

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Гори Миколи Дмитровича

на тему «Поліпшення показників сучасного бензинового
двигуна в режимах повних навантажень використанням
кисневмісного газу»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 142
«Енергетичне машинобудування», галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Актуальність теми дослідження

В умовах інтенсивного дорожнього руху, особливо в межах міської інфраструктури, покращення тягово-динамічних характеристик автомобілів є ключовим чинником підвищення активної безпеки. Одним з ефективних шляхів досягнення цього є підвищення енергетичних показників двигуна в режимах повного навантаження.

Для двигунів з іскровим запалюванням традиційним підходом до підвищення потужності є збагачення паливоповітряної суміші при повністю відкритій дросельній заслінці. Однак цей метод супроводжується суттєвими недоліками: зростанням витрати палива та погіршенням ефективності каталітичного нейтралізатора, що, у свою чергу, призводить до збільшення викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

У зв'язку з цим актуальним є пошук альтернативних технічних рішень, які дозволяють покращити як енергетичні, так і екологічні характеристики двигуна без додаткової витрати пального. Одним із перспективних методів є введення кисневмісних сполук, зокрема закису азоту N_2O , до повітряного заряду двигуна. Такий підхід дозволяє підвищити інтенсивність згоряння паливоповітряної суміші, збільшити питому потужність без збагачення суміші бензином, а за правильного дозування — навіть зменшити токсичність відпрацьованих газів.

КАНЦЕЛЯРІЯ НТУ
Вх. № 01 / 017
«11» 07. 2025 р.

Тому у своїй роботі автор досліджував вплив дозованого введення закису азоту на енергетичні, паливні та екологічні характеристики сучасного двигуна з іскровим запалюванням, розподіленням впорскуванням бензину, системою зворотного зв'язку та трикомпонентним каталітичним нейтралізатором. У сучасних умовах, коли двигуни мають відповідати одночасно високим вимогам до потужності, економічності та екологічності, дослідження, присвячене пошуку оптимального балансу цих параметрів, є особливо актуальним. Тому метою роботи визначено поліпшення показників двигунів з іскровим запалюванням з системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і трикомпонентним каталітичним нейтралізатором за роботи з повним навантаженням. Мета, завдання, об'єкт і предмет дослідження, а також положення наукової новизни і сформульовані висновки узгоджуються між собою та утворюють цілісну логічну структуру дослідження. Вони послідовно розкривають основний зміст дисертаційної роботи, відображаючи відповідність поставленим науковим і практичним цілям. Це дозволяє комплексно оцінити результати дослідження та підтверджує його завершеність.

Дисертаційна робота виконана згідно плану науково-дослідної роботи НТУ на 2022-2024 рр., що виконується кафедрою двигунів і теплотехніки за темою: «Поліпшення екологічних показників та паливної економічності двигунів транспортних засобів удосконаленням систем та використанням альтернативних палив», державна реєстрація № 0122U000514.

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

Загальний обсяг дисертації становить 249 сторінок, включаючи 177 сторінок основного тексту, 95 рисунків та 7 додатків. Робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

У **вступі** обґрунтовано актуальність дослідження, наведено зв'язок роботи з науково-дослідною тематикою кафедри двигунів і теплотехніки,

визначено мету і завдання дослідження. Сформульовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та визначено особистий внесок здобувача. Наведено відомості про опублікування результатів дослідження, їх апробацію та особистий внесок здобувача.

У першому розділі «До вибору методу поліпшення показників двигунів з іскровим запалюванням (ДЗІЗ) в режимах повних навантажень» проведено аналітичний огляд режимів роботи двигунів із іскровим запалюванням в умовах сучасної експлуатації, особливу увагу приділено режимам повного навантаження, які характерні для руху в умовах міської інтенсивності. Розглянуто основні напрями підвищення енергетичних показників двигунів, зокрема збагачення паливо-повітряної суміші та застосування добавок, таких як закис азоту. Проаналізовано існуючі наукові підходи до використання N_2O , виявлено відсутність достатніх досліджень щодо його впливу на економічність та екологічність роботи сучасних бензинових двигунів з електронним упорскуванням і нейтралізацією відпрацьованих газів, що ще раз підтверджує актуальність обраного напрямку дослідження.

