

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного транспортного
університету, д-р техн. наук, професор

Олена СЛАВІНСЬКА

« 29 » 06 2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
Паніна Миколи Ігоровича
на тему: «Поліпшення показників сучасного бензинового двигуна при
використанні зрідженого нафтового газу добавкою водневмісного газу до
повітряного заряду»,
що подається на здобуття ступеня доктор філософії
за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»

Актуальність теми.

Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) (двигуни з іскровим запалюванням (ДзІЗ) та дизелі) є основними джерелами механічної енергії автомобілів, дорожніх, підйомно – транспортних, будівельних, сільськогосподарських машин та машин іншого призначення.

Можна стверджувати, що ці двигуни і в найближчому майбутньому будуть широко використовуватись як джерела механічної енергії таких машин так як за роки свого існування вони доведені до такого рівня досконалості, що інші відомі джерела механічної енергії не можуть порівнятися з ними за основними показниками.

ДВЗ є основними споживачами палив нафтового походження та одними з основних джерел забруднення навколишнього середовища. Найбільш широкого застосування ДВЗ отримали на автомобілях. На легкових автомобілях переважно встановлюють ДзІЗ, в яких як паливо використовують бензин. Кількість таких автомобілів в нашій державі інтенсивно зростає, що зумовлює необхідність розширення їх паливної бази, зокрема використанням альтернативних джерел енергії.

Одним з напрямів зменшення споживання бензину і розширення паливної бази автомобільного транспорту є переобладнання автомобілів з ДзІЗ для його роботи на зрідженому нафтовому газі (ЗНГ). Цей газ отримують при видобутку й переробці нафти як побічний продукт. ЗНГ складається із суміші газів

пропану і бутану. Використання ЗНГ для живлення двигунів в Україні зростає високими темпами, що пов'язано з багатьма перевагами даного палива в порівнянні з іншими альтернативними паливами, зокрема: зменшення витрат на паливо в експлуатації (приблизно в 1,5 рази); можливість встановлення газобалонного обладнання без змін в основних системах двигуна; зменшення концентрацій певних забруднювальних речовин (ЗР) в відпрацьованих газах (ВГ). Основним недоліком ЗНГ при використанні на транспорті є деяке підвищення об'ємної витрати палива в порівнянні з бензином (на 10-15 %).

Відомі ряд напрямів поліпшення паливної економічності і екологічних показників ДзІЗ. Окрему групу складають напрями направлені на інтенсифікацію процесу згорання добавкою активуючих газів до повітряного заряду двигуна. Одним з таких газів, вплив якого досить глибоко досліджений за роботи ДзІЗ на бензині, є водневмісний газ (H_2/O_2), який складається з молекул і атомів водню і кисню. Даний напрям є доволі перспективним, оскільки він не потребує зміни конструкції двигуна і його можна легко реалізувати в умовах експлуатації. Широких досліджень по впливу добавки водневмісного газу на показники роботи ДзІЗ при використанні ЗНГ не проводили.

Тому визначення шляхів раціонального використання добавок водневмісного газу до повітряного заряду ДзІЗ є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок теми дослідження з планами науково-дослідних робіт.

Робота виконана на кафедрі «Двигуни і теплотехніка» згідно плану наукових робіт НТУ на 2022-2024 р.р. за темами «Підвищення енергетичної ефективності та екологічності автомобільного транспорту використанням активуючих добавок та альтернативних палив з відновлюваної сировини» (державний реєстраційний номер № 0122U001201) та «Поліпшення екологічних показників та паливної економічності двигунів транспортних засобів удосконалення систем та використанням альтернативних палив» (державний реєстраційний номер 0122U000514).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій, які захищаються.

