

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу старшого викладача Криворота Анатолія Ігоровича на тему: "Поліпшення тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності транспортних засобів, що працюють на газогенераторному паливі", представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

*Актуальність теми дисертації* в цілому обґрунтована автором достатньо повно. Незважаючи на постійне вдосконалення конструкції та робочого процесу двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), проблема економії традиційних наftових палив на транспорті залишається однією із найгостріших не лише для України, а й для всього світу. Збільшення об'ємів споживання рідкого палива супроводжується виснаженням добре освоєних і зручно розташованих наftових родовищ, внаслідок чого доводиться знаходити нові родовища, які часто розташовані у важкодосяжних районах нашої планети. Це, у свою чергу, призводить до подорожчання як самої наftи, так і наftопродуктів. У зв'язку з цим наукові дослідження у сфері виробництва і застосування альтернативних відновлювальних (місцевих) моторних палив є актуальними і останнім часом широко використовуються в багатьох країнах світу. Один із напрямів вирішення проблеми альтернативи експлуатації наftопродуктів - це можливість роботи як бензинових двигунів, так і дизелів автомобілів на газогенераторному газі, який утворюється в результаті газифікації твердого палива. Двигуни автомобілів, які працюють на газогенераторному газі, значно втрачають ефективну потужність (часто до 50%) у порівнянні з їх роботою на бензині.

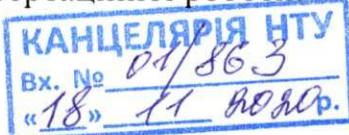
Створення газогенераторних як двигунів, так і автомобілів, в цілому, можна назвати пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки відповідно до завдань державних наукових і науково-технічних програм, визначених Міністерством освіти і науки України. Зокрема, в Державній науково-технічній програмі за номером 5.5 „Ресурсозберігаючі та енергоефективні технології машинобудування” є напрям – „Розробка технологій конвертації двигунів на альтернативні види палива”.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.* Роботу виконано відповідно до НДР “Дослідження механіки та енергетики автомобілів і автопоїздів”, № держреєстрації 0104U003346, що виконуються кафедрою автомобілів Національного транспортного університету.

### *Структура, зміст, методологія та оформлення дисертації*

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який нараховує 120 найменувань, і додатків. Повний обсяг дисертації становить 169 сторінок (з них 149 сторінок основного тексту, 45 рисунків, 30 таблиць).

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено новизну і практичну цінність дисертаційної роботи.



Наведено інформацію про апробацію, публікацію результатів досліджень та впровадження в практику.

**У першому розділі** проаналізовано стан питання та актуальність застосування альтернативних видів палива. Наведено класифікацію газових моторних палив і способів їх отримання. Детально розглянуто загальну характеристику процесу газифікації та класифікацію генераторних газів.

Описано використання газогенераторного палива (ГГП) в сучасному світі та способи його генерування. Показано, що протягом останнього десятиліття у всьому світі постійно зростає інтерес до роботи ДВЗ на газовому паливі, отриманого шляхом газифікації біомаси у газогенераторах, зокрема, для дизель-генераторів електростанцій.

Наведено детальний аналіз конструкцій та їх технічних характеристик як транспортних, так і стаціонарних газогенераторних установок із додатковим комплектуючим обладнанням для очищення, охолодження та акумулювання ГГП з метою використання у газобалонному обладнанні транспортних засобів.

Аналіз літературних джерел показав, що проблема економії традиційних нафтових палив на транспорті залишається однією з найгостріших для всього світу, а дослідження у сфері виробництва та застосування альтернативних видів палив є актуальними для сьогодення. На підставі проведеного аналізу сформульована тема даної дисертаційної роботи, а також мета і задачі проведеного дослідження.

**У другому розділі** представлено експериментальні дослідження ГГП із різних видів біомаси та біогазу, які були проведенні у Королівському технологічному інституті у м. Стокгольм, Швеція. Метою експериментальних досліджень було визначення кількісного виходу та компонентного складу генераторного газу із різної біомаси, температурного характеру протікання реакції у генераторі та теплотворності отриманого газу, дані яких покладено в основу розрахунку параметрів тягово-швидкісних характеристик і паливної економічності транспортних засобів.

