Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 1, 183-191
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.183-191

УДК 621.433.2:621.436

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГАЗОВИМ ДВЗ, КОНВЕРТОВАНИМ НА БАЗІ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

С. О. Ковальов

Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний та проектний інститут», Україна.

Стаття з спеціальності: 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Кореспонденція автора: skovalev@insat.org.ua

Історія статті: отримано – листопад 2019, акцептовано – січень 2020.
Бібл. 17, рис. 3, табл. 1.

Анотація. В статті показані доцільність і переваги використання сільськогосподарською технікою (такою як потужні дизельні колісні та гусеничні трактори) газових моторних палив, зокрема, зрідженого нафтового газу (далі – ЗНГ, на англ. мові скорочено – LPG), порівняно з традиційними рідкими моторними паливами. Обґрунтована доцільність конвертування тракторних дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням.

Розроблено електронну систему управління газовими ДВЗ з іскровим запалюванням, що складається з двох головних систем та електронного блоку управління (далі – ЕБУ) Avenir Gaz 37 рівня «А».

Описано принцип роботи систем управління газовими ДВЗ з системою живленням і подачі ЗНГ до впускного трубопроводу через газоповітряний змішувач, безконтактною електронною системою запалювання з рухомим розподільником напруги, системою наповнення циліндрів зарядом робочої суміші та ЕБУ Avenir Gaz 37 рівня «А».

Розроблено та створено газовий двигун внутрішнього згорання (далі – ДВЗ) моделі Д-240-LPG-«А» для роботи на ЗНГ. Газовий ДВЗ конвертовано на базі тракторного дизеля Д-240 (атмосферний, чотирьохтактний, рідинного охолодження, 4-х циліндровий двигун з діаметром поршня 110 мм та ходом 125 мм), який встановлюється на універсально-просапні колісні трактори МТЗ-80 та МТЗ-82.

В роботі наведені результати випробування газового ДВЗ моделі Д-240-LPG-«А» на електричному навантажувальному стенді Zöllner із модернізованою мікропроцесорною системою вимірювання та керування.

Зняті навантажувальні характеристики газового двигуна, на підставі яких визначені основні технічні характеристики газового Д-240-LPG-«А», а також його ефективні параметри. Технічні характеристики показали, що номінальна потужність газового ДВЗ Д-240-LPG-«А» склала 97 % від номінальної потужності дизеля Д-240.

В статті доведено, що отримані в результаті випробувань енергетичні та економічні параметри газового ДВЗ Д-240-LPG-«А» підтвердили доцільність конвертації тракторних дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням. До того ж, отримані у випробуваннях технічні параметри показали, що така конвертація є ефективним способом зменшення експлуатаційних витрат сільськогосподарською технікою за рахунок заміни більш дорогого дизельного палива більш дешевим зрідженим нафтовим газом.

Ключові слова: газовий двигун внутрішнього згорання, система управління газовим двигуном внутрішнього згорання, електронний блок управління Avenir Gaz 37 рівня «А», навантажувальні характеристики газового ДВЗ, зріджений нафтовий газ.

Постановка проблеми

У зв’язку із постійним та суттєвим збільшенням забруднення оточуючого середовища транспортними засобами (далі – ТЗ), що працюють на традиційних рідких моторних паливах, за останні часи виникла необхідність застосування більш екологічно чистих та насамперед дешевих альтернативних видів моторних палив, до яких у належить ЗНГ.

Відомо, що споживання ЗНГ колісними ТЗ у світі за останні роки суттєво збільшилось, а в Україні ще і перевищило споживання бензинів [1, 2]. Це, у першу чергу, зумовлено тим, що ЗНГ останнім часом є найбільш дешевим альтернативним газовим моторним паливом в Україні.

Отже, стає очевидним доцільність розроблення в Україні багатофункціональної синтез-технології з конвертації транспортних дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням.

Така синтез-технологія у першу чергу має стосуватись ТЗ, що оснащені потужними дизелями, які відповідно мають достатньо великі експлуатаційні витрати дизельного палива (далі– ДП).

У ДП «ДержавтотрансНДІпроект» проводяться роботи з розроблення сучасної української синтез-технології Avenir Gaz (різних рівнів складності) для переобладнання транспортних дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ.

