

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Голик Андрій Віталійович



УДК 621.436.12

**ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ
ПЕРЕВЕДЕННІ ДИЗЕЛІВ У ГАЗОДИЗЕЛІ УДОСКОНАЛЕННЯМ
СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ**

Спеціальність 05.22.20 – «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент
Ковбасенко Сергій Володимирович,
Національний транспортний університет, м.Київ,
доцент кафедри дорожніх машин.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Поляков Андрій Павлович,
Вінницький національний технічний університет,
професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту;

кандидат технічних наук, доцент
Ільченко Андрій Володимирович,
Державний університет «Житомирська політехніка»,
доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій».

Захист відбудеться «23» жовтня 2020 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м.Київ, вул. 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 «19» вересня 2020р.

В.о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради



Ю.А. Мейш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зменшення використання дизелями традиційних нафтових палив та поліпшення екологічних показників транспортних засобів з дизелями є основними чинниками пошуку альтернативних видів палива. Для України, яка імпортує більшу частину сирової нафти та нафтопродуктів, проблеми паливного забезпечення дизелів є особливо гострими.

Одним зі способів заміни традиційних палив є використання стисненого природного газу (СПГ) в якості палива. За сумарною екологічною безпекою газове паливо значно ефективніше за дизельне пальне. Основний екологічний ефект, який отримується при згорянні природного газу в дизелях, це значне зменшення викидів частинок сажі, які адсорбують на своїй поверхні токсичні та канцерогенні речовини.

Використання СПГ як моторного палива для дизелів дозволяє зменшити використання дизельного палива, зменшити собівартість транспортних перевезень та покращити екологію повітряного басейну населених пунктів і атмосфери в цілому.

Для практичної реалізації зазначених переваг використання газового палива необхідна надійна газодизельна система живлення, яка б забезпечила ефективну роботу дизелів як за дизельним, так і за газодизельним циклами.

Отже, актуальними є дослідження переведення дизелів транспортних засобів в газодизелі в умовах експлуатації, як можливість зменшення споживання дизельного палива та поліпшення екологічних показників дизелів транспортних засобів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконували згідно з планами науково-дослідних робіт кафедри дорожніх машин Національного транспортного університету в рамках першого етапу наукової теми «Удосконалення експлуатаційних показників дорожніх, землерийних машин та транспортних засобів» (державна реєстрація №0118U001087, 2018 рік).

Мета дослідження – поліпшення екологічних показників та зменшення споживання дизельного палива транспортними засобами удосконаленням та налаштуванням газодизельної мікропроцесорної системи живлення (МПСЖ) зміною фази впорскування газового палива.

Завдання дослідження. Для досягнення вказаної мети в роботі вирішували такі завдання:

1. Аналіз результатів виконаних робіт щодо переобладнання дизелів транспортних засобів на живлення стисненим природним газом в умовах експлуатації.
2. Розробка та налаштування МПСЖ для дизелів, що працюють за газодизельним циклом, із забезпеченням можливості фазного регулювання подачі газу до циліндрів двигуна.
3. Уточнення математичної моделі руху вантажного автомобіля за режимами міського їздового циклу для визначення паливно-економічних,

екологічних та енергетичних показників за роботи його двигуна за дизельним та газодизельним циклами.

4. Проведення експериментальних досліджень вантажного автомобіля з дизелем, на який встановлено розроблену МПСЖ з визначенням доцільної фази впорскування газу до циліндрів дизеля, паливної економічності та концентрацій шкідливих речовин (ШР) у відпрацьованих газах (ВГ) за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами.

5. Перевірка адекватності та проведення розрахунків на математичній моделі руху вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами з визначенням паливної економічності та екологічних показників з врахуванням різних експлуатаційних факторів.

6. Визначення економічної доцільності та екологічного збитку при переведенні дизелів у газодизелі з розробленою МПСЖ.

Об'єкт дослідження – вплив переведення дизелів транспортних засобів в газодизелі та зміни регульованих параметрів МПСЖ на показники вантажного автомобіля в умовах експлуатації.

Предмет дослідження – паливно-економічні та екологічні показники вантажного автомобіля з дизелем, який працює за дизельним та газодизельним циклами.

Методи дослідження. Експериментальним методом досліджували екологічні та енергетичні показники, паливну економічність вантажного автомобіля з дизелем за роботи за дизельним та газодизельним циклами. В результаті експериментальних досліджень отримано характеристики для визначення коефіцієнтів поліноміальних залежностей, які описують двигун як джерело енергії, споживач палива та джерело шкідливих викидів.

Розрахунковим методом на математичній моделі визначали: паливну економічність і екологічні показники автомобіля за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами, а також витрати на паливо автомобіля за добу в залежності від добового пробігу при різних завантаженнях, та термін окупності переведення дизеля для роботи за газодизельним циклом в умовах експлуатації.

Наукова новизна отриманих результатів. Встановлено вплив фази впорскування газового палива на паливну економічність та екологічні показники дизелів за роботи за газодизельним циклом.

Уточнено математичну модель руху вантажного автомобіля з дизелем, переобладнаним для роботи за дизельним та газодизельним циклами, згідно режимів міського їздового циклу.

Підтверджено економічну доцільність переведення дизелів транспортних засобів в газодизелі шляхом удосконалення системи живлення та збільшення частки заміщення дизельного палива СПГ в умовах експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено та виготовлено експериментальний зразок газодизельної МПСЖ. За результатами стендових безмоторних випробувань здійснено налаштування ПІД-регулятора газоподачі

цієї системи та перевірено можливість фазного регулювання подачі газу за різних режимів роботи дизеля.

Проведено експериментальні дослідження на автомобілі ГАЗ-3309 з дизелем Д 245.7 з встановленим зразком газодизельної МПСЖ, в результаті яких отримані поліноміальні залежності, що описують дизель як джерело енергії, споживач палива та джерело шкідливих викидів за роботи дизеля за дизельним і газодизельним циклами.

Встановлено величини доцільних фаз впорскування газу до циліндрів двигуна за роботи дизеля за газодизельним циклом.

Розраховано економічний ефект, який дає змогу оцінити економічну доцільність конвертації в умовах експлуатації дизеля в газодизель з використанням розробленої МПСЖ.

Основні результати роботи прийнято для впровадження ТОВ „АвтоГазГлобал" та ТОВ „ЛКО" з метою зниження витрат на паливо, зменшення шкідливих викидів в умовах експлуатації та обґрунтування доцільності переобладнання транспортних засобів для роботи дизеля за газодизельним циклом. Крім того, результати роботи використовуються в освітньому процесі Національного транспортного університету при підготовці фахівців за спеціальностями: «Галузеве машинобудування», «Автомобільний транспорт» та «Енергетичне машинобудування».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, які подані та викладені в дисертації, отримано здобувачем самостійно. Робота [13] виконана одноосібно. В роботах, які викладені у співавторстві, автору належить: дослідження перспективи використання природного газу двигунами [7, 9]; порівняння та пошук способів конвертації дизелів на живлення стисненим природним газом [1, 10, 11]; розгляд існуючих конструкцій газодизелів та участь у створенні та налаштуванні мікропроцесорної системи живлення [2, 4, 5, 16]; безпосередня участь в отриманні результатів під час експериментальних досліджень [8, 12, 14, 15]; розрахунки на математичній моделі руху вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами, за міським їздовим циклом [6, 13]; налаштування ПД-регулятора газоподачі за роботи дизеля за газодизельним циклом [3].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації були представлені та отримали позитивну оцінку на:

- щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу і студентів НТУ (2016 – 2019 роки);
- на XV Міжнародній науково-практичній конференції аспірантів, магістрантів і студентів 25-28 квітня 2017 року в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- на міжнародній науковій конференції «Systemy i srodki transportu samochodowego. SAKON 18» (м. Жешув, Польща, 2018 р.);

- на міжнародній науково-технічній конференції «Наука - образованию, производству, экономике», БНТУ, 2019, м. Мінськ.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 16 працях, у тому числі: 6 – у наукових фахових виданнях України, 2 – у закордонних виданнях, 7 – у матеріалах наукових конференцій. Отримано один патент України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг дисертації складає 201 сторінку, з яких 157 сторінок основного тексту, 19 таблиць та 94 рисунки.

