

Інтелектуальне діагностування транспортних засобів

Мигаль В. Д.¹, Аргун Щ. В.², Гнатов А. В.², Гнатова Г. А.², Сохін П. А.²

¹Державний біотехнологічний університет, Україна

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Анотація. Проведено дослідження методів діагностування транспортних засобів (ТЗ) оператором-діагностом для швидкого і ефективного виявлення несправностей з мінімальним використанням технічних засобів для зниження трудомісткості і підвищення ефективності діагностування. Результати роботи можуть бути використані як на станціях технічного обслуговування, так і водіями, розробникам експлуатаційно-технічної документації, розробниками, що займаються удосконалення технічних засобів діагностики, машинного навчання тощо.

Ключові слова: транспортний засіб, методи діагностування, несправність, інтелектуальні системи.

Вступ

Вчені всього світу приділяють неабияку увагу питанням економічності, екологічності, надійності та ефективності різного роду машин і апаратів. Особлива увага приділяється якості діагностування технічного стану транспортних засобів (ТЗ) як за допомогою навичок діагноста, так і з використанням інтелектуального обладнання [1,2]. Діагностика або пошук несправностей є невід'ємною частиною роботи автомобільної техніки, і в ході того, як автомобільні системи стають все більш складними, зростає потреба в діагностичних навичках [3]. Тому методи діагностування органами чуттів людини слід розглядати як невід'ємну частину технічної діагностики на всіх стадіях життєвого циклу ТЗ.

Аналіз публікацій

Автори роботи [4] розробили семиступеневу діагностику ТЗ на основі універсального семиступеневого підходу компетенції вирішення проблем. Цей підхід діагностики підвищує можливості і ефективність фахівців з діагностики, допомагає скоротити терміни діагностики. Він спрямований на створення системи управління знаннями для полегшення використання минулого досвіду і перене-

сення його в нові моделі.

Реальний стан технічних об'єктів змінюється з часом через різні зовнішні та внутрішні причини. У 50-80 % випадків досвідчений оператор проводить діагностику автоматично, без виділення самого етапу прийняття рішення. Такий метод діагностування ґрунтується на знаннях, досвіді діагноста й досконалому його почуттів та розуму. При цьому інтуїтивно виконуються деякі дії з отримання й інтелектуальної обробки інформації, на основі чого робляться висновки про стан об'єкта. Але перш ніж робити якісь висновки щодо технічного стану, навіть при використанні програмних інструментальних методів, діагност проводить логічні міркування, вивчає які роботи і коли проводилися з вузлом, аналізує результати цих робіт, визначає чи справні засоби діагностування і т. д. [5]. Навіть у найскладніших системах діагностування із застосуванням сучасних осцилографів, мотор-тестерів, сканерів та інших інструментів саме оператор-діагност сприймає інформацію, опрацьовує і приймає рішення про її достовірність.

У разі необхідності для підтвердження діагнозу діагност:

– використовує додаткові методи діагностування;

- робить відповідні вмикання-вимикання;
- змінює режими роботи;
- перевіряє наявність сигналу, тощо.

Знаючи взаємозв'язок процесів, що відбуваються, діагност управляє діагностуванням.

Діагностування ТЗ органами чуттів та за допомогою знань людини залишається основним методом отримання первинної інформації про технічний стан машин [6]. Інтелектуальні якості діагноста залишаються головними при розробці програм і алгоритмів пошуку несправностей, при управлінні засобами та об'єктом діагностування, прийнятті експертних рішень [7].

Останні роки на допомогу діагносту прийшло машинне навчання, яке активно вивчається і широко впроваджується в багатьох областях життєдіяльності людства. Наприклад, воно використовується в сільському господарстві [8], для вирішення дослідницьких питань в хімічних науках [9], в клінічній медицині [10], для діагностики машинних збоїв [11] і т.д. Але, не зважаючи на це, необхідно покладатися не тільки на пристрої та інструменти найвищої якості, але і треба залучити найкращих спеціалістів, організувати підвищення кваліфікації співробітників під час спеціалізованих курсів [12].

