

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Шиманський Сергій Іванович

УДК 621.43:662.767.1

**ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ ЯК ДОБАВКИ ДО СТИСНЕНОГО ПРИРОДНОГО
ГАЗУ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Спеціальність: 05.22.20 — «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

КІЇВ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету (НТУ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор

Говорун Анатолій Григорович

Національний транспортний університет

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Захарчук Віктор Іванович,

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк,
професор кафедри автомобілів і транспортних технологій;

кандидат технічних наук, доцент

Бешун Олексій Анатолійович,

Національний університет біоресурсів і природокористування,
м. Київ,

доцент кафедри тракторів, автомобілів та біоенергосистем.

Захист відбудеться „23” жовтня 2020р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої
вченого ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою:
01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 209.

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

Автореферат розісланий „19” вересня 2020р.

В.о. вченого секретаря
спеціалізованої вченого ради

Ю.А.Мейш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останнім часом гостро постає питання необхідності економії природних ресурсів та збереження навколошнього середовища при збільшенні виробництва енергії, необхідної для задоволення потреб людства.

Неминуче виснаження нафтових родовищ, підвищення світових цін на нафту, постійне посилення вимог до екологічних показників транспортних і стаціонарних двигунів призводять до необхідності шукати заміну традиційному нафтовому моторному паливу. Нафтові та газові кризи, погіршення екологічної ситуації змушують людство шукати шляхи задоволення своїх енергетичних потреб не тільки виснаженням вичерпних енергоресурсів, але саме використовуючи нетрадиційні джерела енергії.

Одним із перспективних напрямків заміщення традиційних паливних ресурсів є використання біогазу, як найдешевшого із біопалив. Для одержання біогазу можна використовувати рослинні, господарські відходи, стічні води та інші органічні відходи.

Через відсутність, поки що, в Україні розвиненої бази продукування біогазу, переход на альтернативне паливо можна вирішити частковою заміною природного газу біогазом створивши сумішеве паливо.

Використання суміші стисненого природного газу (СПГ) та біогазу дозволяє поліпшити екологічні і паливно-економічні показники та зменшити масові викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів з двигунами з іскровим запалюванням, обладнаних карбюраторною системою живлення. З урахуванням цього, актуальним є проведення досліджень впливу сумішевого палива на екологічні, паливно-економічні та енергетичні показники автомобілів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Роботу виконували згідно плану наукових робіт Національного транспортного університету (НТУ): на 2014 рік за темою "Використання альтернативних палив та удосконалення систем регулювання та живлення двигунів колісних транспортних засобів", державна реєстрація № 0112U008409, інвентарний № 0214U008214; на 2016 рік за темою "Поліпшення показників транспортних засобів удосконаленням систем двигунів та застосуванням альтернативних палив", державна реєстрація № 0116U007533, інвентарний № 0716U002916; на 2017 рік за темою "Поліпшення показників транспортних засобів удосконаленням систем двигунів та застосуванням альтернативних палив", державна реєстрація № 0116U007533, інвентарний № 0218U002039.

Мета дослідження – поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля з двигуном з іскровим запалюванням використанням сумішевого палива.

Завдання дослідження:

- аналіз досліджень щодо використання біогазу як моторного палива;
- розробка загальної методики дослідження впливу різних видів палив, зокрема сумішевого палива, на екологічні показники та паливну економічність автомобіля;
- розробка методики отримання модельованого газу, як замінника сумішевого палива при широких експериментальних дослідженнях та проведення експериментальних досліджень, що підтверджують можливість такої заміни;

- уdosконалення схеми системи живлення двигуна автомобіля СПГ та сумішевим паливом;
- уточнення математичної моделі руху автомобіля за режимами Європейського їзового циклу для дослідження екологічних показників та паливної економічності автомобіля при живленні двигуна бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом;
- проведення випробувань автомобіля на динамометричному роликовому стенді при живленні бензином А-92, СПГ та модельованим газом в русі за режимами Європейського їзового циклу;
- проведення розрахунків на уточненій математичній моделі з визначенням паливної економічності та екологічних показників автомобіля при живленні двигуна бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом;
- визначення соціально-економічного збитку, завданого довкіллю забрудненням шкідливими викидами автомобіля за роботи на різних паливах та розрахунок економічної доцільності використання сумішевого палива.

Об'єкт дослідження – вплив сумішевого палива на екологічні, енергетичні та паливно-економічні показники роботи автомобіля.

Предмет дослідження – екологічні, енергетичні та паливно-економічні показники роботи автомобіля при живленні двигуна бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом.

Методи дослідження:

Експериментальним методом на динамометричному роликовому стенді при живленні двигуна бензином А-92, СПГ та модельованим газом досліджували екологічні, паливно-економічні та енергетичні показники двигуна автомобіля в широкому діапазоні зміни швидкісних та навантажувальних режимів. Отримані дані є вихідними для складання математичних моделей двигуна, які є сукупністю поліноміальних залежностей, алгебраїчних та диференціальних рівнянь. На динамометричному роликовому стенді провели випробування автомобіля за режимами руху Європейського їзового циклу при живленні двигуна бензином А-92, СПГ та модельованим газом.

Розрахунковим методом на математичній моделі визначили екологічні показники та паливну економічність автомобіля при живленні двигуна бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом за режимами руху в Європейському їздовому циклі.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропонована методика визначення складу на створення модельованого газу, що дозволяє досліджувати вплив величини добавки біогазу до СПГ на паливну економічність і екологічні показники автомобіля з двигуном з іскровим запалюванням.

2. Встановлено, що в автомобілях з двигуном з іскровим запалюванням, використання сумішевого палива не погіршує паливну економічність у порівнянні з використанням бензину А-92 та СПГ.

3. Встановлено, що використання сумішевого палива приводить до зниження сумарних масових викидів шкідливих речовин автомобіля з двигуном з іскровим запалюванням у порівнянні з використанням бензину А-92 та СПГ.

Практичну цінність отриманих результатів становлять:

1. Удосконалення схеми системи живлення двигуна автомобіля СПГ та сумішевим паливом із встановленням дозатора газу та газового змішувача із економайзером примусового холостого ходу.

2. Числові значення коефіцієнтів поліноміальних залежностей витрати палива, повітря та концентрацій шкідливих речовин при живленні двигуна автомобіля бензином А-92, СПГ та модельованим газом.

3. Уточнена математична модель руху автомобіля за режимами Європейського їздового циклу, яка дозволяє досліджувати вплив складу сумішевих палив на паливну економічність і екологічні показники автомобіля.

4. Паливно-економічні та екологічні показники автомобіля при живленні двигуна бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом.

5. Результати роботи прийняті до використання в Інституті газу Національної Академії Наук України (м. Київ) та в Українському науково-дослідному та навчальному центрі хіммотології і сертифікації паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин при Національному авіаційному університеті (м. Київ).

Особистий внесок здобувача.

Основні результати, які викладені в дисертації і подані до захисту, отримано здобувачем самостійно. Робота [1] опублікована без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: аналіз використання біогазу як моторного палива для живлення двигунів транспортних засобів [1, 8]; дослідження використання біогазу як моторного палива для ДВЗ з іскровим запалюванням [2, 3, 9, 10]; удосконалення системи живлення ДВЗ з іскровим запалюванням з дозатором газу та газовим змішувачем при роботі на СПГ та сумішевому паливі [4, 5, 14]; спосіб зменшення викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами при роботі двигуна на суміші стисненого природного газу та біогазу [7, 11, 12, 15]; постановка задачі та обробка результатів експериментальних досліджень автомобіля ВАЗ-2101 з двигуном ВАЗ-21011, переобладнаним для живлення СПГ та сумішевим паливом [6, 13].

Апробація результатів дисертації.

Результати досліджень були оприлюднені та схвалені на LXX та LXXIII наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів НТУ «Поліпшення економічних та екологічних показників автомобільного транспорту і розвиток його виробничої інфраструктури» в 2014 р. та 2017 р., м. Київ; на 11-й міжнародній науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових співробітників, докторантів та аспірантів Білоруського національного технічного університету в 2013 р., м. Мінськ; на 16-й міжнародній науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових співробітників, докторантів та аспірантів Білоруського національного технічного університету в 2018 р., м. Мінськ; на міжнародній науково-технічній конференції «Університетська наука – 2018» в 2018 р., м. Маріуполь; на II-й міжнародній науково-практичній конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» в 2019 р., м. Київ.