Проведеними експериментами доведено, що за технічними характеристиками газогенераторний газ і біometан реально використовувати як паливо для сучасних автотранспортних засобів. Отримані основні характеристики газогенераторного палива були покладені в основу розрахунків вихідних параметрів двигуна внутрішнього згоряння як при роботі на бензині, так і ГГП.

**У третьому розділі** проведено порівняльний аналіз індикаторних та ефективних показників ДВЗ на різних видах палива (бензин, ГГП та ГГП з наддувом 0,25 МПа) на прикладі двигуна ЗМЗ-4063, який встановлюється на вантажівки малої вантажопідйомності і мікроавтобуси, зокрема БАЗ-2215 «Дельфін».

На основі отриманих з попередніх досліджень основних характеристик ГГП, отриманого із гранул деревини діаметром 6 мм, були проведенні теплові розрахунки двигуна під час роботи на різних видах палива (бензині та ГГП, у тому числі на ГГП – без наддуву та з наддувом за різних характеристик наддуву) з використанням різних методик. За результатами теплового

розрахунку визначені індикаторні, ефективні та літрові показники двигуна ЗМЗ-4063, які покладено в основу досліджень показників тягово-швидкісних властивостей та паливної економічності автобуса БАЗ-2215.

Потужність та крутний момент під час застосування наддуву збільшуються на 35 % порівняно з роботою на ГГП без наддуву і не поступаються цим показникам при роботі на бензині. На основі аналізу отриманих результатів було зроблено висновок, що застосування наддуву в газових двигунах позитивно впливає на протікання термодинамічного процесу, дає можливість компенсувати втрату ефективної потужності під час роботи на ГГП та досягнути при роботі на цьому виді палива такого ж рівня індикаторних та ефективних показників, що й при роботі на бензині.

Під час стажування у КТН були проведені експериментальні дослідження, метою яких було визначення ефективного ККД та викидів відпрацьованих газів сучасного двигуна вантажних автомобілів Scania, що працює на ГГП в режимі іскрового запалювання паливоповітряної суміші. А також проведено теоретичний аналіз експериментальних досліджень інших вчених, а саме результатів випробування трьох різних двигунів, зокрема, двох газових двигунів та одного модифікованого дизеля для встановлення параметрів запалювання та оптимального коефіцієнта стиснення. При цьому один газовий двигун, який працював безпосередньо на природному газі, був з турбонаддувом, а інші (газовий і модифікований дизель) були атмосферні. Газогенератор працював на відходах деревини та на шкірках від кокосових горіхів і видавав газ за таким відсотковим складом: 19%  $H_2$ , 19% CO, 2%  $CH_4$  та 12%  $CO_2$  та залишок, що складався з  $N_2$ , з нижчою теплотою згоряння 4,9 МДж/нм<sup>3</sup>.

У результаті аналізу встановлено, що двигун з турбонаддувом забезпечив найбільшу ефективність при найменшій енергетичній щільності паливоповітряної суміші. При цьому потужність атмосферних двигунів зменшувалася на 32–38 % при роботі на ГГП в порівнянні з роботою на паливі, для яких ці двигуни були запроектовані.

У четвертому розділі проведено аналіз законів та методик для визначення передаточних відношень трансмісії автомобіля з метою поліпшення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності. Дослідження проведено на основі диференціального рівняння руху автомобіля, а за визначеними коефіцієнтами апроксимуючого поліному побудовані швидкісні зовнішні характеристики двигуна, що працює на бензині і ГГП.

Показано, що ідентичність показників тягових властивостей, а саме подолання максимального опору руху можливе шляхом збільшення загального передаточного відношення трансмісії на величину, що дорівнює відношенню максимальних крутних моментів базового двигуна, що працює на бензині, і двигуна, що працює на ГГП. Це відношення складає 1,75.

