

## ВІДГУК

офіційного опонента

Левтерова Антона Михайловича

на дисертацію Міщенка Микити Тимофійовича

«Аналіз ефективності силових установок наземного транспорту»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування

### Актуальність теми

Сучасний світ перебуває в умовах масштабної трансформації енергетичного сектору, що обумовлено глобальними екологічними викликами, необхідністю зменшення викидів парникових газів, зокрема CO<sub>2</sub>, та впровадженням стратегії сталого розвитку. Автомобільний транспорт, як один із ключових джерел шкідливих викидів, потребує впровадження нових технологічних рішень, які б забезпечували підвищення паливної ефективності при одночасному зменшенні токсичності викидів.

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасних транспортних силових установок є використання альтернативних палив, зокрема водню, у складі гібридних силових установок. Водень як добавка до традиційного бензину дозволяє покращити процеси згоряння, зменшити вміст CO<sub>2</sub> у відпрацьованих газах та сприяє реалізації політики декарбонізації в транспортному секторі.

У цьому контексті дисертація, що присвячена вирішенню науково-практичної задачі підвищення ефективності та екологічності бензинових двигунів шляхом використання водневих добавок до штатного палива у складі гібридної силової установки, є актуальною. Дисертантом проведено всебічний аналіз існуючих типів силових установок, побудовано математичну модель процесів згоряння паливної суміші бензин–водень, виконано експериментальні та розрахункові дослідження, результати яких мають важливе значення як з наукової, так і з прикладної точки зору.

Тема пов'язана з виконанням науково-дослідної роботи кафедри «Двигуни та гібридні енергетичні установки» НТУ «ХП». Здобувач брав участь у науково-

дослідній роботі НДР М2737 «Розробка і впровадження технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності бронетехніки», ДР 0123U101839. Строки виконання НДР: 01.01.2023 – 31.12.2024. Науковий керівник НДР: д-р техн. наук, проф. А. П. Марченко. Участь автора – виконавець.

Таким чином, тема дисертації є актуальною та відповідає сучасному рівню розвитку науки й техніки в галузі енергетичного машинобудування та екологічно орієнтованого транспорту.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.**

Положення та висновки, наведені в дисертації, досить повно обґрунтовані як з наукового, так і з інженерно-технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується комплексним підходом, що поєднує експериментальні дослідження, теоретичні узагальнення та чисельне моделювання робочих процесів у двигунах внутрішнього згоряння з добавкою водню до основного палива.

У роботі застосовано сучасний математичний апарат: диференціальні рівняння тепло- і масообміну, емпіричні залежності моделі І.І. Вібе, а також математичне моделювання їздового циклу NEDC із використанням програмного забезпечення, адаптованого для розрахунків гібридних силових установок.

Результати математичного моделювання робочого процесу двигуна 4С7,6/6,6 ідентифіковано за даними експериментальних досліджень на моторному стенді, що підтверджує їх достовірність. Практична апробація результатів, підтверджена актами впровадження та використання в навчальному процесі, свідчить про їх прикладну значущість.

Таким чином, наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, мають належний рівень обґрунтованості, логічно впливають із отриманих результатів та підтверджуються як теоретичними, так і практичними дослідженнями.

**Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується їх відповідністю результатам експериментальних досліджень, проведених на моторному стенді з двигуном 4С7,6/6,6.

Математична модель робочого процесу двигуна, що працює на суміші бензину з добавкою водню, ідентифікована за результатами експериментальних індикаторних діаграм та характеристик тепловиділення. Це дозволило отримати збіжність розрахункових і натурних даних у межах припустимих похибок, що свідчить про валідність розроблених моделей.

Крім того, наукові результати, отримані в роботі, були використані для моделювання їздового циклу концептуальної гібридної силової установки та впроваджені у практичну діяльність наукових установ і в освітній процес, що також підтверджується актами впровадження.

Таким чином, результати дисертації є всі підстави вважати достовірними, експериментально перевіреними та підтвердженими практичним застосуванням.

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

- вперше запропоновано концептуальну схему бензинового двигуна 4Ч7,6/6,6 у складі гібридної силової установки, адаптовану для роботи з добавкою водню до основного палива;

- удосконалено математичну модель робочого процесу двигуна внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працює на паливній суміші бензину з воднем, яка дозволяє варіювати склад палива та визначати вміст  $\text{CO}_2$  у відпрацьованих газах із урахуванням режимних змін параметрів згоряння;

- вперше для задач аналізу гібридних силових установок із використанням бензо-водневих сумішей запропоновано емпіричні залежності для коефіцієнтів моделі І.І. Вібе з урахуванням впливу водневої добавки на параметри згоряння;

- вперше шляхом математичного моделювання досліджено вплив повного переведення автомобільного транспорту мегаполіса на електромобілі в контексті змін показників емісії  $\text{CO}_2$  на основі реальних і експериментальних енергетичних балансів;

- вперше змодельовано їздовий цикл NEDC для гібридної силової установки із двигуном, що працює на бензино-водневій суміші, та визначено показники паливної економічності і зменшення викидів  $\text{CO}_2$  при різних концентраціях водню в суміші.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Практична цінність полягає у використанні результатів досліджень:

1) результати дослідження були використані у ДП «Державтотранс-НДІпроект» при виконанні науково-дослідницьких робіт, пов'язаних із нормуванням витрати палива та електроенергії на автомобільному транспорті, розробкою національних стандартів, а також у межах вивчення можливостей застосування водню як добавки до традиційного пального;

2) напрацювання дисертації впроваджені у навчальний процес кафедри «Двигунів та гібридних енергетичних установок» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», де використовуються як складова навчальних курсів та лабораторних занять.

#### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Основні результати дисертаційного дослідження викладені у 12 наукових публікаціях, серед яких: 2 статті опубліковані у міжнародних наукових виданнях, що індексуються в базі Scopus; 1 стаття — у фаховому виданні, включеному до переліку МОН України; 9 праць — у збірниках матеріалів наукових конференцій різного рівня.

Інформація про особисту участь здобувача в публікаціях, що виконані у співавторстві, належним чином наведена в тексті дисертації.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

#### **Оцінка змісту дисертації**

Дисертація Міщенка Микити Тимофійовича складається зі вступу, п'яти розділів основного змісту, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність досліджуваної проблеми, визначено наукову новизну та практичну значущість роботи, чітко сформульовано мету й завдання дослідження, окреслено об'єкт і предмет дослідження, означено зв'язок роботи з науковими програмами та темами, подано інформацію про апробацію результатів дисертації та публікаційний доробок здобувача.

У першому розділі здійснено глибокий аналіз сучасного стану розвитку транспортних силових установок, розглянуто тенденції світового патентування в цій галузі, надано оцінку викидів CO<sub>2</sub> у навколишнє середовище, проаналізовано перспективи застосування водню як добавки до штатного пального та обґрунтовано вибір напряму подальших досліджень.

Другий розділ присвячений експериментальному дослідженню роботи бензинового двигуна 4Ч7,6/6,6. Описано методику проведення випробувань, умови експериментів, порядок вимірювань та отримано зовнішні швидкісні характеристики, які стали основою для подальшої математичної ідентифікації.

У третьому розділі представлено розроблену математичну модель робочого процесу двигуна з іскровим запалюванням, що працює на суміші бензину з воднем. Застосовано рівняння масообміну й теплообміну, описано моделювання процесу згоряння на основі моделі Вібе, проведено ідентифікацію моделі на основі експериментальних даних.

Четвертий розділ присвячено реалізації концепції декарбонізації. Розглянуто структуру гібридної силової установки, визначено режими її роботи, подано рекомендації щодо модифікації двигуна для використання водню, а також оцінено ефективність впровадження таких технологій.

У п'ятому розділі наведено результати розрахункового моделювання роботи гібридної СУ в умовах їздового циклу NEDC. Проведено аналіз зниження викидів CO<sub>2</sub>, покращення паливної економічності та сформульовано загальні рекомендації щодо практичного використання результатів дослідження.

Висновки після кожного розділу є логічними, змістовними та відповідають отриманим результатам. Загальні висновки дисертації повністю узгоджуються з поставленими цілями дослідження.

Список використаних джерел охоплює 81 найменування, включає актуальні вітчизняні та зарубіжні наукові праці, що свідчить про достатню глибину опрацювання літературних джерел.

Анотація в повному обсязі відображає зміст дисертації, її структуру, наукові результати та практичну значущість.

### **Академічна доброчесність**

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, мною не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

#### **По дисертації можна зробити наступні зауваження:**

У вступі та анотації положення щодо практичного значення отриманих результатів сформульовані з різним ступенем деталізації, що ускладнює розуміння узгодженості цих частин роботи.

В роботі не висвітлено питання щодо системи зберігання бортового запасу водню, або отримання його в процесі реалізації робочого циклу гібридної силової установки.

Не достатньо проаналізовано вплив вартості водню, отриманого за тією, чи іншою технологією, на вартісні експлуатаційні показники транспортного засобу.

У підрозділі 1.5 наведено властивості водню, проте їх вплив на безпеку експлуатації не згадано, хоча такий аспект є важливим при застосуванні водневих технологій у транспорті.

Загальна оцінка економічних та екологічних показників автомобільного ДВЗ за зовнішніми швидкісними характеристиками є не зовсім коректною, особливо з урахуванням його експлуатаційних режимів в умовах мегаполісу.

У списку використаних джерел відсутня інформація щодо джерела даних для побудови графіків патентної активності (розділ 1), хоча у тексті згадується European Patent Office.

У Додатку Б наведено фрагмент програмного коду, проте його призначення у тексті дисертації згадується лише побіжно — доцільно надати коротке пояснення щодо алгоритмічної сутності цього модуля.

## ВИСНОВОК

Дисертація Міщенка Микити Тимофійовича «Аналіз ефективності силових установок наземного транспорту» за своїм змістом відповідає спеціальності 142 – Енергетичне машинобудування. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій розв'язано важливу науково-практичну задачу — підвищення енергетичної ефективності та зниження рівня викидів CO<sub>2</sub> бензинових двигунів шляхом застосування водневих технологій у структурі гібридних силових установок. Наведені в роботі теоретичні положення, результати математичного моделювання, експериментального дослідження та прикладні розробки мають наукову новизну, достатній рівень обґрунтованості й практичну значущість.

Дисертація Міщенка М. Т. «Аналіз ефективності силових установок наземного транспорту» відповідає спеціальності 142 – Енергетичне машинобудування, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Міщенко Микита Тимофійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування.

Офіційний опонент

Старший науковий співробітник інституту енергетичних машин і систем НАН України

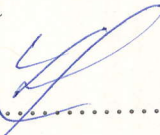


Антон ЛЕВТЕРОВ

Підпис старшого наукового співробітника

А. Левтерова засвідчую

Учений секретар ІЕМ

Сергій УГРИМОВ