Публікації.

Матеріали дисертаційної роботи опубліковані у 15 наукових працях, з яких 6 статей опубліковано у фахових виданнях України, 1 стаття в іноземних періодичних виданнях та 6-и тезах науково-технічних конференцій. Одну наукову працю видано одноосібно. Отримано два патенти України на корисну модель (у співавторстві).

Структура дисертації.

Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, переліку джерел посилання і додатків. Загальний обсяг дисертації 200 сторінок, включаючи 141 сторінку основного тексту, 27 таблиць, 37 рисунків, перелік джерел посилання з 94 найменувань та 8 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі, визначено об'єкт і предмет дослідження, викладені наукова новизна, практичне значення, інформація про апробації та публікації основних положень дисертації.

У першому розділі розглянуті проблеми і перспективи використання альтернативних видів палива для живлення транспортних засобів, окрім розглянуто використання біогазу як моторного палива.

Проведено аналіз попередніх досліджень, виконаних різними авторами, щодо використання біогазу як моторного палива.

Аналіз виконаних досліджень щодо використання біогазу для живлення транспортних засобів показав відсутність результатів дослідження екологічних показників та паливної економічності автомобіля з двигуном з іскровим запалюванням переобладнаним для роботи на суміші стисненого природного газу та біогазу, в умовах експлуатації, які б враховували неусталені режими роботи двигуна.

У другому розділі розроблено загальну методику проведення досліджень, щодо визначення ефективності використання сумішевого палива (СПГ з додаванням 20% біогазу) з метою поліпшення паливно-економічних та екологічних показників автомобіля в умовах експлуатації.

Запропонована схема та отримано патент на корисну модель (№ 117851) системи живлення ДВЗ з іскровим запалюванням з дозатором газу та газовим змішувачем при роботі на СПГ (рис. 1).

Система живлення складається із повітряної заслінки 1, дифузора 2, дозуючого клапана 3, електромагнітного клапана 4 економайзера примусового холостого ходу, дозуючого клапана 5 оптимального регулювання редуктора, електромагнітного клапана 6, клапана 7 першого ступеня редуктора, клапана 8 другого ступеня редуктора, регулювальних гвинтів мінімальних 9 та підвищених 10 частот обертання холостого ходу, дросельної заслінки 11, акумуляторної батареї 12, датчика швидкості переміщення 13 дросельної заслінки, електронного блока 14 керування вмиканням – вимиканням електромагнітів 4 і 5.

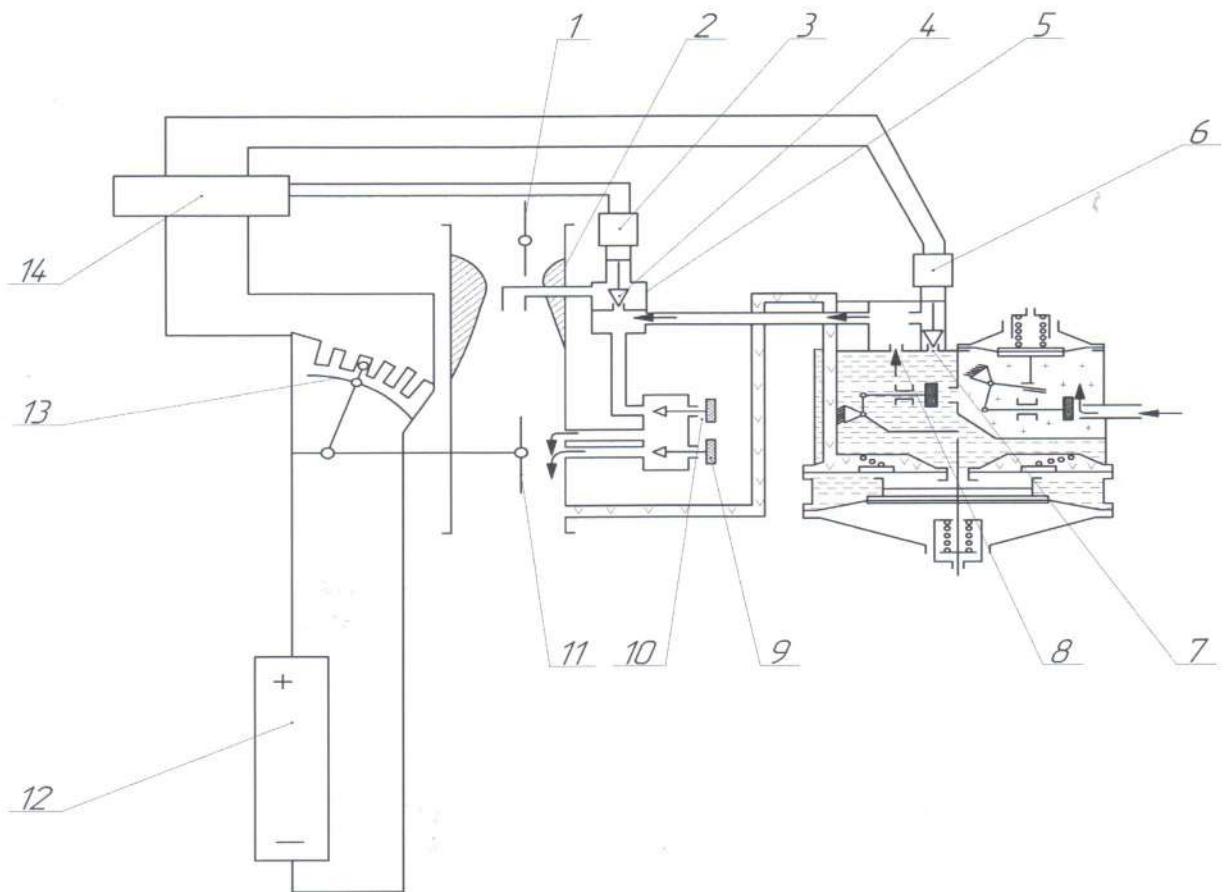


Рисунок 1 – Дозатор газу і газовий змішувач

При роботі двигуна в неусталених режимах (зокрема режим розгону автомобіля) для уникнення збагачення газоповітряної суміші, спричиненої різною густинорою газу та повітря, електричний сигнал, від датчика швидкості переміщення 12 і положення дросельної заслінки 13, електронним блоком 14, з посиленням сигналу, передається на електромагнітний клапан 4, що закриває дозуючий клапан 3 регулювання потужності, зменшуючи подачу палива. В результаті в режимах розгону на часткових навантажень горюча суміш не збагачується, а лишається нормальнюю (стехіометрично).

При повністю відкритій дросельній заслінці електромагнітний клапан - відключено, відкрито дозуючий отвір регулювання потужності редуктора. В режимах примусового холостого ходу, дросельна заслінка 11 різко закривається, розрідження під нею збільшується, надходження газу зростає, що значно збагачує горючу суміш.

Для запобігання перезбагаченню горючої суміші при роботі двигуна в режимах примусового холостого ходу, автоматично, за допомогою електромагнітного клапана 4 перекривається подача газу в головну дозуючу систему і систему холостого ходу.

В зв'язку з дефіцитом, на теперішній час, біогазу, який можна було б використати для проведення великого обсягу експериментальних досліджень була розроблена методика моделювання газу, що містить метан і діоксид вуглецю у визначених пропорціях. Моделюючи суміш CH_4 з різними частками CO_2 визначили необхідний вміст цього інертного компоненту.