Встановлено, що для автомобілів, двигуни яких працюють на ГГП, кращі показники тягово-швидкісних властивостей автобуса досягаються за умови, що передаточні відношення коробки передач визначені за законом геометричної прогресії і за методикою А.А. Токарєва, а з урахуванням показників

паливної економічності – за законом геометричної прогресії, методикою А.А. Токарєва і мінімізацією часу розгону. Так сумарний відносний показник тягово-швидкісних властивостей при виборі передаточних відношень за законом геометричної прогресії і за методикою А.А. Токарєва збільшується на 24,4 %, контрольна витрата палива і витрата палива в міському їздовому циклі при виборі передаточних відношень за законом гармонійного ряду і методикою А.А. Токарєва зменшується відповідно на 12,7 % і 20,6 %.

Досвід передових автомобілебудівних компаній світу, зокрема Scania і MAN, дозволяє прогнозувати широке використання двигунів на транспортних засобах, що працюють на альтернативних видах палива завдяки їх високим техніко-економічним параметрам та екологічності.

У додатках розміщені копії сертифікатів про стажування у КТН та сертифікати участника конференції у КТН, а також довідки про впровадження результатів дисертаційного дослідження.

Методологія дисертації сучасна: використані математичні методи, комп'ютерне моделювання, експериментальна перевірка основних положень. Робота написана грамотною технічною мовою, оформлення відповідає вимогам ВАК України.

**Наукова новизна** полягає у: виборі та обґрунтуванні можливих напрямків підвищення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі, як за рахунок наддуву двигуна, так і вибору раціональних передаточних відношень трансмісії; комплексі показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності та їх математичні моделі, на основі яких визначені раціональні параметри трансмісії автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі.

**Практичну цінність** результатів досліджень складає: методика визначення передаточних відношень трансмісії, за якої досягаються кращі показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі; методика оцінки застосування наддуву в газових двигунах, за допомогою якої показано можливість досягнути при роботі на газогенераторному паливі такого ж рівня індикаторних та ефективних показників, що й при роботі на бензині, тобто основні параметри двигуна і трансмісії автомобіля у такому випадку можна залишити без змін.

### *Основні положення та висновки дисертації.*

Основним науковим положенням дисертації є системний підхід до вибору та обґрунтування можливих напрямків підвищення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі, як за рахунок наддуву двигуна, так і вибору раціональних передаточних відношень трансмісії, а також запропонований комплекс показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності та їх математичні моделі, на основі яких визначені раціональні параметри трансмісії автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі.

Основні висновки дисертації достатньо обґрунтовані і логічно випливають із результатів виконаних досліджень.

**Висновок перший** щодо доцільності експлуатації стаціонарних газогенераторних установок базується на аналізі літературних джерел і техніко-експлуатаційних показників серійних транспортних засобів, що працюють на ГГП, наведеному у розділі 1. Встановлено, що, якщо генераторний газ якісно не очищувати та ефективно не охолоджувати, що можливо лише у стаціонарних установках та у промисловому масштабі, то у кращому випадку змениться ресурс роботи двигуна. Тому перспективним є застосування стаціонарних газогенераторних установок.

**Висновок другий** констатує, що кількість отриманого газу в газогенераторах, його питомий вихід, компонентний склад та теплота згоряння безпосередньо пов'язані із видом вхідної сировини. При цьому деревина забезпечує найбільшу серед порівнюваних видів біомаси продуктивність газогенератора та високий питомий вихід газу, має найбільшу нижчу теплоту згоряння, мінімальний вміст вуглецевих смол, що забезпечує кращі показники роботи двигуна.

**Висновок третій** підтверджує виконання розрахунків вихідних параметрів двигуна внутрішнього згоряння як при роботі на бензині, так і газогенераторному паливі, за результатами яких встановлено, що індикаторні та ефективні показники роботи двигуна ЗМЗ-4063 на газогенераторному паливі зменшуються на 40,8 % у порівнянні з роботою на бензині.