Другий розділ «Теоретичне дослідження впливу добавки закису азоту до повітряного заряду на показники двигуна з іскровим запалюванням за роботи з повним навантаженням» присвячено розробленню методики дослідження впливу добавки закису азоту (N_2O) до повітряного заряду на робочі характеристики двигуна з іскровим запалюванням при його роботі в режимі повного навантаження. Запропонована методика включає теоретичні обґрунтування, розрахункові моделі та експериментальні дослідження, спрямовані на оцінку енергетичних, паливних та екологічних показників двигуна.

У межах розділу визначено чотири режими роботи, які відрізняються складом паливо-повітряної суміші та наявністю добавки N_2O . Проведено обґрунтування параметрів цих режимів, зокрема стехіометричного та збагаченого складу суміші з різними рівнями дозування закису азоту.

Окрему увагу приділено визначенню показників оцінки ефективності роботи двигуна — середнього індикаторного тиску, індикаторного коефіцієнта корисної дії, концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах. Для кількісного порівняння запропоновано використання відносних коефіцієнтів впливу регулювання складу суміші на показники роботи двигуна.

Результати розрахунків свідчать, що введення N_2O для отримання стехіометричної суміші без зміни подачі бензину дозволяє підвищити енергетичні характеристики приблизно на 14 %, без погіршення паливної економічності. Також показано, що паливна економічність у цьому режимі зростає на 15 % порівняно із традиційним збагаченим режимом. Водночас вплив на екологічні показники залежить від ефективності нейтралізації викидів — у разі відсутності каталізатора концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах зростають.

Таким чином, в другому розділі дисертант закладає основу для подальших експериментів, спрямованих на дослідження доцільності використання закису азоту як засобу покращення енергетичних і економічних характеристик двигуна без шкоди для екології.

У третьому розділі «Теоретичне дослідження впливу добавки закису азоту до повітряного заряду на індикаторні показники двигуна з іскровим запалюванням» здійснено порівняльний аналіз показників робочого циклу двигуна з іскровим запалюванням за різних режимів регулювання складу паливоповітряної суміші з використанням добавки закису азоту. Досліджено вплив дозованого введення N_2O на температурні параметри згоряння, індикаторні показники та ефективність роботи двигуна.

Проведено порівняння чотирьох режимів, зокрема традиційного збагаченого ($\alpha = 0,88$) та режиму з добавкою закису азоту при відповідному зростанні подачі бензину. Встановлено, що при введенні 10 % об'єму N_2O температура кінця згоряння підвищується на 2,5 %, середній індикаторний тиск зростає на 10 %, а максимальний тиск — на 4,8 %. При збільшенні дозування до 20 %, приріст відповідно становить 5,2 %, 21 % і 11,5 %.

Окремо досліджено режим роботи на стехіометричній паливо-повітряній суміші ($\alpha = 1,0$) без зміни подачі бензину, з добавкою N_2O . У цьому випадку температура в кінці згоряння підвищується до 2884 К, а максимальний тиск — до 6,73 МПа. Показано, що такі параметри залишаються в допустимих межах для сучасних двигунів з іскровим запалюванням.

Отримані результати підтверджують доцільність використання режиму зі стехіометричною сумішшю та дозованим введенням закису азоту, оскільки він забезпечує як зростання енергетичних характеристик, так і сприятливі умови для ефективної роботи каталітичного нейтралізатора, що робить його перспективним для застосування в експлуатації сучасних автомобільних двигунів.

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження сучасного бензинового двигуна в режимі повних навантажень за добавки закису азоту до повітряного заряду» визначено мету, задачі і програму експериментальних досліджень роботи бензинового двигуна MeM3-307 з іскровим запалюванням при дозованому введенні закису азоту до повітряного заряду. Експериментально перевірено відповідність енергетичних характеристик двигуна до параметрів, визначених у заводських умовах. Запропоновано методику розрахунку оптимальної величини добавки N_2O для забезпечення стехіометричного складу паливо-повітряної суміші ($\alpha = 1,0$).

У ході дослідження встановлено, що введення закису азоту в кількості близько 11–12 % дозволяє суттєво підвищити ефективний крутний момент — у середньому на 25 %, а також забезпечує зростання середнього індикаторного тиску на 21–22 % у порівнянні з роботою на збагаченій суміші без добавки. Водночас спостерігається покращення паливної економічності: питомі витрати палива знижуються на 22–23 %, а індикаторний коефіцієнт корисної дії зростає на 25 %.