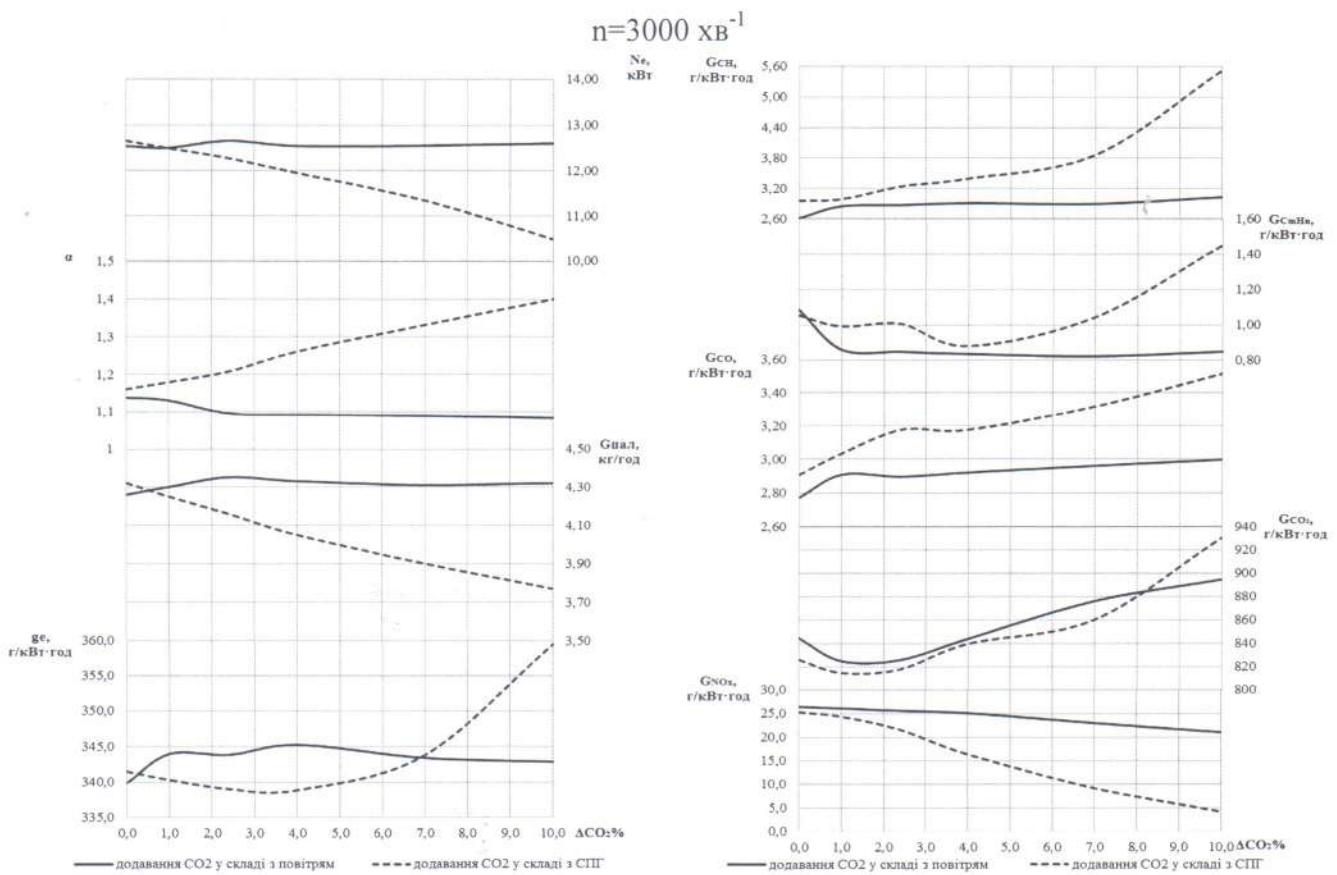


Рисунок 2 – Регулювальні характеристики двигуна автомобіля ВАЗ-2101

Досліджено два способи додавання CO_2 : додавання CO_2 у складі з повітрям та додавання CO_2 у складі з СПГ.

Отримана регулювальна характеристика двигуна автомобіля ВАЗ-2101 за величиною доданої частки ΔCO_2 до CH_4 , що моделює суміш СПГ та біогазу, показана на рис. 2.

При введенні ΔCO_2 у складі з повітрям (при постійному положенні дросельної заслінки) потужність двигуна фактично не змінюється, а при додаванні такої ж дози до СПГ – зменшується – при ΔCO_2 -10% майже на 17%. Зростає і витрата палива, також збільшуються питомі викиди продуктів неповного згорання, а саме $\text{CO}, \text{CH}, \text{CmHn}$ і власне CO_2 . Але питомі викиди оксидів азоту (NO_x), в обох випадках зменшуються: при додаванні ΔCO_2 -10% у складі з повітрям на 20%, при додаванні ΔCO_2 -10% у складі з СПГ на 83%.

Такий значний ефект зменшення оксидів азоту при добавці ΔCO_2 в паливо, а не у повітря важко пояснити тільки фізичною присутністю її в свіжому заряді. Напевно CO_2 не є повністю хімічно інертною речовиною.

Таким чином, за результатами проведених досліджень встановлено, що ефективним є спосіб додавання ΔCO_2 у складі з СПГ в циліндри двигуна, що сприяє зменшенню викидів оксидів азоту NO_x з відпрацьованими газами.

З огляду паливно-економічних показників, оптимальний діапазон зміни величини частки ΔCO_2 лежить в межах від 4% до 6%. З огляду екологічних показників – за мінімальною концентрацією NO_x (зменшення до 80%) – доцільною є добавка 6%.

Підтвердженням допустимості заміни (для проведення випробувань) запропонованого сумішевого палива на модельований газ провели експериментальні дослідження та отримали навантажувальну характеристику двигуна автомобіля ВАЗ-2101 (рис. 3). Біогаз який використовували в дослідженнях, має склад: CH_4 – 57%, CO_2 – 30% решта гази, які не приймають участі в процесі згорання.

$n = 3000 \text{ хв}^{-1}$

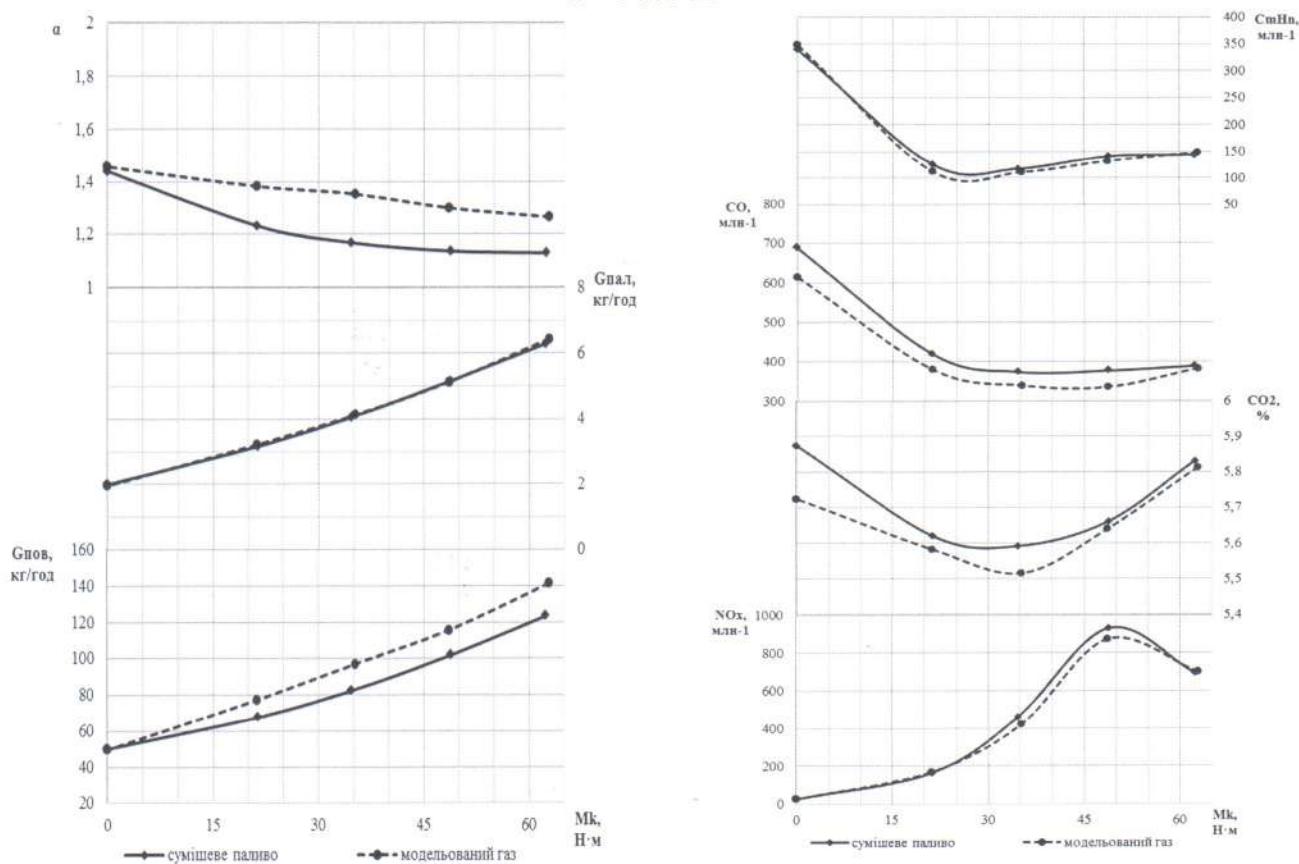


Рисунок 3 – Навантажувальна характеристика двигуна автомобіля ВАЗ-2101 при живленні сумішевим паливом і модельованим газом (паливно-енергетичні та екологічні показники)

Витрата повітря $G_{\text{нов}}$, витрата палива $G_{\text{нал}}$, коефіцієнт надміру повітря a , оксид вуглецю CO , оксиди азоту NOx , діоксид вуглецю CO_2 та неметанові вуглеводні CmHn при живленні двигуна сумішшю СПГ і біогазу та модельованого газу практично однакові – різниця не перевищує 10%, що доводить можливість використання модельованого газу для проведення масштабних експериментальних досліджень.

