньої експлуатації або напрацюванням на відмову простежується лише в окремих випадках, таких як корозійні, ерозійні процеси або втомне зношення.

Досвід свідчить, що необґрунтоване розбирання сполучень під час ремонту скорочує реальний міжремонтний період механічних систем у середньому на 15-30%, що призводить до зменшення ресурсу виробів на 25,0-38,5%. У разі вибору стратегії очікування відмови значно зростають витрати на підтримання працездатності автомобілів і сільськогосподарської техніки.

Хоча час експлуатації механізму впливає на його технічний стан, залишковий ресурс не повинен визначатися лише цим фактором, оскільки він часто має другорядне значення.

Будь-який механізм складається з численних допусків, що охоплюють всі етапи його життєвого циклу: проектування і конструювання (проектно-конструкторські допуски), виробництво (виробничо-технологічні допуски), експлуатацію (експлуатаційні допуски), а також технічне обслуговування та ремонт, які виконуються фахівцями з різною кваліфікацією. Через неможливість повного відтворення однакових умов експлуатації не існує двох абсолютно ідентичних механізмів чи процесів їх використання.

Основними чинниками, які впливають на експлуатаційні характеристики автомобілів і технологічних машин, є умови виготовлення, зберігання, транспортування, експлуатації, рівень технічного оснащення, кваліфікація

обслуговуючого персоналу, а також номенклатура і якість виконаних ремонтних робіт. У результаті вузли та агрегати, які проходять однаковий проміжок експлуатації, мають різний залишковий ресурс, тому одночасний їх ремонт є недоцільним.

Окрім того, планово-попереджувальна система (ППС) є досить витратною формою технічного обслуговування та ремонту, оскільки зазвичай стимулюється відрядною системою оплати праці. Це спонукає керівників ремонтних підприємств і виконавців до збільшення обсягів ремонтних робіт, що ускладнює впровадження нових підходів до системи технічного обслуговування і ремонту.

Централізований ремонт за технічним станом заснований на принципах маршрутної технології, основні принципи якої викладені в працях К.Т. Кошкіна [6] і інформаційних технологіях, які є ключовим фактором в питанні про його ефективності. На рис. 2.1 представлені складові технологічного та інформаційного забезпечення ЦРТС, які визначають його ефективність [8].



Рис. 2.1 Складові технологічного і інформаційного забезпечення ЦРТС

Однак, крім технологічного і інформаційного забезпечення, на ефективність ЦРТС також значно впливає людський фактор, який і є джерелом появи помилок 1-го («помилковий дефект») роду і 2-го («пропуск дефекту») роду на етапі передремонтного діагностування.

Ефективність централізованого регулювання технічного стану (ЦРТС) агрегатів автомобільного транспорту є важливим аспектом, який визначає надійність, довговічність і економічність експлуатації транспортних засобів.

ЦРТС передбачає системний підхід до діагностики, обслуговування та ремонту агрегатів з урахуванням їх фактичного технічного стану, що дозволяє оптимізувати технічний процес і знизити експлуатаційні витрати.

Основна мета впровадження ЦРТС полягає у підтриманні агрегатів у працездатному стані протягом усього періоду їх експлуатації, забезпечуючи мінімальні витрати на ремонт і обслуговування. Система регулювання базується на даних діагностики, які отримуються за допомогою сучасних методів і засобів, включаючи сенсори, комп'ютерну техніку та програмне забезпечення. Важливим елементом є автоматизація процесу збирання і обробки даних, що забезпечує своєчасне прийняття рішень щодо обслуговування.

Ефективність ЦРТС визначається за кількома критеріями, такими як зниження кількості відмов і простоїв техніки, економія витрат на ремонтні роботи, збільшення терміну служби агрегатів та забезпечення стабільності технічних характеристик транспортних засобів. Аналіз показників надійності та працездатності агрегатів, таких як середній час до відмови, рівень відновлюваності та коефіцієнт технічної готовності, дозволяє оцінити реальний вплив ЦРТС на експлуатаційні показники.

Одним із ключових факторів ефективності є інтеграція ЦРТС з системами моніторингу, які дозволяють відстежувати технічний стан у режимі реального часу. Це дає змогу мінімізувати непередбачувані відмови та скоротити час, необхідний на їх усунення. Використання прогнозних моделей, що базуються на аналізі історичних даних і сучасних методів машинного навчання, дозволяє заздалегідь планувати технічне обслуговування, запобігаючи надмірному зносу та аварійним поломкам.

Впровадження ЦРТС сприяє підвищенню економічної ефективності автопарку завдяки зниженню витрат на обслуговування та ремонти, а також скороченню втрат часу через простій техніки. Завдяки системному підходу до управління технічним станом, забезпечується більша надійність і безпека

експлуатації транспортних засобів, що має особливе значення в умовах інтенсивної роботи автопарків.

Дослідження ефективності централізованого регулювання технічного стану (ЦРТС) агрегатів автомобільного транспорту вимагає глибшого аналізу впливу цього підходу на надійність і економічність експлуатації техніки. Додаткові аспекти для дослідження включають наступне:

1. Аналіз економічної ефективності ЦРТС: необхідно порівняти витрати на впровадження системи централізованого регулювання з економією, яку вона забезпечує в довгостроковій перспективі. Це включає оцінку зниження витрат на аварійні ремонти, скорочення простоїв, оптимізацію запасів запасних частин і витрат на персонал. Варто також враховувати збільшення терміну служби агрегатів, що призводить до зниження капітальних витрат на заміну обладнання.

2. Аналіз надійності агрегатів: дослідження має включати оцінку змін у показниках надійності після впровадження ЦРТС. Для цього можна використовувати такі параметри, як середній час до відмови, частота відмов, час на усунення несправностей, коефіцієнт технічної готовності та інші метрики.

3. Інтеграція сучасних технологій: варто дослідити вплив використання сучасних засобів діагностики, таких як системи інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання, для моніторингу та прогнозування технічного стану агрегатів. Такі технології дозволяють автоматизувати процес збору даних і створювати прогностичні моделі для раннього виявлення потенційних несправностей.

4. Вплив людського фактора: необхідно оцінити, як впровадження ЦРТС змінює роль персоналу, що відповідає за технічне обслуговування. Можливо, потрібно провести додаткове навчання або адаптацію працівників до роботи з новими системами моніторингу та регулювання.

5. Екологічний аспект: варто дослідити, як ЦРТС впливає на екологічність експлуатації транспортних засобів. Зниження кількості аварійних відмов та

оптимізація роботи агрегатів можуть призвести до зменшення викидів шкідливих речовин, а також до зниження споживання палива та ресурсів.