Автори роботи [13] розробили інтелектуальну систему діагностики. Ця система заснована на контролі залишкового ресурсу вузлів і агрегатів автомобіля, але дана система не є готовою для використання і потребує удосконалення і подальших досліджень. Автори наголошують, що для повноцінної роботи цієї системи необхідно вдосконалити бортові системи управління інформацією та супровідне технологічне програмне забезпечення; інтерактивну інтегровану систему; ідентифікацію зв'язків між діагностичними та структурними параметрами блоків і т.д.

Це підтверджується у роботі [14], де автори говорять про те, що машинному інтелекту до досягнення інтелекту, порівнянного з людським, ще дуже далеко [14]. Як стверджують автори роботи [15], не дивлячись на розвиток в області інтелектуального виробництва і підвищення рівня автоматизації, людський компонент таких систем залишається переважаючим. І з цим важко не погодитись. Наприклад при дослідженнях рівнів вібрації електродвигунів [16–18], не достатньо дотримання методики діагностування. Необхідні додаткові знання, досвід, уважність і навіть інтуїція оператора-діагноста. У

всіх випадках діагностування ТЗ оператор-діагност є основною і відповідальною ланкою у прийнятті рішень щодо результатів діагностування [19].

Мета та постановка задачі

Метою даної статті є дослідження інтелектуальних систем методів діагностування транспортних засобів оператором-діагностом для швидкого і ефективного виявлення несправностей з мінімальним використанням технічних засобів.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- структуру системи діагностування;
- розкрити інтелектуальні здібності людини у діагностуванні ТЗ;
- показати переваги та недоліки інтелектуальних систем діагноста порівняно з технічними системами діагностування;
- описати, які знання потрібні діагносту та яка експлуатаційно-технічна документація дає можливість підвищити ефективність інтелектуального діагностування ТЗ;
- представити етапи інтелектуального діагностування ТЗ.

Структура системи діагностування

До засобів і методів діагностування машин органами чуттів належать аналізатори зору, слуху, нюху, дотику та мислення людини [20]. Органи чуттів людини дають інформацію про отримання певних відчуттів. Значення показника технічного стану визначають шляхом аналізу та класифікації сукупності ознак, отриманих відчуттів, керуючись знаннями, накопиченим досвідом, розумом та особистими якостями діагноста, рис. 1. Швидкість і ефективність класифікації образів стану залежать від того, наскільки добре (точно) підібрані основні ознаки на першому етапі діагностування.

Для формування відчуттів людині необхідне зовнішнє подразнення певних органів – «датчиків чуттів». Це загальна схема виникнення відчуттів. Зовнішні подразнення оцінюються головним мозком у вигляді певних сигналів, які формують певні відчуття. За цим приймається рішення, і мозок видає необхідні командні сигнали виконавчим органам. При цьому дії можуть бути свідомими і несвідомими.

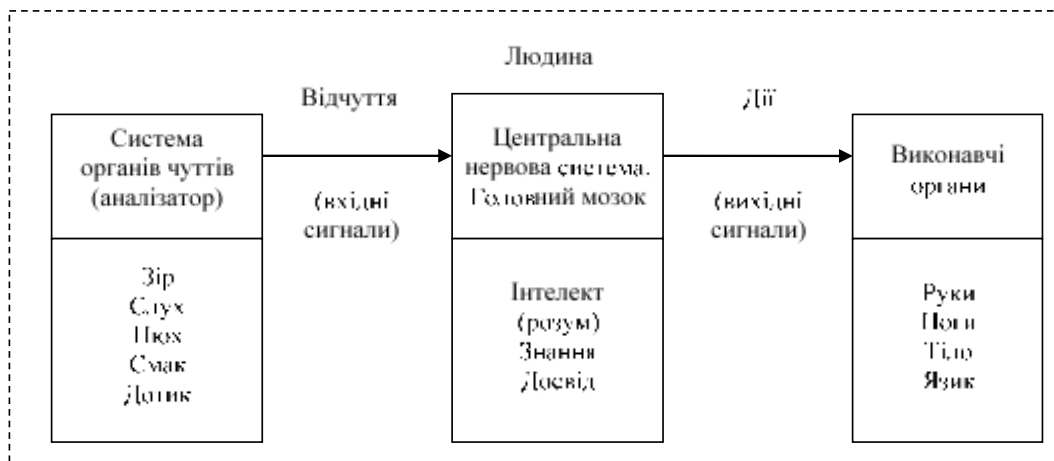


Рис. 1. Структура системи діагностування людини

Людина – це досконала біофізична система діагностування, елементами якої є рецептори (очі, вуха, ніс, шкіра тощо), головний мозок, язик. Тіло людини, шкіра, голова, руки і ноги складають систему дотику. Організм людини дуже відчуває зовнішній вплив і реагує навіть на незначні зміни, спричинені різними несправностями, режимами роботи механізмів і т.п. Дещо аналогічне відбувається і в технічній системі, яка складається з