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання поліпшення показників двигуна з іскровим запалюванням за роботи на зрідженому нафтовому газі добавкою водневмісного газу до повітряного заряду. Вирішення

поставленого завдання дозволило одержати наступні наукові та практичні результати:

1. За результатами аналізу альтернативних палив доведено, що ЗНГ є одним з найбільш перспективних палив для ДзІЗ. Разом з тим його основним недоліком є менша ніжча теплота згорання з одиниці об'єму і неоднозначність екологічних показників роботи ДзІЗ в порівнянні з бензином. Це і визначило напрям роботи в цілому: провести теоретичні і експериментальні дослідження впливу добавки водневмісного газу до повітряного заряду на енергетичні, паливо-економічні та екологічні показники двигуна з іскровим запалюванням та автомобіля за роботи на ЗНГ і бензині.

2. Теоретичні дослідження згідно запропонованій методиці показали, що добавка водневмісного газу до повітряного заряду позитивно впливає на показники сумішоутворення за роботи на зрідженому нафтовому газі.

При збільшенні добавки від нуля до 10%, якщо розглядати водневмісний газ як кисневмісну добавку до палива, теоретично необхідна кількість повітря для згорання зменшується від 15,7 до 14,15 кг/кг, коефіцієнт надміру повітря зменшується від 1 до 0,985, масові частки вуглецю і водню зменшуються, маса вуглецю залишиться без змін, маса водню збільшиться незначно, коефіцієнт надміру повітря зменшиться по мірі додавання водневмісного газу, відношення Н/С зростає від 2,585 до 2,745, що свідчить про позитивний вплив добавки водневмісного газу на процес згорання ЗНГ.

3. Експериментальні дослідження на двигуні VW BBY за роботи в режимі холостого ходу ($n=1600 \text{ хв}^{-1}$) показали, що при добавці водневмісного газу близько 3 л/хв годинна витрата ЗНГ знижується на 17,6 %, годинна витрата бензину знижується на 14,3 %.

За роботи двигуна в середній точці Європейського їздового циклу ($M_k=19 \text{ Н м}$, $n=2200 \text{ хв}^{-1}$) з добавкою 4,2 % водневмісного газу годинна витрата ЗНГ зменшилася на 6,73 %. крутний момент збільшився на 13,2 %, питома ефективна витрата палива знизилася на 17,57%. За роботи з добавкою 4 % водневмісного газу годинна витрата бензину зменшилася на 3,17 %. крутний момент зріс на 5,26 %, питома витрата бензину знизилася на 8 %.

За роботи з повним навантаженням на зрідженому нафтовому газі при добавці 4,95 % H_2/O_2 максимальна потужність двигуна збільшується з 24,53 до 25,57 кВт на 4,2%.

4. Вплив добавки H_2/O_2 на концентрацію забруднюючих речовин за роботі двигуна VW BBY на ЗНГ і бензині AI95 досліджували в середній точці Європейського їздового циклу. За роботи на зрідженому нафтовому газі при певних

концентраціях H_2/O_2 має місце значна зміна окремих ЗР у ВГ. За роботи двигуна з добавкою 4.95 % H_2/O_2 концентрації незгорілих вуглеводнів зменшуються на 17,8 %. Концентрації CO знижуються на 4,5 %. Концентрації NO_x у ВГ двигуна зростають на 25 %.

За роботи на бензині зі збільшенням добавки водневмісного газу концентрації ЗР у ВГ практично не змінюються. Незначно знижуються концентрації незгорілих вуглеводнів і монооксиду вуглецю. Концентрації оксидів азоту дещо зростають.

5. Вплив добавки водневмісного газу на показники двигуна VW BBU в широкому інтервалі швидкісних і навантажувальних режимів визначали за результатами трифакторного експерименту. Інтервали змінювання незалежних параметрів: частота обертання $1400 - 5000 \text{ хв}^{-1}$, крутний момент $0-100\text{Нм}$, добавка H_2/O_2 від 0 до 3 л/хв. При використанні добавки H_2/O_2 встановили:

- за роботи двигуна на ЗНГ з навантаженням зменшення витрати палива в середньому на 4...8,6%, в режимах холостого ходу – в середньому на 9,9 %, зменшення концентрації CO в ВГ на 5,7...7,7%, зниження концентрації вуглеводнів в зоні середніх частот обертання і навантажень в середньому на 9,8%, концентрації оксидів азоту NO_x зростають у всьому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів в середньому на 7,7 %;

- за роботи двигуна на бензині в навантажувальному режимі зменшення витрати палива в середньому 2,7...4,3%, в режимі холостого ходу 8,9%, зниження концентрації CO в ВГ при середньому навантаженні для всіх частот обертання складає в середньому 8,7 %, зниження концентрації незгорілих вуглеводнів C_mH_n в ВГ в більшості швидкісних і навантажувальних режимів в межах 9,2...13,2%, концентрації оксидів азоту NO_x в ВГ зростають у всьому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів в середньому на 10,5 %.