6.Вплив на логістику та управління автопарком: централізоване регулювання технічного стану може покращити планування графіків технічного обслуговування, що, в свою чергу, впливає на ефективність виконання логістичних завдань. Варто дослідити, як ЦРТС сприяє зменшенню затримок у доставці товарів через раптові відмови техніки.

7.Регіональні та галузеві аспекти: варто враховувати особливості впровадження ЦРТС у різних галузях (наприклад, пасажирські перевезення, вантажний транспорт) і регіонах, зокрема залежно від рівня розвитку інфраструктури та доступності діагностичних засобів.

8.Прогнозування розвитку системи ЦРТС: можна дослідити можливості подальшого розвитку системи, такі як впровадження блокчейн-технологій для прозорості даних технічного обслуговування, інтеграція з ERP-системами для управління автопарком та використання цифрових двійників для симуляції експлуатації транспортних засобів.

Комплексне дослідження цих аспектів дозволить отримати більш повну картину ефективності ЦРТС і розробити рекомендації для підвищення її результативності в конкретних умовах експлуатації.

2.2. Застосування штучних когнітивних систем в процесах діагностування складних технічних пристроїв

Основою ремонту за технічним станом є проведення технічного діагностування (ТД), яке забезпечує безперервний або періодичний контроль параметрів, що відображають поточний фактичний стан об'єкта діагностування.

При безперервному контролі виконується прогнозування для визначення тривалості збереження працездатного стану, тоді як у випадку періодичного контролю прогнозування дозволяє встановити оптимальний час наступного діагностування.

Процес діагностування несправностей включає виявлення та локалізацію дефектів у системі. З огляду на зростання складності технічних систем, а також підвищення вимог до їхньої безпеки, надійності та екологічності, процедура діагностики набуває все більшої важливості. Наприклад, у сфері діагностики автомобілів висока надійність і працездатність є ключовими факторами. Крім того, якісна діагностика сприяє підвищенню ефективності технічного обслуговування та ремонту автомобілів.

Несправності двигунів можуть призводити до таких негативних наслідків: збільшення шкідливих викидів у навколишнє середовище; погіршення рівня безпеки експлуатації; зростання витрат палива; зниження керованості або прохідності автомобіля тощо.

При своєчасному виявленні несправностей, цим наслідкам можна запобігти або хоча б зменшити. Загальна структура технічного діагностування представлена на рис. 2.2, де в системі діагностики зводяться всі наявні знання про процес (сюди входять вимірювані параметри та інша інформація, на підставі якої робиться висновок про фактичний технічний стан об'єкта діагностування).

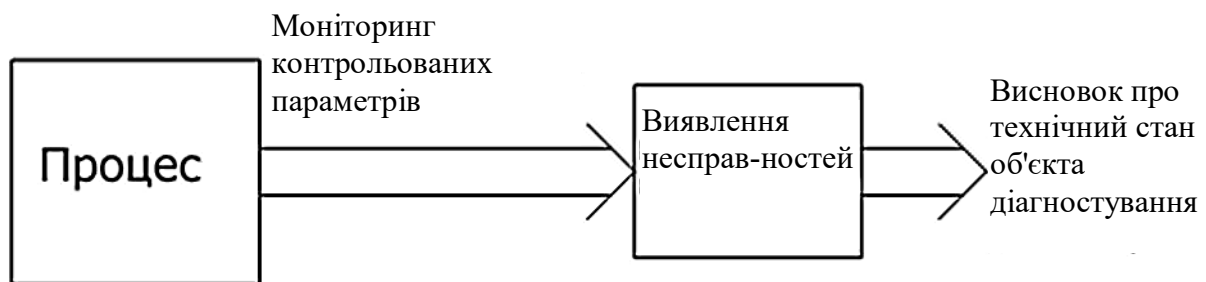


Рис. 2.2 Загальна структура технічного діагностування

У сучасних публікаціях, що стосуються апаратно-програмних засобів для різних обчислювальних завдань, дедалі частіше використовується термін «штучні когнітивні системи» (Artificial Cognitive Systems).

Ці системи базуються на імітації процесів мислення людини та здебільшого реалізуються за допомогою моделей штучних нейронних мереж (ШНМ) (Artificial Neural Networks). ШНМ представляють собою математичні

моделі, розроблені на основі принципів функціонування біологічних нейронних мереж.

У сфері діагностування технічних систем, серед численних методів виявлення несправностей, штучні когнітивні системи на основі ШНМ зарекомендували себе як один із найефективніших і прогресивних підходів за останнє десятиліття. Їхнє використання набуло поширення в таких країнах, як США, Польща, Швейцарія, Китай та інших, завдяки їх високій точності й адаптивності в складних діагностичних завданнях [17, 18, 22, 24, 26].

Після створення алгоритмів навчання для штучних нейронних мереж (ШНМ) отримані моделі застосовуються у практичних задачах, таких як прогнозування, розпізнавання образів, управління системами тощо.

Сучасні ШНМ проектуються у вигляді автономного програмного забезпечення, здатного обробляти багатовимірні вхідні дані в режимі реального часу. Навчена мережа прогнозує значення однієї змінної, базуючись на інших, а відхилення між прогнозованими та реальними значеннями використовується для виявлення несправностей. Таким чином, можна розрізнити нормально працюючі системи та ті, що мають дефекти.

Наприклад, із застосуванням ШНМ можна з високою точністю ідентифікувати несправності таких компонентів, як датчик абсолютного тиску впускного колектора (V_s) або клапан системи рециркуляції відпрацьованих газів (V_a). Це забезпечує ефективну діагностику та дозволяє своєчасно усувати несправності.

У впускному колекторі автомобільного двигуна, схематично зображеному на рис. 2.7, швидкість масової витрати повітря (V_i), рециркуляція відпрацьованих газів (V_a), обороти двигуна (V_o) і абсолютний тиск (V_s) пов'язаний рівнянням динаміки першого порядку [17]:

$$dV_s / dt = F(V_i, V_o, V_a, V_s) \quad (2.1)$$

У сучасних автомобілях датчики забезпечують вимірювання ключових змінних параметрів. Завдяки взаємозв'язку між цими змінними та фіксації їх динаміки в часі можна ефективно ідентифікувати несправності датчиків.

Наприклад, контролюючи змінну V_s , можливо з високою точністю виявляти помилки у змінній V_a .

Розглянемо приклад моделі штучної нейронної мережі (ШНМ), яка дозволяє аналізувати динаміку роботи шестициліндрового двигуна як у процесі технічного обслуговування на АРП, так і безпосередньо під час експлуатації. Попри те, що представлена модель створена для вирішення конкретної діагностичної задачі, запропонований підхід є універсальним і може бути адаптований для діагностики ширшого спектра технічних проблем.

Це свідчить про високий потенціал використання ШНМ у діагностуванні автомобільних систем, адже їх гнучкість дозволяє вирішувати завдання різної складності, забезпечуючи точність і швидкість аналізу [17].

