

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента на дисертаційну роботу**  
**САДОВНИКА ІВАНА ІВАНОВИЧА**

«Поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля з бензиновим двигуном додаванням водневмісного газу з використанням рекуперованої теплової енергії», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**Актуальність теми дисертації**

Удосконалення конструкцій автомобільних бензинових двигунів та їх систем, які знаходяться в експлуатації, пов’язане зі зменшенням викидів шкідливих, викидів парникових газів, поліпшенням економічності та зменшенням долі неефективного використання теплової енергії.

Важливим напрямком удосконалення двигунів внутрішнього згоряння є рекуперування теплової енергії систем охолодження та відпрацьованих газів. Крім цього додавання водню або водневмісних сумішей газів до повітряного заряду покращує економічність.

В роботі, поданій до захисту, об’єднані напрямки рекуперування теплової енергії і додавання водневмісних газів, тому дисертаційна робота є актуальною.

**Зв’язок роботи з науковими програмами, темами, планами**

Дисертаційна робота виконувалась згідно плану наукових робіт Національного транспортного університету: на 2016 рік за темою «Розробка і дослідження систем моніторингу засобів транспорту на основі інформаційних систем в умовах експлуатації», державна реєстрація №0116U007887; на 2016–2018 роки за темою «Поліпшення показників транспортних засобів удосконаленням систем двигунів та застосуванням альтернативних планів», державна реєстрація державна реєстрація №0116U007533; на 2019–2020 роки за темою «Зниження витрати палива і шкідливих викидів двигунами дорожніх транспортних засобів оптимізацією конструктивних і експлуатаційних факторів», державна реєстрація №0119U100692.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків  
і рекомендацій**

Наукові положення і висновки, сформульовані автором дисертаційної роботи, в цілому відображають її зміст і постановку задач дослідження.

**Обґрунтованість отриманих результатів** базується на узгодженості сформульованих теми і мети дослідження, логічно сформульованих для



досягнення поставленої мети задач (аналіз літератури щодо рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів і додавання до повітряного заряду, розробка системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням розробленої системи; проведення експериментальних досліджень бензинового двигуна обладнаного системою додавання водневмісного газу до повітряного заряду та термоелектричним генератором для перетворення теплової енергії відпрацьованих газів; проведення розрахункових досліджень впливу використання запропонованої системи на паливну економічність і економічні показники автомобіля в режимах їздового циклу; розробка рекомендацій щодо вибору значень параметрів системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

Задачі дисертаційного дослідження сформульовані вірно, їх послідовність демонструє визначеність всіх досліджуваних процесів.

**Об'єкт та предмет дослідження** відповідають темі роботи та сформульованим задачам.

Здобувачу вдалось органічно об'єднати аналітичну, теоретичну і дослідницьку частину роботи.

**Достовірність результатів дисертаційного дослідження** базується на використанні фундаментальних положень теорії двигунів внутрішнього згоряння, термодинаміки, теплообміну, відповідністю змісту конструкцій фізичній суті процесів, що відбуваються у системі додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

**У першому загальному висновку** стверджується, що в умовах експлуатації розподіл теплових втрат автомобільного бензинового двигуна має значний вплив на паливну економічність та екологічні показники. Використання термоелектричної рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів може забезпечити виробництво водневмісного газу для його додавання до повітряного заряду з метою поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля.

**У другому висновку** констатується, що у дисертаційній роботі розроблено методику дослідження впливу додавання водневмісного газу до повітряного заряду двигуна з використанням термоелектричної рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів на паливну економічність та екологічні показники автомобіля. Вона включає проведення стендових випробувань двигуна, обладнаного засобами для подачі водневмісного газу та термоелектронного перетворення теплової енергії, у різних швидкісних і навантажувальних режимах роботи та визначення параметрів робочого процесу, параметрів системи управління двигуном, витрати палива та концентрація швидкісних речовин у відпрацьованих газах.