Таким чином, для проведення великої серії експериментальних досліджень використали модельований газ (CH_4 – 94% і CO_2 – 6%), який відповідає сумішевому паливу - CH_4 – 80% і біогаз 20%, вміст CO_2 в якому близький до 6%.

У третьому розділі уточнена математична модель руху автомобіля за режимами Європейського їздового циклу при використанні сумішевого палива - суміші стисненого природного газу та біогазу.

При складанні математичної моделі руху автомобіля за режимами Європейського їздового циклу розрізняють сім режимів, за видами їх однотипного математичного опису:

1. Робота двигуна в режимі холостого ходу;
2. Розгін двигуна в режимі холостого ходу;
3. Рушання автомобіля з місця на першій передачі;
4. Переключення передач з вищої на нижчу і з нижчої на вищу;
5. Рух автомобіля з постійною швидкістю;
6. Сповільнення автомобіля при блокованому зчепленні;
7. Сповільнення двигуна з вимкнутим зчепленням.

Режими роботи двигуна і руху автомобіля в математичній моделі описані системою диференціальних рівнянь, які чергаються у відповідності до режимів їзового циклу (рис. 4).

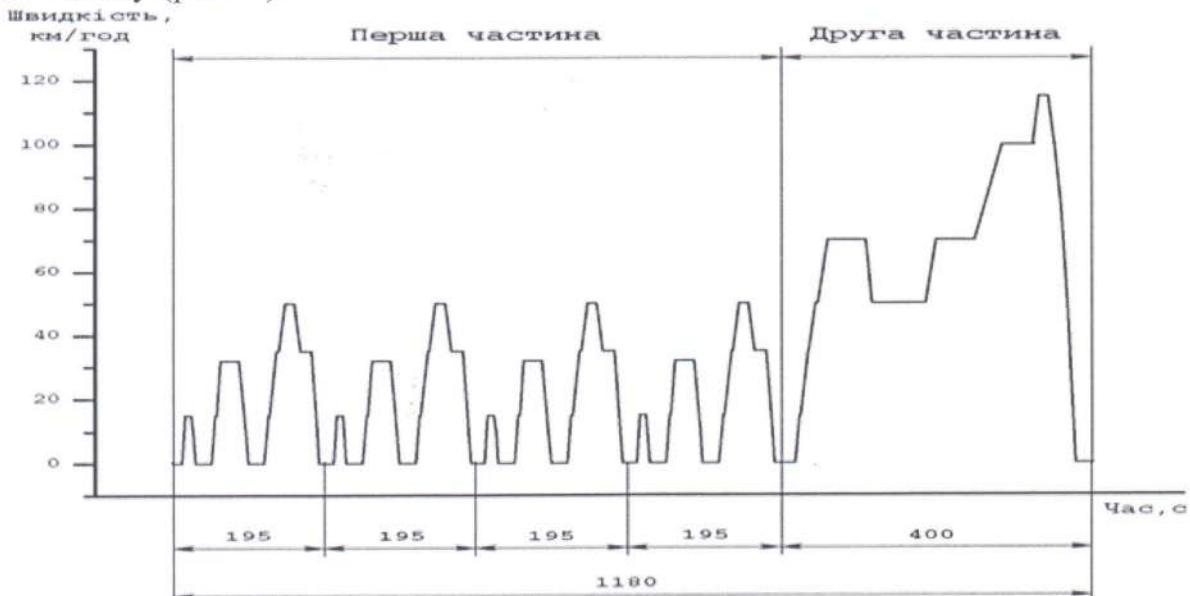


Рисунок 4 – Випробувальний цикл ЕС/ЄЕК для легкових та легких вантажних автомобілів

Для прикладу наведено опис режиму рушання автомобіля з місця на першій передачі. При такому режимі включення зчеплення здійснюється з одночасним відкриттям дросельної заслінки і в цей період частота обертання колінчастого вала може знижуватися, залишатися постійною або збільшуватися, а частота обертання веденої частини зчеплення збільшується.

Автомобіль починає рух з пробуксовуючим зчепленням від $V_a=0$, при русі з пробуксовуванням зчеплення частина роботи крутного моменту двигуна перетворюється в теплову енергію і надходить в навколошне середовище. В результаті кількість палива, яке витрачається на роботу буксування, буде залежати від кутових швидкостей зчеплення $\omega_{3\text{ч}}$ та колінчастого вала двигуна ω_d , а також від інтенсивності включення зчеплення.

Для визначення руху двигуна, в цьому випадку, рівняння:

$$\pm I_d \frac{d\omega_d}{dt} = M_K - M_{3\text{ч}}, \quad (1)$$

де $\frac{d\omega_d}{dt}$ - кутове сповільнення колінчастого вала двигуна, s^{-2} ;

M_K - ефективний крутний момент двигуна, Н·м;

$M_{3\text{ч}}$ - момент тертя зчеплення, Н·м.

При сповільненні колінчастого вала двигуна кінетична енергія мас, що

обертаються, спрямована на збільшення кутового прискорення веденої частини зчеплення.

З урахуванням приєднаних до нього мас автомобіля і стенда, зведених до веденої частини зчеплення, рівняння руху веденої частини зчеплення:

$$\frac{1}{\eta_T} \cdot I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega_{3\text{ч}}}{dt} = M_{3\text{ч}} - M_{\text{оп}}, \quad (2)$$

де η_T - коефіцієнт корисної дії трансмісії, $\eta_T = 0,88\ldots 0,92$.

$I_{\text{пр}}$ - зведений до зчеплення момент інерції рухомих мас автомобіля, $\text{kг}\cdot\text{м}^2$;

$\frac{d\omega_{3\text{ч}}}{dt}$ - прискорення веденої частини зчеплення, s^{-2} ;

$M_{3\text{ч}}$ - момент тертя зчеплення; $\text{Н}\cdot\text{м}$

$M_{\text{оп}}$ - момент опору руху автомобіля, $\text{Н}\cdot\text{м}$;

Звівши рівняння (1) і (2) відносно M_k , отримуємо рівняння для визначення крутного моменту двигуна при:

- зменшенні кутової швидкості колінчастого вала

$$M_k = -I_D \cdot \frac{d\omega_D}{dt} + M_{\text{оп}} + \frac{1}{\eta_T} \cdot I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega_{3\text{ч}}}{dt}, \quad (3)$$

- постійній кутовій швидкості колінчастого вала

$$M_k = M_{\text{оп}} + \frac{1}{\eta_T} \cdot I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega_{3\text{ч}}}{dt}, \quad (4)$$

- зростанні кутової швидкості колінчастого вала

$$M_k = M_{\text{оп}} + \frac{1}{\eta_T} \cdot I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega_{3\text{ч}}}{dt} + I_D \cdot \frac{d\omega_D}{dt}. \quad (5)$$

Рівняння прискорення веденої частини зчеплення $\frac{d\omega_{3\text{ч}}}{dt}$ - величина постійна та визначена програмою їзового випробувального циклу для кожного етапу випробовувань. Момент опору руху автомобіля $M_{\text{оп}}$ на динамометричному роликовому стенду, зведений до колінчастого вала визначали з рівняння:

$$M_{\text{оп}} = \frac{(m_0 + m_{\text{ван}}) \cdot f \cdot r_D \cdot g}{U_i \cdot U_p \cdot \eta_T}, \quad (6)$$

де m_0 - власна маса автомобіля, кг;

$m_{\text{ван}}$ - маса вантажу; $m_{\text{ван}} = 100$ кг за умовами випробовування легкових автомобілів в міському їздовому циклі;

f - коефіцієнт опору кочення автомобіля на динамометричному роликовому стенду, який включає опір кочення і умовний опір повітря, $\text{кг}/\text{кг}$;

r_D - динамічний радіус колеса, м;

g - прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{c}^2$;

U_i, U_p - передаткові відношення i -тої передачі коробки передач і головної передачі;

η_T - к.к.д трансмісії, $\eta_T = 0,88\ldots 0,92$.