Відповідно до синтез-технології переобладнання дизелів здійснюється на базі створених електронних систем управління газовими ДВЗ, основою якої є розроблені електронні мікропроцесорні блоки управлення [3].

Аналіз останніх досліджень

Питаннями конвертації транспортних (у т.ч. тракторних) дизелів у газові ДВЗ із іскровим запалюванням займались багато дослідників [4–11].

В роботах [4–10] розглядались питання конвертації атмосферних та наддувних транспортних і стаціонарних дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням. Але в якості газового моторного палива було застосовано природний газ.

При цьому, в роботах [4, 6, 7] зменшення ступеня стиснення дизеля до величини необхідної для роботи на газовому паливі, досягалось шляхом встановлення додаткових прокладок головки блоку циліндрів. Але цей спосіб приводить як до суттєвого погіршення екологічних параметрів конвертованого газового ДВЗ, так і значно зменшує надійність його роботи.

У статях [10, 11] зменшення ступеня стиснення дизеля досягалось шляхом застосування термодинамічного циклу Міллера, яке забезпечує зниження не геометричного, а фактичного ступеня стиснення.

Проте, слід зазначити, що переважна більшість робіт з конвертації дизелів у газові ДВЗ як в Україні, так і у світі, стосувались використання в якості моторного палива стисненого природного газу (далі – СПГ). Але використання СПГ вимагає встановлення на ТЗ великої кількості достатньо важких автомобільних газових балонів, що у свою чергу зменшує вантажність чи/та пасажировмісність. А ось збереження на борту ТЗ ЗНГ, на відміну від збереження СПГ, не впливає і не змінює вантажність чи/та пасажировмісність ТЗ.

Отже з урахуванням вартості ЗНГ питання конвертації транспортних (у т.ч. тракторних) дизелів у газові ДВЗ для роботи на ЗНГ є актуальним та потребує проведення подальших досліджень.

Мета досліджень

Метою даної роботи є розроблення та дослідження газового ДВЗ-240-LPG-«А» з подачею ЗНГ до впускного колектору, електронною системою запалювання та спеціальним ЕБУ Avenir Gaz 37«А».

Результати досліджень

В останні роки у ДП «ДержавтотрансНДІпроект» проводяться роботи з розроблення сучасної української синтез-технології Avenir Gaz (різних рівнів складності) для переобладнання транспортних дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ. Відповідно до синтез-технології переобладнання дизелів здійснюється на базі створених електронних систем управління газовими ДВЗ, основою якої є електронні мікропроцесорні блоки управління (далі – ЕБУ) [3].

На цей час в інституті завершені роботи з адаптації синтез-технології Avenir Gaz (першого рівня складності – рівня «А») для переобладнання дизеля 4Ч 11/12,5 (моделі Д-240) у газовий ДВЗ Д-240-LPG-«А».

Згідно з першим етапом синтез-технології Avenir Gaz у дизеля Д-240 було проведено повний демонтаж систем живлення та впорскування дизельного палива.

На другому етапі синтез-технології у конструкцію двигуна внесені зміни по доопрацюванню головки блоку циліндрів дизеля для монтажу свічок запалювання та встановлення нової поршневої групи. Для зменшення ступеня стиснення напівзакрита дизельна камера згоряння типу ЦНІДІ перетворена у відкриту камеру згоряння у формі осесимметричного «усіченого конусу» із $\varepsilon = 9{,}5$ [12].

На третьому етапі синтез-технології газовий ДВЗ було дообладнано системою управління наповненням циліндрів зарядом робочої суміші, системою живлення та подачі ЗНГ до впускного трубопроводу, а також безконтактною електронною системою запалювання з рухомим розподільником напруги. При цьому, слід зауважити, що першому рівню складності синтез-технології Avenir Gaz (класифікованому як – рівень «А») відповідає комплектація газового ДВЗ системою живлення і подачі ЗНГ (через газоповітряний змішувач) до впускного трубопроводу. Крім того ж, були внесені зміни у систему живлення ДВЗ повітрям шляхом встановлення дросельної заслінки з механічним приводом. За відсутності у газовому ДВЗ механічного регулятора частоти обертання, демонтованого у складі з паливним насосом високого тиску моделі УТН-5, з метою уникнення перевищення максимальної частоти обертання (встановленої заводом-виробником для відповідної моделі дизеля) було розроблено і виготовлено мікропроцесорний ЕБУ Avenir Gaz 37 «А», який побудовано на платформі 8-розрядного мікроконтролера PIC16F (Microchip Technology Inc.).

