

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КРИВОРОТ АНАТОЛІЙ ІГОРОВИЧ



УДК 629.113

**ПОЛІПШЕННЯ ТЯГОВО-ШВИДКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І
ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ЩО
ПРАЦЮЮТЬ НА ГАЗОГЕНЕРАТОРНОМУ ПАЛИВІ**

Спеціальність 05.22.02 – Автомобілі та трактори

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2020

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі автомобілів Національного транспортного університету (НТУ) Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Філіпова Галина Андріївна,
Національний транспортний університет, м. Київ,
професор кафедри автомобілів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Подригало Михайло Абович,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри технології машинобудування і
ремонті машин (м. Харків);

кандидат технічних наук, доцент
Ємець Богдан Володимирович,
Житомирський національний агроекологічний
університет Міністерства освіти і науки України, доцент
кафедри машиновикористання, мобільної енергетики та
сервісу технологічних систем (м. Житомир).

Захист відбудеться «3» грудня 2020 року о 10⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, аудиторія 209.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М.Бойчука, 42.

Автореферат розісланий «02» листопада 2020 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.В. Ковбасенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Не зважаючи на постійне вдосконалення двигунів внутрішнього згоряння, проблема економії традиційних нафтових палив на транспорті залишається однією із найгостріших не лише для України, а і для усього світу. Збільшення споживання рідкого палива супроводжується виснаженням добре освоєних і зручно розташованих нафтових родовищ, внаслідок чого доводиться освоювати нові родовища, які розташовані в складно досяжних районах. Це, у свою чергу, призводить до подорожчання як самої нафти, так і нафтопродуктів.

У зв'язку з цим дослідження у сфері виробництва і застосування альтернативних відновлювальних моторних палив є актуальними і останнім часом широко проводяться у багатьох країнах світу. Дослідниками запропоновано різноманітні методи отримання і використання широкого спектру таких палив. Одним із напрямків вирішення даної проблеми є використання газогенераторного палива.

Двигуни газогенераторних автомобілів працюють на газі, який отримують шляхом газифікації твердого палива у спеціальній установці – газогенераторі.

Відомо, що зменшення потужності двигуна обумовлене зниженням величини середнього ефективного тиску, яке у свою чергу, викликається зменшенням трьох найважливіших параметрів: теплотворної здатності горючої суміші, коефіцієнту наповнення циліндрів та індикаторного ККД.

Створення газогенераторних як двигунів, так і автомобілів в цілому можна віднести до пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки відповідно до завдань державних наукових і науково-технічних програм, визначених Міністерством освіти і науки України. Так, 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.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є 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.

Для досягнення поставленої мети в дисертації вирішували наступні **задачі**:

1. Аналіз техніко-експлуатаційних показників серійних транспортних засобів з газогенераторними установками.
2. Визначення основних характеристик генераторного газу та аналіз їх впливу на систему “газобалонна установка – двигун – транспортний засіб”.
3. Визначення показників роботи двигунів на бензині та генераторному паливі.

4. Обґрунтування можливих напрямків підвищення показників тягово-швидкісних властивостей автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі.

5. Визначення раціональних передаточних відношень трансмісії автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі.

6. Розробка практичних рекомендації щодо поліпшення тягово-швидкісних властивостей автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі.

Об'єкт дослідження – тягово-швидкісні властивості та паливна економічність автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі.

Предмет дослідження – вплив вихідних параметрів двигуна внутрішнього згоряння та передаточних відношень трансмісії на тягово-швидкісні властивості та паливну економічність автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі.

Методи дослідження. Методи досліджень передбачали визначення основних характеристик генераторного газу, математичне моделювання прямолінійного руху автомобіля, багатоваріантні розрахунки показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності базової і газової моделі автомобілів.

Наукова новизна одержаних результатів складають:

- вибір 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;

- 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.

Практичне значення одержаних результатів складають:

- 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.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно та опубліковані у 21 наукових працях, п'ять з яких у наукових фахових виданнях України, одна – у закордонному виданні, 15 – у матеріалах наукових конференцій. Робота [17] виконана одноосібно. В роботах, виконаних у співавторстві, здобувачу належать: аналіз різних методів та методик визначення передаточних відношень трансмісії автомобілів [1, 20]; досліджено зміни індикаторних та ефективних показників двигуна внутрішнього згоряння при його роботі на традиційному та газогенераторному паливі [2, 9,]; експериментальні дослідження генераторного газу із різних видів біомаси [3, 19, 21]; проаналізовано та визначено газ, який більш повно відповідає вимогам для використання у ДВЗ [4, 18]; досліджено

вплив обтічного елементу, розташованого на даху автомобіля на паливну характеристику [5]; доведено покращення індикаторних та ефективних показників ЗМЗ-4063 застосуванням наддуву [6]; аналіз газових моторних палив і способів їх отримання [7]; визначення коефіцієнта EROI для виробництва генераторного газу [8]; обґрунтування мікроконтролерного методу керування якістю паливоповітряної суміші [10, 13]; визначення тягово-швидкісних та паливно-економічних властивостей автомобіля з [11, 12, 14, 15, 16].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи були викладені, обговорені та схвалені в період 2010–2020 рр. на наукових семінарах і науково-практичних конференціях викладачів, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (м. Полтава) [7-12], Харківського національного автомобільно-дорожнього університету [13-17], International workshop «KCSE Science Day on High-Performance Computing», which was held on November 21, 2012 at the Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, на III міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» – Полтава: ПНТУ; Білгород: НДУ «БілДУ»; Харків: ДП «ХНДІ ТМ», Київ: НТУ; на Кіровоград: КЛА НАУ, 2013 р [18]; XX Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства» – Кременчук: КрНУ, 2013 р [19]; на міжнародних технічних конференціях «Наука – образованию, производству, экономике» – Минск : БНТУ [20-21].

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 21 наукових працях, з них п'ять у наукових фахових виданнях України, одна – у закордонному виданні, 15 – у матеріалах доповідей конференцій

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 120 найменувань і додатків. Роботу виконано на 169 сторінках машинописного тексту, з яких 149 сторінок основного тексту, 30 таблиць та 45 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету дослідження, завдання та методи їх розв'язання, висвітлено наукову новизну і практичне значення результатів роботи, її загальну характеристику, подано інформацію про апробацію, публікацію результатів досліджень та впровадження у 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 способів його генерування. Показано, що протягом останнього десятиліття у всьому світі постійно зростає інтерес до двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ)

на газовому паливі, отриманого шляхом газифікації біомаси у газогенераторах, зокрема для дизель-генераторів електростанцій.