При рушанні автомобіля з місця і руху його з пробуксовуючим зчепленням прискорення автомобіля повинно задовольняти вимогам їзового циклу, однак частота обертання колінчастого вала двигуна не повинна зменшуватись нижче допустимого значення n_d , тому, що при цьому ще можлива короткочасна робота двигуна під навантаженням.

Зв'язок між частотою обертання n_d , його кутовою швидкістю ω_d і умовою швидкістю руху автомобіля V_a визначали з формул:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_d}{30}, \text{ c}^{-1}; \quad (7)$$

$$V_a = 0,12 \frac{n_d \cdot \pi \cdot r_d}{U_i \cdot U_p}, \text{ км/год.} \quad (8)$$

Зведений до зчеплення момент інерції рухомих мас автомобіля з урахуванням передаткових відношень коробки передач і головної передачі визначали за відомою залежністю:

$$I_{\text{пр}} = \frac{(m_0 + m_{\text{ван}}) \cdot r_d^2}{U_i^2 \cdot U_p^2} + \sum_{i=1}^n \frac{I_K}{U_i^2 \cdot U_p^2}, \quad (9)$$

де m_0 - власна маса автомобіля, кг;

$m_{\text{ван}}$ - маса вантажу, кг;

I_K - момент інерції колеса; $I_K \approx 0,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;

n - кількість ведучих коліс. При випробуванні автомобіля на динамометричному роликовому стенді $n = 2$.

Рух автомобіля з урахуванням зведених мас автомобіля до колінчастого вала описує рівняння:

$$M_K = M_{\text{оп}} + \left(I_d + \frac{1}{\eta_T} \cdot I_{\text{пр}} \right) \cdot \frac{d\omega_d}{dt}. \quad (10)$$

Рушання автомобіля і його рух з постійним прискоренням, дросельна заслінка в цей період весь час переміщується, що забезпечує $M_e = \text{const}$ при постійному дляожної ділянки їзового циклу прискоренні $\frac{d\omega_d}{dt}$.

Інші режими описуються аналогічно.

В четвертому розділі описано мету, програму, об'єкт, методику та результати експериментальних досліджень.

Метою проведення комплексу експериментальних досліджень автомобіля ВАЗ-2101 є визначення впливу використання для живлення двигуна ВАЗ-21011 різних видів палив: А-92, СПГ та модельованого газу (що за своїм складом є близьким до сумішевого палива – СПГ+біогаз), на показники його роботи в різних навантажувальних і швидкісних режимах.

Для досягнення цієї мети вирішували такі задачі.

1. Оптимальні регулювання ГБО, з огляду поліпшення екологічних показників автомобіля та удосконалення газової паливної апаратури.

2. Перевірка відповідності модельованого газу сумішевому паливу, в режимах руху автомобіля за Європейським їздовим циклом.

3. Визначення енергетичних, паливно-економічних та екологічних показників двигуна ВАЗ-21011, при роботі в різних навантажувальних та швидкісних режимах та режимі активного холостого ходу при живленні різними видами палив.

4. Визначення показників автомобіля ВАЗ-2101 при живленні двигуна бензином А-92, СПГ та модельованим газом при випробовуванні на динамометричному роликовому стенді для перевірки адекватності уточненої математичної моделі

Випробовування для визначення паливно-економічних показників та масових викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах при випробовуванні на динамометричному роликовому стенді проводили на серійному автомобілі ВАЗ-2101 (VIN 21011138546), з двигуном ВАЗ-21011, переобладнаним для роботи на газовому паливі.

Для поліпшення екологічних показників двигуна автомобіля ВАЗ-2101 були зроблені конструктивні зміни у системі живлення газовим паливом. Необхідність в таких змінах пояснюється тим що у неусталених режимах руху та в режимі примусового холостого ходу погіршується паливна економічність двигуна і збільшуються викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами зумовлені збагаченням паливно-повітряної суміші газом.

Після встановлення механічного перемикача режимів роботи газової системи холостого ходу та економайзерної системи було проведено цикл випробувань за Європейським міським їздовим циклом (Urban Driving Cycle – UDC) при роботі автомобіля на бензині і СПГ (із економайзером примусового холостого ходу (ЕПХХ) та без нього) з визначенням питомих масових викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобіля під час руху. Результати випробувань автомобіля ВАЗ-2101 із економайзером примусового холостого ходу та без нього наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати випробувань автомобіля ВАЗ-2101 з економайзером примусового холостого ходу та без нього

Паливо	Викиди шкідливих речовин, г/км			
	G_{CO}	G_{NOx}	G_{CH}	G_{CmHn}
Бензин А-92	4,922	1,373	2,691	2,585
СПГ без ЕПХХ	5,982	1,325	5,828	1,565
СПГ з ЕПХХ	0,961	0,940	5,509	1,401

Аналіз результатів викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами показує, що при живленні двигуна СПГ без економайзера примусового холостого ходу, в умовах неусталених режимів, екологічні показники погіршуються відносно тих, що є при живленні бензином. Система живлення двигуна СПГ з економайзером примусового холостого ходу, суттєво поліпшує екологічні показники – викиди шкідливих речовин знижуються і стають меншими в порівнянні з бензином.

Двигун переобладнаний на двопаливну систему живлення для роботи на бензині, стисненому природному газі (СПГ) та модельованому газі має різні екологічні та енергетичні показники. Вони описані математичними залежностями

від параметрів, що визначають режим роботи двигуна - частоти обертання колінчастого вала n_d та крутного моменту на валу двигуна M_k . Випробування проводили в навантажувальних та швидкісних режимах, які охоплюють діапазони режимів роботи двигуна, характерних для реальних умов експлуатації.

На рис. 5 показано приклад навантажувальних характеристик двигуна за постійної частоти обертання $n_d = 3000 \text{ хв}^{-1}$, отриманих за планом факторного експерименту. Ефективний крутний момент при переході на СПГ та модельований газ зменшується на 16% та 27,2% у порівнянні з використанням бензину А-92.

Ці характеристики використовували в подальшому для визначення параметрів у точках плану, за якими з використанням методу найменших квадратів визначили коефіцієнти поліноміальних моделей другого ступеня, що описують двигун як споживача палива і повітря та джерело шкідливих викидів.