датчиків та мікрокомп'ютера. На рис. 2 представлено структуру технічної системи діагностування. Мікропроцесор і пам'ять на рис. 2 виконують аналогічні функції головного мозку людини. У людини, згідно з сигналами головного мозку, приводяться в дію руки, ноги, тіло, а в технічній системі за командами процесора діє механічна рука або інший виконавчий пристрій (клапан, вимикач, тощо).



Рис. 2. Структура технічної системи діагностування

Біофізичні системи людини мають високі можливості вдосконалення шляхом отримання знань, досвіду та тренувань, що дають можливість формувати нейронні системи пам'яті та автоматично управляти технічними системами.

При відомих недоліках методи діагностування органами чуттів людини у багатьох випадках дають можливість попередити відмови й аварії механізмів. Ці методи ефективно застосовують для попередньої експертної оцінки стану окремих механізмів машин. У поєднанні з простими технічними засобами, які не розраховані на проведення вимірювань, але підвищують можливості, сприйняття та роздільну здатність органів чуття лю-

дини (показання бортових приладів, лупа, мікроскоп, мікрофон, щуп, слухова трубка, ендоскоп і т.п.), ці методи дають хороші результати. Систематизація й узагальнення прийомів такого діагностування представляє великий практичний інтерес, складає основу для розробки електронних та інших технічних систем діагностування.

Діагностику несправностей органами чуттів людини корисно освоїти хоча б тому, щоб розуміти обсяг, вартість і терміни виконання робіт, необхідні діагностичні засоби і вирішити, кому довірити їх усунення (самому собі, майстру на стоянці чи автосервісній фірмі).

У якості засобів діагностування виступа-

ють органи чуттів людини. Оцінка технічного стану на основі органолептичних методів і логічного аналізу структурних і вхідних параметрів робочих процесів є невід'ємною частиною першого етапу будь-якого процесу діагностування. Біологічні системи людини за багатьма властивостями переважають технічні аналоги (датчики).

Можливості людини в системі діагностування

Як в простих, так і в складних реалізаціях роль аналізатора інформації та виконавчого механізму виконує оператор-діагност. Спостерігаючи за великою кількістю змінних багатовимірної системи машини, що характеризують її технічний стан, оператор у більшості випадків приймає рішення швидко й ефективно, без залучення складних інструментів та спеціалістів. Ефективність рішення, яке він приймає, у значній мірі визначається знанням об'єкта, досвідом та інтуїцією. До сьогодні немає доступних приладів і засобів, що здатні реалізувати всі функції, що виконує людина: швидке моделювання процедур і топологічне представлення об'єктів при діагностуванні ТЗ та перехід до моделей простору параметрів [19].

Людська біофізична система здатна оцінювати комплексно технічний стан об'єкта, навколишнє середовище, дорожні умови, процеси та прилади, які швидко змінюються та виробляти алгоритм прийняття рішення за частки секунд з урахуванням морального усвідомлення ситуації. Свідомість людини охоплює увесь відчутний фізичний світ і повинне містити комплекси, які відображають найбільш фундаментальні його категорії: матерію, енергію, простір і час. Ніяка електронна система діагностування (бортова і стаціонарна) не може в достатній мірі мати багату комбінацію людських якостей і алгоритмів комплексного діагностування в реальному часі в дорожніх умовах. При багатьох позитивних моментах застосування електронних засобів діагностування, систем управління машиною, прийняття рішення в управлінні та пошуку несправностей залишається завжди за людиною-оператором, людиною-водієм, людиною-діагностом. Машини – творіння людини і їх рівень розвитку, принцип дії, конструктивний зміст так само різноманітні, як і думки та дії людини.