На рис. 1 представлена принципова схема системи управління газовим ДВЗ з ЕБУ Avenir Gaz 37 рівня «А», яка забезпечує подачу ЗНГ через газоповітряний змішувач до впускного трубопроводу [13]. Всі елементи спеціального обладнання, що входять до системи живлення і подачі ЗНГ (через газоповітряний змішувач) до впускного трубопроводу, відповідають вимогам [14, 15].

На рис. 1 показано: 1 – газовий ДВС; 2 – камера згоряння; 3 – впускний клапан; 4 – випускний клапан; 5 – свіч-ка запалювання; 6 – патрубок впускного колектору; 7 – об’єднана частина впускного колектору; 8 – датчик температури охолоджуючої рідини; 9 – покажчик температури охолодної рідини; 10 –дросельний пристрій з механічним приводом; 11 – механічна педаль акселератора (педаль газу); 12 – випускний колектор; 13 – глушник; 14 – автомобільний газовий балон для ЗНГ; 15 – мультиклапан газового балона; 16 – покажчик рівня ЗНГ в газовому балоні; 17 – дистанційно керований запірний електромагнітний клапан мультиклапана; 18 – заправний вузол; 19 – магістральний газопровід високого тиску для ЗНГ; 20 – газовий фільтр з інтегрованим запірним електромагнітним клапаном; 21 – одноступінчастий газовий редуктор-випарник ЗНГ; 22 – запірний електромагнітний клапан газового редуктора-випарника; 23 – газовий фільтр парової фази ЗНГ; 24 – підігрівач газового редуктора-випарника (за наявності); 25 – газова магістраль низького тиску; 26 – механічний дозатор газу; 27 – газоповітряний змішувач; 28 – акумуляторна батарея (АКБ); 29 – замок запалювання; 30 – котушка запалювання; 31 – елек-