Використання тришарової нейронної мережі зі зворотним зв'язком дозволяє прогнозувати змінну V_s на основі трьох інших змінних, причому прогнозоване значення V_s подається назад на вхід як четвертий вхідний нейрон, реалізуючи принцип роботи мереж зі зворотним зв'язком.

Мережа навчається на навчальному наборі даних, сформованому шляхом імітації несправностей у змінних V_s і V_a . Процес навчання виконується за наступним алгоритмом:

- вибір початкової точки: визначається випадкова початкова точка у часовій послідовності даних і встановлюється початкове значення зворотного зв'язку для змінної V_s ;
- обчислення помилки: виконується вхідний прогноз для отримання V_s на виході, після чого обчислюється помилка як квадрат різниці між прогнозованим та фактичним значенням V_s ;
- оновлення входу: наступна точка даних подається як вхід, а прогнозоване значення V_s використовується як сигнал зворотного зв'язку;
- цикл збору даних про помилки (100 ітерацій): повторюються кроки 2 і 3 для збору сигналів про помилки протягом 100 ітерацій;
- повторний збір даних (4 ітерації): кроки 1-4 виконуються повторно протягом 4 ітерацій для додаткового збору сигналів про помилки;

- оновлення ваг: з'єднання між нейронами оновлюються згідно з алгоритмом зворотного поширення помилки (Backpropagation);
- перевірка біжності: процедура повторюється знову, доки помилка не перестане зменшуватися або не буде досягнуто заданого обмеження кількості обчислень.

Цей підхід забезпечує точність прогнозу змінної V_s та дозволяє ідентифікувати несправності датчиків, зокрема V_s і V_a , завдяки адаптивній структурі навчання та використанню даних із зворотним зв'язком.

Робочі характеристики нейронної мережі зазвичай оцінюються на окремому тестовому наборі даних, що забезпечує перевірку її здатності до узагальнення й точного прогнозування.

Використання штучних нейронних мереж для виявлення несправностей демонструється на прикладі авіаційних двигунів. На двигуни встановлюються датчики, які під час польотів фіксують параметри їх роботи. На основі польотного моніторингу формується файл даних, що містить контрольно-діагностичні параметри двигуна. Після виконання визначеної кількості польотів двигун демонтується для стендового розбирання, під час якого виявляються та усуваються його дефекти.

Основна задача інженера-діагноста полягає у використанні отриманих даних моніторингу для виявлення дефектів двигуна без потреби в його розбиранні.

Традиційно це завдання вирішується за допомогою методик, які базуються на фізичних закономірностях: виникнення дефекту спричиняє характерні відхилення у певних контрольованих параметрах. Аналізуючи ці відхилення, можна припустити наявність дефекту, що їх викликав. Однак застосування штучних нейронних мереж дозволяє автоматизувати цей процес, забезпечуючи більш високу точність і швидкість виявлення несправностей, навіть за умов складних залежностей між параметрами [13].

Рішення завдання діагностики авіадвигунів за допомогою математичного апарату штучних нейронних мереж (ШНМ) реалізується наступним чином:

1.Формування вхідного вектора: у вхідному векторі персептрона X передбачаються місця для всіх параметрів польотного моніторингу, які можуть бути пов'язані з впливом дефектів.

2.Кодування дефектів: можливі несправності авіадвигуна кодуються у вихідному векторі D за допомогою двійкової системи числення. Вектори бажаних виходів D_q формуються на основі даних, отриманих під час стендових розбирань двигунів.

3.Етапи експлуатації: припускається, що на початку експлуатації нового чи щойно відремонтованого літака двигун знаходиться у повністю справному стані, без дефектів. До завершення польотного моніторингу двигун уже має ті самі дефекти, які були виявлені під час розбирання.

4.Ключові дані для навчання: з усіх параметрів польотного моніторингу найбільшу цінність для навчання нейронної мережі становлять дані саме з першого і останнього польотів літака.

5.Формування навчальних векторів: для кожного двигуна, що пройшов розбирання, створюється пара навчальних векторів X_q (вхідні параметри) і D_q (вихідні параметри).

6.Навчання персептрона: при достатній кількості навчальних прикладів багатошаровий персептрон, правильно спроектований і налаштований, навчиться точно визначати несправності авіаційних двигунів. Це стосується як двигунів, представлених у навчальній вибірці, так і нових двигунів, які не були присутні у навчальних даних.

Такий підхід забезпечує надійну діагностику авіадвигунів, дозволяючи ефективно виявляти несправності на основі аналізу параметрів польотного моніторингу.

Застосування штучних когнітивних систем у процесах діагностування складних технічних пристроїв є важливим кроком до підвищення точності, швидкості та ефективності технічного обслуговування. Ці системи, які використовують алгоритми машинного навчання, аналіз великих даних і нейронні мережі,

дозволяють імітувати процеси людського мислення для діагностики, виявлення несправностей і прогнозування їхнього виникнення.

Штучні когнітивні системи здатні обробляти великі обсяги даних, які надходять від сенсорів і датчиків у реальному часі, що дає змогу виявляти приховані закономірності й аномалії в роботі пристроїв. Завдяки здатності до самонавчання, такі системи постійно вдосконалюються, використовуючи досвід попередніх діагностичних процесів.

Інтеграція когнітивних систем із технологіями Інтернету речей забезпечує всебічний моніторинг стану обладнання, а створення цифрових двійників дозволяє проводити моделювання роботи пристроїв і симуляції можливих несправностей без фізичного втручання.

Переваги використання штучних когнітивних систем включають підвищення точності діагностики, мінімізацію впливу людського фактора, швидке прийняття рішень у реальному часі, прогнозування несправностей та оптимізацію ресурсів завдяки ранньому виявленню проблем. Це дозволяє зменшити витрати на обслуговування і ремонт, запобігти простоям та забезпечити тривалу і стабільну роботу обладнання.

Когнітивні системи успішно застосовуються в таких галузях, як авіація, де вони аналізують стан двигунів і систем навігації, автомобільна промисловість для моніторингу роботи двигунів і гальмівних систем, енергетика для діагностики турбін і генераторів, а також на виробничих підприємствах для аналізу роботи верстатів і прогнозування зношення обладнання.

Попри значний потенціал, впровадження когнітивних систем супроводжується викликами, такими як складність інтеграції з наявною інфраструктурою, висока вартість реалізації та необхідність навчання моделей для специфічних систем. Проте розвиток сучасних технологій, зокрема 5G і квантових обчислень, відкриває нові перспективи для вдосконалення таких систем, що забезпечить їхню доступність і ефективність у різних сферах промисловості.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ АРМ ОПЕРАТОРА-ДІАГНОСТА

3.1. Структурна схема АРМ оператора-діагнosta

За кордоном більше 20 років тому стали з'явилися системи, які представляли собою цілісний автоматизований комплекс для підвищення ефективності в задачах управління процесами ТО і ремонту на підприємствах автомобільного транспорту.