Наведено детальний аналіз конструкцій та 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 і останнім часом активно ведуться у багатьох країнах світу. На підставі проведеного аналізу сформульована тема дисертаційної роботи, а також мета і задачі дослідження.

У другому розділі представлено експериментальні дослідження генераторного газу із різних видів біомаси та біогазу (біометану), які були проведені у Королівському технологічному інституті (швед. Kungliga Tekniska Högskolan (КТН), англ. Royal Institute of Technology) у м. Стокгольм, Швеція, під час стажування. 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. Результати власних досліджень представлено в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1 – Середні показники складу газу та нижча теплота згоряння

Сорт гранул	Компонентний склад газу, (%)					Запас енергії
	N ₂	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	НТЗ (МДж/нм ³)
Цукрова тростина, Ø 6 мм	52,6±0,9	23,3±1,2	9,9±0,6	2,8±0,3	11,4±0,9	5,0±0,1
Деревина, Ø 6 мм	50,4±1,7	25,7±1,7	11,9±1,1	2,6±0,2	9,9±1,0	5,4±0,3
EFB, Ø 6 мм	53,3±2,2	17,0±0,9	13,5±0,8	1,9±0,4	14,5±1,2	4,3±0,2
EFB, Ø 8 мм	55,0±1,0	17,4±1,5	12,9±0,3	1,5±0,2	13,7±0,6	4,1±0,2

Таблиця 2 – Склад та властивості біогазу

Параметр	Біогаз із стічних вод	Біогаз із органічних відходів
1	2	3
Нижча теплота згоряння, МДж/нм ³	23–27	16–18
Об'ємна вага кг/нм ³	1,2	1,3
Метанове число	>135	>130
Метан, варіація об-%	53–70	35–65
Вищі гідрокарбонати об-%	0	0
Водень об-%	0	0–3
Оксид вуглецю об-%	0	0

1	2	3
Двоокис вуглецю, варіація об-%	30–47	15–50
Азот, варіація об-%	–	5–45
Кисень, варіація об-%	–	0–5
Сірководень, варіація ppm	0–10000	0–100
Аміак, ppm	<100	5
Загальний хлор, мг/м³	0–5	20–200

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. Цей двигун встановлюється на вантажівки малої вантажопідйомності і мікроавтобуси, зокрема БАЗ-2215 «Дельфін», виробництва Бориспільського і Чернігівського автозаводів корпорації «Еталон».

На основі отриманих у попередньому розділі основних характеристик ГГП, отриманого із гранул деревини діаметром 6 мм, були проведені теплові розрахунки двигуна при роботі 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.

У таблиці 3 представлені середній індикаторний тиск P_i , індикаторна потужність двигуна N_i , індикаторний крутний момент M_i та ефективні показники P_e , N_e , M_e роботи двигуна ЗМЗ-4063 на різних видах палива при $n=4500$ хв⁻¹. На ГГП при застосуванні наддуву значення цих показників сягають такого ж рівня, що і при роботі на бензині. Потужність та крутний момент при застосуванні наддуву збільшуються на 35 % порівняно з роботою на ГГП без наддуву і не поступаються цим показникам при роботі на бензині.

Таблиця 3 – Індикаторні та ефективні показники двигуна ЗМЗ-4063.

Показник	Бензин	Генераторний газ (без наддуву)	Генераторний газ (з наддувом 0,25 МПа)
P_i , МПа	1,1098	0,7231	1,1054
N_i , кВт	94,1761	62,008	90,4150
M_i , Н·м	199,848	131,585	191,8350
P_e , МПа	0,918	0,543	0,8840
N_e , кВт	78,7	46,565	75,8345
M_e , Н·м	167,01	98,8	161,6273
$M_{e\max}$, Н·м	189,86	108,93	180,93

На основі аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, 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. Це свідчить про те, що основні параметри двигуна і трансмісії автомобіля можна залишити без змін. Якщо розглядати індикаторні та ефективні показники двигуна ЗМЗ-4063 без використання наддуву, то зниження потужності при його роботі на газогенераторному паливі сягає майже 40,8 %.

Отримані результати добре узгоджуються з даними досліджень, що опубліковані у наукових фахових виданнях України. При такому зниженні потужності двигуна одним із шляхів поліпшення тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності є корекція передаточних відношень трансмісії.

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, та теоретичний аналіз експериментальних досліджень інших вчених.

Дослідження проводилися на п'ятициліндровому 9,6-літровому двигуні Scania з іскровим запалюванням, схему експериментальної установки наведено на рис.1.

