

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Заверухи Руслана Романовича

«Підвищення ефективності експлуатації функціональних систем силової установки гібридного автомобіля»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 27 – Транспорт

та спеціальності 274 – Автомобільний транспорт

Актуальність теми дослідження. Дисертацію присвячено вирішенню актуального науково-практичного завдання, що пов'язане з підвищенням енергоефективності експлуатації функціональних систем гібридних транспортних засобів шляхом оперативного синтезу управляючих впливів за енергетичними критеріями з урахуванням умов експлуатації.

У цей час у ряді країн ведуться дослідження та розробки зі створення транспортних засобів, що використовують гібридні силові установки (ГСУ), до складу яких входять двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), генераторна установка, електричний двигун, акумуляторна батарея, перетворювач напруги та інші компоненти. Застосування електричного двигуна дозволяє забезпечити оптимальну роботу двигуна внутрішнього згоряння на різних режимах руху автомобіля й тим самим забезпечити економічну роботу ДВЗ на режимах його найбільшої ефективності. Оптимальне комплексне управління всіма компонентами гібридної силової установки автомобіля дозволяє виконати усі сучасні екологічні норми, знизити витрати моторного палива, підвищити рівень комфорту, безпеки та поліпшити тягове-швидкісні характеристики автомобіля.

На сьогоднішній час не вироблений єдиний підхід ні до схем побудови та конструкції гібридних силових установок, ні обґрунтовані принципи та методи діагностики технічного стану гібридної силової установки. Більшість відомих технологій діагностування гібридних силових установок не дозволяють об'єктивно проводити комплексну оцінку їх технічного стану за діагностичними параметрами, оскільки не відпрацьовано механізм їх спільного нормування і приведення до єдиної шкали вимірювання.

Таким чином, тематика роботи «Підвищення ефективності експлуатації функціональних систем силової установки гібридного автомобіля» є дуже актуальною задачею, особливо при експлуатації автомобіля в міському режимі з використанням системи рекуперації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі технічної експлуатації та сервісу автомобілів імені М.Я. Говоруценка Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Дисертація виконана відповідно Закону України № 3715-VI від 08.09.2011р. та в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка енергоефективного машинного комплексу для транспортного забезпечення Збройних Сил та Національної Гвардії України» (2021-2022 рр. № державної реєстрації 0121u109610).

Основні наукові результати, одержані автором, та їх наукова новизна. Ступінь наукової обґрунтованості результатів, сформульованих в роботі. Дисертаційна робота Заверухи Руслана Романовича «Підвищення ефективності експлуатації функціональних систем силової установки гібридного автомобіля» містить нові науково-технічні результати. Зокрема, він провів аналіз підходів, принципів і методів діагностування гібридних силових установок та показав необхідність їх подальшого розвитку та вдосконалення. Автором виконана формальна постановка оптимізаційної задачі діагностування гібридної силової установки при векторному функціоналі якості управління. Компонентами векторного функціоналу прийнято критерії точності управління, використання енергії тягової акумуляторної батареї, ступеня токсичності відпрацьованих газів. В основі синтезу математичної моделі діагностики технічного стану гібридної силової установки лежить апроксимація нейронними мережами характеристик ДВЗ, які базуються на діагностичних даних випробувань двигуна внутрішнього згоряння. Отримано нейромережеву модель оцінки технічного стану гібридної силової установки на базі енергетичних витрат. Розглянуті особливості діагностики технічного стану ДВЗ у складі гібридної силової установки, які відображають швидкісні характеристики ДВЗ і показники його економічності та токсичності відпрацьованих газів. Розроблено метод оцінки технічного стану гібридної силової установки автомобіля, який використовує штучні нейронні мережі та системи нечіткого висновку для ідентифікації залежності коефіцієнта технічного стану від діагностичних параметрів при діагностуванні. Розроблено стратегію діагностування технічного стану гібридної силової установки на підставі концепції нейромережевого та нейро-нечіткого управління з адаптивним критиком на підставі методу навчання нейронної мережі з підкріпленням. Надано використання принципу гарантованого результату та лінованого звернення векторного критерія в суперкритерій для визначення технічного стану гібридної силової установки на множині Парето-оптимальних управлінь при нерівних критеріях оптимальності.