$$n = 3000 \text{ хв}^{-1}$$

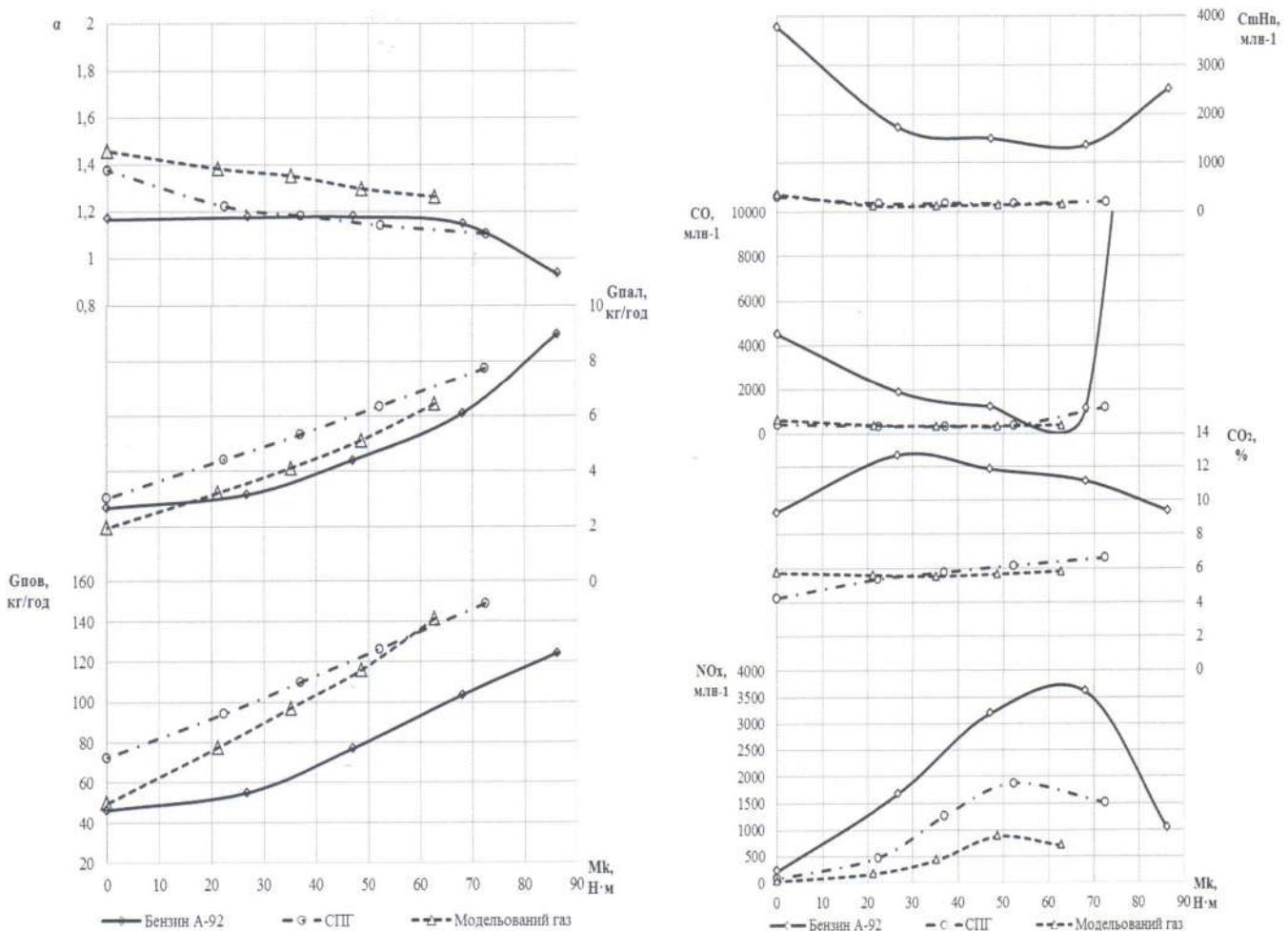


Рисунок 5 – Навантажувальна характеристика при роботі двигуна з живленням бензином А-92, СПГ та модельованим газом

На роликовому стенді випробування здійснювали у повній відповідності до режимів Нового Європейського їздового циклу (New Urban Driving Cycle – NEDC) згідно Правил ЄСК ООН №83.

Результати випробувань автомобіля ВАЗ-2101 при живленні двигуна різними видами палив на динамометричному роликовому стенді в режимах руху за Європейським їздовим циклом наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Витрата палива при випробуванні автомобіля ВАЗ-2101 на динамометричному роликовому стенду

Паливо	г/цикл	МДж/цикл	на 100 км
Бензин А-92	750,81	33,04	9,17 л/100км
СПГ	652,61	30,02	7,96 м ³ /100км
Модельований газ	677,35	29,26	7,8 м ³ /100км

Випробування автомобіля на динамометричному роликовому стенду за роботи двигуна з живленням СПГ та модельованим газом, в порівнянні з бензином А-92, показали, що витрата палива (г/цикл) при живленні СПГ зменшується на 13,1%, а модельованим газом - на 9,8%.

Екологічні показники автомобіля при переході на живлення модельованим газом поліпшуються в порівнянні з бензином А-92. А саме, оксид вуглецю G_{CO} при живленні СПГ менші на 73,4%, а модельованим газом – на 81,8%, оксиди азоту G_{NOx} при живленні СПГ менші на 1,5%, а модельованим газом – на 76,1%, діоксид вуглецю G_{CO2} при живленні СПГ менші на 29,6%, а модельованим газом – на 41,2%, неметанові вуглеводні G_{CmHn} при живленні СПГ менші на 49,3%, а модельованим газом – на 77%, щоправда, сумарні вуглеводні G_{CH} навпаки - збільшуються при живленні СПГ на 46,1%, а модельованим газом – на 15,2%.

Таблиця 4 – Масові викиди шкідливих речовин при випробуванні автомобіля ВАЗ-2101 на динамометричному роликовому стенду

Питомі масові викиди шкідливих речовин	Вид палива		
	Бензин А-92	СПГ	Модельований газ
G _{CO} , г/км	2,7743	0,7379	0,5040
G _{CO2} , г/км	180,8	127,3	106,4
G _{CH} , г/км	1,5051	2,7941	1,7749
G _{NOx} , г/км	1,7855	1,7580	0,4269
G _{CmHn} , г/км	1,4502	0,7352	0,3334
G _{ΣCO} , ум. г/км	80,741	75,315	19,103

В п'ятому розділі визначено коефіцієнти поліноміальних залежностей витрати палива, повітря та масових викидів шкідливих речовин автомобіля ВАЗ-2101 при живленні бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом.

Апроксимація поліноміальних залежностей, що описують екологічні показники та витрату палива і повітря під час роботи двигуна в навантажувальних режимах при живленні бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом залежно від крутного моменту M_k та частоти обертання n_d, визначалися програмою опрацювання двофакторного експерименту поліномом другого степеня:

$$Y_0 = a_0 + a_1 \cdot n_d + a_2 \cdot M_k + a_{11} \cdot n_d^2 + a_{22} \cdot M_k^2 + a_{12} \cdot n_d \cdot M_k. \quad (12)$$

Коефіцієнти поліноміальних математичних залежностей, що описують двигун з іскровим запалюванням ВАЗ-21011, як споживача палива і повітря, а також параметри автомобіля ВАЗ-2101, внесено в математичну модель руху автомобіля, яка дозволяє визначати енергетичні, паливно-економічні та екологічні показники цього автомобіля в експлуатаційних умовах, які відтворені імітацією режимів Європейського їздового циклу

Аналіз результатів розрахунку витрати палива на математичній моделі при русі автомобіля ВАЗ-2101, обладнаного двигуном ВАЗ-21011 при живленні бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом показав, що витрати палива отримані в результаті розрахунку на математичних моделях практично співпадають із випробуванням автомобіля ВАЗ-2101 на динамометричному роликовому стенді в режимах руху за Європейським їздовим циклом (табл. 5).

Таблиця 5 – Витрата палива при випробуванні автомобіля ВАЗ – 2101 на динамометричному роликовому стенді та розрахунку на математичній моделі

Паливо	Випробування на динамометричному роликовому стенді		Розрахунок на математичній моделі	
	г/цикл	МДж/цикл	г/цикл	МДж/цикл
Бензин А-92	750,81	33,04	744,35	32,75
СПГ	652,61	30,02	656,74	30,21
Сумішеве паливо	677,35	29,26	677,74	29,28

Витрата палива розрахована на математичній моделі, що відтворює рух автомобіля в режимах Європейського їздового циклу при живленні бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом у порівнянні із фактичними витратами отриманими при випробуванні автомобіля ВАЗ-2101 на динамометричному роликовому стенді в режимах руху за Європейським їздовим циклом – при живленні бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом відрізняється в межах 1%, що свідчить про адекватність математичної моделі.

В табл. 6 наведено порівняння масових викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах при живленні бензином А-92, СПГ та модельованим газом при розрахунку на математичній моделі та при випробуванні автомобіля на динамометричному роликовому стенді.