Основний зміст роботи

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета, завдання, об'єкт і предмет дослідження, викладені наукова новизна, практичне значення, інформація про апробацію та публікацію основних положень дисертації.

Перший розділ присвячений аналізу статистичних даних щодо запасів нафти та СПГ, дослідженню використання альтернативних видів палива та пошуку і дослідженню існуючих сучасних газодизельних систем живлення.

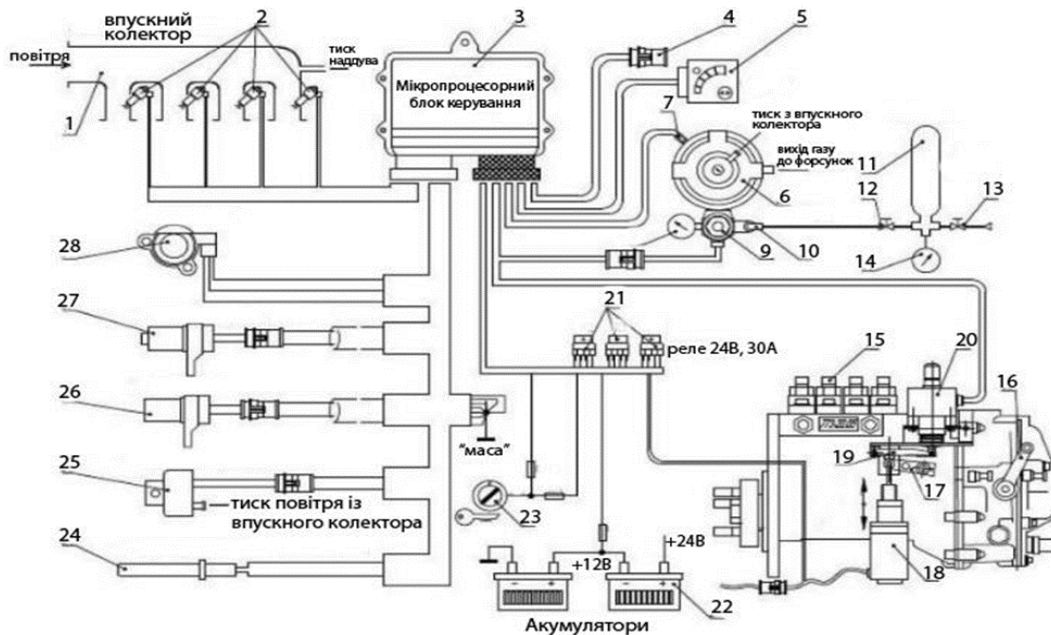
В результаті обробки статистичних даних British Petroleum та робіт дослідників встановлено, що запаси нафти та СПГ скінченні і їх має вистачити приблизно на 50 та 70 років відповідно, за нинішнього рівня споживання.

Проаналізовано шляхи заміни традиційних палив нафтового походження для дизелів транспортних засобів і встановлено, що альтернативною паливом нафтового походження може бути СПГ.

Проведені дослідження сучасних газодизельних систем живлення показують, що системи подачі стисненого природного газу в газодизелях змінюються з часом, системи стають складнішими, вдосконалюються способи регулювання та подачі газу тощо. Тому виникла необхідність у створенні вітчизняної системи живлення з мікропроцесорним керуванням та проведенні всебічних випробувань вантажного автомобіля з розробленою системою живлення, що дозволить визначити доцільність використання СПГ в якості часткової заміни традиційного нафтового палива для дизелів та поліпшити показники транспортних засобів.

У другому розділі описано МПСЖ спільно розроблену фахівцями КПІ ім. Ігоря Сікорського та Національного транспортного університету (рис.1). Така система забезпечує роботу дизелів на суміші дизельного палива та СПГ за газодизельним циклом зі збереженням стандартної паливної системи. Система складається з газобалонного обладнання, комплекту датчиків, механізму задання запальної дози (МЗЗД), газових електромагнітних форсунок, газового редуктора та мікропроцесорного блоку керування (рис. 2.1). Перехід дизеля на роботу за газодизельним циклом супроводжується виходом рухомої ланки МЗЗД 19, який встановлений на ПНВТ 15, в початкову координату. МЗЗД обмежує подачу

дизельного палива (ДП), до рівня запальної дози. Мікропроцесорний блок керування вмикає електромагнітний клапан 9 редуктора 6, в результаті чого СПГ надходить до електромагнітних газових форсунок 2. Дозування СПГ, який надходить до циліндрів дизеля, здійснюється за рахунок регулювання часу відкритого стану газових електромагнітних форсунок відповідно до алгоритму роботи мікропроцесорної системи управління.



1 - впускний колектор двигуна; 2 - форсунки газові електромагнітні; 3 - блок керування мікропроцесорний; 4 - роз'єм діагностичний; 5 - пульт; 6 - редуктор газовий; 7 - датчик температури корпусу редуктора; 8 - манометр редуктора; 9 - електромагнітний клапан; 10 - штуцер підведення газу до редуктора; 11 - балони для СПГ; 12 - вентиль витратний; 13 - вентиль наповнювальний; 14 - манометр високого тиску; 15 - ПНВТ; 16 - важіль управління швидкісним режимом двигуна; 17 - важіль зупинки двигуна; 18 - електромагніт зупинки двигуна; 19 - МЗЗД; 20 - кроковий двигун МЗЗД; 21 - реле; 22 - акумуляторні батареї; 23 - вимикач приладів і стартера; 24 - датчик температури відпрацьованих газів; 25 - датчик тиску наддуву; 26 - датчик фази; 27 - датчик частоти обертання колінчастого вала двигуна; 28 - датчик положення важеля подачі палива

Рисунок 1 – Схема мікропроцесорної системи живлення газодизеля

Мікропроцесорний блок 3 отримує інформацію від датчиків 7, 24...28 МПСЖ, аналізує її та здійснює керування наступними агрегатами: електроклапаном 9 редуктора газу, газовими форсунками 2, кроковим двигуном 20 МЗЗД та реле 21, відповідно до закладеного алгоритму. За роботи дизеля за газодизельним циклом реалізовано всережимне регулювання частоти обертання колінчастого вала (КВ).

Особливістю розробленої МПСЖ є двопаливність (можливість працювати як за дизельним, так і за газодизельним циклом), використання мікропроцесорного блоку керування, універсальність (можливість

встановлювати на різні дизелі з механічними паливними насосами високого тиску) та забезпечення фазного регулювання подачі газу по циліндрах двигуна.

На розробленому безмоторному стенді здійснено налаштування МПСЖ, зокрема ПД-регулятора газоподачі. На першому етапі було досліджено ПД-регулятор частоти обертання КВ, який мав один універсальний коефіцієнт за допомогою якого здійснювався розрахунок часу відкриття T_f (впорскування газу) газових електромагнітних форсунок. Встановлено, що такий регулятор має суттєвий недолік: нахил функції $T_f=f(n)$ різко змінюється від інтенсивності зміни частоти обертання КВ, що характеризується параметром tr (рис.2).