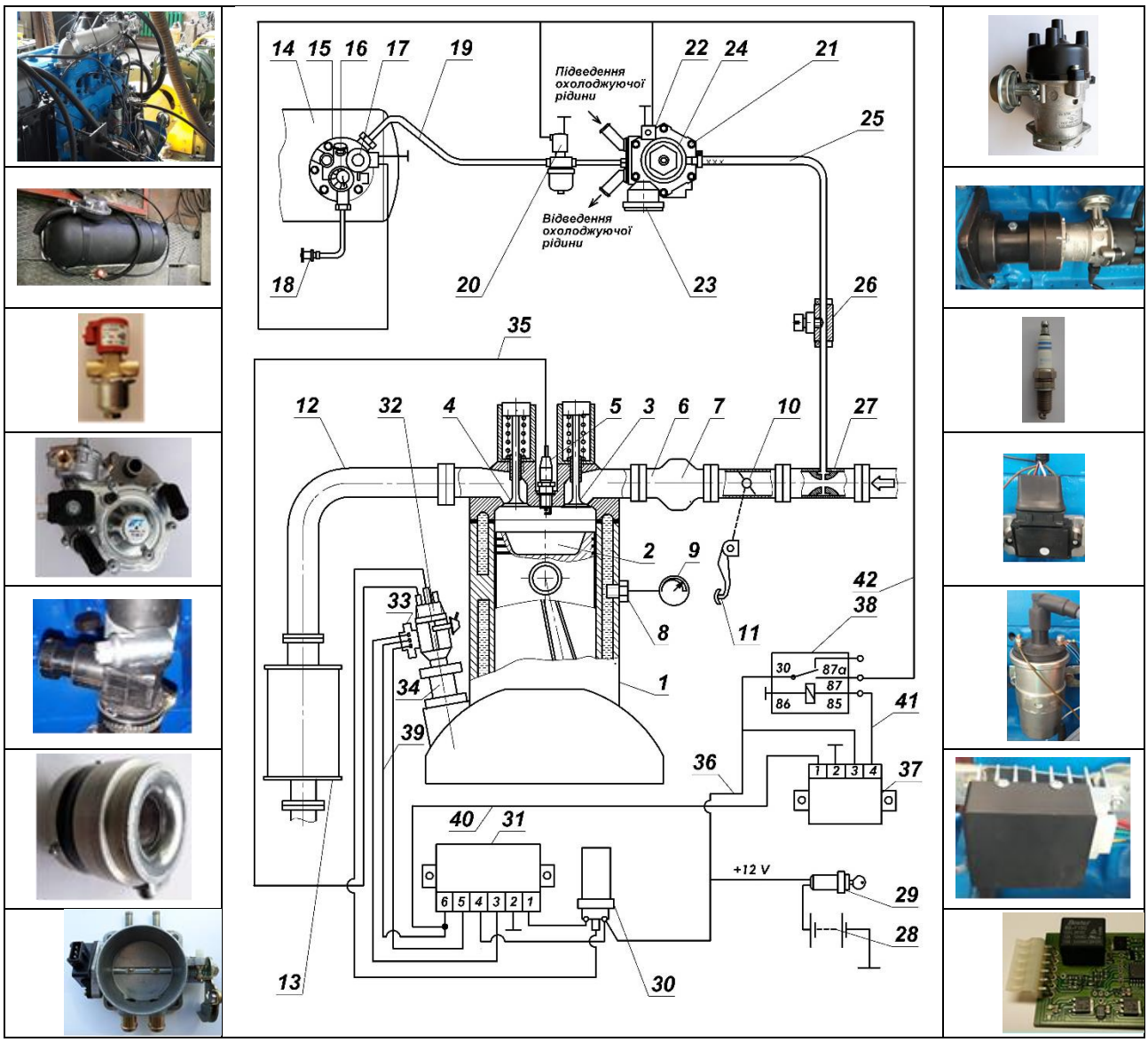


Рис. 1. Принципова схема системи управління газовим ДВЗ з ЕБУ Avenir Gaz 37 рівня «А», яка забезпечує подачу ЗНГ через газоповітряний змішувач до впускного трубопроводу.

Fig. 1. Schematic diagram of a gas engine control system with Avenir Gaz 37 ECU level “A”, which provides the supply of LPG through an air-gas mixer in the inlet pipe.

тронний комутатор; 32 – рухомим розподільник запалювання (трамблер); 33 – датчик Холла; 34 – спеціальний привід рухомого розподільника запалювання (трамблера); 35 – високовольтний(-і) дріт(-и); 36 – електричний зв’язок (дріт); 37 – ЕБУ Avenir Gaz; 38 – електромагнітне реле; 39…42 – електричний зв’язок (дріт).

Система управління працює наступним чином. На початку роботи (в момент підготовки до запуску) двигуна 1 водій повертає ключ у замку запалювання 29 і напруга від акумулятора 28 через електричний зв’язок 36 подається до безконтактної електронної системи запалювання [котушки запалювання 30, комутатора 31 та рухомого розподільника запалювання (трамблера) 32], а також до клеми 3 ЕБУ Avenir Gaz 37 та до контакту 30 електромагнітного реле 38. Крім того, напруга від акумулятора 28 подається до стартеру (на Рис. 1 не показаний). Водночас газовий двигун 1 починає обертатися і сигнал згенерований датчиком Холла 33 по електричному зв’язку 39 подається на клему номер 6 комутатора 31 та через електричний зв’язок 40 дублюється і подається до клеми 1 ЕБУ Avenir Gaz 37.

ЕБУ Avenir Gaz 37 обробляє отриманий з датчика Холла 33 сигнал і подає на клему номер 4 напругу +12 V, яка через електричний зв’язок 41 поступає на контакт 85 електромагнітного реле 38 і далі на котушку реле. В результаті чого, контакти 30 – 87 електромагнітного реле 38 замикаються і напруга +12 V через електричний зв’язок 42 подається до нормально закритих запірних електромагнітних клапанів 17, 20 та 22.