**Третій висновок** представляє створений експериментальний зразок системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового

двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів, що містить генератор водневмісного газу для його виробництва і подачі у впускну систему двигуна, додаткову акумуляторну батарею, термоелектричний генератор. В такій комплектації експериментальний зразок дозволяє ефективно реалізувати запропонований метод забезпечення виробництва водневмісного газу.

**У четвертому висновку** представлено алгоритм математичного моделювання показників автомобіля з використанням розробленої системи подавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна, в процесі руху автомобіля в їздовому циклі. Показники автомобіля представлени у вигляді поліноміальних залежностей, які в процесі експериментальних досліджень уточнюються.

**П'ятий висновок** констатує, що за результатами експериментальних досліджень двигуна VWBBY при використанні розробленої системи додавання водневмісного газу встановлено, що найбільший вплив додавання водневмісного газу проявляється в режимах наданої частоти обертання колінчастого валу та низького навантаження. Витрати палива на цих режимах зменшуються на 2,4...3,8 %, зменшується викиди CO, CO<sub>2</sub> і C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, але концентрація NO<sub>x</sub> дещо зростає.

**У шостому висновку** стверджується, що значення сили електричного струму та напруги експериментального зразка термоелектричного генератора дозволяють використовувати його в системі електропостачання автомобіля.

**Сьомий висновок** представляє результати експериментальних досліджень ефективності розробленої системи додавання водневмісного газу з термоелектричним генератором при виробництві 3 л/х водневмісного газу витрата палива зменшується на 1,9 % та викиди окремих шкідливих речовин на 1,2...3,6 %. При збільшенні виробництва водневмісного газу і подачі його до повітряного заряду лінійно поліпшуються показники ефективності двигуна, але кількість накопиченої у додатковій батареї електричної енергії лінійно знижується і це унеможливило її ефективне використання в умовах експлуатації.

**У восьмому висновку** на основі проведення досліджень розроблено рекомендації щодо вибору доцільних значень параметрів системи додавання водневмісного газу з термоелектричним генератором запропонованої конструкції. Зокрема, визначено, що для ефективного використання добавки водневмісного газу автомобільного бензинового двигуна VWBBY4 Ч 7,65/7,56 у діапазон навантажень у їздовому циклі відповідно до Правил ЄЕК ООН № 83-05 необхідне використання генератора водневмісного газу продуктивністю 3 л/хв. та термоелектричного генератора номінальної потужності 456 Вт. Це забезпечить ступінь зарядженості додаткової батареї до 96 % та встановлені вище показники паливної економічності та екологічності автомобіля в умовах експлуатації.

## **Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність в цілому**

Дисертаційна робота містить в собі анотацію, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел, що нараховує 110 найменувань та 16 додатків.

Оформлення дисертації відповідає встановленим вимогам. Виклад змісту і результатів дослідження виконано логічно і аргументовано.

У **вступі** обґрунтовається актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовані мета та задачі дослідження, приведені методи дослідження, сформульовані наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, наведено інші обов'язкові дані щодо виконаного дослідження.

У **першому розділі**, «Вибір способу рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів двигуна для поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля», розглянуто втрати теплової енергії автомобільного двигуна та їх вплив на паливну економічність та екологічні показники автомобіля, виконано аналіз способів рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів для поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобільного двигуна. Окремо розглянуто питання термоелектричного перетворення теплової енергії в електричну. Зроблено висновок про доцільність використання теплової енергії відпрацьованих газів для генерації електричної енергії за допомогою термоелектричних генераторів.

У **другому розділі**, що має назву «Загальна методика дослідження впливу додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів», приведено структуру методики проведення досліджень, систему додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів її експериментальний зразок з особливостями конструкції. Представлені етапи визначення основних параметрів генератора водневмісного газу при його проектуванні. На основі аналізу зроблено висновок, що для встановлення дійсних характеристик термоелектричного генератора конкретної конструкції необхідне проведення його експериментальних досліджень у системі випуску в різних швидкісних і навантажувальних режимах роботи двигуна.