Таблиця 6 – Масові викиди шкідливих речовин при випробуванні автомобіля ВАЗ-2101 на динамометричному роликовому стенді та розрахунку на математичній моделі

Паливо	Масові викиди шкідливих речовин			
	G_{CO}, г/км	G_{CmHn}, г/км	G_{NOx}, г/км	G_{ΣCO}, ум. г/км
Випробування на динамометричному роликовому стенді				
Бензин А-92	2,774	1,505	1,786	80,914
СПГ	0,738	0,735	1,758	75,315
Сумішеве паливо	0,504	0,333	0,427	19,103
Розрахунок на математичній моделі				
Бензин А-92	2,795	1,511	1,798	81,484
СПГ	0,782	0,785	1,74	74,95
Сумішеве паливо	0,504	0,339	0,435	19,474

Із табл. 6 видно, що масові викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах отримані за результатами розрахунку на математичній моделі при живленні бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом у порівнянні із фактичними масовими викидами шкідливих речовин у відпрацьованих газах при випробуванні автомобіля ВАЗ-2101 на динамометричному роликовому стенді в режимах руху за

Європейським їздовим циклом – при живленні бензином А-92, СПГ та модельованим газом різняться в межах 3%, що свідчить про адекватність математичної моделі.

Проведено розрахунки (табл. 7) соціально-економічного збитку завданого довкіллю забрудненням шкідливими викидами автомобіля ВАЗ-2101 при живленні двигуна СПГ та сумішевим паливом, які показують зменшення на 8,9% та на 74,1% в порівнянні з використанням бензину А-92.

Таблиця 7 – Соціально-економічний збиток, грн/км

Паливо	по Україні	по місту
Бензин А-92	0,046	0,314
СПГ	0,042	0,286
Сумішеве паливо	0,011	0,074

Головний чинник для використання сумішевого палива для живлення автомобільних двигунів – це очікування економічного ефекту. На період здійснення розрахунків, вартість бензину А-92 становила 28 грн/л, вартість СПГ - 14 грн/м³, а вартість біогазу - 8 грн/м³. При використанні сумішевого палива витрати на паливо можуть становити 12,8 грн/м³.

В табл. 8 наведені результати розрахунків, які дають можливість оцінити економічну доцільність використання сумішевого палива, враховуючи ціну на бензин А-92, СПГ та сумішеве паливо. Відповідно до експериментальних даних (табл. 3) витрата бензину становить 9,17 л/100 км, СПГ - 7,96 м³/100 км, витрата сумішевого палива - 7,8 м³/100 км.

Таблиця 8 – Витрати грн/100 км при живленні двигуна різними видами палив

Бензин	СПГ	Сумішеве паливо
256,76	111,44	99,84

Як свідчать проведені розрахунки (табл. 8) вартість палива двигуна автомобіля ВАЗ-2101 при живленні СПГ зменшується на 56,6%, сумішевим паливом на 61,1% в порівнянні з використанням бензину А-92.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз результатів попередніх досліджень свідчить, що біогаз є одним із основних і самих дешевих альтернативних палив, що отримують з поновлювальних джерел енергії. Його використання надасть можливість розширення паливної бази автомобільного транспорту та зменшити енергетичну залежність країни.

2. Використання біогазу як моторного палива можливе при конвертації бензинового двигуна для живлення сумішшю стисненого природного газу та біогазу, в умовах експлуатації. Запропонована схема системи живлення двигуна автомобіля з дозатором газу та газовим змішувачем при живленні СПГ та сумішевим паливом (СПГ+20% біогазу), яка дозволяє збагачувати газоповітряну суміш в режимах повних навантажень двигуна, залишаючи при часткових навантаженнях економічний склад газоповітряної суміші.

3. Розроблена методика отримання модельованого газу (СПГ+6%CO₂), який подібний сумішевому паливу - СПГ+20% біогазу. Визначено доцільний спосіб

подавання СО₂ - в складі із СПГ в циліндрі двигуна, що сприяє зменшенню викидів оксидів азоту NOx з відпрацьованими газами. Доведено відповідність, за властивостями, що характеризують моторне паливо модельованого газу сумішевому паливу.

4. Уточнено математичну модель, що описує рух автомобіля в режимах Європейського їздового циклу, яка надає можливість визначити його енергетичні, паливно-економічні та екологічні показники з використанням математичних моделей двигуна, що описують його як джерело енергії, споживача палива та джерело шкідливих викидів під час роботи в експлуатаційних режимах, при живленні бензином, СПГ та сумішевим паливом.

5. Випробування автомобіля проведені на динамометричному роликовому стенді за режимами Європейського їздового циклу при живленні двигуна бензином А-92, СПГ та модельованим газом показали, що при живленні двигуна СПГ та модельованим газом в порівнянні з бензином А-92, витрата палива (г/цикл) зменшується на 13,1% та 9,8% відповідно.

6. Сумарні масові викиди шкідливих речовин, зведені до СО, в Європейському їздовому циклі при живленні двигуна СПГ зменшуються на 1,1%, модельованим газом – на 76,3% у порівнянні з бензином А-92.

7. Розраховані на математичній моделі витрати палив та викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобіля ВАЗ-2101 з двигуном ВАЗ-21011, переобладнаним для живлення СПГ та сумішевим паливом, за Європейським їздовим циклом сумірні експериментальним даним, отриманим на динамометричному роликовому стенді, що свідчить про адекватність математичної моделі.

8. Проведені розрахунки соціально-економічного збитку, що може заподіювати автомобіль ВАЗ-2101 при живленні двигуна СПГ та сумішевим паливом зменшаться відповідно на 8,9% та на 74,1% порівняно з використанням бензину А-92.

9. Результати роботи прийняті до використання в Інституті газу Національної Академії Наук України (м. Київ) та в Українському науково-дослідному та навчальному центрі хіммотології і сертифікації паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин при Національному авіаційному університеті (м. Київ).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації в наукових фахових виданнях

1. Шиманський С.І. Перспективи використання біогазу в якості моторного палива на колісних транспортних засобах. /Вісник Національного транспортного університету – 2012 – №26 – с.214 – 219.

2. Шиманський С.І., Симоненко Р.В., Назаренко М.Б., Говорун А.Г. Розширення паливної бази автомобільного транспорту використанням біогазу як моторного палива. /Автошляховик України – 2013 – №3 – с.2 – 5.

3. Шиманський С.І., Симоненко Р.В., Мержиєвська Л.П., Говорун А.Г. Використання біогазу як моторного палива. /Автошляховик України – 2013 – №6 – с.13 – 15.

4. Говорун А.Г., Шиманський С.І., Симоненко Р.В., Клименко О.А., Назаренко М.Б. Особливості показників автомобільного двигуна при роботі в несталих режимах на стисненому природному газі. /Автошляховик України – 2017 - № 1-2, с. 41 – 44.

5. Говорун А.Г., Шиманський С.І., Симоненко Р.В., Колобов К.С. Удосконалення газової паливної апаратури двигуна автомобіля при роботі на стисненому природному газі. /Вісник Національного транспортного університету– 2017 – №1(37) – с.63 – 67.

6. Шиманський С.І., Симоненко Р.В., Математична модель умовного руху автомобіля в режимах Європейського їздового циклу при використанні біогазу як моторного палива./Machinery & Energetics. Journal of Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No. 2, 81-85.ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online).

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

7. Shymanskyi Serhii, Hovorun Anatolii, Symonenko Roman. Способ зменшення викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами при роботі двигуна на суміші стисненого природного газу та біогазу. /SYSTEMY I ŚRODKI TRANSPORTU SAMOCHODOWEGO – Monografia pod redakcją naukową KAZIMIERZALEJDY, Nr 13 – RZESZÓW 2018 – ст. 89 – 94.

Публікації апробаційного характеру

8. Шиманский С.И. Использование биогаза в качестве моторного топлива на колесных транспортных средствах /С.И. Шиманский, А.Г. Говорун //Наука-образование, производству, экономике: материалы 11-й Международной научно-технической конференции. -Минск: БНТУ, 2013. -Т. 2.

9. Шиманський С.І. Розширення паливної бази автомобільного транспорту використанням біогазу як моторного палива /С.І. Шиманський, А.Г. Говорун //LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. -К: НТУ, 2014. С.21.

10. Шиманський С.І. Розширення паливної бази автомобільного транспорту використанням біогазу як моторного палива /С.І. Шиманський, А.Г. Говорун //LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. -К: НТУ, 2017. С.41

11. Шиманський С.І. Способ використання присадки до штатного газового палива /С.І. Шиманський, А.Г. Говорун, М.Б. Назаренко //Международная научно-техническая конференция «Университетская наука-2018». -К: ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь: 2018. С.359 с.