Запірні електромагнітні клапани 17, 20 та 22 відкриваються, пропускаючи газове паливо (зокрема зріджений нафтовий газ у рідкому стані) від газового балона 14 через мультаклапан 15, газову магістраль високого тиску 19 та газовий фільтр20 до одноступінчатого газового редуктора-випарника 21.

У редукторі-випарнику 21 зріджений нафтовий газ за рахунок підведення охолоджуючої рідини (з си-

стеми охолодження двигуна) та/або підігрівача редуктора 24 – випаровується до газового стану і через газову магістраль низького тиску 25 поступає до механічного дозатору газу 26 та далі до газоповітряного змішувача 27. Дросельна заслінка 10 у цей час знаходиться у прочиненому положенні, яке відповідає мінімальній частоті обертання колінчастого валу газового двигуна 1.

Водночас газовий двигун 1 починає обертатися і комутатор 31 безконтактної електронної системи запалювання подає сигнал до котушки запалювання 30, де генерується висока напруга, яка по високовольтному дроту поступає до рухомого розподільника запалювання (трамблера) 32, а звідти по високовольтному дроту 35 до свічки запалювання 5, яка утворює іскру запалювання у камері згоряння 2. Разом з тим, газоповітряна суміш, що утворюється у газоповітряному змішувачі 27 через прочинену дросельну заслінку 10 потрапляє до ка-мери згоряння 2, де запалюється від свічки запалювання 5. В результаті газовий двигун 1 починає працювати на режимі холостого ходу.

Сигнал датчика Холла 33, частота імпульсів якого пропорційна поточній частоті обертання колінчастого валу газового двигуна 1 постійно обробляється ЕБУ Avenir Gaz 37 і порівнюється з наперед запрограмованою в ЕБУ Avenir Gaz 37 величиною максимальної частоти обертання колінчастого валу. У разі, коли величина поточної частоти обертання колінчастого валу газового двигуна 1 менша ніж наперед задана величина максимальної частоти обертання, електронний блок управління 37 підтримує напругу +12 V на клемі номер 4 і, як наслідок, на контакті 85 електромагнітного реле 38. Газове паливо (зокрема ЗНГ) продовжує поступати до газоповітряного змішувача 27 і далі у камеру згоряння 2. Газовий двигун 1 продовжує обертатися із заданою педаллю 11 частотою обертання.

При збільшенні навантаження на газовий двигун для збільшення частоти обертання колінчастого валу газового двигуна 1 водій натискає на педаль 11 керування швидкісним режимом, відкриваючи дросельну заслінку 10 і збільшую-чи кількість газоповітряної суміші, яка надходить до камери згоряння 2. В результаті, частота обертання газового двигуна 1 збільшується.

У разі досягнення значення поточної частоти обертання колінчастого валу вище наперед запрограмованої величини максимальної частоти обертання, ЕБУ Avenir Gaz 37 знімає напругу +12 V з клеми номер 4 і, одночасно, через електричний зв'язок 41 з контакту 85 електромагнітного реле 38 та котушки реле. В результаті, контакти 30 – 87 розмикаються і напруга +12 V знімається з запірних електромагнітних клапанів 17, 20 та 22. Як наслідок, запірні електромагніт-ні клапани 17, 20 та 22 закриваються і подача газового палива (зокрема зрідженого нафтового газу) від газового балона 14 до газоповітряного змішувача 27 припиняється.

Двигун по інерції продовжує обертатися, але частота обертання колінчастого валу (за відсутності подачі газового палива) зменшується. Після зменшення частоти обертання (на величину гістерезису) ЕБУ Avenir Gaz 37 знову подає на клему номер 4 напругу +12 V, яка через електричний зв'язок 41 поступає на контакт 85 електромагнітного реле 38 і далі на котушку реле. Контакти 30 – 87 замикаються і напруга +12 V через електричний зв'язок 42 подається до закритих запірних електромагнітних клапанів 17, 20 та 22, які знов відкриваються. Подача газового палива (зокрема зрідженого нафтового газу) від газового балона 14 до газоповітряного змішувача 27 від газового балона 14 до газоповітряного змішувача 27 поновлюється. Газовий двигун запускається, але працює вже на меншій частоті обертання колінчастого валу.