6. Для оцінки ефективності використання добавки H_2/O_2 для підвищення паливної економічності бензинового двигуна за роботи на різних видах палива було визначено питому ефективну витрату палива в тепловому еквіваленті, яка враховує годинні масові витрати палива, H_2/O_2 , їх нижчу теплоту згорання та потужність, яку при цьому розвиває двигун. Найбільше зниження питомої ефективної витрати палива в енергетичних одиницях при добавці H_2/O_2 за роботи двигуна на бензині спостерігається в режимах малих навантажень (від 1,38 до 3,92 кВт) і становить в середньому 18,6 %. При вищих навантаженнях економія енергії становить в середньому 1,56 %. За роботи двигуна на ЗНГ добавка H_2/O_2 приводить до зменшення питомої ефективної витрати палива в енергетичних одиницях. Зниження споживання енергії спостерігається практично в усьому діапазоні навантажень і становить в середньому 5,2 %.

7. Індиціюванням двигуна 4С 7,65/7,56 (VW BBY) дослідили вплив добавки газу H_2/O_2 на робочий процес двигуна за його роботи на різних видах палива (товарний бензин АІ95, ЗНГ). Випробування провели в режимі близькому до середньої точки Європейського міського їздового циклу ($M_k = 20 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$) за добавки H_2/O_2 3 л/хв. З розгорнутих індикаторних діаграм встановили зростання максимального тиску згорання за роботи на обох паливах в середньому на 11 %, максимальної температури циклу в середньому на 2,4%. За роботи двигуна на бензині без добавки водневмісного газу тривалість процесу згорання становить 58,94 град. п.к.в., з добавкою – 55,49 град. п.к.в. За роботи двигуна на ЗНГ без добавки водневмісного газу тривалість процесу згорання становить 53,83 град. п.к.в., з добавкою – 51,62 град. п.к.в. Зменшення загальної тривалості згорання відбувається за рахунок більш короткої другої (основної) фази згорання, яка за роботи без добавки H_2/O_2 становить 28,8 град. п.к.в., з добавкою – 26,0.

8. За результатами обробки експериментальних індикаторних діаграм отриманих в режимі, близькому до середньої точки Європейського міського їздового циклу встановили, що використання добавки водневмісного газу приводить до підвищення індикаторних показників. За роботи на бензині АІ95 індикаторна потужність зростає з 7,326 до 7,811 кВт (на 6,6 %), за роботи на зрідженому нафтовому газі – з 7,86 до 8,216 кВт (на 4,5 %).

9. Перевірку достовірності проведених розрахунків провели на математичній моделі руху автомобіля VW Lupo для режимів міського Європейського їздового циклу. На цьому автомобілі встановлюють такий двигун, який досліджували в роботі. Отримані результати можна вважати достовірними. Це підтверджується отриманою величиною витрати бензину А-95 автомобілем VW Lupo в русі за режимами міського Європейського їздового циклу 8,586 л/100км. Ця величина близька до вказаної в технічній характеристиці автомобіля VW Lupo 8,3 л/100км для міських умов руху. Варто зазначити, витрата ЗНГ на 100 км більша за витрату бензину приблизно на 12,5%. Це підтверджує той факт, що при експлуатації об'ємна витрата ЗНГ завжди вища, в порівнянні з бензином. У той же час добавка H_2/O_2 до повітряного заряду позитивно впливає на поліпшення паливо-економічних показників автомобіля при роботі на обох видах палива. При використанні H_2/O_2 витрата ЗНГ зменшується на 5,3%, витрата бензину – на 3,3%.