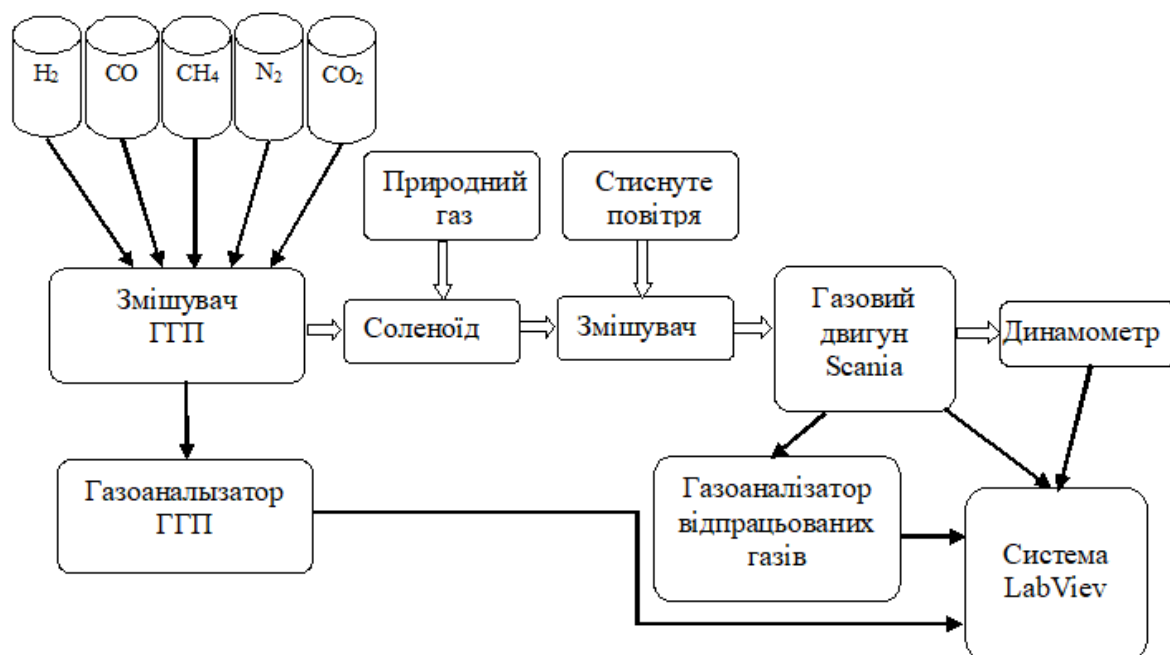


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки

Двигун у процесі випробувань був додатково модифікований для роботи на одному циліндрі. Також було встановлено систему впорскування з чотирма електромагнітними форсунками, а для роботи з іскровим запалюванням було використано спеціальний газовий поршень. Коефіцієнт стиснення досягав 12,6. Двигун оснащувався: датчиком тиску в циліндрі, датчиком кута розподільчого валу високої роздільної здатності, лямбда-датчиками та системами вимірювання викидів. Повітря подавалось в двигун зовнішнім компресором, забезпечуючи

його роботу з наддувом. Для імітації втрат енергії, пов'язаних з турбонаддувом, був встановлений клапан зворотного тиску, який налаштований на дещо вищий тиск, ніж у нагнітача. Для моніторингу, керування двигуном і реєстрації даних випробувань використовувалась система Lab-View.

В результаті проведених досліджень встановлено, що величина середнього ефективного тиску за ступеня підвищення тиску $\lambda > 2,4$ у більшості випадків для природного газу є вищою при використанні у ДВЗ, тоді як за $\lambda < 2,4$ газогенераторне паливо показує явну перевагу. Крім того, викиди NO_x , як правило, значно нижчі при роботі на ГПП, але лише при $\lambda > 1,9$ ці викиди не перевищують 30 проміле на обидва види палива, що демонструє переваги використання іскрового запалення. З іншого боку, викиди CO досить високі для обох видів палива, особливо у випадку з ГПП, оскільки CO є однією з основних складових палива. Загальні гідрокарбонати по всьому діапазону набагато нижчі для природного газу, оскільки цей газ містить зовсім мало HC у своєму складі.

Проведено 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 інший 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/нм³. 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 ГПП 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 проведені на основі диференціального рівняння руху автомобіля, для розв'язання якого необхідно мати швидкісну зовнішню характеристику двигуна, що працює на бензині і ГПП.

Якщо відомі параметри швидкісної зовнішньої характеристики двигуна, наприклад, за результатами експериментальних досліджень, то крутний момент двигуна знаходять за виразом

$$M_k = a \cdot \omega^2 + b \cdot \omega + c, \quad (1)$$

де a, b, c – сталі коефіцієнти, котрі визначають за допомогою інтерполяційної формули Лагранжа.

Якщо експериментальні дані відсутні, зокрема, для двигуна, що працює на ГПП, то побудову швидкісної зовнішньої характеристики двигуна здійснюють за величинами крутного моменту, потужності та частоти обертання двигуна в характерних точках. Такими точками є максимальні значення потужності $N_{e\max}$ і крутного моменту $M_{e\max}$ та відповідні їм кутові швидкості

ω_N та ω_M . За значеннями потужності, крутного моменту і частот обертання знаходять коефіцієнт запасу крутного моменту M_z та коефіцієнти пристосованості двигуна за частотою обертання K_ω і крутного моменту K_M :

$$M_z = \frac{M_{e\max} - M_{eN}}{M_{e\max}} \cdot 100, \quad K_\omega = \frac{\omega_N}{\omega_M}, \quad K_M = \frac{M_{e\max}}{M_{eN}}. \quad (2)$$

З урахуванням значень M_z та K_ω коефіцієнти полінома, що апроксимує швидкісну зовнішню характеристику двигуна

$$N_e = N_{e\max} (a_\delta x_i + b_\delta x_i^2 - c_\delta x_i^3) = N_{e\max} \cdot A, \quad \text{де } x_i = \omega_N / \omega_M, \quad (3)$$

запишуться у вигляді

$$a_\delta = 1 - \frac{M_z}{100} \cdot \frac{K_\omega(2 - K_\omega)}{(K_\omega - 1)^2}, \quad b_\delta = 2 \frac{M_z}{100} \cdot \frac{K_\omega}{(K_\omega - 1)^2}, \quad c_\delta = \frac{M_z}{100} \cdot \frac{K_\omega}{(1 - K_\omega)^2}. \quad (4)$$

При переобладнанні бензинового двигуна в газовий змінюються як значення максимальної потужності, так і коефіцієнтів пристосованості двигуна по максимальному крутному моменту і частоті обертання, тобто змінюється характер протікання швидкісних зовнішніх характеристик. У табл. 4 наведені значення коефіцієнтів апроксимуючого поліному для бензинового і газового двигуна.

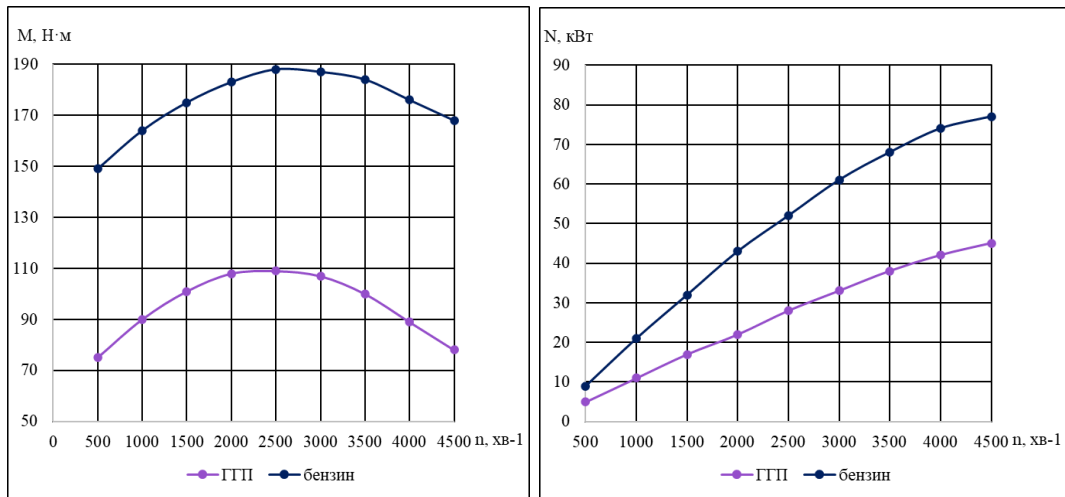
Таблиця 4 – Коефіцієнти апроксимуючого поліному для визначення крутного моменту двигуна