Слід додати, що наперед запрограмована величина частити обертання колінчастого валу може відповідати як номінальній частоті обертання дизеля, так і максимальної частоті обертання холостого ходу.

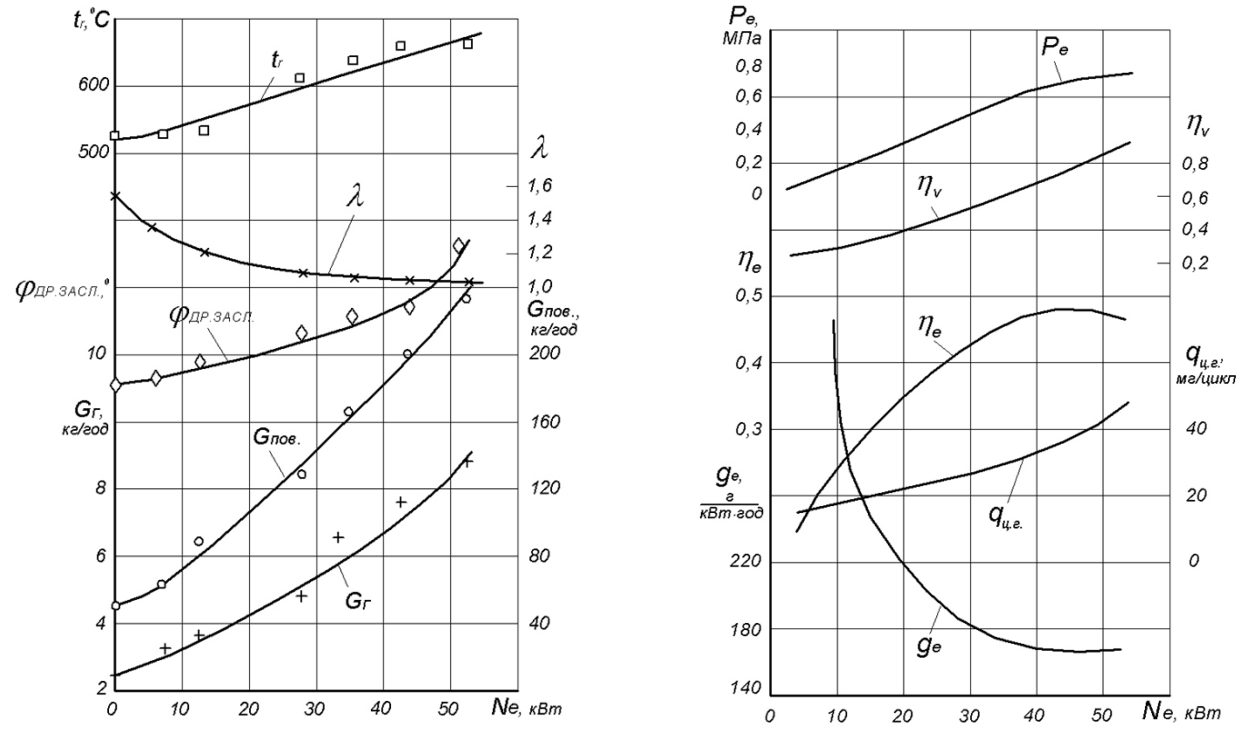
В результаті, робота ЕБУ Avenir Gaz 37 обмежує максимальну частоту обертання газового ДВЗ і тим самим унеможливлює збільшення частоти обертання більше наперед запрограмованої величини.

Крім того, така система управління унеможливлює подачу газового палива (зокрема зрідженого нафтового газу) до газоповітряного змішувача та впускного трубопроводу до моменту початку запуску газового двигуна, що підвищує безпеку його експлуатації.