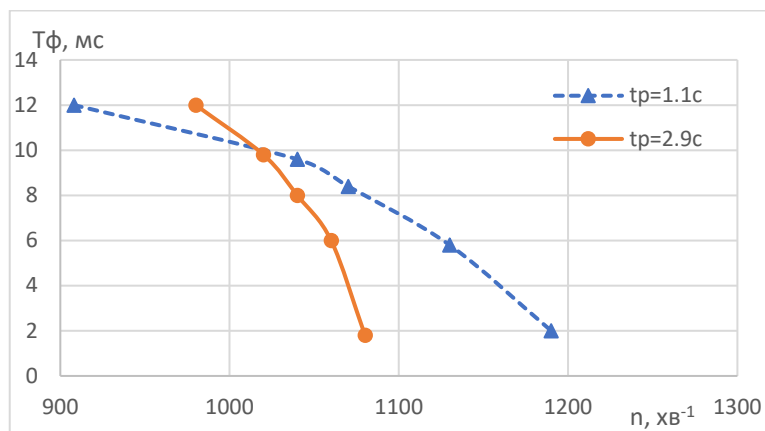


Рисунок 2 – Залежність часу відкриття газових електромагнітних форсунок за роботи регулятора з універсальним коефіцієнтом за різної інтенсивності розгону

Як видно з рис.2., зі збільшенням інтенсивності зміни частоти обертання КВ дизеля залежність часу відкриття газових форсунок суттєво відрізняється від менш інтенсивної зміни частоти обертання КВ. В такому випадку очікувати на постійність регульовальної кривої неможливо.

Враховавши недоліки регулятора з універсальним коефіцієнтом, було розроблено всережимний ПД-регулятор, який має три складові: П – пропорційну складову, І – інтегральну та Д – диференціальну. Було досліджено роботу системи газоподачі з П, ІІ, ПД та ПІД регуляторами окремо і здійснено їх порівняння. В результаті проведених безмоторних стендових досліджень встановлено, що найбільше відповідає потрібним критеріям ПІ-регулятор для всережимного регулювання частоти обертання КВ за роботи дизеля за газодизельним циклом, оскільки він виконуватиме задані умови регулювання у всьому швидкісному діапазоні роботи дизеля і не містить диференціальної складової, яка в системах мотор-редуктор викликає недоцільні коливання значення напруги на датчику положення важеля подачі палива, а отже і на роботу газових електромагнітних форсунок (рис.3). Такі коливання можуть призвести до самовільного розгону автомобіля за найменшої зміни положення важеля подачі палива.

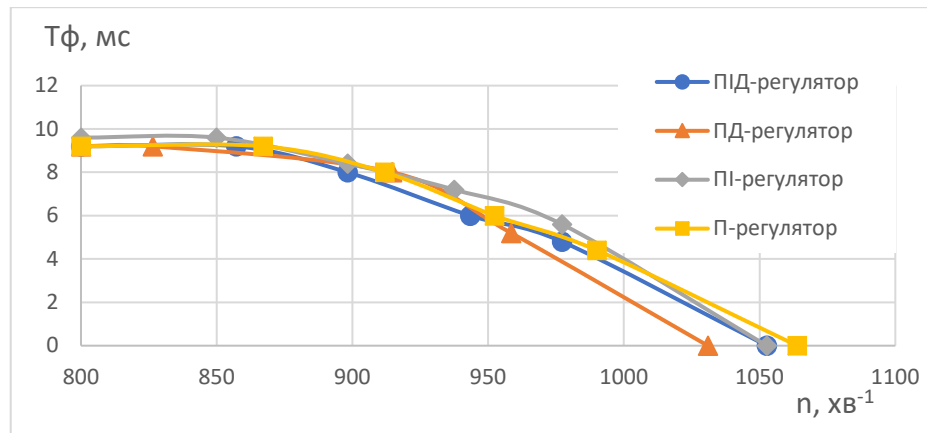


Рисунок 3 – Порівняльна характеристика залежностей часу відкриття газових форсунок за роботи з П, ПІ, ПД та ПІД-регуляторами з обраними значеннями ПІД-параметрів регулятора газодизельної системи живлення

В розробленій системі реалізовано розподільне фазне впорскування газу по циліндрах двигуна. Система має можливість змінювати фазу впорскування газу у всьому швидкісному діапазоні роботи двигуна. На розробленому безмоторному стенді здійснено перевірку можливості зміни фази впорскування за частоти обертання $\text{KB } 1000 \text{ хв}^{-1}$ зі значеннями фази впорскування $\psi_1=40^\circ$ після верхньої мертвої точки (ВМТ) (рис. 4, а) та $\psi_2=15^\circ$ після ВМТ (рис.4, б).

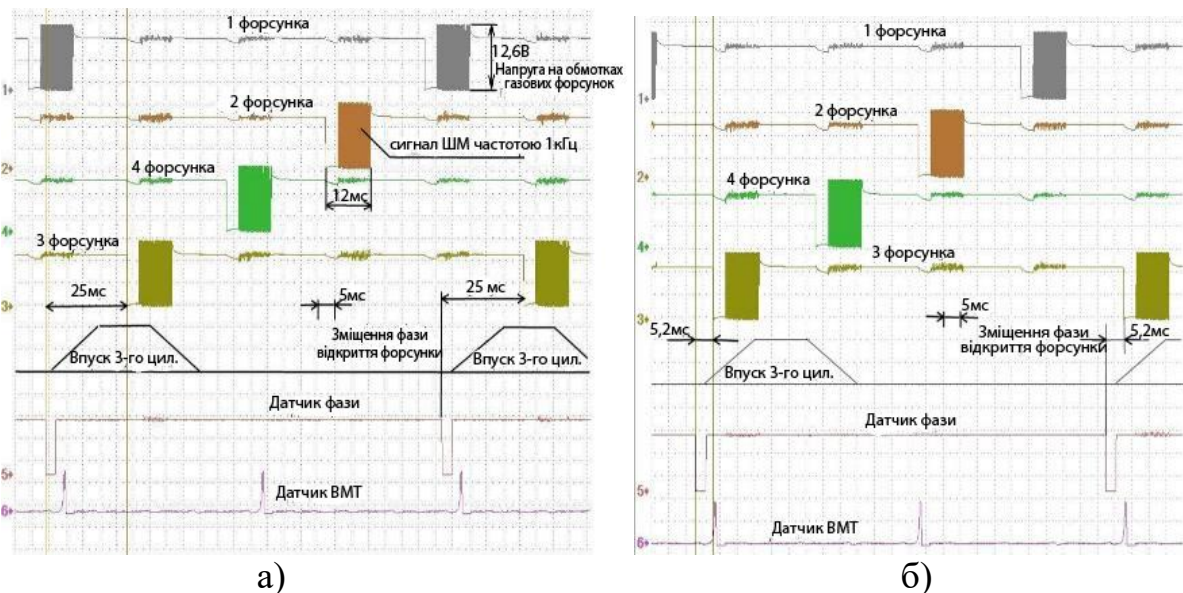


Рисунок 4 –Осцилограма роботи газодизельної мікропроцесорної системи живлення за різних фаз впорскування ($n=1000 \text{ хв}^{-1}$)

Як видно з наведених осцилограм (рис. 4), розроблена МПСЖ дозволяє змінювати значення фази впорскування газу в широких межах після ВМТ на такті впуску в залежності від режиму роботи дизеля (в залежності від зміни частоти обертання KB та тиску наддуву повітря). Для перевірки роботоздатності та

ефективності розробленої МПСЖ необхідно провести експериментальні стендові, дорожні випробування вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами, а також потрібно встановити раціональне значення фази впорскування газу із врахуванням отриманих в результаті досліджень показників дизеля за роботи дизеля за газодизельним циклом.

У третьому розділі уточнено математичну модель руху вантажного автомобіля з дизелем за режимами міського їздового циклу згідно ГОСТ 20306-90 з урахуванням особливостей цього циклу.