**Висновок четвертий** показує, що застосування наддуву в газових двигунах позитивно впливає на протікання термодинамічного процесу, дає можливість компенсувати втрату потужності при роботі на генераторному паливі та досягнути при роботі на цьому виді палива такого ж рівня індикаторних та ефективних показників, що й при роботі на бензині. У цьому випадку основні параметри двигуна і трансмісії автомобіля можна залишити без змін.

**Висновок п'ятій** підтверджує, що ідентичність показників тягових властивостей, а саме подолання максимального опору руху, можливе шляхом збільшення загального передаточного відношення трансмісії на величину, що дорівнює відношенню максимальних крутних моментів базового двигуна, що працює на бензині, і двигуна, що працює на ГГП. Це відношення складає 1,75.

Проте, якщо за головний критерій в розрахунках вибрati максимальну швидкість, тоді це відношення дещо інше і складає 1,25, що значно менше відношення за тяговими властивостями автомобіля. Зроблено висновок, що поліпшити тягово-швидкісні властивості автомобіля, двигун якого працює на ГГП, модернізацією трансмісії автомобіля, двигун якого працює на бензині, проблематично. Висновок достатньо аргументований проведеними дослідженнями.

**Висновком шостим** доведено, що для автомобілів, двигуни яких працюють на ГГП, кращі значення показників тягово-швидкісних властивостей автобуса досягаються за умови, що передаточні відношення коробки передач визначені за законом геометричної прогресії і за методикою А.А. То-

карєва, а з урахуванням показників паливної економічності – за законом геометричної прогресії, методикою А.А. Токарєва і мінімізацією часу розгону. Сумарний відносний показник тягово-швидкісних властивостей при виборі передаточних відношень за законом геометричної прогресії і за методикою А.А. Токарєва у порівнянні з передаточними відношеннями штатної коробки передач автомобіля збільшується на 24,4 %. При цьому контрольна витрата палива і витрата палива в міському їздовому циклі при виборі передаточних відношень за законом гармонійного ряду і методикою А.А. Токарєва зменшується для тих же самих умов відповідно на 12,7 % і 20,6 %. При цьому збереження трансмісії автобуса без змін значно погіршує як показники тягово-швидкісних властивостей, так і паливної економічності. Висновок достатньо аргументований проведеними дослідженнями.

**Висновком сьомим** підтверджено впровадження результатів роботи на підприємствах ДП “ДержавтотрансНДІпроект” (м. Київ), ТОВ «НАДЕЖДА РІТЕЙЛ 2017» (м. Полтава), ПОКВПТГ «Полтаватеплоенерго» (м. Полтава) та у навчальному процесі в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка при підготовці фахівців спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» та 133 «Галузеве машинобудування».

Недоліком першого та другого висновків є їх констатуючий характер.

Можна відмітити деякі інші недоліки, окрім зауважень, зроблених при аналізі висновків:

1. У вступі зазначено: „За оцінками науковців, світових запасів нафти при її нинішньому обсязі споживання вистачить на декілька десятків років і людство зіткнеться з паливною кризою, якщо не знайде альтернативних енергоносіїв”. Основне посилання в дисертації, з даного питання, на літературне джерело 2010 року [1]. Взагалі це правильно, проте після того, як відкрито нові родовища у Венесуелі, світові запаси нафти забезпечать нинішній рівень її видобутку ще на 50 років. А основний альтернативний енергоносій на даний час знайдений – це газ, який може бути як природного походження, так і штучного.

2. В підрозділі 1.2 для орієнтовної оцінки складу газу використовується поняття про «ідеальний генераторний газ». Під ним розуміють гази, які утворюються при взаємодії чистого вуглецю і газофікуючих агентів ( $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ ) з отриманням тільки горючих компонентів. Не зрозуміло, як таку «орієнтовну» оцінку складу газу можна використати в подальших дослідженнях, наприклад, дійсних робочих процесів ДВЗ під час роботи на ГТП.