Двигун	Коефіцієнти		
	a	b	c
ЗМЗ-4063	-0,00128	12,765	889,98
ЗМЗ-4063г	-0,00161	10,763	797,65

За визначеними коефіцієнтами апроксимуючого поліному побудовані швидкісні зовнішні характеристики двигуна (рис.2), що працює на бензині і ГПП.

Відомо, що поліпшити тягово-швидкісні властивості автомобіля, двигун якого працює на ГПП, можливо за рахунок зміни передаточних відношень трансмісії автомобіля. При зменшенні потужності двигуна понад 40% модернізацією головної передачі автобуса, двигун якого працює на ГПП, поліпшити ці властивості проблематично. Необхідно провести вибір раціональних передавальних відношень трансмісії.

На сьогодні при визначенні передаточних відношень трансмісії автомобіля найбільш розповсюдженими є закони і методики, наведені у табл.5, за якими визначені передаточні відношення коробки передач при роботі двигуна на ГПП.



а)

б)

Рисунок 2 – Зміна моменту (а) та потужності двигуна (б), що працює на бензині і ГПП, від частоти обертання колінчастого вала двигуна

Таблиця 5 – Передаточні числа коробки передач, що визначені за різними законами та методиками

№ п/п	Закон або методика	Передаточні відношення коробки передач				
		U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
1	Геометрична прогресія	6,76	4,192	2,6	1,612	1
2	Арифметична прогресія	6,76	5,32	3,88	2,44	1
3	Динамічний ряд	6,76	5,07	3,38	1,69	1
4	Гармонічний ряд	6,76	2,77	1,742	1,271	1
5	Мінімізація витрат палива	6,76	2,395	1,808	1,504	1
6	Мінімізація часу розгону	6,76	2,647	1,998	1,663	1
7	Методика Токарева	6,76	2,379	1,666	1,283	1
8	Стандартний ряд КПП	4,050	2,340	1,395	1,000	0,849

Розглянуті закони і методики, а також результати багатьох дослідницьких робіт, забезпечують окремі високі показники техніко-експлуатаційних властивостей у конкретних умовах експлуатації, причому жоден з законів та жодна з методик не забезпечують одночасно кращі показники як тягово-швидкісних властивостей, так і паливної економічності.

При оптимізації передаточних відношень трансмісії різні дослідники використовують різні шляхи для вибору критеріїв та показників техніко-експлуатаційних властивостей автомобілів, але єдиного загальноприйнятого набору показників немає. Одним із таких шляхів є порівняння показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобіля, що визначені за різними законами і методиками, з кращими, що притаманні кожному окремо взятому показнику.

Шляхом розв'язку диференціального рівняння руху були визначені показники тягово-швидкісних властивостей автобуса, двигун якого працює на ГПП, за різних передаточних відношень трансмісії, табл. 6.

Аналіз результатів даних табл. 6 показав, що кращі окремі значення

прийнятих показників тягово-швидкісних властивостей автобуса досягаються за різних законів і методик вибору передаточних відношень коробки передач. Тому остаточний вибір необхідно проводити за питомими показниками з урахуванням показників паливної економічності.

При визначенні витрати палива автомобілем приймалися до уваги три основних оціночних показники, зокрема, паливна характеристика усталеного руху, контрольна витрата палива і витрата палива в міському циклі на дорозі. Паливна характеристика усталеного руху є графічним зображенням залежності витрати палива Q_s , м³/100 км, від швидкості V , км/год, при русі автомобіля на вищій передачі по горизонтальній дорозі з твердим, гладким покриттям.

Таблиця 6 – Показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автобуса БАЗ-2215

№	Назва показника	Закон або методика вибору передаточних відношень трансмісії								
		1	2	3	4	5	6	7	8	Еталон
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	час розгону до $V=21,9$ м/с, с	256	266	244	271	249	241	249	378	241
	шлях розгону до $V=21,9$ м/с, м	4529	4628	4335	4668	4370	4302	4420	6489	4302
2	час розгону на останній передачі, с	217	235	191	223	190	186	182	233	182
	шлях розгону на останній передачі, м	4188	4428	3798	4122	3762	3695	3623	4592	3623
3	час розгону на передостанній передачі, с	16	13	33	24	36	27	36	119	13
	шлях розгону на передостанній передачі, м	207	128	450	273	502	418	570	1768	128
4	максимальна швидкість, м/с	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9
5	максимальне прискорення при розгоні, м/с ²	0,805 (II)	0,799 (II)	0,804 (II)	0,747 (I)	0,747 (I)	0,747 (I)	0,747 (I)	0,747 (I)	0,805
6	час розгону на шляху:									
	250 м, с	33	34	34	38	37	33	35	39	33
	750 м, с	64	68	65	67	65	63	66	80	63
	1150 м, с	97	107	90	102	94	87	97	100	87
7	максимальний долаємий підйом, %	26,4								24,3
8	усталена швидкість на затяжних підйомах (3 %), м/с	11,74	8,15	11,92	14,76	13,02	11,87	14,32	8,65	14,76

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	максимальна сила тяги на гаку, Н	9640							8775	9640
10	середня швидкість руху ($m_\psi=0,02$, $\sigma_\psi=0,012$), м/с	13,12	8,85	12,83	15,87	13,91	12,82	15,69	8,76	15,87

Витрата палива у різних режимах руху визначалась за виразом:

$$Q_s = \frac{q_e}{10^4 \cdot 3,6 \eta_m \rho_n} \cdot \left(m_a g \psi + \frac{K_B F V^2}{3,6^2} + \delta_{об} m_a \frac{dV}{dt} \right), \quad (5)$$

де $\psi = f \cos \alpha \pm \sin \alpha$ – сумарний коефіцієнт опору дороги;

ρ_n – густина палива;

m_a – маса автомобіля;

K_B – коефіцієнт опору повітря;

η_m – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

$\delta_{об}$ – коефіцієнт, що враховує приріст сил інерції поступальних мас за рахунок обертових;

F – площа проекції автомобіля на площину, перпендикулярну до його поздовжньої осі.