Удосконалено оцінку технічного стану ДВЗ гібридної силової установки за діагностичними параметрами економічності та екологічної безпеки на підставі використання апарату штучних нейронних мереж. Встановлено особливість діагностики технічного стану ДВЗ гібридної силової установки, яка відображає швидкісні характеристики ДВЗ і показники його економічності та токсичності відпрацьованих газів. Визначено стійку і ефективну роботу тягового електродвигуна гібридної силової установки у всьому діапазоні тягово-швидкісних режимів, що задаються за умовами обмеження споживаної потужності тягової акумуляторної батареї. Розроблено математичні моделі складових гібридної силової установки, як ДВЗ, тягового електродвигуна та тягової акумуляторної батареї.

Теоретичну основу дослідження складають наступні положення:

- розроблено теоретичні основи структурної та параметричної ідентифікації математичної моделі технічного стану гібридної силової установки. Отримана нейромережева модель діагностування технічного стану гібридної силової установки визначає залежність критерія показника ресурсу від енергетичних витрат автомобіля. Швидкість руху автомобіля, напруга і струм тягової акумуляторної батареї, час впорскування палива форсункою та швидкість обертання колінчастого валу ДВЗ є енергетичними показниками діагностування технічного стану гібридної силової установки.

- встановлено, що перспективним напрямком підвищення ефективності та екологічної безпеки гібридних транспортних засобів є використання комплексного підходу до оцінки їх технічного стану з метою вибору найкращої технології діагностування гібридної силової установки, які експлуатуються в умовах України.

Наукова новизна результатів дослідження полягає в наступних положеннях.

- *вперше* розроблено метод діагностики технічного стану гібридної силової установки, який на відміну від відомих, забезпечує єдиний підхід дослідження технічного стану агрегатів незалежно від схеми будови та конструктивних особливостей гібридного транспортного засобу;

- *вперше* визначена стратегія діагностування технічного стану гібридної силової установки на підставі концепції нейромережевого та нейро-нечіткого управління з адаптивним критиком, який на відміну від відомих, відбувається на підставі метода навчання нейронної мережі з підкріпленням;

- *дістало подальшого розвитку* метод діагностування технічного стану гібридної силової установки, який на відміну відомих, враховує наукове обґрунтування діагностичних параметрів на підставі проведених обчислювальних експериментів при використанні розроблених математичних моделей та дорожніх випробувань гібридного автомобіля;

- *апробовано* оцінку технічного стану двигуна внутрішнього згоряння гібридної силової установки за діагностичними параметрами економічності та екологічної безпеки на підставі використання апарату штучних нейронних мереж.

Всі отримані автором результати є новими, достовірними та належно обґрунтованими, що створює умови для ефективного використання гібридних транспортних засобів за рахунок удосконалення методу визначення ефективної роботи гібридної силової установки на етапі експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів:

- отримані наукові результати становлять єдиний комплекс досліджень (концепція, принципи, методи та математичні моделі), запропоновано методику діагностування технічного стану гібридної силової установки на підставі концепції нейромережевого управління. Дисертаційні дослідження складають теоретичну базу для діагностики технічного стану агрегатів

гібридної силової установки, наукового обґрунтування базових діагностичних параметрів екологічно-чистих транспортних засобів;

- отримані результати були використані при розробці метода діагностування технічного стану складових гібридної силової установки за допомогою обчислювального експерименту і визначені науково обґрунтовані рекомендації встановлення діагностичних параметрів для аналізу технічного стану ДВЗ та тягової акумуляторної батареї;

- за результатами досліджень запропоновано алгоритм та процедуру раціонального діагностування технічного стану гібридної силової установки автомобіля на етапі експлуатації. Розроблені методики впроваджені в ТОВ «ТЕРКО АВТО», а також використовуються в навчальному процесі Тернопільського фахового коледжу Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Структура і зміст дисертації. Результати дисертації відображені у 18 публікаціях: 1 монографія, 5 статей (1 у Scopus, 4 у фахових виданнях України, з них 2 за спеціальністю 274 – Автомобільний транспорт), 7 тез на Міжнародних та Всеукраїнських конференціях, отримано 4 патента на корисну модель.

Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків з результатами експериментальних досліджень гібридної силової установки та з описом публікацій і участі у конференціях. Загальний обсяг дисертації 165 сторінок, основна частина її складає 108 сторінок.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної тематики, сформульовано мету роботи та задачі дослідження, подано коротку характеристику результатів дослідження, ступінь їх апробації та публікації.

У *першому розділі* дисертації викладено огляд літератури, проведений аналіз підходів, принципів і методів діагностування гібридних силових установок, аналіз відмов і несправностей, які виникають в гібридної силової установки автомобіля, сформульовані задачі дослідження.