У авторемонтній галузі Німеччини був відзначений спад обсягів виконуваних послуг з ТО і ремонту автотранспортних засобів, тому багато підприємств були змушені інтенсивно розширювати перелік послуг пропонованих клієнтам. На той момент там існувало близько 17 тисяч вільних авторемонтних підприємств, які, на відміну від фірмових, виконували ТО і ремонт автомобілів будь-яких марок [7].

Так, наприклад, на замовлення фірми «Bosch», в Німеччині була розроблена система для обробки даних і інформації на вільних авто-ремонтних підприємствах. Дана система була впроваджена майже на 300 підприємствах-партнерах фірми «Bosch» [7].

При розробці системи виходили з того, що вона повинна бути інструментом зв'язку, так як авторемонтні підприємства потребують в значному обсязі інформації. Пакет програм даної системи передбачав доступ до бази даних і дозволяв оформляти робочі листи, накладні, рахунки і т.д. Крім того, користувачеві надавався оновлюваний каталог про постачання фірми «Bosch» із зазначенням цін. За бажанням в систему можна було вносити дані про інші фірми-виробники, якщо підприємство має намір співпрацювати з ними [5].

Було розроблено автоматизовану систему контролю (САК), яка призначалася для збору і обробки інформації з робочих постів про вимірювання контрольованих параметрів деталі, вузла або агрегату. До одного комп'ютера можна було підключити до 8 робочих постів. Кожен робочий пост дозволяв вимірювати до 16 контрольованих параметрів, а відстань між постами могла

становити до 300 метрів, що задовольняло вимогам збору і обробки інформації, тому що, наприклад, на авторемонтному підприємстві часто проводять контроль технічного стану деталей на ділянках дефектації та комплектації, на ділянках ремонту і відновлення деталей і при прийманні нових деталей [7].

Процес переходу від планово-попереджувальної системи до централізованої ремонтно-технічної служби (ЦРТС) відбувається в контексті загальної тенденції до об'єднання раніше розділених автотранспортних і авторемонтних підприємств. Цей процес базується на принципах концентрації, спеціалізації та кооперації виробництва, що є важливими чинниками стимулювання промислового розвитку у будь-якій розвиненій суспільно-економічній системі.

Технологічний процес діагностування технічного стану виробу включає етапи виявлення, локалізації дефектів і аналізу їхніх комбінацій. З ускладненням технічних систем та підвищенням вимог до їхньої безпеки й надійності, процедура діагностування несправностей стає більш важливою та відповідальною.

Можливі варіанти поєднання помилок, що виникають під час передремонтного діагностування та розподілу агрегатів за технологічними маршрутами ремонту (комплексами ремонтних робіт), представлені в таблиці 3.1. Ці дані є основою для оптимізації процесу діагностування та організації ремонтних робіт.

Таблиця 3.1

Можливі комбінації виникнення помилок 1-го і 2-го роду

№	Помилковий дефект(1-го роду)	Пропуск дефекту (2-го роду)	Помилки призначення КРР
1	—	—	—
2	+	—	—
3	—	+	—
4	+	+	—
5	+	—	+
6	—	+	+
7	—	—	+
8	+	+	+

Помилки першого роду виникають у разі виконання надмірних ремонтних робіт, що призводить до збільшення загальної собівартості ремонту двигуна. Натомість помилки другого роду характеризуються недовиконанням необхідних ремонтних операцій, що може суттєво вплинути на надійність агрегату після завершення ремонтних робіт.

Окремо або в сукупності, такі помилки часто стають причиною неправильного визначення технологічного маршруту ремонту. Це, у свою чергу, супроводжується виконанням зайвих розбирально-складальних операцій і виникненням додаткових витрат через перенаправлення агрегату на інший комплекс ремонтних робіт.

Для вирішення цих проблем розроблено структурну схему автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-діагнosta, яка включає три основні компоненти:

- інструментально-метрологічне та технічне забезпечення (ІМТЗ): комплект обладнання та інструментів, необхідних для діагностування;
- програмне забезпечення (ПЗ): основний інструмент для обробки даних та підтримки рішень;
- інформаційно-методичне забезпечення: документація, інструкції та методики для підтримки роботи оператора-діагнosta.

Ключовим елементом даного АРМ є спеціалізоване програмне забезпечення, розроблене на основі результатів досліджень. Це ПЗ дозволяє оператору-діагносту на етапі передремонтного діагностування з високою точністю класифікувати агрегати та спрямовувати їх до відповідних комплексів ремонтних робіт, заздалегідь визначених на підприємстві. Завдяки цьому знижується ризик виникнення помилок першого і другого роду, що сприяє підвищенню ефективності ремонтного процесу.

Розробка програмного забезпечення здійснювалася відповідно до заданих алгоритмів (див. додатки) у середовищі Delphi версії 7.0. Це ПЗ є невід'ємною частиною автоматизованого робочого місця (АРМ), яке дозволяє оператору-діагносту стати кваліфікованим користувачем системи.

Програмне забезпечення складається з трьох взаємопов'язаних модулів: модуль роботи з базами даних: цей модуль забезпечує перегляд баз даних, які створені для виконання діагностичних завдань. Основні бази даних: база даних DB1: містить параметри агрегатів, які слугують вхідними векторами для математичного апарату ШНМ, що використовується для розпізнавання дефектів у вузлах агрегатів (рис. А.6); база даних DB2: формується на основі результатів алгоритму (блок-схема на рис. А.6). Представлена у вигляді прямокутної матриці розміром $m \times n$, де m – кількість контрольованих агрегатів, n – кількість розпізнаваних дефектів у всіх вузлах агрегату; база даних DB3: містить вихідні дані про параметри та помилки, що виникають при навчанні ШНМ. Формується на основі алгоритму (рис. А.7); модуль нового проекту: відповідає за покрокову побудову моделей ШНМ для вирішення діагностичних завдань.

Модуль включає два підмодулі: розпізнавання дефектів агрегатів: допомагає вирішувати завдання виявлення та класифікації дефектів; розподіл агрегатів за технологічними маршрутами ремонту: дозволяє визначити оптимальні маршрути ремонту залежно від діагностичних даних.

Ці модулі забезпечують гнучкість і функціональність програмного забезпечення, що дозволяє адаптувати систему до різних завдань діагностики та ремонту.

Програми використовуються наступні типи полів:

- поля з вхідним значенням - дані поля будуть використовуватися в якості вхідного шару штучної нейронної мережі;
- поля з вихідним значенням - дані поля будуть використовуватися в якості вихідного шару штучної нейронної мережі;
- не використані поля - дані поля не будуть використані при навчанні і тестуванні ШНМ.