Третій розділ, «Особливості математичної моделі оцінювання показників автомобіля з використанням систем додавання водневмісного газу до повітряного заряду двигуна», присвячений алгоритму дослідження паливної економічності та екологічних показників транспортного засобу під час руху в їздовому циклі згідно Правил ЄСК ООН № 83-05 з використанням системи додавання водневмісного газу, розробленю математичної моделі та програми розрахунку в середовищі MicrosoftVisualFortran. Розроблена програма захищена свідоцтвами про інтелектуальну власність.

**У четвертому розділі**, «Експериментальні дослідження двигуна з системою додавання водневмісного газу до повітряного заряду з використанням термоелектричного генератора», сформульована мета експериментальних досліджень, представлена програма і об'єкт експериментальних досліджень. Двигун VWBBY обладнаний системою додавання водневмісного газу до повітряного заряду встановлений на спеціальному стенді лабораторії НТУ, оснащений електронною системою управління і необхідними вимірювальними приладами. В цьому розділі приведені похибки приладів і вимірювань при проведенні експерименту, а також результати експериментальних досліджень.

Опис характеристик вимірювальної апаратури та іншого необхідного обладнання наведено достатньо інформативно і якісно, що дозволяє стверджувати про високу достовірність отриманих автором роботи результатів.

**П'ятий розділ**, «Результати розрахункових досліджень автомобіля з системою додавання водневмісного газу до повітряного заряду з використанням термоелектричного генератора», присвячений перевірці адекватності математичної моделі і дослідженню впливу використання системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду з використанням термоелектричного генератора на паливну економічність і екологічні показники автомобіля в режимах їзового циклу. В розділі розроблені та представлені рекомендації щодо вибору доцільних значень параметрів системи додавання водовмісного газу до повітряного заряду з використанням термоелектричного генератора.

**Додатки** містять програму розрахунків, параметри і їх ідентифікатори, що прийняті у програмі розрахунків, приклад оцінювання показників автомобіля, копії свідоцтв на інтелектуальну власність, апроксимації поліномів для визначення показників двигуна, довідки про використання результатів дисертаційної роботи.

### **Наукова новизна і практична цінність дисертаційної роботи**

Можна погодитись з вказаною в дисертаційній роботі науковою новизною, а саме:

1. Розроблено метод забезпечення виробництва водневмісного газу з використанням термоелектричної рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів бензинового двигуна та умови його використання під час експлуатації автомобільного транспортного заходу.

2. Уточнено поліноміальні залежності витрати палива, концентрацій шкідливих речовин та інтенсивності термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів від режиму роботи бензинового двигуна, які враховують додавання водневмісного газу до його повітряного заряду.

3. Отримано закономірності впливу параметрів системи додавання водовмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з

використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів, зокрема, інтенсивності додавання водневмісного газу до повітряного заряду та номінальної потужності термоелектричного перетворення, на ефективність накопичення електричної енергії в додатковій батареї, витрату палива та шкідливі викиди автомобілем під час його руху в їздовому циклі.

Практичну цінність складають:

– система додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів;

– алгоритм математичного моделювання показників автомобіля з системою додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів;

– результати роботи прийняті до використання в ДП «ДержавтотрансНДІпроект» та в Директораті автомобільного та електричного міського транспорту Міністерства інфраструктури України (м. Київ), Українському науково-дослідному та навчальному центрі хімотології і сертифікації паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин Національного авіаційного університету (м. Київ).

### **Зміст та оформлення дисертаційної роботи**

Зміст дисертаційної роботи засвідчує, що поставлена мета досягнута, а дисертація є завершеним науковим дослідженням. Робота оформлена якісно, відповідає встановленим вимогам.