Згідно методики розрахункових досліджень транспортний засіб розглядається, як споживач палива та повітря, а також як джерело викидів ШР з ВГ. Зміну енергетичних, паливно-економічних та екологічних показників двигуна за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами зі штатним кутом випередження впорскування дизельного палива можна описати за допомогою поліноміальних залежностей окремих показників моделі, які побудовані на базі даних, отриманих в результаті проведених стендових моторних досліджень дизеля за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами.

Для прикладу, розгін двигуна від мінімальної частоти обертання холостого ходу до частоти обертання, при якій здійснюється включення зчеплення, описується рівнянням:

$$\frac{dn_d}{dt} = (M_i(n_d, \varphi_v) - M_m(n_d)) \cdot \frac{30}{I_d \cdot \pi}, \quad (1)$$

де $\frac{dn_d}{dt}$ – прискорення КВ дизеля, $\text{хв}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$;

$M_i(n_d, \varphi_v)$ – індикаторний крутний момент двигуна, що працює за дизельним або газодизельним циклом, Н·м;

$M_m(n_d)$ – момент механічних втрат за роботи двигуна за дизельним або газодизельним циклом, Н·м;

n_d – частота обертання КВ двигуна, хв^{-1} ;

I_d – момент інерції дизеля, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

φ_v – положення важеля подачі палива, %.

Розрахунок витрати ДП, повітря, СПГ, концентрації ШР у ВГ дизеля та димності ВГ в режимі мінімальної частоти обертання КВ, а також в режимі активного холостого ходу за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами, здійснювали за допомогою поліноміальних залежностей другого ступеня від частоти обертання КВ (n_d):

$$Y_{xx}(n_d) = A_{xx0} + A_{xx1} \cdot n_d + A_{xx2} \cdot n_d^2, \quad (2)$$

де $A_{xx0}, A_{xx1}, A_{xx2}$ – коефіцієнти поліноміальних залежностей за роботи дизеля за дизельним або газодизельним циклом.

Розрахунок витрати ДП, повітря, СПГ, концентрації ШР у ВГ дизеля та димності ВГ в широкому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами здійснювали за поліноміальними залежностями другого порядку в залежності від частоти обертання КВ (n_d) та ефективного крутного моменту (M_e):

$$Y(n_d, M_e) = B_3 + B_4 \cdot n_d + B_2 \cdot M_e + B_5 \cdot n_d^2 + B_1 \cdot M_e^2 + B_0 \cdot n_d^2 \cdot M_e^2, \quad (3)$$

де $B_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$ – коефіцієнти поліноміальних залежностей за роботи дизеля за дизельним або газодизельним циклом.

Масову витрату ДП під час руху на заданому відрізку шляху визначали за формулою:

$$G_{\text{ДП}} = \sum_{i=1}^m \frac{(t_i - t_{i-1}) \cdot (G_{\text{ДП}i} + G_{\text{ДП}i-1})}{2 \cdot 3600}, \quad (4)$$

де m – кількість розрахункових точок;

t_i – час в i -тій точці, с;

$G_{\text{ДП}i}$ – витрата палива в i -тій точці, кг/год.

Масові витрати повітря та СПГ розраховували аналогічно.

Розрахунок маси ВГ за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами дещо відрізняється. Так для дизельного циклу масу ВГ розраховували за формулою:

$$M_{\text{ВГ}}^{\text{Д}} = a_{\text{ДП}} \cdot (b_{\text{ДП}} \cdot G_{\text{ДП}} + G_{\text{пов}}), \quad (5)$$

де $a_{\text{ДП}}$ та $b_{\text{ДП}}$ – коефіцієнти для ДП. $a_{\text{ДП}} = 0,03425$, $b_{\text{ДП}} = -0,918$;

$G_{\text{пов}}$ – масова витрата повітря, кг.

При розрахунку маси ВГ за роботи дизеля за газодизельним циклом врахована частка кожного палива в паливо-повітряній суміші за допомогою коефіцієнтів $K_{\text{ДП}}$ та $K_{\text{СПГ}}$:

$$M_{\text{ВГ}}^{\text{ГД}} = a_{\text{ДП}} \cdot (b_{\text{ДП}} \cdot G_{\text{ДП}} + K_{\text{ДП}} \cdot G_{\text{пов}}) + a_{\text{СПГ}} \cdot (b_{\text{СПГ}} \cdot G_{\text{СПГ}} + K_{\text{СПГ}} \cdot G_{\text{пов}}), \quad (6)$$

де $G_{\text{ДП}}$, $G_{\text{СПГ}}$ та $G_{\text{пов}}$ – масові витрати ДП, СПГ та повітря під час руху на заданому відрізку шляху;

$a_{\text{СПГ}}$ та $b_{\text{СПГ}}$ – розраховані коефіцієнти для СПГ. $a_{\text{СПГ}} = 0,034215$,

$b_{\text{СПГ}} = -1,9567$;

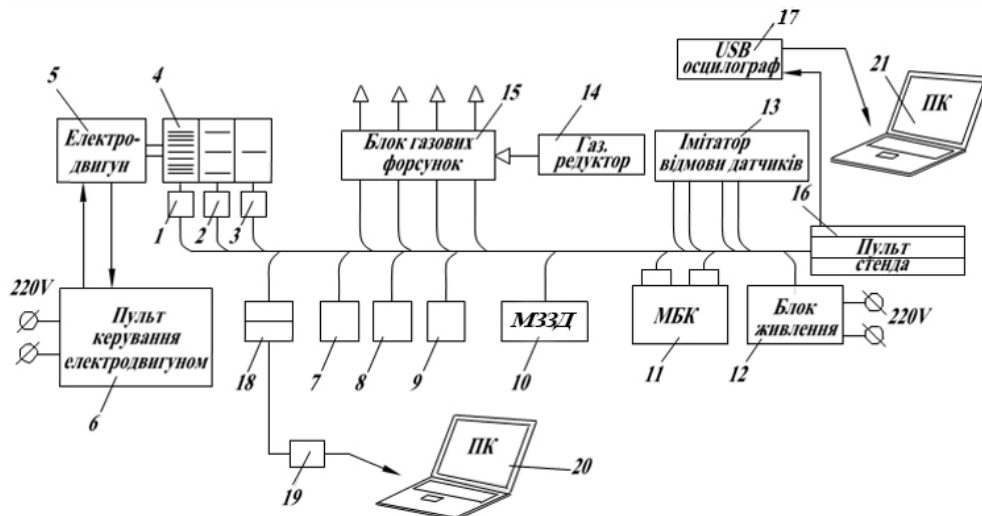
$K_{\text{ДП}}$ та $K_{\text{СПГ}}$ – частка ДП та СПГ:

$$K_{\text{дп}} = \frac{G_{\text{дп}}}{G_{\text{дп}} + G_{\text{спг}}}, \quad (7)$$

$$K_{\text{спг}} = 1 - K_{\text{дп}}, \quad (8)$$

Уточнена математична модель руху вантажного автомобіля дозволяє визначити паливну економічність та екологічні показники вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами.

У четвертому розділі наведено результати проведених експериментальних досліджень. Для відпрацювання схемних рішень, налаштування мікропроцесорного блоку керування, перевірки працездатності складових системи живлення, відпрацювання алгоритмів роботи, імітації відмов було розроблено та виготовлено безмоторний стенд та проведено спільні безмоторні випробування КП ім. Ігоря Сікорського та Національним транспортним університетом розробленої мікропроцесорної системи живлення. Принципова схема стенду показано на рис. 5.