Число нейронів у прихованих шарах визначається автоматично або задається вручну залежно від обраного підходу:

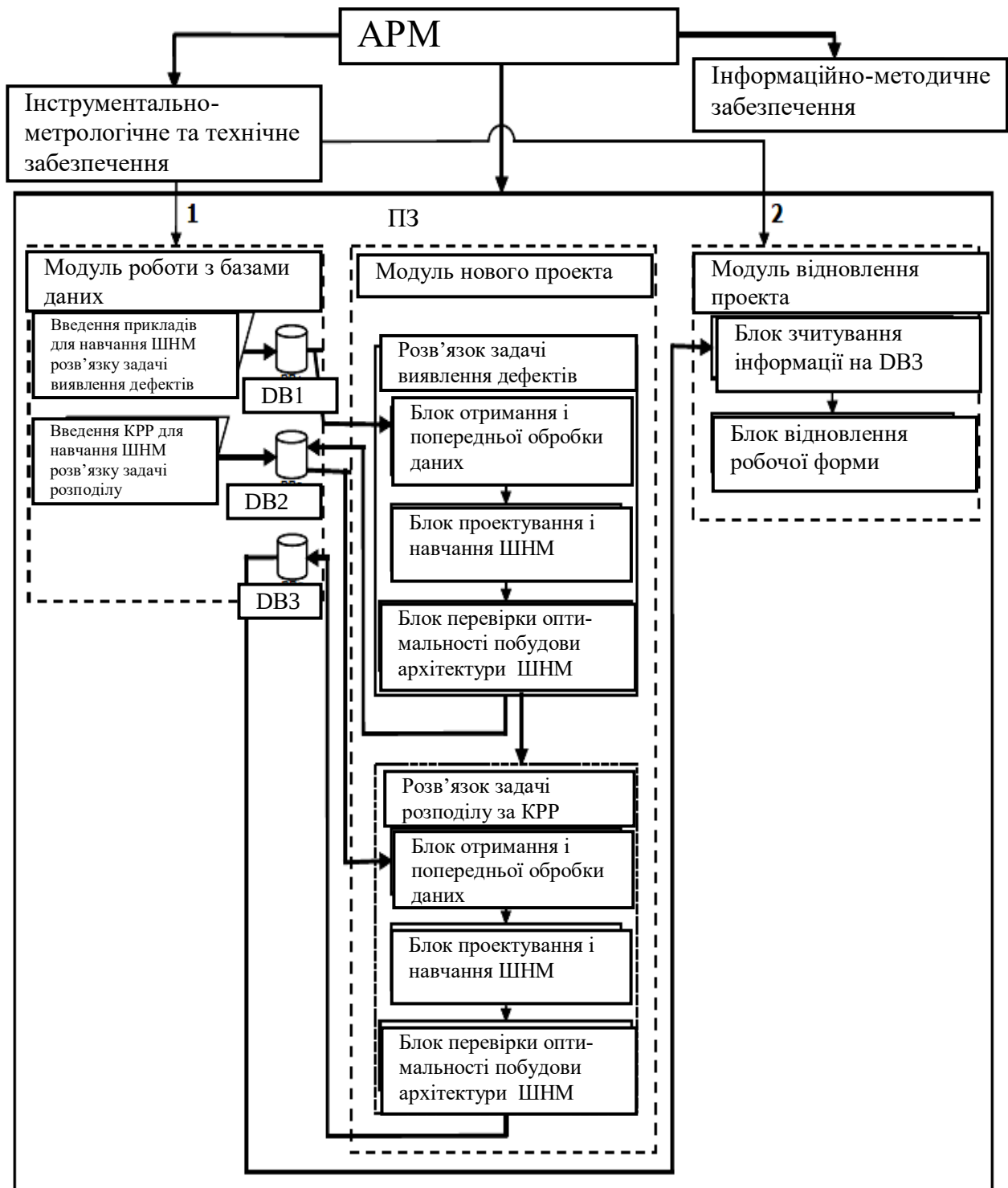


Рис. 3.4 Розроблена структура організації та взаємодії між елементами автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-діагноста:

1 - елемент АРМ ІМТЗ взаємодіє з модулем роботи і базами даних ПЗ

при вступі до ремонтного фонду нової моделі агрегату;

2 - елемент АРМ ІМТЗ взаємодіє з модулем відновлення проекту при роботі з моделями агрегатів, відомості про які вже є в базах даних ПЗ

- автоматичний розрахунок: використовуються блок-схеми алгоритмів, а також результати обробки експериментальних даних, описані в розділі 3;
- ручне налаштування: число нейронів задається користувачем вручну для адаптації моделі до конкретних завдань.

Третій модуль: "Модуль відновлення проекту" забезпечує можливість відновлення раніше створеного проекту, дозволяючи продовжити роботу з ним без необхідності повторного налаштування.

На рис. 3.1 показано схему внутрішньої структури організації розробленого програмного забезпечення, його модулів і їх взаємодії між собою та іншими елементами автоматизованого робочого місця (АРМ).

Цей модуль розширює функціональність ПЗ, забезпечуючи збереження та відновлення даних проектів, що особливо важливо для довготривалих або складних завдань, які вимагають багатоетапного аналізу.

3.2. Розрахунок порівняльного економічного ефекту результатів дослідження

Оцінка економічного ефекту запропонованих методичних розробок може бути здійснена шляхом порівняння результатів, отриманих у межах даного дослідження, з опублікованими даними в роботах аналогічної тематики [19].

Обмеження порівняння: порівняння з технологіями капітального ремонту (КР) є недоцільним, оскільки у цьому випадку передремонтне діагностування (ПД) втрачає сенс. Поточний ремонт також не може бути базою для порівняння, оскільки: він зазвичай здійснюється за «заявним» принципом, відсутня індустріальна основа організації виробництва (наприклад, відсутність предметної спеціалізації, невеликі обсяги робіт, відсутність типових технологій ремонту).

Методика розрахунку очікуваного економічного ефекту: Очікуваний економічний ефект від впровадження розроблених методик

удосконалення процесу визначення технічного стану агрегатів на етапі ПД може бути визначений шляхом:

- аналізу виробничих витрат: втрати через помилки розпізнавання дефектів ремонтного фонду оцінюються для двох підходів: типова організація робіт; організація робіт на основі автоматизованого робочого місця (АРМ), розробленого в межах дослідження.
- застосування математичного апарату штучних нейронних систем (ШНС): Використання ШНС у підсистемі ПД дозволяє зменшити кількість помилок, що спричиняють перевитрати (помилки 1-го роду) або недостатній обсяг ремонту (помилки 2-го роду);
- розрахунок економії: очікуваний економічний ефект визначається як різниця між витратами при типовій організації робіт та витратами при впровадженні методик, що базуються на застосуванні ШНС.