Контрольна витрата палива визначається при фіксованих умовах випробувань відповідно з діючими нормативними документами. Її чисельне значення певною мірою характеризує можливий мінімальний рівень витрат палива автомобілем при його випробуваннях.

При визначенні витрати палива автобусом в міському циклі на дорозі використано методику розрахунку за ГОСТ 20306-90. За цією методикою швидкісні режими руху нормуються оперативною картою та графічною схемою усього циклу для кожного типу автомобіля. Характерним є включення до циклу типових фаз руху: розгін; усталена швидкість; сповільнення за допомогою двигуна або гальмівної системи; повна зупинка. Послідовне виконання названих фаз (операцій) встановлено через певні відстані шляху, рис. 3.

Витрата палива при неусталеному русі за повного використання потужності двигуна визначалась за виразом:

$$Q = G_a \delta \times \left[a_{Qc} \int_{V_n}^{V_k} \frac{V^2 dV}{a_i V^2 + b_i V + c_i} + b_{Qc} \int_{V_n}^{V_k} \frac{V dV}{a_i V^2 + b_i V + c_i} + c_{Qc} \int_{V_n}^{V_k} \frac{dV}{a_i V^2 + b_i V + c_i} \right], \quad (5)$$

де δ – коефіцієнт, що враховує приріст сил інерції поступальних мас автомобіля за рахунок його обертових мас на відповідній передачі;

a_{Qc} , b_{Qc} , c_{Qc} – коефіцієнти рівняння, якими апроксимується залежність секундної витрати палива двигуном від частоти обертання колінчастого валу;

a_i , b_i , c_i – коефіцієнти правої частини диференціального рівняння руху автомобіля.

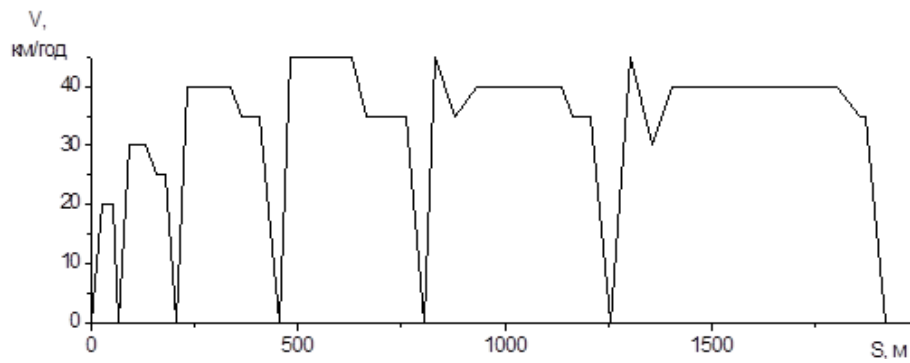


Рисунок 3 – Схема міського їздового циклу для міських автобусів

Так як схема міського їздового циклу має постійне розганяння та зупинку руху, середню годинну витрату палива на i -ій передачі визначали як

$$Q_{Ticp} = \frac{\int_{Q_{Tmin}}^{Q_{Tmax}} Q_T f(Q_T) dQ_T}{\int_{Q_{Tmin}}^{Q_{Tmax}} f(Q_T) dQ_T}, \quad (6)$$

де Q_{Ticp} – поточне значення витрати палива, кг;
 $f(Q_T)$ – закон розподілу витрати палива на i -ій передачі.

Таблиця 7 – Показники паливної економічності автобуса БАЗ-2215

№	Назва показника	Закон або методика вибору передаточних відношень трансмісії								
		1	2	3	4	5	6	7	8	Еталон
1	контрольна витрата ГПП, м ³ /100 км	33,6	37,8	32,9	30,8	32,8	32,7	30,8	35,3	30,8
2	середня кілометрова витрата ГПП, м ³ /км	0,475	0,556	0,469	0,432	0,455	0,444	0,431	0,543	0,431

У табл. 7 наведені значення показників паливної економічності автобуса БАЗ-2215, двигун якого працює на ГПП, за різних передаточних відношень трансмісії, а у табл. 8 – відносні значення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності, які визначалися як відношення показника за даного закону вибору передаточних відношень, до кращого із усіх розглянутих законів і методик.

Таблиця 8 – Відносні показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автобуса БАЗ-2215

№	Назва показника	Закон або методика вибору передаточних відношень трансмісії								
		1	2	3	4	5	6	7	8	Еталон
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	час розгону до V=21,9 м/с, с	0,94	0,91	0,99	0,89	0,97	1,00	0,97	0,64	241
	шлях розгону до V=21,9 м/с, м	0,95	0,93	0,99	0,92	0,98	1,00	0,97	0,66	4302