1...3, 7...9 - датчики системи живлення МПСЖ; 4-імітатор обертань колінчастого і розподільного валів; 5 - електродвигун приводу імітатора 4; 6 - пульт керування приводом 5; 10 – МЗЗД; 11 – мікропроцесорний блок керування МПСЖ; 12 – блок живлення стенда 12-24В; 13 – імітатор відмови датчиків МПСЖ; 14 - редуктор газовий; 15 – блок газових форсунок; 16 – пульт керування стендом; 17 – реєструючий USB осцилограф; 18 – діагностичний роз'єм системи; 19 – кабель інтерфейсу налаштування МПСЖ; 20 – комп'ютер налаштування МПСЖ; 21 – комп'ютер реєстрації робочих параметрів МПСЖ

Рисунок 5 – Принципова схема безмоторного стенда СБВ-ГД

Проведено дослідження виконавчих механізмів системи живлення, здійснено налаштування ПД-регулятора впорскування газу, відпрацьовано робочі алгоритми, перевірено характеристики МЗЗД, визначено діапазон зміни регульованих параметрів, таких як час впорскування та фаза впорскування газу.

Метою експериментальних досліджень є визначення паливно-економічних та екологічних показників автомобіля за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами, перевірка впливу зміни фази впорскування на показники дизеля за роботи за газодизельним циклом та перевірка адекватності математичної моделі руху вантажного автомобіля з дизелем за режимами міського їздового циклу.

Для досягнення цієї мети вирішували наступні задачі:

1. Визначення екологічних та паливно-економічних показників вантажного автомобіля в залежності від зміни фази впорскування газового палива в діапазоні навантажувальних і швидкісних режимів за роботи його двигуна за газодизельним циклом.

2. Визначення екологічних та паливно-економічних показників вантажного автомобіля в режимах холостого ходу та діапазоні навантажувальних і швидкісних режимів за роботи його двигуна за дизельним та газодизельним циклами.

3. Отримання вихідних даних для розрахунку на математичній моделі руху вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклом, за режимами міського їздового циклу для автомобілів повною масою більше 3,5 т згідно ГОСТ 20306 - 90 під час роботи його двигуна за дизельним та газодизельним циклами.

4. Визначення паливно-економічних показників вантажного автомобіля з дизелем в дорожніх умовах за роботи його двигуна за дизельним та газодизельним циклами.

Об'єктом експериментальних досліджень був вантажний автомобіль з серійним рядним, чотирициліндровим дизелем Д 245.7 з рідинним охолодженням та газодизельна система живлення з мікропроцесорним керуванням.

Випробування експериментального вантажного автомобіля ГАЗ-3309 з розробленою газодизельною мікропроцесорною системою живлення проводили на тяговому роликовому динамометричному стенді моделі 4819 ВМ в лабораторії дослідження використання палив та екології ДП „ДержавтотрансНДІпроект”.

Під час стендових моторних досліджень для визначення паливно-економічних показників дизеля, що працює за дизельним та газодизельним циклами, було використано витратоміри ДП (ONO SOKKI), повітря (GF-90) та СПГ (FCI FlexCOR), та сучасний газоаналітичний вимірювальний комплекс (BOSCH BEA 060) і димомір (Hartridge МК-3) для визначення концентрацій ШР з ВГ та димності ВГ.

Перед виконанням стендових моторних та дорожніх випробувань роботоздатність системи перевірена і підтверджена заміром димності ВГ в режимі вільного прискорення згідно ДСТУ 4276:2004.

За роботи двигуна Д 245.7 його енергетичні показники практично однакові, як за дизельним, так і за газодизельним циклом. Частка заміщення дизельного палива стисненим природним газом в середньому складає 74%. Проведені

дослідження показали покращення екологічних показників дизеля, зокрема, за роботи за газодизельним циклом значно знижується димність ВГ в декілька разів. Навантажувальні характеристики за частоти обертання $KB n_d=1600 \text{ хв}^{-1}$ показані на рис. 6.

В результаті стендових досліджень встановлено, що зміна фази впорскування газового палива ψ до впускного колектору дизеля впливає на екологічні, паливно-економічні та енергетичні показники дизеля. Тому виникає необхідність у визначенні доцільних значень фази впорскування газу у всьому діапазоні швидкісних характеристик дизеля. Дослідження фази впорскування газу за частоти обертання $KB n_d=1600 \text{ хв}^{-1}$ показано на рис. 7.

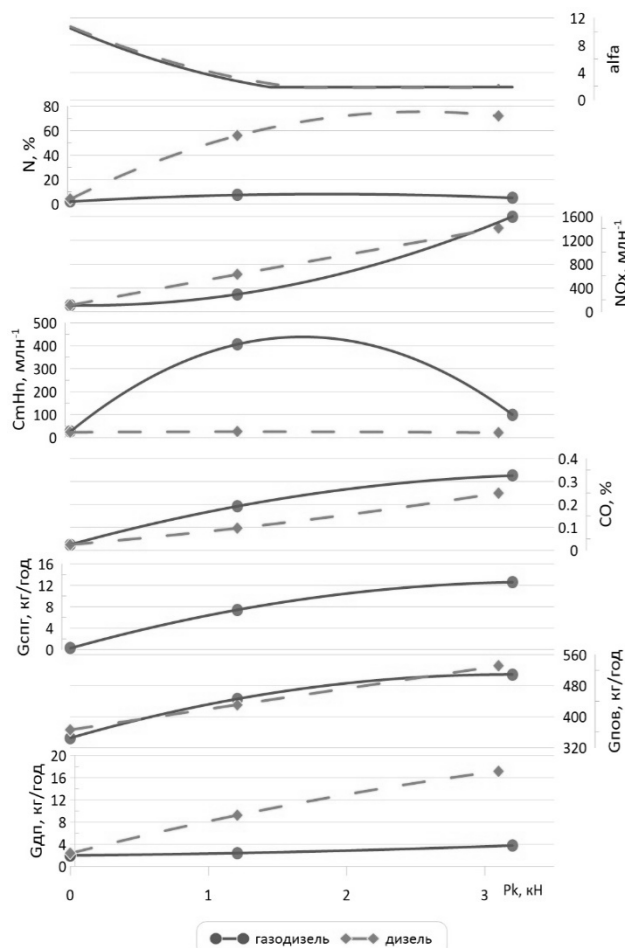


Рисунок 6 – Показники вантажного автомобіля з дизелем за роботи за дизельним та газодизельним циклами ($n_d=1600 \text{ хв}^{-1}$)

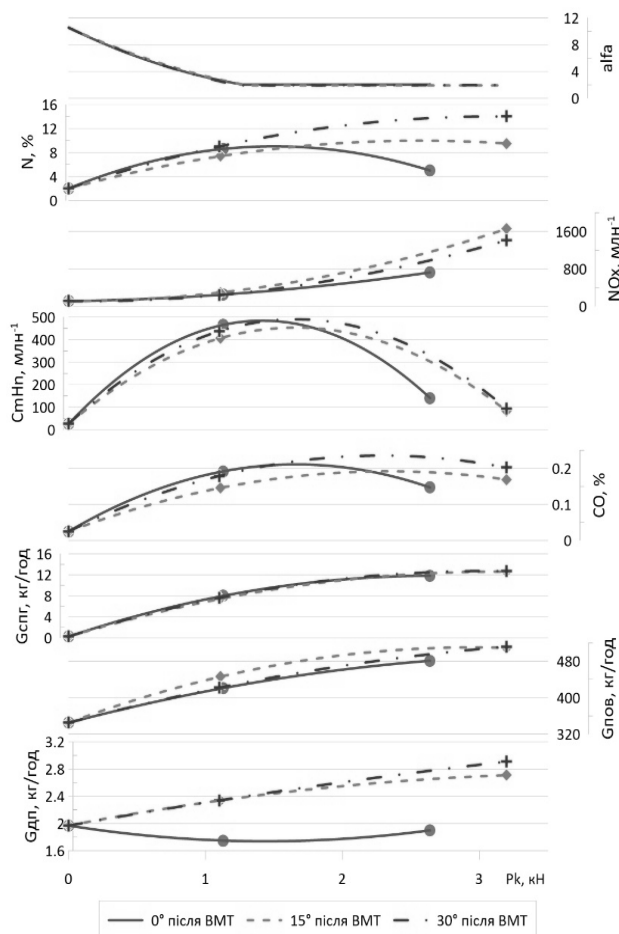


Рисунок 7 Дослідження фази впорскування газу за частоти обертання $KB n_d=1600 \text{ хв}^{-1}$