Таким чином, ефективність впровадження нових методик оцінюється шляхом аналізу зменшення витрат на помилки та підвищення загальної продуктивності організації ремонту.

Загалом для розрахунку очікуваного економічного ефекту після впровадження АРМ на підприємстві слід прийняти типовий вираз (3.1) адитивної функції річних наведених витрат на існуючий та пропонований спосіб організації ПД ремонтного фонду:

$$E = \{(C_{\Sigma}^{BH(1)} + E_n \cdot K_{(1)} / N_{(1)}) - (C_{\Sigma}^{BH(2)} + E_n \cdot K_{(2)} / N_{(2)})\} N_{(2)}, \quad (3.1)$$

де $C_{\Sigma}^{BH(1)}$ і $C_{\Sigma}^{BH(2)}$ – узагальнені внутрішньовиробничі втрати від помилок на етапі передремонтного діагностування двигуна ЯМЗ-238, відповідно, за першим і другим варіантами, грн.;

$K_{(1)}$ і $K_{(2)}$ – капіталовкладення у створення виробничої бази ПД, відповідно, за першим і другим варіантами, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, що у галузі загалом дорівнює $E_n = 0,15$;

$N_{(1)}$ і $N_{(2)}$ – програми ПД двигунів, відповідно, за першим і другим варіантами в умовах СТО.

Враховуючи зазначені припущення, що одноразові витрати $K(1)K(1)K(1)$ і $K(2)K(2)K(2)$ за двома варіантами організації передремонтного діагностування (ПД) суттєво не впливають на загальний розрахунок через малу величину витрат на програмне забезпечення та формування автоматизованого робочого місця (АРМ), їх можна виключити. Також виробничі програми $N(1)N(1)N(1)$ і $N(2)N(2)N(2)$ вважаються однаковими, що дозволяє не враховувати їх у розрахунках.

На основі раніше розробленої моделі формування технологічних процесів ЦРТЗ агрегатів автомобілів (модель А.4), розрахунковий вираз для визначення очікуваного економічного ефекту після впровадження запропонованого варіанту організації ПД у умовах станції технічного обслуговування (СТО) виглядає наступним чином:

$$E = \{(C_{\Sigma}^{BH}(1) - C_{\Sigma}^{BH}(2))\} == \{(C_{\Sigma_{зайв}}(1) + C_{\Sigma_{прон}}(1) + C_{\Sigma_{розп}}(1)) - (C_{\Sigma_{зайв}}(2) + C_{\Sigma_{прон}}(2) + C_{\Sigma_{розп}}(2))\}. \quad (3.2)$$

Даний вираз дозволяє оцінити економічну вигоду від зменшення витрат, які виникають через помилки в процесі передремонтного діагностування. Оптимізація процесу завдяки автоматизації та впровадженню програмного забезпечення забезпечує зниження кількості таких помилок, що позитивно впливає на загальну ефективність організації ремонтних робіт.

Підставляючи відповідні значення у вираз (3.2), отримуємо ефект, виражений в економії витрат на один двигун, на етапі передремонтного діагностування якого були допущені помилки 1-го та 2-го роду:

$$E = (4194,42 + 4407,00 + 6921,81)_{(1)} - (1224,03 + 1312,18 + 2046,42)_{(2)} = \\ = (15523,25)_{(1)} - (4582,63)_{(2)} = 10940,62 \text{ грн./двигун}$$

З поточних витрат слід виключити витрати на сировину, матеріали, напівфабрикати, паливо та енергію, які використовуються при передремонтному діагностуванні агрегатів.

Діагностика двигунів ЯМЗ-238 є важливою складовою технічного обслуговування, оскільки дозволяє виявляти несправності на ранніх стадіях, оптимізувати витрати на ремонт і підвищити експлуатаційні показники. Для підвищення ефективності діагностики можна впровадити такі методи та засоби.

Підвищення ефективності діагностування двигунів ЯМЗ-238 є важливим завданням для забезпечення надійної та тривалої експлуатації техніки. Для цього необхідно впровадити системний підхід до діагностики, який включає візуальний огляд стану двигуна, контроль основних параметрів, таких як тиск масла, компресія в циліндрах, температура охолоджуючої рідини, витрата палива та мастила, а також детальне обстеження вузлів, зокрема паливної системи, системи впуску і випуску.

Застосування сучасних засобів діагностики, таких як комп'ютерна діагностика з використанням спеціалізованих сканерів і програмного забезпечення, значно підвищує точність аналізу параметрів роботи двигуна. Використання вібраційної діагностики допомагає виявляти несправності в підшипниках, колінчастому валу та інших елементах двигуна. Аналіз складу відпрацьованих газів дозволяє оцінити стан паливної системи та камери згоряння, а ендоскопічне обстеження забезпечує можливість огляду внутрішніх компонентів двигуна без його розбирання.

Інноваційні методи, такі як акустична діагностика для аналізу звуків роботи двигуна, термографія для оцінки температурного поля, а також використання сучасних датчиків вібрації, температури та тиску, значно підвищують точність і швидкість діагностування. Автоматизація процесів діагностики з використанням ІТ-технологій дозволяє здійснювати моніторинг стану двигуна в реальному часі, а машинне навчання може прогнозувати можливі несправності.

Автоматизація процесів діагностики з використанням ІТ-технологій дозволяє значно підвищити ефективність обслуговування технічних пристроїв і транспортних засобів завдяки швидшому і точнішому виявленню несправностей, а також забезпеченню прогнозування можливих відмов. Це

досягається за допомогою інтеграції сучасних програмних рішень, сенсорів і засобів моніторингу, що працюють у реальному часі.

По-перше, автоматизація дозволяє збирати, обробляти та аналізувати великий обсяг даних із сенсорів і датчиків, які встановлені на агрегатах та вузлах обладнання. Це забезпечує швидку і точну оцінку технічного стану без участі людини.

По-друге, впровадження систем прогнозової діагностики на базі штучного інтелекту і машинного навчання дозволяє не лише виявляти наявні несправності, а й прогнозувати ймовірність їхнього виникнення у майбутньому. Це забезпечує можливість планування профілактичного обслуговування та зменшує ризик аварійних відмов.

По-третє, ІТ-технології забезпечують доступ до даних у режимі реального часу через хмарні сервіси або спеціалізовані платформи, що дозволяє контролювати стан обладнання навіть на віддалених об'єктах. Крім того, автоматизація сприяє стандартизації діагностичних процесів і зменшенню впливу людського фактора, що знижує ймовірність помилок при оцінці стану обладнання.