Основним завданням інтелектуальної діа-

гностики є швидка побудова як алгоритмів розпізнавання стану технічної системи, так і діагностичних моделей в умовах обмеженої інформації.

У всіх випадках діагностування органами чуттів людини під час проведення огляду та технічного обслуговування залишається практично основним способом отримання первинної інформації про технічний стан ТЗ. Незважаючи на появу і розвиток нових методів технічного діагностування, оцінювання органами чуттів людини технічного стану (наявність дефектів, пошкоджень, зниження керованості транспортною машиною тощо) залишається головним методом контролю, який дає можливість своєчасно виявляти й усувати несправності та попереджувати відмови через поломку складних деталей вузлів і покращити функціонування системи. Діагностування органами чуттів людини у багатьох випадках дає можливість уникати виникнення аварії механізмів. Досвід технічної діагностики показує, що людина, як правило, при багатоплановому уявленні об'єкта ставить діагноз не за однією, а за кількома ознаками.

Поєднання техніки, біології та психології – це досконалі ерготехнічні (ергактичні) системи та інтелектуальні системи знань і управління процесами та машинами. Органи чуттів і нейронна система людини можуть кодувати і класифікувати за ознаками сигнали, об'єкти, явища, процеси, ситуації та інші образи; виконувати технічну, економічну, медичну, соціальну діагностику; проводити узагальнення й інтелектуальну обробку даних; розрізняти добро і зло; приймати моральні рішення. Жодна з технічних систем не має таких якостей.

Людська біофізична система діагностування має такі позитивні якості: величезна кількість властивостей в одній автоматичній системі, простота методів контролю, мобільність і оперативність постановки діагнозу, можливість постановки діагнозу в разі відсутності багатьох вартісних технічних засобів діагностування, невелика трудомісткість та вартість постановки діагнозу.

Етапи інтелектуального діагностування

Першим діагностом технічного стану автомобіля є його водій, який у процесі експлуатації машини слідує за виникаючими шумами, вібраціями та іншими проявами

відхилень в процесах функціонування і керування агрегатами й системами автомобіля. Після появи деякої незвичайної ознаки несправності, увага водія зосереджується на накопиченні інформації про технічний стан ТЗ, на показаннях бортових приладів та системи самодіагностики, частоті повторної появи тієї самої ознаки або інших ознак, які можуть виступити у якості діагностичних параметрів [19].

В залежності від складності об'єкта і поставлених завдань, оцінювання технічного стану можна здійснювати в декілька кроків. Найефективнішою послідовністю діагностування є історичний метод схожості, еталонів, аналогій і винятків, принцип контролю технічного стану від простого до складного, не пропускаючи очевидного.

Обстеження автомобіля або окремого вузла починають проводити з найбільш інформативних ознак, послідовно перебираючи їх, спрямовуючи діагностику на контроль найважливіших елементів, агрегатів, систем, у разі необхідності багатократно повторюючи випробування до моменту встановлення діагнозу.

Залежно від складності об'єкта і виду несправності діагностування може проводитися у чотири етапи [19].

Перший етап. На першому етапі діагностування проводиться оцінювання технічного стану органами чуттів, на базі досвіду та знань людини.

Органами чуттів людини можна виявити загальні види несправностей, що характерні для всіх діагностованих вузлів і агрегатів будь-яких механізмів.

Відмінною особливістю візуального контролю є труднощі при формалізації процесу і вирішенні завдання розпізнавання. Виявлення тріщин корпусних деталей, опор або основ можливе у разі досягнення розмірів тріщин до 50-100 мкм, які стають видимі. Такі тріщини можна виявити методами неруйнівного контролю.

У більшості випадків діагностування органами чуттів діагност проводить одночасно: візуально, на дотик, на слух, запах і колір.

На слух виявляють місця і характер ненормальних стуків, шумів перебоїв у роботі двигуна, місця збільшення зазору між клапанами і коромислами механізму газорозподілення, несправностей трансмісії та ходової частини (за скрежетом, шумом і люфтом), нещільності (за шумом повітря, що прорива-

ється) і т. п.

Оглядом установлюють місця підтікання масла, охолоджувальної рідини, пального, колір відпрацьованих газів, натяг ланцюгових передач, биття частин, що обертаються, та інше.