Особливу увагу в роботі приділено оцінці екологічних показників. Проведено вимірювання концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах до та після проходження через каталітичний нейтралізатор, що дозволило визначити коефіцієнти його ефективності. Дослідження показали, що при роботі

двигуна на стехіометричній паливоповітряній суміші ефективність нейтралізації шкідливих компонентів зростає. Зокрема, коефіцієнти очищення від оксидів вуглецю, незгорілих вуглеводнів та оксидів азоту перевищують 80 %.

У разі відсутності каталітичного нейтралізатора, особливо за наявності в повітряному заряді закису азоту (N_2O), концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах істотно зростають. Водночас застосування нейтралізатора дозволяє значно знизити рівень токсичності. Зокрема, при роботі двигуна на стехіометричній суміші із системою нейтралізації зведена до вмісту CO концентрація забруднюючих речовин у відпрацьованих газах зменшується вдвічі порівняно з роботою на збагаченій суміші без нейтралізації.

Таким чином, у розділі доведено, що оптимальне дозування закису азоту дозволяє значно покращити енергетичні та економічні показники роботи бензинового двигуна при збереженні або навіть покращенні екологічних характеристик за умови ефективної роботи каталітичного нейтралізатора.

П'ятий розділ «Результати експериментальних і розрахункових досліджень роботи двигуна з іскровим запалюванням з повним навантаженням при добавці закису азоту до повітряного заряду» присвячено уточненню та перевірці достовірності отриманих розрахункових результатів шляхом порівняння їх з експериментальними даними. Особливу увагу приділено аналізу режимів роботи двигуна із регулюванням складу паливоповітряної суміші в умовах середньої частоти обертання колінчастого вала. Встановлено, що регулювання складу суміші до стехіометричного значення ($\alpha = 1,0$) в одному режимі, забезпечує аналогічний склад і в інших швидкісних режимах, що дозволяє уніфікувати параметри управління. Експериментально підтверджено близькість питомої ефективної витрати бензину до розрахункових значень, що вказує на достовірність розрахованого індикаторного ККД. Аналіз отриманих величин середнього індикаторного тиску показав, що розбіжність між експериментальними та розрахунковими результатами не перевищує 1,4 %, що також свідчить про точність розрахункової методики. Додатково підтверджено достовірність залежності індикаторного ККД від складу паливоповітряної

суміші за даними інших наукових джерел. Оцінено вплив складу суміші на масові викиди забруднюючих речовин. Показано, що при переході від збагаченої до стехіометричної суміші з використанням добавки закису азоту обсяг шкідливих викидів зменшується більш ніж удвічі. На основі розгорнутих індикаторних діаграм встановлено, що при збідненні паливо-повітряної суміші за рахунок добавки закису азоту спостерігається зростання основних індикаторних показників робочого циклу. Зокрема, індикаторна потужність двигуна збільшується на 3,4 %, максимальна температура в циклі — на 4,4 %, а максимальний тиск — на 12,9 %. Такі зміни обумовлені підвищенням швидкості згорання та скороченням його тривалості на 12,6 %.

Таким чином, результати п'ятого розділу підтверджують достовірність проведених розрахунків і експериментальних досліджень, а також підтверджують доцільність застосування закису азоту для поліпшення паливно-економічних і екологічних характеристик сучасних бензинових двигунів.

У **додатках** наведено технічну характеристику автомобіля CHEVROLET TANOЕ, протокол вимірювання складу проби закису азоту від 11.06.2024 № 34АП-44/24 ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ», паспорт якості на бензин автомобільний А-95, протокол випробування двигуна MeM3-307, довідки про використання результатів дисертаційної роботи, список публікацій здобувача.

Наукова новизна і практичне значення отриманих результатів

Наукові положення, методи експериментальних досліджень достатньою мірою обґрунтовані, базуються на сучасних методиках теоретичних і експериментальних досліджень робочого процесу ДВЗ, а також на результатах особистих досліджень дисертанта.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає:

- Вперше запропоновано методику теоретичного дослідження впливу добавки закису азоту до повітряного заряду на енергетичні, паливно-економічні

та екологічні показники двигуна з іскровим запалюванням із застосуванням відносних коефіцієнтів впливу регулювання;

- Розраховано коефіцієнти впливу регулювання складу паливо-повітряної суміші з урахуванням введення N_2O , на підставі яких визначено режими роботи, що забезпечують покращення енергетичних, економічних та екологічних показників двигуна.