Основні результати дослідження, ступінь їх наукової новизни та значущості.

Основні положення, що визначають наукову новизну дисертаційної роботи, полягають у наступному:

1. Теоретичними дослідженнями встановили, що добавка водневмісного газу впливає на показники процесу сумішоутворення за роботи двигуна на бензині і ЗНГ, зокрема теоретично необхідна кількість повітря для згорання палива і коефіцієнт надміру повітря зменшуються по мірі додавання водневмісного газу, відношення Н/С зростає, що свідчить про позитивний вплив на процес згорання отриманої суміші.

2. Добавка водневмісного газу до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням інтенсифікує процес згорання, швидкість згорання зростає, тривалість процесу згорання зменшується за роботи на бензині і ЗНГ. Це поліпшує індикаторні показники в режимі середньої точки Європейського міського їздового циклу. За роботи на бензині AI95 індикаторна потужність підвищується на 6,6 %, за роботи на зрідженому нафтовому газі – на 4,5 %. Індикаторний ККД циклу за роботи двигуна на бензині AI95 зростає на 7,4 % та на 7,7 % за роботи на ЗНГ.

3. Для більш точної оцінки ефективності використання добавки водневмісного газу до повітряного заряду запропоновано визначати питому ефективну витрату палива в тепловому еквіваленті, враховуючи годинні масові витрати палива, водневмісного газу, їх нижчу теплоту згорання та потужність, яку при цьому розвиває двигун. Встановлено, що за роботи двигуна на ЗНГ в середньому по навантажувальній характеристиці ($n=2200 \text{ хв}^{-1}$) добавка водневмісного газу в розмірі 3 л/хв до ЗНГ зменшує питому ефективну витрату палива в середньому на 5,2 %.

Практичне значення результатів дослідження складають:

- методика порівняння показників автомобіля за роботи на різних паливах з добавкою водневмісного газу;
- розраховані витрати бензину і ЗНГ в русі автомобіля за режимами Європейського міського їздового циклу;
- експериментальні дані впливу виду палива і добавки водневмісного газу на параметри робочого процесу;
- методика розрахунку впливу добавки водневмісного газу до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням в тепловому еквіваленті за роботи на різних паливах та результати досліджень;
- величини масових викидів ЗР в ВГ за роботи двигуна на різних паливах з добавкою водневмісного газу.

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.

Результати дисертаційної роботи опубліковано у:

1. Панін М.І., Самойленко І.В. Зріджений нафтовий газ з добавкою водневмісного газу як спосіб поліпшення показників двигунів з іскровим запалюванням. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2022, – Вип. 3 (53). С. 283-290.

DOI: 10.33744/2308-6645-2022-3-53-283-290.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/53/283_290.pdf

Мета – аналіз літературних джерел щодо використання добавки водневмісного газу для поліпшення показників роботи ДВЗ з іскровим запалюванням, який працює на зрідженому нафтовому газі.

Здобувачеві належить аналіз джерел щодо використання добавки водневмісного газу.

2. Шуба Є. В, Панін М. І. Вплив добавки водневмісного газу до повітряного заряду на показники двигуна з іскровим запалюванням за роботи на зрідженому нафтовому газі. Збірник наукових праць НУК, вип. 2-3, 2023, с. 84-92.

DOI: [https://doi.org/10.15589/znp2023.2-3\(491-492\).11](https://doi.org/10.15589/znp2023.2-3(491-492).11)

URL: <http://znp.nuos.mk.ua/archives/2023/2-3/11.pdf>

Мета – визначення впливу добавки водневмісного газу до повітряного заряду на паливну економічність та екологічні показники бензинового двигуна при роботі на зрідженому нафтовому газі в різних навантажувальних режимах.

Здобувачеві належить побудова навантажувальної характеристики двигуна з іскровим запалюванням.

3. Шуба Є. В, Панін М. І. Використання добавки водневмісного газу для поліпшення показників двигуна з іскровим запалюванням за роботи на зрідженому нафтовому газі. Збірник наукових праць НУК, вип. 2, 2024, с. 40-48.