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	час розгону на останній передачі, с	0,84	0,77	0,95	0,82	0,96	0,98	1,00	0,78	182
	шлях розгону на останній передачі, м	0,87	0,82	0,95	0,88	0,96	0,98	1,00	0,79	3623
	час розгону на передостанній передачі, с	0,81	1,00	0,40	0,54	0,36	0,48	0,36	0,11	13
	шлях розгону на передостанній передачі, м	0,62	1,00	0,28	0,54	0,25	0,61	0,42	0,01	128
3	максимальна швидкість, м/с	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	21,9
4	тах. прискорення при розгоні, м/с ²	1,00	0,99	1,00	0,93	0,93	0,93	0,93	0,82	0,804
5	час розгону на шляху:									
	250 м, с	1,00	0,97	0,97	0,87	0,89	1,00	0,94	0,85	33
	750 м, с	0,98	0,93	0,97	0,94	0,97	1,00	0,95	0,79	63
	1150 м, с	0,90	0,81	0,97	0,85	0,93	1,00	0,90	0,87	87
6	максимальний долаємий підйом, %	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	26,4
7	усталена швидкість на затяжних підйомах (3%), м/с	0,78	0,55	0,81	1,00	0,88	0,80	0,97	0,59	14,76
8	тах. сила тяги на гаку, Н	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	9640
9	середня швидкість руху, м/с	0,82	0,54	0,81	1,00	0,88	0,81	1,00	0,55	15,87
10	сумарний відносний показник тягово-швидкісних властивостей	13,61	13,22	13,09	13,18	12,96	13,59	13,61	10,29	
11	контрольна витрата ГПП, м ³ /100 км	28,34	24,95	28,95	30,8	28,95	28,95	30,8	26,80	30,8
12	відносна контрольна витрата ГПП, м ³ /100 км	0,92	0,81	0,94	1,00	0,94	0,94	1,00	0,87	
13	середня витрата ГПП, м ³ /км	0,392	0,336	0,397	0,431	0,397	0,397	0,431	0,341	0,431
14	відносна середня витрата ГПП, м ³ /км	0,91	0,78	0,92	1,00	0,95	0,97	1,00	0,79	
15	сумарний відносний показник	15,44	14,81	14,95	15,18	14,85	15,50	15,61	11,95	

Аналіз даних табл. 8 показує, що кращі значення показників тягово-швидкісних властивостей автобуса БАЗ-2215 досягаються за умови, що передаточні відношення коробки передач визначені за законом геометричної прогресії і за методикою А.А. Токарева, а з урахуванням показників паливної економічності – за законом геометричної прогресії, методикою А.А. Токарева і

мінімізацією часу розгону. Так, сумарний відносний показник тягово-швидкісних властивостей при виборі передаточних відношень за законом геометричної прогресії і за методикою А.А. Токарева у порівнянні з передаточними відношеннями штатної коробки передач автобуса БАЗ-2215 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. Токарева зменшується для тих же самих умов відповідно на 12,7 % і 20,6 %.

Із наведеного аналізу слідує, що кращою методикою вибору передаточних відношень трансмісії автомобіля, двигун якого працює на ГПП, є методика А.А. Токарева. При цьому збереження трансмісії автобуса без змін значно погіршує як показники тягово-швидкісних властивостей, так і паливної економічності. Це ще раз підтверджує необхідність створення нових трансмісій для автомобілів і автобусів, двигуни яких працюють на ГПП, кількість яких із року в рік буде неухильно зростати.

У **додатках** наведено підтверджуючі документи проходження стажування у Королівському технологічному інституті м. Стокгольм, Швеція, та інформацію про впровадження окремих результатів дисертаційної роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу літературних джерел техніко-експлуатаційних показників серійних транспортних засобів, що працюють на ГПП, і процесу газифікації, встановлено, що горючий газ, що отримується у газогенераторних установках, має високу температуру, значну кількість водяної пари, частинок попелу і смолистих речовин, що негативно впливає на наповнення циліндрів двигуна. Це призводить до зменшення потужності двигуна і погіршення тягово-швидкісних властивостей. Крім того, якщо генераторний газ якісно не очищувати та ефективно не охолоджувати, що можливо лише у стаціонарних установках та у промисловому масштабі, то у кращому випадку зменшиться ресурс роботи двигуна. Тому перспективним є застосування стаціонарних газогенераторних установок.

2. Встановлено, 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.

3. За отриманими основними характеристиками газогенераторного палива виконані розрахунки вихідних параметрів двигуна внутрішнього згоряння як при роботі на бензині, так і газогенераторному паливі. За результатами розрахунків встановлено, що індикаторні та ефективні показники роботи двигуна ЗМЗ-4063 на газогенераторному паливі зменшуються на 40,8 % у порівнянні з роботою на бензині.

4. Показано, 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. Це свідчить про те, що основні параметри двигуна і трансмісії автомобіля можна залишити без змін.

5. 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 ГПП. Це відношення складає 1,75. Проте, з точки зору швидкісних властивостей автомобіля (максимальної швидкості), це відношення дещо інше і складає 1,25, що значно менше відношення за тяговими властивостями автомобіля. Із цього слідує, що поліпшити тягово-швидкісні властивості автомобіля, двигун якого працює на ГПП, модернізацією трансмісії автомобіля, двигун якого працює на бензині, проблематично.

6. Встановлено, для автомобілів, двигуни яких працюють на ГПП, 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. Токарева, а з урахуванням показників паливної економичності – за законом геометричної прогресії, методикою А.А. Токарева і мінімізацією часу розгону. Так, сумарний відносний показник тягово-швидкісних властивостей при виборі передаточних відношень за законом геометричної прогресії і за методикою А.А. Токарева 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. Токарева 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 економичності.

7. Результати дослідження впроваджені на підприємстві: ДП «ДержавтотрансНДІпроект» (м. Київ), ТОВ «НАДЕЖДА РИТЕЙЛ 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».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях України

1. Аналіз методів розрахунку передаточних відношень трансмісії вантажних автомобілів / Лютенко В. Є., Чеверда О. В., Похожай А. А., Криворот А. І., Горбан О. В. *Галузеве машинобудування, будівництво*: збірник наукових праць. Полтава: ПолтНТУ, 2007. Вип. 20. С. 26–30.

2. Орисенко О. В., Криворот А. І., Шурмін А. Е. Дослідження індикаторних та ефективних показників двигуна ЗМЗ-4026 при роботі на традиційному й альтернативному паливі. *Галузеве машинобудування, будівництво: збірник наукових праць*. Полтава: ПолтНТУ, 2011. Вип. 1 (29). С. 53–56.

3. Філіпова Г. А., Криворот А. І. Експериментальне дослідження генераторного газу із різних видів біомаси. *Науково-технічний збірник «Вісник Національного транспортного університету»*. 2013. Вип. 27. С. 137–143.

4. Способи поліпшення індикаторних та ефективних показників двигуна ЗМЗ-4063 при роботі на генераторному газі / Філіпова Г. А., Орисенко О. В., Криворот А. І., Голуб О. М., Капуста О. О. *Наукові нотатки: міжвузівський збірник*. Луцьк: ЛНТУ, 2014. Вип. 45. С. 573–577.