Як видно з рис. 7, зміна фази впорскування газу впливає на паливно-економічні, екологічні та енергетичні показники. Величина фази $\psi=0^\circ$, що відповідає ВМТ співпадає з продувкою дизеля, тому й спостерігається зменшення потужності (в результаті меншого значення тягового зусилля від стенда). Отримані результати при встановленні фаз $\psi=15^\circ$ після ВМТ та $\psi=30^\circ$

після ВМТ здебільшого схожі, але димність ВГ за фази $\psi=15^\circ$ менша, ніж за фази $\psi=30^\circ$ (9% та 14% відповідно), також за фази $\psi=15^\circ$ дещо менші концентрації вуглеводнів та оксиду вуглецю. Але концентрації оксидів азоту за фази $\psi=30^\circ$ менші (на 14,8%), ніж за фази $\psi=15^\circ$. Тому доцільним значенням фази впорскування газу за частоти обертання КВ $n_d=1600 \text{ хв}^{-1}$ визначено фазу $\psi=30^\circ$ після ВМТ.

Для частоти обертання КВ $n_d=1300 \text{ хв}^{-1}$ проведено аналогічний аналіз в результаті якого доцільною визначено фазу $\psi=40^\circ$ після ВМТ.

Для дослідження витрат палива вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами в реальних умовах експлуатації та для перевірки адекватності математичної моделі було проведено дорожні випробування на відрізку шляху 1000 м на вантажному автомобілі ГАЗ-3309 з дизелем Д 245.7 з експериментальною мікропроцесорною системою живлення.

Результати дорожніх випробувань на вантажному автомобілі ГАЗ-3309 з дизелем Д 245.7 за роботи дизеля за газодизельним циклом засвідчили зменшення витрати дизельного палива. Частка заміщення під час дорожніх випробувань склала 75%.

У п'ятому розділі за результатами аналізу результатів експериментальних досліджень та розрахованих масових видів шкідливих речовин встановлено доцільну фазу впорскування газу у всьому швидкісному діапазоні роботи дизеля Д 245.7 за роботи дизеля за газодизельним циклом. Визначено діапазон значень фази впорскування від $12,5^\circ$ до ВМТ до 60° після ВМТ (рис.8). Вибір доцільної фази визначений на основі розрахованих сумарних масових викидів, питомої витрати палива та витрати палива в тепловому еквіваленті.

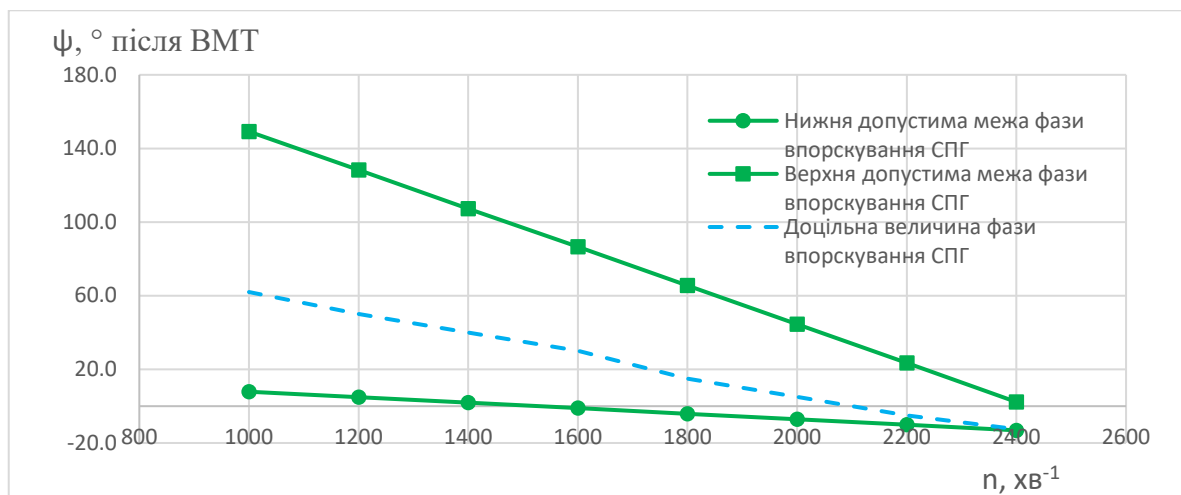


Рисунок 8 – Визначення доцільної фази впорскування газу

В розділі наведено поліноміальні коефіцієнти для розрахунку на математичній моделі руху вантажного автомобіля з дизелем, що працює за

дизельним та газодизельним циклами. Адекватність математичної моделі перевірена за F-критерієм Фішера.

Адекватність уточненої математичної моделі підтверджено шляхом порівняння результатів розрахункових досліджень з результатами дорожніх випробувань вантажного автомобіля ГАЗ-3309 при русі в режимах міського їздового циклу.

Результати розрахунків на математичній моделі засвідчили зниження сумарних масових викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами за цикл за роботи за газодизельним циклом на 16,46% без вантажу та 10,14% при повному завантаженні вантажного автомобіля, в порівнянні з роботою дизеля за дизельним циклом.

Економічний розрахунок витрат на паливо за добу та термін окупності переобладнання дизеля для роботи за газодизельним циклом за різних значень добового пробігу та маси вантажу засвідчили доцільність переведення дизелів транспортних засобів на живлення стисненим природним газом в умовах експлуатації (рис. 9 та 10).

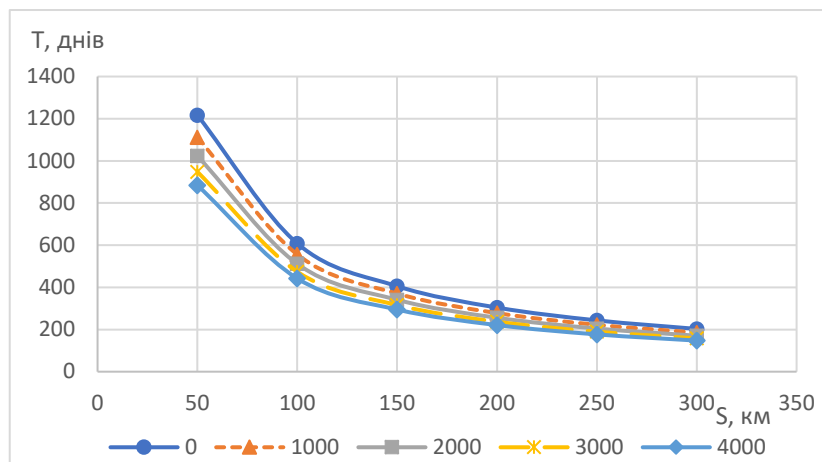


Рисунок 9 – Термін окупності в залежності від добового пробігу та маси вантажу, днів

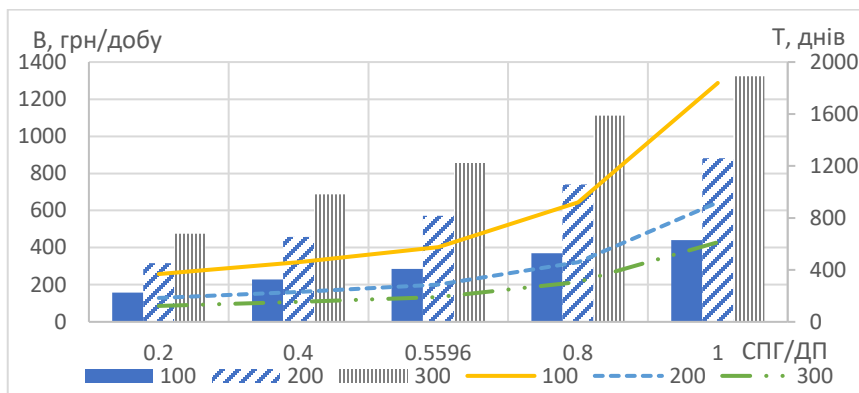


Рисунок 10 – Витрати за добу та термін окупності в залежності від співвідношення цін на СПГ та ДП

Соціально-економічний збиток для суспільства від переобладнання дизелів транспортних засобів на живлення стисненим природним газом за роботи дизеля за газодизельним циклом зменшиться на 10-16,5 % в залежності від маси вантажу.

ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу існуючих досліджень встановлено, що найбільш ефективним напрямом зменшення використання ДП дизелями є його часткове заміщення СПГ при переведенні дизелів у газодизелі.

2. Розроблено універсальну МПСЖ дизелів, яка забезпечує роботу дизелів як за дизельним, так і за газодизельним циклами. Особливістю розробленої системи є використання мікропроцесорного блоку керування, можливість встановлювати на різні дизелі з механічними ПНВТ, розподільне дозоване впорскування газового палива та фазове регулювання подачі СПГ до циліндрів дизеля.

Здійснено випробування та налаштування параметрів МПСЖ, зокрема, ПД-регулятора газоподачі. Визначено найбільш вдалим типом регулятора ПД-регулятор з коефіцієнтом пропорційної складової $K_p=0,25$ та коефіцієнтом інтегральної складової $K_i=0,00001$, оскільки він забезпечує виконання необхідних умов регулювання у всьому діапазоні частоти обертання КВ дизеля.

3. Експериментальними дослідженнями підтверджено роботоздатність розробленої МПСЖ та встановлено, що за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклом його енергетичні показники майже не змінюються.

Встановлено, що зміна фази впорскування газового палива ψ до впускного колектору дизеля впливає на показники дизеля, зокрема, екологічні. За результатами аналізу результатів експериментальних досліджень та розрахованих масових викидів ШР встановлено доцільну фазу впорскування газу у всьому швидкісному діапазоні роботи дизеля Д 245.7 за роботи за газодизельним циклом. Зокрема, доцільною визначено фазу з кутом впорскування $\psi=40^\circ$ після ВМТ за частоти обертання КВ $n_\delta=1300 \text{ хв}^{-1}$ та $\psi=30^\circ$ після ВМТ за частоти обертання КВ $n_\delta=1600 \text{ хв}^{-1}$.

4. Запальна доза ДП за результатами стендових досліджень в середньому складає від 21% до 26%, за результатами дорожніх випробувань – 20%-25%. Проведені дослідження показали поліпшення екологічних показників дизеля, зокрема, за роботи дизеля за газодизельним циклом значно знижується димність ВГ.

5. Уточнено математичну модель руху вантажного автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами, згідно обраного міського їздового циклу з урахуванням особливостей роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами.

6. За результатами розрахунків на математичній моделі руху вантажного автомобіля встановлено, що при переведенні дизелів транспортних засобів на

живлення СПГ можна очікувати на зменшення сумарних масових викидів, приведених до викидів оксиду вуглецю від 16 % до 10 %. Витрата ДП в тепловому еквіваленті майже не змінюється за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами. Адекватність математичної моделі перевірена за F-критерієм Фішера.

7. Проведено дорожні випробування на відрізку шляху 1000 м на вантажному автомобілі ГАЗ-3309 з дизелем Д 245.7 з експериментальною мікропроцесорною системою живлення, що працює за дизельним та газодизельним циклами. Запальна доза ДП під час проведення дорожніх випробувань склала 25%.

8. В результаті виконаного розрахунку економічної доцільності переведення дизелів транспортних засобів у газодизелі встановлено, що витрати на паливо за роботи дизеля за газодизельним циклом в середньому зменшуються на 43,27%. Термін окупності такого переведення за денного пробігу в 200 км та повної маси вантажу складає 221 день. Соціально-економічний збиток для населення при переведенні дизеля в газодизель зменшиться на 10-16,5 %.

9. Результати дисертаційної роботи впроваджено в ТОВ „АвтоГазГлобал” та компанією-перевізником ТОВ „ЛКО”, а також використовуються в освітньому процесі Національного транспортного університету при підготовці фахівців за спеціальностями: «Галузеве машинобудування», «Автомобільний транспорт» та «Енергетичне машинобудування».

Список опублікованих праць за темою дисертації

Публікації у наукових фахових виданнях України.

1. Ковбасенко С. Переобладнання дизеля в газодизель, як можливість розширення паливної бази автомобільного транспорту / С.Ковбасенко, В.Петренко, С.Гутаревич, А.Голик// Вісник. Науково-технічний збірник №1 (37). Серія «Технічні науки». НТУ. – К: 2017. – с.154-160

2. Ковбасенко С. Створення та налаштування мікропроцесорної системи живлення дизеля, що працює за газодизельним циклом / С.Ковбасенко, В.Петренко А.Голик // Вісник. Науково-технічний збірник №1 (38). Серія «Технічні науки». НТУ. – К: 2018.

3. Ковбасенко С.В. Визначення раціональних ПІД-параметрів регулятора газодизельної мікропроцесорної системи живлення / С.В. Ковбасенко, В.Г. Петренко, А.В. Голик, С.Ю. Гутаревич // Автошляховик України. Науково-технічний збірник. – К., ДП «ДержавтотрансНДІпроект» 2018.

4. Ковбасенко С.В. Розробка та дослідження мікропроцесорної системи живлення дизеля, що працює за газодизельним циклом / С.В. Ковбасенко, В.Г. Петренко, А.В. Голик та інші // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К., ТНУ 2018. – Том 29 (68) № 1.

5. В.Г. Петренко, С.В. Ковбасенко, П.О. Барабаш, А.С. Соломаха, А.В. Голик / Дослідження впливу фази впорскування газового палива на показники газодизеля // Наукові нотатки (Міжвузівський збірник). – 2018.

6. Ковбасенко С.В. Дослідження показників вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами, за допомогою математичної моделі / С.В. Ковбасенко, А.В. Голик, С.Ю. Гутаревич // Автошляховик України. Науково-технічний збірник. – К., ДП «ДержавтотрансНДІпроект» №1(261) 2020. – с. 14-19.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав.

7. Ковбасенко С. Перспективи використання природного газу дизелями транспортних засобів в Україні/ С.Ковбасенко, М.Назаренко, В.Петренко, А.Голик // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia / pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy Monografia nr 7; Seria: Transport; Politechnika Rzeszywska im. Ignacego Łukasiewicza. –Rzeszów: 2016. –С. 159–164

8. Ковбасенко С. Показники дизелів дорожніх транспортних засобів з газодизельною мікропроцесорною системою живлення/ С.Ковбасенко, В.Петренко, А.Голик, В.Сімоненко, Є.Устименко // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia / pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy Monografia nr 8; Seria: Transport; Politechnika Rzeszywska im. Ignacego Łukasiewicza. –Rzeszów: 2018.

Публікації апробаційного характеру.

9. Ковбасенко С.В. Тенденції розвитку двигунів і трансмісій дорожньо-будівельних машин / С.В. Ковбасенко, А.В. Голик, В.В. Колесніков // науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. Тези доповідей. - К.: НТУ, 2016.