- Удосконалено підхід до визначення оптимального складу паливо-повітряної суміші при введенні закису азоту, що забезпечує стехіометричне згоряння без зміни подачі бензину, при цьому індицирування робочого циклу підтвердило, що така подача N_2O сприяє інтенсифікації процесу згоряння в двигуні з іскровим запалюванням.

- Отримали подальший розвиток розрахункові моделі оцінки середнього індикаторного тиску та індикаторного ККД двигуна з урахуванням експериментальних даних при різних дозуваннях закису азоту.

Дисертаційна робота має важливе практичне значення. Практичне значення виконаного дослідження складають:

Одержані результати мають прикладне значення для вдосконалення робочих процесів бензинових двигунів із іскровим запалюванням у напрямі підвищення їх енергоефективності та зниження викидів забруднюючих речовин. Запропоновано простий експериментальний метод визначення витрати закису азоту як різниці між витратами повітря з добавкою N_2O і без неї, що може бути застосовано в подібних дослідженнях та інженерній практиці.

Проведено розрахунки коефіцієнтів ефективності каталітичного нейтралізатора при різних режимах роботи двигуна, що дозволяє оцінювати вплив складу паливоповітряної суміші на екологічні показники. Встановлено, що при переході від збагаченої до стехіометричної суміші з додаванням N_2O зменшуються масові викиди забруднювальних речовин, а ефективність нейтралізації зростає майже вдвічі.

Результати розрахунків індикаторного ККД та експериментальних досліджень підтверджують, що при добавці близько 11,4 % закису азоту на стехіометричній суміші ефективний крутний момент двигуна зростає на 23–25 % у порівнянні з роботою на традиційній збагаченій суміші. Це відкриває перспективи для підвищення потужності двигуна без погіршення паливної економічності та екологічності, що є важливим для впровадження в сучасних транспортних системах.

Результати дисертаційного дослідження використовуються в Підприємстві об'єднання громадян «Автодром Чайка» ТСО України для поліпшення показників двигунів з іскровим запалюванням з системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і трикомпонентним каталітичним нейтралізатором, а також в освітньому процесі Національного транспортного університету Міністерства освіти і науки України для розрахунку ефективності методів і засобів підвищення паливної економічності та зниження шкідливих викидів колісних транспортних засобів в умовах експлуатації.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні наукові результати дисертації достатньо повно висвітлені у 11 наукових працях, з яких чотири у фахових виданнях України, сім тез доповідей та матеріалів конференцій.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

У дисертаційній роботі Гори Миколи Дмитровича на тему «Поліпшення показників сучасного бензинового двигуна в режимах повних навантажень використанням кисневмісного газу» ознак академічного плагіату не виявлено. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації:

1. У першому розділі дисертаційної роботи недостатньо повно розглянуто відомі науково-технічні підходи до поліпшення енергетичних показників двигунів із іскровим запалюванням у режимах повних навантажень. Зокрема, не проаналізовано потенціал таких рішень, як використання систем прямого впорскування палива, удосконалення геометрії камери згоряння та застосування систем рециркуляції відпрацьованих газів (EGR). Це дещо звужує огляд існуючих підходів і не дозволяє повною мірою оцінити місце обраного напрямку дослідження щодо поліпшення показників двигунів з іскровим запалюванням за роботи з повним навантаженням..

2. У першому розділі дисертації (с. 79) використовується термін «індицирування», тоді як у подальших розділах зустрічається варіант «індиціювання». Така термінологічна неузгодженість ускладнює сприйняття матеріалу. Враховуючи вимоги до наукової стилістики та однозначності технічних термінів, доцільно уніфікувати вживання цього поняття в межах усього тексту дисертації, обравши коректний з погляду сучасної технічної літератури варіант.

3. У дисертаційній роботі не розглянуто способи отримання добавки закису азоту, що є суттєвим з огляду на практичну спрямованість дослідження. Відсутня також інформація про економічні аспекти використання цього компонента, зокрема про вартість його отримання, транспортування, зберігання та дозування в процесі експлуатації. Такий аналіз є необхідним для об'єктивної оцінки доцільності застосування закису азоту як добавки до паливоповітряної суміші з метою підвищення енергетичних показників двигуна..