На дотик встановлюють місця і ступінь ненормального нагрівання, биття, вібрації деталей, в'язкість, липкість рідини, тощо.

За характерним запахом визначають несправність муфти зчеплення, витік бензину, електроліту, коротке замикання електропроводки, тощо.

Другий етап. На другому етапі проводиться опитування водія і комплексне діагностування органами чуттів людини нормальної (функціональної) роботи основних елементів, вузлів, агрегатів та систем автомобіля.

Багато видів несправностей необхідно розпізнавати під час аналізу системи двигуна, шасі або системи «рульове керування-ходова частина-підвіска».

Наприклад, правильне співвідношення кутів розвалу і сходження керованих коліс сприяє прямолінійності руху ТЗ та збереженню паралельності коліс, виключаючи проковзування елементів протектора на дорозі та прискорену спрацьованість шин.

Перед тим як шукати причини неполадок у гальмах, ходовій частині та підвісці, необхідно переконатися в тому, що шини в хорошому стані й тиск у них відповідає нормі, що нормально відрегульована установка коліс, що вантаж рівномірно розподілений у ТЗ.

Діагностичні зовнішні ознаки характеризуються значною різноманітністю, однак, їх можна об'єднати в групи, беручи до уваги їх деяку спільність. До цих ознак належать параметри технічного стану: структурні, функціональні, супутні та інші параметри, які характеризують структуру і функціонування автомобіля, а також якісні та кількісні характеристики його властивостей.

Установлення факту несправності за зовнішніми ознаками є підставою для більш поглибленого діагностування відповідного агрегату шляхом вимірювання діагностичних і структурних параметрів стану.

Останнім часом арсенал засобів, які використовуються людиною під час діагностування ТЗ, значно розширений за рахунок появи бортових засобів візуального контролю реакції об'єкта діагностування на тестові впливи. Бортові засоби значно підвищують

інформативність сприйняття об'єкта органами чуттів людини та якість логічного контролю під час пошуку місця та причини несправності.

Третій етап. На третьому етапі додаткове застосування найпростіших інструментальних засобів діагностування і використання показань приладів бортових систем дає можливість виявити більшість несправностей механічних систем об'єкта діагностування, але використання осцилографів і тестерів на цьому етапі не завжди виправдане. Використання найпростіших засобів вимірювання дає можливість провести кваліфікований попередній аналіз та обґрунтування пошуку конкретної несправності й конкретними засобами потрібної роздільної здатності.

Під час пошуку несправностей машини (агрегату) виконують операції порівняння реакцій об'єкта діагностування на тестові впливи, щоб оцінювати вихідні сигнали. Діагноз повинен містити вказівки на несправні елементи та рекомендації щодо способу усунення несправності. На цій стадії діагностування висококваліфікований діагност на базі свого досвіду та знань може за п'ятнадцять хвилин встановити причини типової несправності приблизно у 90 % випадків. Однак, таких фахівців мало.

Діагностування ТЗ в обсязі четвертого етапу проводиться, якщо контроль технічного стану на попередніх кроках не дав результатів.

Четвертий етап. На четвертому етапі діагностування ТЗ здійснюється інструментальними засобами. Завдання діагноста правильно визначити діагностичні параметри, правильно вибрати засоби, їх роздільну здатність, місце, точки і кількість вимірюваних параметрів, режими діагностування (температурні, швидкісні, навантажувальні та ін.), способи обробки результатів вимірювань, визначити види й обсяг регулювальних робіт, обсяг ремонтних робіт. Провести повторне діагностування після проведення регулювальних і ремонтних робіт на відповідність вимогам економічних, екологічних і технічних норм безпеки ТЗ. Обґрунтувати допуск в експлуатацію з прогнозуванням залишкового ресурсу.

Для глибокого аналізу інформації, її порівняння та прийняття рішення потрібні достатні знання й досвід, які дають можливість людині при діагностуванні використовувати системний підхід, побудувати логічний план

дій з урахуванням складного причинно-наслідкового зв'язку можливих несправностей режимів діагностування та прогнозувати працездатність об'єкта на певний час. До необхідних загальних знань людини-діагноста (оператора) належать знання конструкції об'єкта діагностування, видів експлуатаційних несправностей, параметрів їх діагностування, засобів і методів діагностування.