DOI: [https://doi.org/10.15589/znp2024.2\(495\).6](https://doi.org/10.15589/znp2024.2(495).6)

URL: <http://znp.nuos.mk.ua/archives/2024/2/8.pdf>

Мета – Дослідити вплив добавки водневмісного газу на показники двигуна з іскровим запалюванням, за роботи на зрідженому нафтовому газі в різних швидкісних та навантажувальних режимах.

Здобувачем опрацьовано результати трифакторного експерименту.

Апробація результатів дослідження.

Основні положення і результати роботи були викладені, обговорені та схвалені на науково-практичних конференціях, зокрема: 76 (2020 р.), 78 (2022 р.), 79 (2023 р.) та 80 (2024 р.) наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету; Міжнародній конференції «Покращення конструктивних

та експлуатаційних показників автомобілів і машин», Національний транспортний університет, 2022 року, м. Київ; Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури: виклики воєнного часу», ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2022 року, м. Київ; Всеукраїнській науковій конференції здобувачів освіти і молодих учених «Відбудова транспортної інфраструктури України», Національний транспортний університет, 2023 року, м. Київ; Третій Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених «Молодь – драйвери відновлення країни», ДП «НІДІ», 2024 року, м. Київ; II всеукраїнській науковій конференції здобувачів освіти і молодих учених «Відбудова транспортної інфраструктури України», Національний транспортний університет, 2024 року, м. Київ; Третій міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури», ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2023 року, м. Київ.

Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 120 найменувань і 5 додатків. Роботу виконано на 185 сторінках машинописного тексту, з яких 128 сторінок основного тексту, 21 таблиця та 65 рисунків.

Текст дисертації викладено технічною мовою, логічно та послідовно. Структура дисертації, мова та стиль викладення відповідають вимогам, які ставить до кандидатських дисертацій Міністерство освіти і науки України. Застосована в роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Робота є самостійно виконаною, завершеною науково-дослідною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують конкретну наукову-технічну задачу поліпшення паливо-економічних, енергетичних, екологічних показників бензинового двигуна з іскровим запалюванням за роботи на зрідженому нафтовому газі при додаванні водневмісного газу до повітряного заряду.

За своїм змістом, науковим рівнем, актуальністю і практичним значенням дисертація відповідає вимогам до робіт такого рівня. Основні наукові результати дисертації опубліковані у вигляді наукових статей у фахових виданнях України.

Загальний висновок:

Враховуючи вищенаведене, дисертаційна робота М.І. Паніна «Поліпшення показників сучасного бензинового двигуна при використанні зрідженого нафтового газу добавкою водневмісного газу до повітряного заряду», що представлена до розгляду на розширеному засіданні кафедри двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету, відповідає вимогам щодо оформлення згідно Наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017 р.

Дисертаційна робота та публікації здобувача відповідають вимогам п. 6-9 Постанови Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р. Тому, дисертаційна робота М.І. Паніна «Поліпшення показників сучасного бензинового двигуна при використанні зрідженого нафтового газу добавкою водневмісного газу до повітряного заряду» може бути рекомендована до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

Головуючий

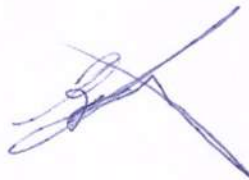
на розширеному засіданні
кафедри двигунів і теплотехніки,
в.о. завідувача каф. двигунів
і теплотехніки Національного
транспортного університету,
канд. техн. наук, професор



Микола ЦЮМАН

Рецензент,

доцент кафедри інженерії машин
транспортного будівництва
Національного транспортного
університету,
канд. техн. наук, доцент



Валентин МОРОЗ

Рецензент,

доцент кафедри двигунів і
теплотехніки Національного
транспортного університету,
канд. техн. наук, доцент



Олександр СИРОТА

Секретар,

інженер 1-ої категорії каф.
двигунів і теплотехніки
Національного транспортного
університету



Наталія СКИДАН