### **Повнота викладених нових положень та висновків в опублікованих працях**

Матеріали дисертаційного дослідження опубліковано в 16 наукових працях, з яких одна індексується у науково-метричній базі Scopus, три є розділами іноземних монографій, вісім публікацій апробаційного характеру і чотири свідоцтва на інтелектуальну власність. Результати роботи достатньо повно апробовані на науково-технічних конференціях і є відомими широкому загалу фахівців.

Автореферат в цілому ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає сформульовані в ній основні наукові результати, що отримані здобувачем.

### **Зауваження за дисертаційною роботою**

1. В огляді використаних джерел немає посилань на відомі роботи:
  - Мищенко А.И. Применение водовода для автомобильных двигателей / А.И. Мищенко. – Киев: Наукова думка. 1984. – 143 с.
  - Канило П.М. Автотранспорт. Топливно-экономические проблемы и перспективы: Монография / П.М. Канило. – Х.: ХНАДУ, 2013. – 272 с.

– А.с. 1002644 (СССР) Система питання двигателя внутреннего сгорания / А.И. Мищенко, Г.Б. Талда, А.В. Беллогуб. – Опубл. В Б.И. 1963, №9.

2. В роботі відсутні даны про статистичну обробку індикаторних діаграм. Крім цього визначення середнього індикаторного тиску в кожній діаграмі дають змогу визначити коефіцієнт нестабільності середнього індикаторного тиску. При нормальному налаштуванні систем двигуна коефіцієнт нестабільності середнього індикаторного тиску повинен бути не більше 5%.

3. Максимальний тиск і максимальна температура не є індикаторними показниками. Індикаторними показниками є середній індикаторний тиск, індикаторна потужність, індикаторний ККД і індикаторна витрата палива.

4. В третьому розділі роботи (сторінка 10) приводяться залежності розрахунку масової частки вуглецю, формула (3.37), і масової частки водню, формула (3.38), в суміші палива і водневмісного газу. Результатів розрахунку за цими формулами в роботі немає. Ці дані дозволяють визначити водневий показник вуглеводневого палива. Наприклад, для бензину А-98 цей показник дорівнює 17,6% (мас).

5. На мою думку, отримання патенту на систему додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів, підкresлило б новизну роботи.

### **Загальні висновки**

1. Виконана дисертаційна робота за темою відповідає паспорту наукової спеціальності та присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі, пов'язаної з поліпшенням паливної економічності та екологічним показникам автомобіля в умовах експлуатації.

2. Розглянута дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, яке виконано з використанням сучасних методів дослідження, містить нові науково обґрунтовані результати та технічні рішення. Впровадження результатів дослідження сприяє розширенню теоретичних основ проектування двигунів внутрішнього згоряння та підвищенню паливної економічності та зниженню шкідливих викидів колісних транспортних засобів в умовах експлуатації. Дисертаційне дослідження методологічно виконано вірно, поставлені задачі дослідження виконано.

3. За результатами проведених досліджень можна стверджувати, що здобувач має достатні теоретичні знання в обраному напрямі і володіє сучасними методиками експериментального дослідження.

4. Робота має наукову новизну і практичне значення. Її результати можуть бути застосовані для поліпшення паливної економічності і зменшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

5. Публікації повною мірою розкривають зміст дисертаційної роботи.

6. Перелічені у відгуку зауваження і недоліки не впливають на загальні результати виконаного дослідження, які пройшли широку апробацію, не ставлять під сумнів їх наукової та практичної цінності.

На основі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота «Поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля з бензиновим двигуном додаванням водневмісного газу з використанням рекуперованої теплової енергії», по актуальності, науковій новизні і практичній цінності, обсягу та глибині досліджень відповідає пунктам 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор Садовник Іван Іванович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Офіційний опонент,  
професор кафедри двигунів  
внутрішнього згоряння  
Харківського національного  
автомобільно-дорожнього університету,  
доктор технічних наук, професор

  
**Ф.І. Абрамчук**