Знання, необхідні діагносту для ефективного діагностування ТЗ

Висновок про технічний стан об'єкта діагностування, зроблений на підставі сприйняття органами чуттів людини та логічного мислення без наступного інструментального контролю технічних параметрів об'єкта діагностування завжди має попередній характер. Тому діагностування органами чуттів людини нерідко вимагає інструментального підтвердження. Інструментальні методи часто також мають таку саму достовірність діагностування, як і органами чуттів людини. Відмінність полягає у різній роздільній здатності методів визначення кількісних значень діагностичного параметра несправності (в залежності від її місця розташування і виду).

Методи діагностування на дотик, на слух, на колір і запах дають можливість оцінювати у більшості випадків тільки якісні ознаки відхилення технічного стану від норми. Візуально людина може діагностувати багато дефектів і несправностей з великою точністю та достовірністю. Недоліком цих методів є і те, що вони дають можливість фіксувати в основному розвинені несправності граничний або близький до цього стан ТЗ. Діагностування органами чуттів людини дає можливість констатувати наявність несправності, але встановлення кількісних значень спрацьованості багатьох деталей, розташованих всередині об'єкта цими методами без розбирання механізму вимагає великого досвіду та високої кваліфікації діагноста. Пошук і усунення складних несправностей механічних систем без розбирання механізму не завжди має потрібну достовірність. Спроби кількісної оцінки стану об'єктів діагностування органами чуттів людини, як і багатьма інструментальними, у тому числі електронними системами засобів, можуть призводити до серйозних помилок у прийнятті рішень щодо ступеня спрацьованості та роботоздатності механізму. Вони не завжди дають можли-

вість кількісно з високою достовірністю (до 0,99) прогнозувати залишковий ресурс.

Трудомісткість і достовірність оцінки технічного стану органами чуттів людини залежить від [19]:

- якості розробленої експлуатаційної документації на стадії проектування (таблиць несправностей, діагностичних параметрів і їх нормативних значень);

- діагностичних ознак несправностей усіх систем, комплексу взаємопов'язаних правил, методів, алгоритмів і засобів потрібних для виявлення несправностей;

- діагностичних моделей, способів і прийомів, що забезпечують оцінювання технічного стану;

- структурно-наслідкових і функціонально-логічних моделей пошуку несправностей;

- знання конструкції, типових і можливих несправностей;

- кваліфікації та досвіду діагноста.

Під час розробки експлуатаційно-технічної документації діагностування органами чуттів і мислення людини складають: контрольно-регулювальні та маршрутно-налагоджувальні карти; таблиці з вказанням вихідних, номінальних, допустимих і граничних значень параметрів; схеми пошуку несправностей усіх систем ТЗ з вказанням діагностичних структурних і функціональних ознак та параметрів; каталоги видів спрацьованості й пошкоджень з фотографіями й описом їх відмінних особливостей. Розробляються детальні карти змащування, контролю змащувальної системи, якості змащувального матеріалу, періодичності його заміни з урахуванням умов експлуатації та ін.

При експлуатації ТЗ розроблені при проектуванні діагностичні ознаки доповнюються фактичними експлуатаційними даними (комп'ютеризоване «досьє» на кожний засіб). Історія та статистична обробка даних експлуатаційних несправностей значно збільшує досвід і знижує трудомісткість діагностування.

До потрібних якостей знань людини-оператора (діагноста) належить рівень знань конструкції і робочих процесів об'єкта діагностування, його типових несправностей, параметрів методів діагностування і їх нормативних значень, систематичних похибок вимірювань, які виникають через незнання алгоритмів, помилок в оцінюванні показань приладів, неправильних навичок оператора щодо режимів діагностування. Результати

огляду об'єктів діагностування залежать від умов контролю, психологічного стану людини, втомленості, від освітленості площі поверхні, яку оглядають.