По-четверте, автоматизовані системи підтримують створення цифрових двійників обладнання, що дає змогу проводити моделювання та тестування різних сценаріїв експлуатації та впливу несправностей без втручання в роботу реальних об'єктів. Це знижує ризики і забезпечує краще планування технічного обслуговування.

По-п'яте, ІТ-технології спрощують управління даними діагностики, забезпечуючи їх централізоване зберігання, обробку та доступність через спеціалізовані платформи. Це дозволяє технічному персоналу отримувати всі необхідні дані з будь-якої точки у зручному форматі, підвищуючи ефективність роботи.

По-шосте, автоматизація діагностичних процесів дозволяє інтегрувати інформацію про стан обладнання з корпоративними системами управління

(ERP, CMMS), що сприяє більш ефективному управлінню ресурсами, плануванню ремонту та зменшенню витрат на запчастини та інші матеріали.

Таким чином, автоматизація процесів діагностики з використанням ІТ-технологій відкриває нові можливості для підвищення ефективності та економічності технічного обслуговування, дозволяючи підприємствам забезпечувати стабільну роботу обладнання, знижувати експлуатаційні витрати і підвищувати конкурентоспроможність.

Автоматизовані системи також інтегруються з корпоративними ERP-системами для планування технічного обслуговування, управління запасами та розрахунку витрат. Впровадження таких технологій сприяє оптимізації витрат, скороченню часу простою техніки, підвищенню надійності та довговічності обладнання, що в кінцевому підсумку покращує економічні показники підприємства.

Організаційні заходи, такі як регулярне планове технічне обслуговування, створення регламенту діагностики, а також навчання персоналу роботі з сучасним обладнанням, сприяють підвищенню якості діагностики. Використання методів прогнозування, таких як аналіз режимів відмов і оцінка ризиків, допомагає оцінити залишковий ресурс компонентів двигуна та мінімізувати ризики поломок.

В результаті впровадження цих заходів зменшуються простої техніки, оптимізуються витрати на обслуговування і ремонт, підвищується ефективність роботи техніки та знижується витрата палива. Це дозволяє продовжити ресурс двигунів ЯМЗ-238, забезпечуючи їх надійність і стабільну роботу.

ВИСНОВКИ

Діагностика електронних систем керування автомобіля набуває все більшого значення через зростання популярності автотранспорту з автоматизованими системами управління. Проте, виявлення несправностей у системах управління двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) залишається складним завданням, яке часто вимагає значних витрат часу та коштів. Проблему ускладнює велика кількість версій електронних блоків управління (ЕБУ) навіть для однієї моделі автомобіля, що вимагає розробки нових діагностичних інструментів та адаптації існуючих протоколів і роз'ємів.

З огляду на те, що розвиток конструкції двигунів випереджає прогрес у діагностичних технологіях, виникає гостра потреба у вдосконаленні методів технічного обслуговування. Відповідно до стандартів OBD II, вбудовані діагностичні системи повинні не лише забезпечувати контроль над системою управління, але й гарантувати функціональність інших компонентів двигуна.

Дослідження свідчать, що значна частка викидів шкідливих речовин у довкілля спричинена несправностями ДВЗ. Це підкреслює важливість оперативної діагностики для забезпечення екологічної безпеки. У контексті посилення вимог до якості вихлопних газів діагностичні системи мають моніторити ключові параметри та компоненти автомобіля, включаючи: систему подачі палива, що забезпечує оптимальний баланс паливно-повітряної суміші, виявлення пропусків запалювання, які можуть спричинити нерівномірне згоряння та підвищену токсичність вихлопних газів, систему рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) для зменшення викидів оксидів азоту, оцінку ефективності нейтралізаторів, що знижують токсичність вихлопних газів, систему уловлювання парів палива (EVAP) для запобігання викидам бензинових парів у атмосферу, систему подачі вторинного повітря, яка забезпечує додаткове окислення вихлопних газів.

Таким чином, розвиток діагностичних технологій є ключовим фактором забезпечення ефективної роботи ДВЗ, дотримання екологічних стандартів і підвищення надійності автомобілів.

Методи діагностики базуються на аналізі правильності роботи електронних ланцюгів, вимірюванні параметрів сигналів у визначених точках схеми при заданих режимах роботи, а також на порівнянні отриманих даних із стандартними значеннями. Крім того, використовується аналіз реакцій системи на тестові сигнали.

Особливістю бортової діагностики двигунів є застосування інформації від датчиків системи управління двигуном. У разі впровадження нових датчиків, їх вибір здійснюється так, щоб отримана інформація могла бути використана не тільки для контролю, але й для вдосконалення системи управління та одночасного діагностування кількох несправностей. Це стимулює розвиток нових методів і інструментів діагностики, а також створення алгоритмів, які базуються на використанні нових діагностичних параметрів [36].

Аналіз впливу різних чинників на ефективність централізованої ремонтно-технічної служби (ЦРТС) показав, що найбільше значення мають помилки оператора-діагноста на етапі передремонтного діагностування. Ці помилки можуть бути зумовлені як об'єктивними, так і суб'єктивними факторами, що підкреслює важливість мінімізації людського впливу на діагностичний процес.

Розроблена методика виявлення дефектів агрегатів автомобілів із застосуванням математичного апарату штучних нейронних мереж (ШНМ) забезпечує: автоматизацію процесу діагностики: мінімізація впливу людського фактора. точний розподіл; агрегатів: правильне спрямування агрегатів за технологічними маршрутами ремонту (комплексами ремонтних робіт - КРР); оптимізацію процесу: підвищення точності постановки діагнозу та ефективності розподілу.

Впровадження цієї методики сприяє покращенню організації ремонтних процесів, зниженню ризику помилок і підвищенню загальної ефективності ремонтних робіт у рамках системи ЦРТС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський В. М., Спирін А. В., Полєвода Ю. А., Твердохліб І. В. Роль і місце технічного діагностування в системі технічної експлуатації автомобілів в сільському господарстві. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2018. Випуск 1 (100). С. 24-28.
2. Гунько І. В. Гуцаленко О. В. Транспорт – актуальні проблеми та сьогодення. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2015. Випуск 2 (90). С. 98-103.
3. Borysiuk D., Spirin A., Trukhanska O., Shvets L., Zelinsky V. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin–Rzeszow, 2017. Vol.17, No1, P. 41-48.
4. Spirin A., Baranovsky V. Matematical model of diagnostication of fuel apparatus of automotive diesels. *Scientific journal innovative solutions in modern science*. 2018. №2 (21). P. 33-46.
5. Спирін А. В., Барановський В. М., Зелінський В. І., Натяжний В. С. Математична модель діагностування системи впорскування палива «Моно-jetronic». *Вісник машинобудування та транспорту*. Вінниця, 2018. №1 (7). С. 10-17.
6. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Методи та засоби діагностування тракторів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 1 (89). т. 2. С. 16-20.
7. Борисюк Д. В. Вимушені коливання силового агрегата трактора. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. № 3 (92). С. 40-41.
8. Анісімов В. Ф., Борисюк Д. В., Черкевич О. В. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 2 (94). С. 34-36.