4. У другому розділі наведено результати розрахунків енергетичних показників для двигуна Opel моделі C30NE, зокрема встановлено, що при подачі закису азоту до повітряного заряду середній індикаторний тиск зростає з 1,01 МПа (режим 1) до 1,15 МПа, тобто приблизно на 14 %. Проте у тексті відсутнє обґрунтування вибору саме цього типу двигуна як об'єкта дослідження. Недостатньо розкрито причини, з яких він може бути репрезентативним або

характерним для оцінки ефективності використання закису азоту. Доцільно було б доповнити роботу відповідним аналізом і поясненнями.

5. При порівнянні температур і тисків у циліндрі двигуна з іскровим запалюванням в режимі повних навантажень із добавкою закису азоту до повітряного заряду за різних умов використання N_2O варто було б ввести єдині критерії ефективності (наприклад, питоме зростання тиску на одиницю маси чи об'єму добавки).

6. У третьому розділі дисертаційної роботи встановлено, що при добавці закису азоту температура в кінці згорання підвищується з 2644 К до 2712 К. Однак підвищення температури згорання є одним із ключових чинників, що сприяють інтенсифікації утворення оксидів азоту (NO_x), концентрація яких у відпрацьованих газах може суттєво зрости. З огляду на актуальність екологічних вимог до двигунів з іскровим запалюванням, доцільно було б вказати способи зниження температури згорання для зменшення впливу використання закису азоту на токсичність відпрацьованих газів.

7. У четвертому розділі дисертації, який присвячено експериментальним дослідженням роботи сучасного бензинового двигуна в режимі повних навантажень із добавкою закису азоту до повітряного заряду, доцільно було б доповнити виклад матеріалу принциповою схемою системи зберігання та подачі закису азоту. Наявність такої схеми дозволила б наочно продемонструвати конструктивні особливості, зокрема системи дозування та точки введення закису азоту у впускний колектор двигуна. Це підвищило б інформативність та практичну цінність проведених досліджень.

8. В експериментальній частині не аналізується можливий негативний вплив систематичного впорскування N_2O на ресурс двигуна, знос деталей або теплові навантаження.

9. У п'ятому розділі наведено результати експериментальних і розрахункових досліджень роботи двигуна з іскровим запалюванням з повним навантаженням при добавці закису азоту до повітряного заряду, однак не

сформульовано узагальнень, які могли б бути використані для прогнозування ефекту закису азоту в інших двигунах або режимах.

10. У загальних висновках дисертаційної роботи недостатньо акцентовано увагу на паливній економічності двигунів внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням та питанням екологічної безпеки у контексті використання закису азоту як добавки до повітряного заряду. З огляду на сучасні вимоги до екологічності транспортних засобів, доцільним було б ширше відобразити ці аспекти у загальних висновках, що підвищило б значущість отриманих результатів.

11. Загальний висновок 2 є надто об'ємним і перенасиченим деталями, що ускладнює його сприйняття. Доцільно було б сформулювати цей висновок більш структуровано, чітко і лаконічно, з акцентом на ключових положеннях, що впливають із проведеного дослідження. Це полегшило б загальне сприйняття висновків.

12. В роботі є окремі механічні і технічні помилки (с. 75, 82, 96, 182, 184, 217, 226), похибки в оформленні списку літератури тощо.

Наведені зауваження по роботі в цілому носять рекомендаційний характер та не ставлять під сумнів загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України

На основі проведеного аналізу вважаю, що дисертаційна робота Гори Миколи Дмитровича на тему «Поліпшення показників сучасного бензинового двигуна в режимах повних навантажень використанням кисневмісного газу» відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі внесеними змінами від 31.05.2019 р.) щодо оформлення і змісту.

Зважаючи на актуальність отриманих наукових результатів, та використаних сучасних методів наукових досліджень, дисертаційна робота та публікації здобувача відповідають вимогам п. 6-9 Постанови Кабінету Міністрів

України від 12 січня 2022 р. №44 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

В цілому робота є завершеною науковою працею, теоретичні та експериментальні дослідження проведені на високому науковому та технічному рівні. Вважаю, що Гора Микола Дмитрович заслуговує присвоєння ступеня доктора філософії в галузі знань 14 - Електрична інженерія за спеціальністю 142 - Енергетичне машинобудування.

Рецензент,
професор кафедри інженерії
машин транспортного будівництва
Національного транспортного
університету,
кандидат технічних наук,
професор



Сергій КОВБАСЕНКО