5. Streamlining influence on the long-haul trucks with an installed movable roof fairing performance properties theoretical studies / Virchenko V., Skoryk M., Kryvorot A., Meshko O. *Academic journal. Series: Industrial Machine, Building, Civil Engineering*. Poltava: PoltNTU, 2018. – Iss. 2 (51). P. 187–195. (Index Copernicus).

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

6. Филиппова Г. А., Орисенко А. В., Криворот А. И. Улучшение индикаторных и эффективных показателей работы двигателя ЗМЗ-4063 на генераторном газе применением наддува. *Транспорт, экология – устойчиво развитие: XXI научно-техническая конференция с международным участием: сборник докладов 14–16 Май 2015*. Варна, Болгария: ЕКОВАРНА, 2015. С. 421–425.

Публікації апробаційного характеру

7. Зав'ялова Л. І., Криворот А. І. Порівняльний аналіз газових моторних палив і способів їх отримання з метою доцільності їх використання в газобалонних машинах. Тези 64-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету 17 квітня – 11 травня 2012 р. ПолтНТУ, Полтава, 2012. Т. 3. С. 57–59.

8. Криворот А. І., Філіпова Г. А. Визначення коефіцієнта EROI для виробництва генераторного газу. Тези 65-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. 22 квітня – 15 травня 2013 р. ПолтНТУ, Полтава, 2013. Т. 4. С. 56–58.

9. Криворот А. І., Місяк В. М. Теоретичне дослідження теплових характеристик двигунів внутрішнього згорання у програмному середовищі MATHCAD. *Прогресивні інформаційні технології DELCAM в освіті і наукових дослідженнях: матеріали IV Міжнар. наук.-техн. конф.* Полтава: ПолтНТУ, 2013. С. 66–71.

10. Філіпова Г. А., Орисенко О. В., Криворот А. І. Мікроконтролерна система керування якістю суміші генераторного газу та повітря на ЗМЗ-4063. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів: збірник тез за матеріалами V Міжнародної науково-технічної конференції, 3 – 4 грудня 2014 р.* Полтава: ПолтНТУ, 2014. С. 83–85.

11. Криворот А. І., Орісенко О. В. Економія паливних енергоносіїв за рахунок оптимізації передаточних відношень трансмісії автомобіля. *Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика*: матеріали III Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. Полтава: ПолтНТУ, 2017. С. 71–73.

12. Енергоефективність швидкісних та паливно-економічних властивостей автомобіля за рахунок оптимізації передаточних відношень його трансмісії / Криворот А. І., Скорик М. О., Філіпова Г. А., Шпилька М. М. *BUILDING INNOVATIONS – 2019*: збірник наукових праць II Міжнародної українсько-азербайджанської конференції, 23–24 травня 2019 р. Полтава: ПолтНТУ, 2019. С. 509–511.

13. Філіпова Г. А., Орісенко О. В., Криворот А. І. Система керованої подачі генераторного газу та наддуву повітря на інжекторному двигуні. *Новейшие технологии развития конструкции, производства, эксплуатации, ремонта и экспертизы автомобиля*: сборник тезисов Международной научно-практической конференции по случаю Дня автомобилиста и дорожника, посвящённой 90-летию проф. Говорущенко Н. Я. Харьков: ХНАДУ, 2014. С. 270–271.

14. Філіпова Г. А., Орісенко О. В., Криворот А. І. Порівняльний аналіз тягових характеристик автомобіля ГАЗ-3302 з використанням КП із стандартним рядом передаточних чисел та за умови мінімізації часу розгону при роботі двигуна на газогенераторному паливі. *Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців*: наукові праці Міжнародної науково-практичної та науково-методичної конференції, присвяченої 85-річчю кафедри автомобілів та 100-річчю з Дня народження професора А. Б. Гредескула. Харків: ХНАДУ, 2016. С. 52–54.

15. Філіпова Г. А., Орісенко О. В., Криворот А. І. Покращення ефективних показників автомобілів сімейства ГАЗель за рахунок оптимізації передаточних чисел трансмісії. *Наукові досягнення в галузі автомобільного транспорту*: матеріали Всеукраїнського науково-практичного семінару, 20 квітня 2018 р. Харків: ХНАДУ, 2018. С. 27.

16. Криворот А. І., Орісенко О. В. Поліпшення характеристик розганання автомобіля ГАЗель «Рута» при русі у міських умовах з урахуванням сучасних вимог ПДР України. *Новітні технології розвитку автомобільного транспорту*: наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції, 16–19 жовтня 2018 р. Харків: ХНАДУ, 2018. С. 398–399.

17. Криворот А. І. Визначення зовнішньої швидкісної характеристики двигуна ЗМЗ-4063 при роботі на генераторному газі. *Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні*: наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції, 15–18 жовтня 2019 р. Харків: ХНАДУ, 2019. С. 190–193.

18. Криворот А. І., Філіпова Г. А. Моделювання та аналіз роботи двигуна внутрішнього згорання ЗМЗ-4063.10 на різних видах палива. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: матеріали третьої міжнародної науково-технічної конференції. Полтава:

ПНТУ; Білгород: НДУ «БілДУ»; Харків: ДП «ХНДІ ТМ»; Київ: НТУ; Кіровоград: КЛІА НАУ, 2013. – С. 7.

19. Криворот А. І., Філіпова Г. А. Генераторний газ як паливо майбутнього. Експериментальне дослідження теплотворності. *Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства*: матеріали XX Міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих учених. Кременчук: КрНУ, 2013. С. 168–169.

20. Филиппова Г. А., Орисенко А. В., Криворот А. И. К выбору ряда передаточных чисел коробки передач газогенераторного автомобиля семейства «ГАЗель». *Наука – образованию, производству, экономике*: материалы 14-й международной технической конференции. Минск: БНТУ, 2016. Т. 2. С. 22.

21. Филиппова Г. А., Криворот А. И. Экспериментальные исследования генераторного газа из разных видов биомассы. *Наука – образованию, производству, экономике*: материалы 12-й международной технической конференции. Минск: БНТУ, 2014. Т. 2. С. 49–50.

АНОТАЦІЯ

Криворот А.І. Поліпшення тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності транспортних засобів, що працюють на газогенераторному паливі. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Національний транспортний університет. – Київ, 2020.