У разі кваліфікованого навчання, як показує практика, досвідчені механіки до 70-90 % несправностей і відмов ТЗ визначають за допомогою органолептичних методів і найпростіших тестів. Діагностування органами чуттів та логічне мислення шляхом порівняння результатів тестів дають можливість значно скоротити час та уточнити напрямок пошуку несправності, а у разі необхідності підтвердити діагноз інструментальними методами. Тестами можуть слугувати: неприродні стуки, шум, скрегіт у механізмах ТЗ; проковзування; зниження частоти обертання, потужності, продуктивності; утруднений пуск двигуна; відхилення зазорів від норми; розташування осей та поверхонь; димність відпрацьованих газів; зростання або падіння тиску; підтікання рідин тощо.

Висновки

В роботі показано, що важливу роль у діагностуванні транспортних засобів мають інтелектуальні здатності оператора-діагноста. Розглянуті переваги та недоліки такого діагностування.

Описано перелік основних знань, які необхідні оператору-діагносту та яка експлуатаційна документація потрібна для підвищення ефективності інтелектуального діагностування.

Інтелектуальне діагностування транспортних засобів поділене на етапи і показані широкі можливості діагностування органами чуттів людини та знань діагноста.

Показано, що висококваліфікований діагност може значно зменшити трудомісткість діагностування. У разі кваліфікованого навчання досвідчені механіки до 70-90 % несправностей і відмов транспортних засобів, агрегатів визначають за допомогою органолептичних методів і найпростіших тестів.

Результати роботи можуть використовуватись для навчання та підвищення кваліфікації спеціалістів, що експлуатують, діагностують та ремонтують транспортні засоби.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

- Asad, B., Vaimann, T., Rassölkin, A., Kallaste, A., & Belahcen, A. (2018). Review of Electrical Machines Diagnostic Methods Applicability in the Perspective of Industry 4.0. *The Scientific Journal of Riga Technical University-Electrical, Control and Communication Engineering*, 14(2), 108–116.
- Hnatov, A., Argun, S., Tarasov, K., Hnatova, A., Migal, V., & Patlins, A. (2019). Researching the Model of Electric Propulsion system for bus with the Matlab Simulink. *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/RTUCON48111.2019.8982352>
- Hu, X., Zhang, K., Liu, K., Lin, X., Dey, S., & Onori, S. (2020). *Advanced fault diagnosis for lithium-ion battery systems*.
- Altinisik, A., & Hugul, O. (2020). The seven-step failure diagnosis in automotive industry. *Engineering Failure Analysis*, 116, 104702. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104702>
- Bogajevskiy, A., Arhun, S., Hnatov, A., Dvadnenko, V., Kunicina, N., & Patlins, A. (2019). *Selection of Methods for Modernizing the Regulator of the Rotation Frequency of Locomotive Diesels*. 1–6.
- Moniz, A. B., & Krings, B.-J. (2016). Robots Working with Humans or Humans Working with Robots? Searching for Social Dimensions in New Human-Robot Interaction in Industry. *Societies*, 6(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/soc6030023>
- Oborski, P. (2004). Man-machine interactions in advanced manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23(3), 227–232. <https://doi.org/10.1007/s00170-003-1574-5>
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- Butler, K. T., Davies, D. W., Cartwright, H., Isayev, O., & Walsh, A. (2018). Machine learning for molecular and materials science. *Nature*, 559(7715), 547–555.
- Char, D. S., Shah, N. H., & Magnus, D. (2018). Implementing machine learning in health care—Addressing ethical challenges. *The New England Journal of Medicine*, 378(11), 981.
- Lei, Y., Yang, B., Jiang, X., Jia, F., Li, N., & Nandi, A. K. (2020). Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 138, 106587.
- Lejda, K., & Zielińska, E. (2014). General criteria for technical facilities with respect to the correct motor vehicle and combustion engine diagnostics and in the context of environmental protection. *Journal of Polish CIMAC*, 9(2), 137–144.
- Tsybunov, E., Shubenkova, K., Buyvol, P., & Mukhametdinov, E. (2017). Interactive (intelligent) integrated system for the road vehicles' diagnostics. *First International Conference on Intelligent Transport Systems*, 195–204.
- Deng, C., Ji, X., Rainey, C., Zhang, J., & Lu, W. (2020). Integrating Machine Learning with Human Knowledge. *IScience*, 23(11), 101656. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101656>
- Oloff, H., Liu, Y., Kumar, M., & Williams, M. (2018). A Framework of Integrating Knowledge of Human Factors to Facilitate HMI and Collaboration in Intelligent Manufacturing. *Procedia CIRP*, 72, 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.047>
- Arhun, S., Migal, V., Hnatov, A., Hnatova, H., & Ulyanets, O. (2020). System Approach to the Evaluation of the Traction Electric Motor Quality. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 7(26), 1–9. <https://doi.org/10.4108/EAI.13-7-2018.162733>
- Migal, V., Lebedev, A., Shuliak, M., Kalinin, E., Arhun, S., & Korohodskiy, V. (2021). Reducing the vibration of bearing units of electric vehicle asynchronous traction motors. *Journal of Vibration and Control*, 27(9–10), 1123–1131. <https://doi.org/10.1177/1077546320937634>
- Arhun, S., Hnatov, A., Migal, V., & Ponikarovska, S. (2020). Determining the quality of electric motors by vibro-diagnostic characteristics. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 7(29(e6)), 1–8. <https://doi.org/10.4108/eai.13-7-2018.164101>
- Mygal, V., Arhun, S., Hnatov, A., Bagach, R., & Kunicina, N. (2022, May 9). *Methods for Diagnosing Vehicles by an Operator-Diagnostician*. 2022 IEEE 63rd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia: Riga Technical University.
- Migal, V. D., & Migal, V. P. (2014). *Methods for technical diagnostics of cars*. ID «Forum», INFRA-M.