12. Шиманский С.И. Способ снижения выбросов оксидов азота с отработавшими газами при работе двигателя на смесях сжатого природного газа и биогаза /С.И. Шиманский, А.Г. Говорун, А.В. Бугрик //Наука – образование, производству, экономике: материалы 16-й Международной научно-технической конференции. -Минск: БНТУ, 2018. -Т. 2.

13. Шиманський С.І. Вплив використання суміші стисненого природного газу та біогазу на екологічні та економічні показники двигуна автомобіля

/С.І. Шиманський, А.Г. Говорун, Р.В. Симоненко //ІІ міжнародна науково-практична конференція «Автомобільний транспорт та інфраструктура». -К: НУБіП. – Київ: 2019. С.101-104 с.

Патенти на корисну модель

14. Патент № 117851 Україна, МПК F02D 1/04 (2006.01), «Система живлення двигуна внутрішнього згорання з іскровим запалюванням» /А.Г. Говорун, О.А. Клименко, З.І. Краснокутська, К.С. Колобов, С.І. Шиманський / (Україна); Заявник і патентовласник: Національний транспортний університет, Державний № u2017 00917; заяв. 01.02.2017; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.

15. Патент № 122355 Україна, МПК (2017.01) C10K 3/06 (2006.01), F02B 43/00, «Спосіб використання присадки до штатного газового палива» /А.Г. Говорун, К.С. Колобов, С.І. Шиманський / (Україна); Заявник і патентовласник: Національний транспортний університет, Державний № u2017 01461; заяв. 16.02.2017; опубл. 10.01.2018, Бюл. № 1.

АНОТАЦІЯ

Шиманський С.І. Використання біогазу як добавки до стисненого природного газу для живлення двигунів транспортних засобів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Національний транспортний університет, Київ, 2020.

Одним із, порівняно нових, перспективних моторних палив є біогаз, який одержують за допомогою анаеробних бактерій в процесі розкладання і бродіння різних органічних відходів при певних умовах (температура, вологість і кислотність) за відсутності повітря. Він є, практично, невичерпним видом палива.

За результатами аналізу фізико-хімічних властивостей біогазу встановлено, що використання біогазу як моторного палива в чистому вигляді зменшує потужність двигуна автомобіля через те, що до складу біогазу входить діоксид вуглецю (CO_2) у кількості 20-30%. Тому ефективне використання біогазу, без додаткового очищення від CO_2 , можливе у складі із СПГ.

За результатами випробувань отримано - витрату палива та концентрації шкідливих речовин у розбавлених відпрацьованих газах в режимах руху автомобіля за Європейським їздовим циклом при живленні бензином А-92, СПГ, сумішевим паливом та модельованим газом, а також знято навантажувальну характеристику двигуна автомобіля.

В теоретичних дослідженнях дисертаційної роботи уточнено математичну модель руху автомобіля за режимами Європейського їздового циклу, що дозволяє визначити паливно-економічні і екологічні показники автомобіля при живленні двигуна бензином А-92, СПГ та сумішевим паливом - СПГ з біогазом, яка підтверджена експериментальними дослідженнями.

Ключові слова: стиснений природний газ, біогаз, сумішеве паливо, модельований газ, економайзер примусового холостого ходу, витрата палива, система живлення, шкідливі викиди.

АННОТАЦИЯ

Шиманский С.И. Использование биогаза в качестве добавки к сжатому природному газу для питания двигателей транспортных средств – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 «Эксплуатация и ремонт средств транспорта». – Национальный транспортный университет, Киев, 2020.

Растущие потребности человечества в энергии приводят к увеличению добычи энергоресурсов, что приводит к их истощению и загрязнению окружающей среды вредными веществами при их использовании. Известно, что на данный момент тепловые двигатели являются основным источником энергии для транспортных средств. В последнее время остро стоит вопрос о необходимости экономии природных ресурсов и охраны окружающей среды при увеличении производства энергии, необходимой для удовлетворения потребностей человечества.

Наибольшее количество энергии производят двигатели внутреннего сгорания, которые одновременно потребляют основную массу продуктов переработки нефти и является основным источником химического, теплового, шумового и других видов вредного загрязнения окружающей среды. Наиболее значительное химическое загрязнение атмосферы происходит вредными веществами отработанных газов.

Одним из, относительно новых, перспективных моторных топлив является биогаз, получаемый с помощью анаэробных бактерий в процессе разложения и брожения различных органических отходов при определенных условиях (температура, влажность и кислотность) при отсутствии воздуха. Он практически неисчерпаемый вид топлива.

По результатам анализа физико-химических свойств биогаза установлено, что использование биогаза в качестве моторного топлива в чистом виде уменьшает мощность двигателя автомобиля из-за того, что в состав биогаза входит диоксид углерода (СО₂) в количестве 20-30%. Поэтому эффективное использование биогаза, без дополнительной очистки от СО₂, возможно в составе с СПГ.

Исследования проводили на динамометрическом роликовом стенде на автомобиле ВАЗ-2101 с двигателем ВАЗ-21011 при питании бензином А-92, СПГ, смесевым топливом и моделируемым газом, в режимах Европейского ездового цикла в лаборатории исследования использования топлив и экологии государственного предприятия «Государственный автотранспортный научно-исследовательский и проектный институт». Также исследовали экологические, топливно-экономические и энергетические показатели двигателя автомобиля в широком диапазоне изменения нагрузочных и скоростных режимов.

По результатам испытаний получено - расход топлива и концентрации вредных веществ в разбавленных отработавших газах в режимах движения автомобиля по Европейскому ездовому циклу при питании бензином А-92, СПГ, смесевым топливом и моделируемым газом, а также снято нагрузочную характеристику двигателя автомобиля.

В теоретических исследованиях диссертационной работы уточнено

математическую модель движения автомобиля по режимам Европейского ездового цикла, позволяет определить топливно-экономические и экологические показатели автомобиля при питании двигателя бензином А-92, СПГ и смесевых топлив - СПГ с биогазом, которая подтверждена экспериментальными исследованиями.

Экологические показатели автомобиля при переходе на питание моделируемым газом, улучшаются по сравнению с бензином А-92.

Определен социально-экономический ущерб, что наносит окружающей среде загрязнения вредными выбросами автомобиля при питании двигателя различными видами топлива.

Ключевые слова: сжатый природный газ, биогаз, смесевое топливо, моделируемый газ, экономайзер принудительного холостого хода, расход топлива, система питания, вредные выбросы.

SUMMARY

Shymanskyi S.I. The use of biogas as an adjunct to compressed natural gas for powering vehicle engines – Qualifying scientific piece of work on the rights of the manuscript.

The dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences in the specialty 05.22.20 "Operation and repair of means of transport". – National Transport University, Kyiv, 2020.

One of the relatively new, motor fuels is biogas, which is a product obtained by anaerobic bacteria in the process of decomposition and fermentation under certain conditions (temperature, humidity and acidity) in the absence of air and various organic materials. It is practically inexhaustible fuel.

According to the results of the analysis of the physical and chemical properties of biogas after water purification, it has been established that the use of biogas in its pure form as a motor fuel reduces the power of the engine of the car as the amount of carbon dioxide (CO_2) in the composition of biogas is 20-30%. Therefore, it is efficient to use biogas without further purification from CO_2 with CNG.

According to test results obtained fuel consumption and harmful emissions concentrations in the dilute exhaust gases in the mode of movement of the car modified for European driving cycle when running on petrol A - 92, CNG, mixed fuel and simulated gas, and removed the load of the engine of the vehicle.

In the dissertation work the refined mathematical model of the car movement according to the modes of the modified European driving cycle operating on gasoline A-92, CNG and mixtures of CNG with biogas is used, which is confirmed by experimental studies.

Ecological indicators of the car at transition to use by the modeled gas, improve in comparison with gasoline A-92.

Keywords: Compressed natural gas, biogas, blended fuel, simulated gas, forced idle economizer, biogas purification, fuel consumption, power supply, harmful emissions.

Підписано до друку 17.09.2020 р. Формат 60x84/16.
Папір офсетний № 1. Гарнітура Times.
Вк. 11. Наклад 100. Зам. 4980

Редакційно-видавничий відділ НТУ.
01010, Україна, Київ, вул. М. Бойчука, 39, тел. +(38 044) 284 26 26