У *другому розділі* розглянуто процес зміни технічного стану силової установки гібридного транспортного засобу, виконана формальна постановка оптимізаційної задачі діагностування гібридних силових установок при векторному функціоналі якості управління, отримано нейромережеву модель оцінки технічного стану гібридних силових установок на базі енергетичних витрат, визначено стійку і ефективну роботу тягового електродвигуна у складі гібридної силової установки у всьому діапазоні тягово-швидкісних режимів, що задаються за умовами обмеження споживаної потужності тягової акумуляторної батареї, отримано математичні моделі складових компонентів гібридної силової установки, як ДВЗ, тягового електричного двигуна та тягової акумуляторної батареї.

У *третьому розділі* визначено та проаналізовано продуктивність подачі палива окремими форсунками при різних імітованих частотах обертання колінчастого валу ДВЗ, отримані показники продуктивності роботи електромагнітних форсунок вказують на потребу їх дефектування або

відновлення пропускну́ї здатності. Проведений опис інформаційно-вимірювального комплексу для проведення експериментальних досліджень ДВЗ та тягової акумуляторної батареї у складі гібридної силової установки Toyota Prius. Проведені та проаналізовані результати проведення дорожніх випробувань на різних режимах роботи гібридної силової установки Toyota Prius.

У четвертому розділі розроблено метод оцінки технічного стану гібридної силової установки автомобіля, який використовує штучні нейронні мережі та системи нечіткого висновку для ідентифікації залежності коефіцієнта технічного стану від діагностичних параметрів при діагностуванні. Проведено навчання нечіткої моделі з використанням функції *fmincon* пакету Optimization Toolbox.

Висновки за результатами виконання дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень.

Список використаних джерел складається з 99 найменувань та свідчить про те, що під час виконання роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень.

Зауваження до дисертації.

1. У першому розділі не проведений докладний аналіз структури та не проведено дослідження різних типів гібридних силових установок.

2. Для дослідження обраний один тип гібридної силової установки, а саме «Паралельна схема гібридної силової установки (рисунк 2.1)». Цій рисунок демонструє два різні режими роботи гібридної силової установки: «тільки електрика», та «тільки паливо», але не розглядає саме паралельний режим роботи ДВЗ та електричного двигуна.

3. Термін «гібрид» вважаю не коректним для наукового дослідження, згідно Правилам ЄЕК ООН № 83-05:2005, IDT «Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежно від палива, необхідного для двигунів» “загальне визначення гібридних транспортних засобів:

- "під гібридним транспортним засобом (ГТЗ)" мається на увазі транспортний засіб, що має не менше двох різних перетворювачів енергії і двох різних (бортових) систем акумуляування енергії для цілей приведення до руху транспортного засобу;

- "під гібридним електромобілем (ГЕМ)" мається на увазі транспортний засіб, який для цілей приведення цього транспортного засобу до руху механічним способом використовує енергію з наступних двох бортових джерел акумуляованої електричної енергії / потужності: споживане паливо та пристрій для акумуляування електричної енергії / потужності (наприклад, батарея, конденсатор, маховик / генератор і т.д.).”

4. В дисертації наведено, що «обсяг основного тексту дисертації становить 165 сторінок», причому згідно «Порядку присудження наукових ступенів» це практично максимальний обсяг дисертації. Тому мабуть здобувач «економів» місце у дисертації та, наприклад, наводив формули

практично впритул до тексту. Насправді, здобувач навів у «165 сторінок» повний обсяг дисертації, а не «обсяг основного тексту». Якщо рахувати саме обсяг основного тексту, то він становиться на мінімальну межу, а саме 108 сторінок. Але з урахуванням економії місця в дисертації, можна вважати, що ця вимога виконана.

5. В дисертації є обов'язковий додаток до дисертації з списком публікацій здобувача за темою дисертації, але в ньому не наведені конкретні відомості про апробацію результатів дисертації та не вказана форма участі здобувача у конференціях.

Всі наведені недоліки не впливають на позитивну оцінку дисертації.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам.

Вважаю, що дисертація Заверухи Руслана Романовича «Підвищення ефективності експлуатації функціональних систем силової установки гібридного автомобіля» є завершеною науковою працею, яка містить низку нових, актуальних та достовірних результатів, що свідчать про її складність, систематичність та важливе значення для галузі знань 27 – Транспорт. Дисертація повністю відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами), «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р., «Тимчасового порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167. а її автор Заверуха Руслан Романович заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 274 – Автомобільний транспорт

Рецензент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автомобільної
електроніки Харківського
національного автомобільно-
дорожнього університету

Олег СМІРНОВ