Мигаль Василь Дмитрович¹, д.т.н., проф. каф. тракторів і автомобілів, тел. +38 0993780451, e-mail: prof.myhal@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2308-760X>

Аргун Щасяна Валіковна², д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, shasyana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>

Гнатів Андрій Вікторович², д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 06674380887, kalifus76@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>

Гнатова Ганна Андріївна², студент автомобільного факультету ХНАДУ, тел. +38 0990679809, hannahnatova@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7263-3024>

Сохін Павло Андрійович², аспірант кафедри автомобільної електроніки, тел. +38 0633473433, info@elektrocar.com.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2823-2239>

¹Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, Україна, 61002.

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Intelligent diagnostics of vehicles

Abstract. Problem. *Diagnostics or troubleshooting is an integral part of the operation of automotive technology, and as automotive systems become more complex, the need for diagnostic skills increases, so diagnostic methods by the human senses should be considered an integral part of technical diagnostics at all stages of a vehicle life cycle. Methodology.* Analytical methods are used to study the methods of diagnosing vehicles with the help of the intellectual abilities of the operator-diagnostician. **Results.** The paper shows that the intellectual abilities of the operator-diagnostician play an important role in diagnosing vehicles, the advantages and disadvantages of such diagnostics are presented. The list of basic knowledge necessary for the operator-diagnostician is described as well as the type of operational documentation which is necessary to improve the efficiency of intelligent diagnostics. Intelligent diagnostics of vehicles is divided into stages and shows the wide possibilities of diagnosing by the senses and knowledge of the diagnostician. It is shown that a highly qualified diagnostician can significantly reduce the complexity of diagnosis. With qualified training, experienced mechanics determine up to 70-90% of malfunctions and failures of vehicles and

units using organoleptic methods and simple tests. **Originality.** *The stages of intelligent diagnostics of vehicles are singled out and the wide possibilities of diagnosing by the human senses and knowledge of diagnostics at these stages are shown. Practical value.* The results of this work are intended for wide use, for example, for drivers, maintenance services, developers of operational and technical documentation, developers involved in the improvement of technical diagnostic tools, machine learning, etc.

Key words: vehicle, diagnostic methods, malfunction, intelligent systems.

Migal Vasiliy¹, professor, Doct. of Science, Department of Tractors and Cars, e-mail: prof.myhal@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2308-760X>

Arhun Shchasyana², professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, shasyana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>

Hnatov Andrii², professor, Doct. of Science, Head of Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-0887, kalifus76@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>

Hnatova Hanna², student of the Automobile Faculty, tel.+38 0990679809, e-mail: hannahnatova@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7263-3024>

Sokhin Pavlo², postgraduate, Vehicle Electronics Department, tel. +38 0633473433, info@elektrocar.com.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2823-2239>

¹State Biotechnological University, Alchevskyyh str., 44, Kharkiv, 61002, Ukraine.

²Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.