Визначення енергетичних та економічних показників конвертованого газового ДВЗ моделі Д-240-LPG-«А» з розробленою системою управління та ЕБУ Avenir Gaz 37 рівня «А» проводилось на навантажувальному стенді Zöllner (Німеччина) типу B-350AC з модернізованою мікропроцесорною системою вимірювання та керування. Для вимірювання витрат ЗНГ та повітря використовувались такі засоби вимірювальної техніки як масовий витратомір палива коріолісового типу FlexCOR CMF-BEQ0B1AWCJ2100A, а також масовий витратомір повітря GF-90-A1A00AD-AA00060DA5A4 (обидва виробництва США, FCI). Дійсний кут випередження запалювання $\varphi_{в.з.}$ визначався мотортестером FSA 560 діагностичного комплексу Bosch, а коефіцієнт надміру повітря λ розраховується штатною програмою вимірювального модуля - газоаналізатора BEA 060 мобільного комплексу BOSCH BEA 550. Всі задіяні в експериментальних дослідженнях засоби вимірювальної техніки були повірені або атестовані, а точність всіх вимірювань відповідала вимогам ГОСТ 18509 [16].

При проведенні випробувань використовувався ЗНГ марки ПБТ за ГОСТ Р 52087 [17] виготовлений ООО «Газэнергосеть Брянск» Клинцовской ГНС (Республіка Білорусь), який згідно Паспорту якості № 53 від 21.04.2019 містить (по масі) 56,47 % пропану та 40,79 % бутану (і-бутану – 18,67 % та n-бутану – 22,12 %). Щільність цього ЗНГ при температурі 10°С складає 0,5347 кг/л.

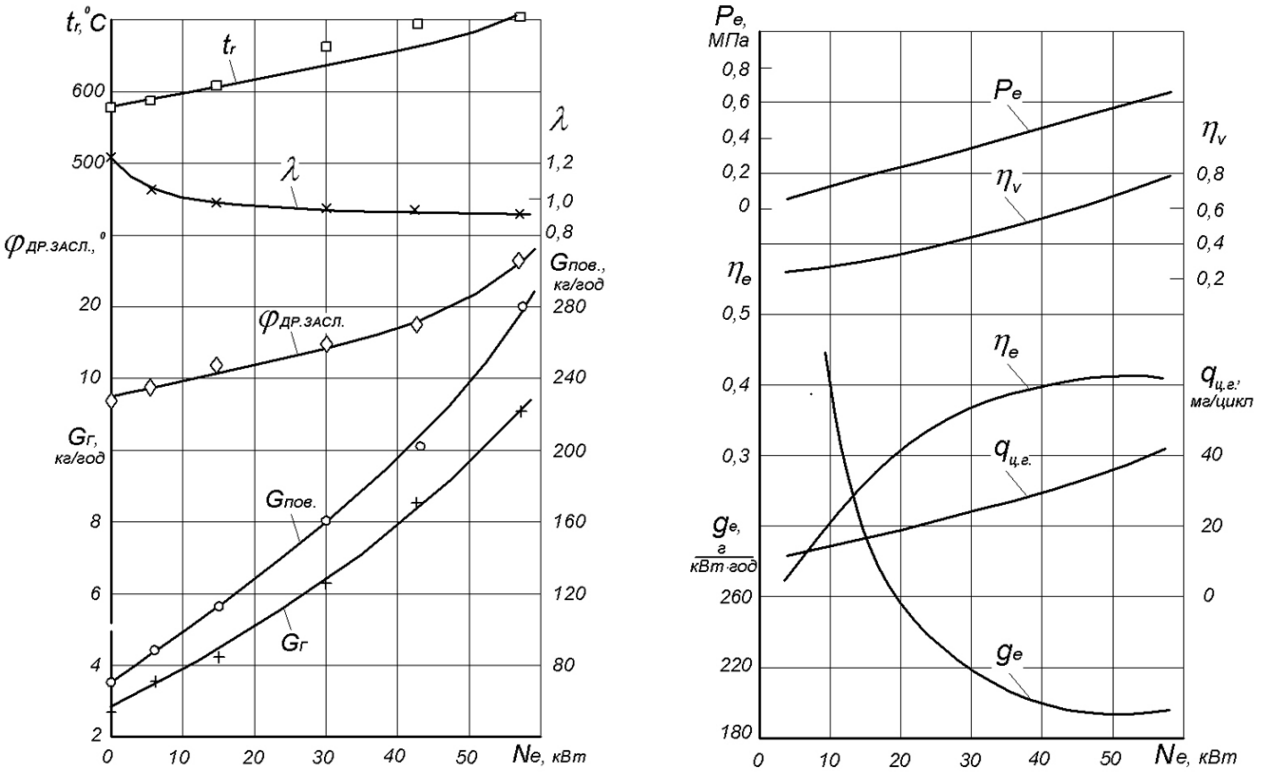
Навантажувальні характеристики газового ДВЗ Д-240-LPG-«А» з ЕБУ Avenir Gaz 37 рівня «А» знімались при частотах обертання колінчастого валу 1000, 1300, 1600, 1900 та 2200 хв$^{-1}$. У даній статті наведені навантажувальні характеристики лише при частотах обертання 1600 та 2200 хв$^{-1}$ (номінальна частота обертання). Побудовані на підставі експериментальних даних навантажувальні характеристики показані на рис. 2 та рис. 3.