10. Голик А.В. Розширення паливної бази ДВЗ використанням газодизельного циклу / А.В. Голик, С.В. Ковбасенко, В.Г. Петренко // XV Міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрантів і студентів // Тези доповідей. - К.: КПІ, 2017.

11. Ковбасенко С.В. Можливості застосування природного газу двигунами дорожніх транспортних засобів / С.В. Ковбасенко, А.В. Голик // науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, // студентів та структурних підрозділів університету. Тези доповідей. - К.: НТУ, 2017.

12. Ковбасенко С.В. Випробування вантажного автомобіля з розробленою газодизельною мікропроцесорною системою живлення / С.В. Ковбасенко, В.Г. Петренко, А.В. Голик // науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, // студентів та структурних підрозділів університету. Тези доповідей. - К.: НТУ, 2018.

13. Голик А.В. Математична модель руху вантажного автомобіля за роботи його двигуна за дизельним та газодизельним циклами/ А.В. Голик // науково-

практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. Тези доповідей. - К.: НТУ, 2019.

14. Ковбасенко С.В. Показники дизелів дорожніх транспортних засобів з газодизельною мікропроцесорною системою живлення / С.В. Ковбасенко, В.Г. Петренко, А.В. Голик, В.В. Сімоненко, Є.В. Устименко // міжнародна наукова конференція «Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdów samochodowych i maszyn roboczych samojednych. Zarządzanie i marketing w motoryzacji» «SAKON 18». – Жешув, Польща, 2018.

15. Ковбасенко С.В. Исследование показателей грузового автомобиля с дизелем работающим по газодизельному циклу // С.В. Ковбасенко, А.В. Голик // Наука – образованию, производству, экономике. Материалы Международной научно-технической конференции. // В 4 томах. Том 3, - Минск: БНТУ, 2019.

Патенти на корисну модель

16. Патент 128733 UA, МПК F24D 19/08 (2006.01) Система живлення газодизельного двигуна / Варламов Г.Б., Барабаш П.О., Петренко В.Г., Соломаха А.С., Голик А.В., Устименко Є.В.; заявник Національний технічний університет України "Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського". – № u201802343; заявл. 07.03.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19, 2018р.

АНОТАЦІЯ

Голик А.В. Поліпшення показників транспортних засобів при переведенні дизелів у газодизелі удосконаленням системи живлення. – 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.

Метою дослідження є поліпшення екологічних та економічних показників транспортних засобів удосконаленням та налаштуванням газодизельної мікропроцесорної системи живлення шляхом регулювання фази впорскування газового палива.

Для поліпшення паливно-економічних та екологічних показників автомобілів, що перебувають в експлуатації, розроблено газодизельну мікропроцесорну систему живлення. Розроблена система забезпечує роботу дизелів на суміші дизельного палива та стисненого природного газу за газодизельним циклом зі збереженням стандартної паливної системи. Дана система забезпечує можливість фазового регулювання подачі стисненого природного газу до дизеля.

Проведено стендові та дорожні випробування вантажного автомобіля з дизелем з розробленою газодизельною системою живлення. В результаті експериментальних та розрахункових досліджень, а також економічного розрахунку підтверджено доцільність переобладнання дизелів транспортних

засобів на живлення стисненим природним газом в умовах експлуатації, а також встановлено доцільні значення фази впорскування газу.

Ключові слова: дизель, газодизель, стиснений природний газ, фаза впорскування газу, поліпшення показників.

АННОТАЦИЯ

Голик А.В. Улучшение показателей транспортных средств при переводе дизелей в газодизели совершенствованием системы питания. - Квалификационная научная работа 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.

Целью исследования является улучшение экологических и экономических показателей транспортных средств совершенствованием и настройкой газодизельной микропроцессорной системы питания путем регулирования фазы впрыска газового топлива.

Для улучшения топливно-экономических и экологических показателей автомобилей, находящихся в эксплуатации, разработана газодизельная микропроцессорная система питания. Разработанная система обеспечивает работу дизелей на смеси дизельного топлива и сжатого природного газа по газодизельному циклу с сохранением стандартной топливной системы. Данная система обеспечивает возможность фазового регулирования подачи сжатого природного газа к дизелю.

Проведено стендовые и дорожные испытания грузового автомобиля с дизелем с разработанной газодизельной системой питания. В результате экспериментальных и расчетных исследований, а также экономического расчета подтверждена целесообразность переоборудования дизелей транспортных средств на питание сжатым природным газом в условиях эксплуатации, а также установлено целесообразные значения фазы впрыска газа.

Ключевые слова: дизель, газодизель, сжатый природный газ, фаза впрыска газа, улучшение показателей.

SUMMARY

A. Holyk. Improvement of indicators when converting diesel to diesel gas by improving the fuel supply system. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the candidate of technical sciences degree in specialty 05.22.20 «Operation and repair of transport means». –National Transport University, Kyiv, 2020.

The purpose of the study is to improve the environmental and economic performance of vehicles by improving and adjusting the diesel gas microprocessor power system by regulating the phase of gas injection.

The use of compressed natural gas by diesel engines of vehicles for work on the diesel gas cycle is proposed. The analysis of existing designs of diesel gas engines is carried out. The features of re-equipment of diesel engines powered by compressed natural gas are established. A method of refitting a diesel engine to operate on a diesel gas cycle was selected. The methods of regulating the power of a diesel gas engine, the features of the operation of diesel engines in the diesel gas cycle are investigated.

To improve the fuel, economic and environmental performance of cars, it was proposed to develop a diesel gas power system with microprocessor control, which can be installed on vehicles in use. Therefore, diesel gas microprocessor power system was developed. The developed system ensures the operation of diesel engines on a mixture of diesel fuel and compressed natural gas in a diesel gas cycle while maintaining the standard fuel system.

In order to test the efficiency of the developed power system and to justify the feasibility of transferring diesel vehicles to the supply of compressed natural gas, experimental studies were conducted on the basis of the fleet of carrier. The object of the study was a truck with diesel engine. The study was conducted with the work of diesel on diesel and diesel gas cycles. As a result of the researches the fuel-economic and ecological parameters of the diesel engine were obtained when working on the diesel and diesel gas cycle. The possibility of a system of phase regulation of the supply of compressed natural gas to the diesel engine and its influence on the diesel parameters was tested.

Bench and road tests of a truck with a diesel engine with a developed diesel gas fuel system were carried out. As a result of experimental and computational studies, as well as economic calculation, the feasibility of re-equipping vehicle diesel engines to be powered by compressed natural gas under operating conditions has been confirmed.

According to the results of calculations on the mathematical model of the truck movement, it was found that the transfer of diesel vehicles to the compressed natural gas can be expected to reduce the total mass emissions of carbon monoxide from 16% to 10%. Diesel fuel consumption in thermal equivalent is almost unchanged when working on diesel and diesel gas cycles.

As a result of the calculation of the economic feasibility of transferring diesel vehicles in diesel gas it is established that the fuel costs for the work of the diesel engine on the diesel gas cycle decrease by an average of 43.27%. The payback period for such a transfer for a daily run of 200km and full weight of cargo will be 221 days. Socio-economic damage to the population when converting diesel to gas will decrease from 16.5% to 10% per 100km.

Keywords: diesel, diesel gas, compressed natural gas, natural gas injection timing, improvement of indicators

Підписано до друку 17.09.2020 р. Формат 60x84/16
Папір офсетний №1. Гарнітура Times.
Вк. 11. Наклад 100. Зам. 4975

Редакційно-видавничий відділ НТУ
01010, Україна, Київ, вул. М. Бойчука, 39, тел. +(38044) 284 26 26