9. Біліченко В. В., Романюк О. Н., Яцковський В. І., Борисюк Д. В. Монтаж акселерометрів при віброакустичному діагностуванні машин і механізмів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. № 2 (97). С. 52-55.
10. Гунько І. В., Спірін А. В., Холодюк О.В. Надійність систем та обґрунтування інженерних рішень. Вінниця: ВНАУ. 2006. 76 с.
11. Кукурудзяк Ю. Ю. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Діагностика мехатронних систем автомобілів". Вінниця : ВНТУ, 2017. 26 с.
12. Кукурудзяк Ю. Ю. Методичні вказівки до самостійного вивчення та виконання контрольних робіт з дисципліни "Діагностика мехатронних систем автомобілів". Вінниця: ВНТУ, 2017. 29 с.
13. Борисюк Д. В. Фірмове обслуговування автомобілів. Практикум (для студентів спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 1. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 207 с.
14. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія ТО і ПР. Вінниця : ВНТУ, 2022. 225 с.
15. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Значення технічного діагностування тракторів і автомобілів в сільському господарстві. *XLVI-а наук.-техн. конф. фак.-ту машинобудування та транспорту ВНТУ, м. Вінниця, 27-28 березня 2017 р.* : тези доповіді. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt2017/paper/view/1764/2362> (дата звернення: 12.04.2018).
16. Борисюк Д. В. Фірмове обслуговування автомобілів. Практикум (для студентів спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 2. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 221 с.
17. Борисюк Д. В. Перспективи розвитку методів і засобів діагностування сільськогосподарських тракторів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: X-а Міжн. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 23-25 жовтня 2017 р.*: тези доповіді. Вінниця, 2017. С. 138-142.
18. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Фірмове обслуговування автомобілів. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи (студентам

спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 1. Вінниця: ІРВЦ ВНТУ, 2022. 50 с.

19. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Методи віброакустичного діагностування технічного стану вузлів і агрегатів машин. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій* : VI-а Міжн. конф., м. Вінниця, 13-15 вересня 2018 р.: тези доповіді. Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 34-36.

20. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Системи вимірювання та аналізу вібрації, удару і шуму. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2013. № 4 (72). С. 5-12.

21. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Фірмове обслуговування автомобілів. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи (студентам спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 2. Вінниця: ІРВЦ ВНТУ, 2022. 51 с.

22. Борисюк Д. В. Формування словника діагностичних ознак при віброакустичному діагностуванні тракторів і автомобілів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : VI-а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 12-13 квітня 2018 р.: тези доповіді. Вінниця, 2018. С. 28-30.

23. ДСТУ 9118:2021. Технічна діагностика. Діагностування технічного стану матеріалів конструкцій. Загальні вимоги. [Чинний від 2022-01-07]. Вид. офіц. Київ, 2021.

24. Законодавство України про автомобільний транспорт: збірник законодавчих актів [Чинний від 2005-05-01]. Вид. офіц. Київ: Парламентське видавництво, 2005. 140 с.

25. ДСТУ 4973:2008. Трактори. Технічне діагностування. Параметри та якісні ознаки технічного стану. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2009. 10 с. (Інформація та документація).

26. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2011. 56 с. (Інформація та документація).

27. Волков В. П., Грицук І. В., Волков Ю. В. та ін. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Харків, 2018.
28. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ: Літера ЛТД, 2017. 224 с.
29. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомо-білів, автобусів. Основи будови та експлуатації автопоїздів. О. П. Строков, М. Г. Макаренко, В. Ф. Орлов, В. О. Павленко. Київ: Грамота, 2005. 352 с.
30. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й., Лисенко В. О. Основні причини виникнення несправностей двигунів внутрішнього згорання автомобілів. *Науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ «ЛІ Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2022)»*. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/15691/13168>
31. Башкатова В. И., Здерева Т. А., Стельмаховский Ю. С. Планування роботи автотранспортного підприємства. Програмоване навчання. Київ: Вища школа, 2012. 288 с.
32. Кукурудзяк Ю.Ю., Біліченко В.В. Технічна експлуатація автомо-білів. Організація технологічних процесів ТО і ПР. Вінниця: ВНТУ, 2010. 198 с.
33. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія: підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
34. Ремонт автомобілів. упор. В.Я. Чабанний. Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.
35. Борисюк Д. В. Оцінка економічної ефективності впровадження технічного діагностування транспортних засобів. *Актуальні проблеми функціонування господарської системи України: Міжн. наук.-практ. конф., м. Львів, 3-4 лютого 2017 р.: тези доповіді*. Херсон: Вид. дім «Гельветика», 2017. С. 112-114.
36. Борисюк Д. В. Оцінка економічної ефективності засобів технічного діагностування сільськогосподарських тракторів. *Інформаційне суспільство (технологічні, економічні та технічні аспекти становлення): Міжн. наук.-*

практ. конф., м. Тернопіль, 2 березня 2017 р.: тези доповіді. Тернопіль, 2017. С. 40-41.

37. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Методика розрахунку економічної ефективності впровадження технічного діагностування тракторів. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2017. № 5 (21). С. 135-142.

38. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й., Березняк М. С. Причинно-наслідкові зв'язки параметрів основних ресурсних груп двигуна ЯМЗ-238. *Матеріали XV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 24-26 жовтня 2022 року: збірник наукових праць*, 2022. С. 30-35.

39. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. Київ: Либідь, 2000. 400 с.

40. Марціяш О.М., Базар Є.М., Мельник М.С., Яскілка С.З. Методичні вказівки для виконання і оформлення курсового проекту з дисципліни “Технічна експлуатація автомобілів” спеціальності 274 “Автомобільний транспорт”, галузі знань 27 “Транспорт”. Тернопіль: ВСП “ТФК ТНТУ”, 2023. 31 с.

41. Карагодін В.І. Ремонт автомобілів і двигунів: Підручник для студентів середніх професійних навч. закл. 2-ге вид. К.: Академія, 2003. 496 с.

42. Mercedes-Benz Sprinter. Посібник з експлуатації. Технічне обслуговування. Ремонт. Особливості конструкції. Харків: Моноліт, 2007. 290 с.

43. Мигаль В.Д. Основи технічної діагностики автомобілів: навч. посіб., 2-ге видання. Харків: Майдан, 2016. 372 с.

44. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ, 2017. 35 с.

45. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 48 с.

46. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Зі змінами №1. [Чинний від 2014-11-13]. Вид. офіц. Київ, 2014. 51 с.