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача поліпшення тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності транспортних засобів, двигуни яких працюють на газогенераторному паливі. У роботі розглянуто питання щодо переведення двигунів внутрішнього згоряння (як стаціонарних, так і транспортних) на генераторні гази, що дозволить значно зменшити забруднення атмосфери відпрацьованими газами (менші викиди і безпечніший їх склад). Досліджено та встановлено, що кількість отриманого газу в газогенераторах, його питомий вихід, компонентний склад та теплота згоряння безпосередньо пов'язані із видом вхідної сировини. Обґрунтовано використання деревини як біомаси для генерації горючого газу у газогенератор з низхідним потоком. Визначено показники роботи двигунів на бензині та генераторному газі та обґрунтовано можливі напрямки підвищення показників тягово-швидкісних властивостей автомобілів, що працюють на ГГП. Визначено раціональні передаточні відношення трансмісії автомобілів, що працюють на ГГП. Показано, що кращі значення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності досягаються за умови, що передаточні відношення коробки передач визначені за методикою А.А. Токарева. При цьому збереження трансмісії автобуса без змін значно погіршує як показники тягово-швидкісних властивостей, так і паливної економічності. Надано рекомендації щодо поліпшення тягово-швидкісних властивостей автомобілів, що працюють на газогенераторному паливі.

Ключові слова: автотранспортний засіб, альтернативне паливо, генераторний газ, потужність, момент, паливна характеристика, тягово-швидкісні властивості, трансмісія, передаточні відношення.

АННОТАЦИЯ

Криворот А.И. Улучшение тягово-скоростных свойств и топливной экономичности транспортных средств, работающих на газогенераторном топливе. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 «Автомобили и тракторы». – Национальный транспортный университет, – Киев, 2020.

Актуальность работы связана с проблемой экономии традиционных нефтяных топлив на транспорте, которая является важной социальной и экономической задачей не только для Украины, но и для всего мира. В связи с этим исследования в области использования альтернативных топлив, а именно генераторного газа, в двигателях внутреннего сгорания актуальны и в последнее время массово проводятся во многих странах.

Несмотря на то, что исследователями предложен большой спектр альтернативных топлив для двигателей внутреннего сгорания, которые обеспечивают высокую экологичность транспортных средств, в работе обоснована актуальность создания стационарной газогенераторной установки с аккумулярованием топлива и использованием его в современных транспортных средствах с улучшением эксплуатационных качеств.

На основе анализа литературных источников была разработана классификация газовых моторных топлив и способов их получения. Проанализированы технико-эксплуатационные показатели серийных транспортных средств непосредственно с газогенераторной установкой. Рассмотрено оборудование для производства, очистки, охлаждения и накопления газогенераторного топлива (ГГТ).

Опираясь на большой опыт в использовании альтернативных источников энергии Королевского технологического института (швед. Kungliga Tekniska Högskolan, англ. Royal Institute of Technology) в г. Стокгольм, Швеция, во время стажировки были проведены экспериментальные исследования альтернативных газовых топлив, а именно генераторного газа и биометана из разных видов сырья. Получены средние показатели состава и общие характеристики исследуемых газовых топлив. Также были исследованы показатели эффективного КПД и выбросов при использовании в современном двигателе внутреннего сгорания газогенераторного топлива.

Используя экспериментальные данные полученного генераторного газа, с помощью ПК и программного обеспечения MathCad выполнен тепловой расчет двигателя и проведено сравнение параметров его работы с данными при работе на бензине. Показано, что применение наддува в газовых двигателях положительно влияет на протекание термодинамического процесса, что позволяет компенсировать потери мощности. Для получения скоростной

внешней характеристики (СВХ) при отсутствии экспериментальных данных для двигателя, работающего на ГГТ, можно воспользоваться величинами крутящего момента, мощности и частоты вращения двигателя и реальной СВХ двигателя при работе на бензине с учетом возможного их снижения при работе на ГГТ. Были получены собственные коэффициенты аппроксимирующего полинома, описывающего СВХ двигателя, работающего на ГГТ.

Учитывая важное значение показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля, следует более подробно подходить к выбору параметров системы "двигатель-трансмиссия-колесный модуль". Поэтому были определены рациональные передаточные отношения трансмиссии автомобилей, работающих на ГГТ, и даны рекомендации по улучшению их тягово-скоростных свойств.

Ключевые слова: автотранспортное средство, альтернативное топливо, генераторный газ, мощность, момент, топливная характеристика, тягово-скоростные свойства, трансмиссия, передаточные отношения.

SUMMARY

Kryvorot A.I. Improvement tractive and velocity characteristic and vehicle fuel efficiency who operate in producer gas. – The manuscript.

The Ph.D. thesis (candidate of technical sciences) on specialty 05.22.02 – «Cars and tractors». National Transport University, Kyiv, 2020.

The dissertation has solved the scientific and practical problem of improvement tractive and velocity characteristic and vehicle fuel efficiency who operate in producer gas. The work is devoted to the pressing issue of transferring internal combustion engines (stationary and transport) to producer gas, which will significantly reduce atmospheric pollution by the exhaust gases (lower emissions and safer composition). It has been investigated and determined that the gas amount wat produced in gas generators, its specific output, component composition and combustion heat are directly related to the input biomass type. The wood waste using as biomass for the producer gas generation in a downstream gas generator is substantiated. Performance of engines on gasoline and producer gas fuel is determined and possible directions to improve traction and velocity vehicle characteristic who running on producer gas fuel are substantiated. The rational vehicle gear transmission ratios who running producer gas fuel have been determined. It is shown that the best values of traction and speed properties and fuel economy are achieved provided that the transmission gear ratio is determined by the Tokarev method. Thus, preservation the bus transmission without changes considerably worsens both attractive and velocity characteristic and fuel efficiency. The recommendations to improvement tractive and velocity characteristic and vehicle fuel efficiency who operate in producer gas are given.

Key words: Vehicle, alternative fuel, producer gas fuel, power, torque, fuel efficiency, traction and velocity characteristic, transmission, gear ratios.

Поліграфічний центр
Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
36011, Полтава, Першотравневий проспект, 24.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції,
серія ДК № 7019 від 19.12.2019.

Підписано до друку 28.10.2020.
Папір офсетний. Друк RISO.
Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Формат 60×90/16. Зам. № 98.