3. Підрозділ 1.4 «Аналіз конструкції **стаціонарних** газогенераторних установок» перевантажений описом конструкцій охолоджувачів і очисників газу **транспортних** газогенераторних установок, що серійно випускались в 40–50-х роках попереднього століття (автомобілі ГАЗ-42, ЗиС-21, Урал-ЗиС-352, ЗиЛ-164 г/г, трактора ХТЗ-НАТІ, СГ-65, тощо).

4. Приведений аналіз табл. 2.3 і 2.4 показує, що найбільша продуктивність газогенератора, що досліджувався, спостерігається при використанні гранул із деревини, найменша – із цукрової тростини. До цього висновку слід додати, що деревина та її відходи – це місцеве паливо для багатьох регіонів нашої країни,

наприклад, Полісся. Це вкрай важливо для економіки окремих регіонів країни.

5. В розділі 3 розраховано середній індикаторний тиск, МПа, для газових двигунів (формула 3.1). Для виконання цього розрахунку прийнято середній показник політропи стиску (як для карбюраторних двигунів)  $n_1 = 1,32$ .

Якщо цей параметр порахувати за формулою проф. В.А.Петрова:  $n_1 = 1,41 - \frac{100}{n}$ ,

з урахуванням частоти обертання колінчастого валу двигуна (4500 об/хв.), яку прийнято в подальших розрахунках, то показник політропи стиску  $n_1 \approx 1,38$ .

6. Неточний підпис рис. 3.3. „Діаграма індикаторних та ефективних тисків двигуна ЗМЗ-4063 при роботі на різних паливах”. Тут необхідно записати: „Діаграма середніх індикаторних та ефективних тисків двигуна ...”.

7. Незрозуміла назва табл. 4.5 – Значення номінальних швидкостей на кожній передачі. Приведене в цій таблиці значення для п'ятої передачі  $V_{avm5} = 21,9$  м/с, і воно рівне розрахованій максимальній швидкості на цій передачі (пояснення на початку підрозділу 4.3 та формула (4.22)).

8. В підрозділі 4.6 зазначено, що автобуси Scania при роботі на СВГ (стиснутий біогаз) оснащаються 8 балонами ємністю 95 або 118 л кожен. При обсязі балонів 944 л запасу газу вистачить до 500 км. На жаль подібних даних не приведено в дисертаційній роботі для автобуса БАЗ-2215 під час роботи на ГГП, що дало б змогу проводити подальший, можливо загальний, техніко-економічний аналіз перспективи його експлуатації.

### **Загальний висновок**

Після аналізу змісту дисертації можна в цілому визначити:

1. Робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі, пов'язаної з підвищенням показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобілів, двигуни яких працюють на газогенераторному паливі, шляхом конструктивних змін або двигуна, або трансмісії.

2. Дисертація є завершеною науковою працею. При її виконанні використані сучасні методи досліджень, а в результаті отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати та технічні рішення.

3. Результати дисертації можуть бути використані як при розробці газогенераторних модифікацій автомобілів заводами-виробниками, так і при переобладнанні автомобілів для роботи на ГГП в різних умовах експлуатації.

4. Зміст та основні результати дисертації достатньо повно відображені в публікаціях наукових фахових видань.

5. Зміст автореферату й основних положень дисертації ідентичні.

6. Результати дисертації пройшли достатню апробацію та впроваджені.

7. Зауваження щодо дисертації, наведені у відгуку, не ставлять під сумнів вихідні наукові положення та результати досліджень.

Робота виконана згідно з вимогами ВАК України до кандидатських дисертацій і відповідає спеціальності 05.22.02 - "Автомобілі та трактори".

Автор дисертації Криворот Анатолій Ігорович заслуговує присудження  
йому наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент  
канд. техн. наук

Б.В. Ємець

12 листопада 2020 року

Підпис канд. техн. наук,  
Ємця Б.В. засвідчує:

Вчений секретар

С.В. Мельничук

Підше засвідчує  
Баштанським директором  
з надрівної радості