а б

Рис. 2. Навантажувальна характеристика газового ДВЗ Д-240-LPG-«А» з ЕБУ Avenir Gaz 37 рівня «А» при частоті обертання $n_д$ = 1600 хв$^{-1}$: *а* – енергетичні параметри; *б* – ефективні параметри.

Fig. 2. The load characteristic of a gas ICE D-240-LPG-«A» with Avenir Gaz 37 ECU of level "A" at a speed of n_d = 1600 min^{-1}: a - energy parameters; b - effective parameters.



а б

Рис. 3. Навантажувальна характеристика газового ДВЗ Д-240-LPG-«А» з ЕБУ Avenir Gaz 37 рівня «А» при частоті обертання $n_д$ = 2200 хв$^{-1}$: а – енергетичні параметри; б – ефективні параметри.

Fig. 3. The load characteristic of a gas ICE D-240-LPG-«A» with Avenir Gaz 37 ECU of level "A" at a speed of n_d = 1600 min^{-1}: a - energy parameters; b - effective parameters.

На характеристиках наведені залежності температури $t_г$ відпрацьованих газів, коефіцієнту λ надміру повітря, кута $\varphi_{др.засл.}$ повороту дросельної заслінки, масових годинних витрат $G_{пов}$ повітря, масових годинних витрат $G_г$ ЗНГ, від ефективної потужності N_e.

Крім того, на підставі експериментальних залежностей наведених на навантажувальних характеристиках, побудовані розрахункові залежності середнього ефективного тиску P_e у циліндрах, коефіцієнту η_v наповнення циліндрів, ефективного ККД η_e, циклової подачі $q_{ц,г}$ ЗНГ, питомих ефективних витрати ЗНГ g_e від ефективної потужності N_e.

На рис. 3 та рис. 4, видно, що збільшення ефективної потужності N_e газового ДВЗ відбувається за рахунок збільшення кількості газоповітряної суміші (кількості ЗНГ), що надходить в циліндри, тобто зміною кута $\varphi_{др.засл.}$ повороту дросельної заслінки.

При роботі газового ДВЗ на режимах холостого ходу і режимах малих навантажень, двигун працює в області збіднених сумішей. Це обумовлено погіршенням сумішоутворення у впускному трубопроводі і зниженням турбулізації газоповітряної суміші в циліндрі. При цьому, дросельна заслінка знаходиться у причиненому положенні, що погіршує умови займання і згоряння газоповітряної суміші в циліндрі, а також збільшує її розведення зарядом залишкових газів.

При переході від режиму холостого ходу до режимів малих та середніх навантажень збільшуються годинні витрати $G_{пов}$ повітря та годинні витрати $G_г$ ЗНГ, а та і величина циклової подачі $q_{ц,г}$ ЗНГ. В наслідок цього, температура $t_г$ відпрацьованих газів плавно зростає і при номінальній потужності досягає близько 700°С.

Одночасно з цим, підвищується наповнення циліндрів η_v та ефективний ККД η_e, збільшується частка свіжого заряду в робочій газоповітряній суміші, поліпшуються умови сумішоутворення, запалення і згоряння горючої суміші.

Середній ефективний тиск P_e лінійно зростає починаючи від нуля (на режимі холостого ходу), до $N_{e,ном}$. Зростання середнього ефективного тиску P_e, зумовлено тим, що більша частина індикаторної роботи перетворюється в ефективну.

На режимах середніх навантажень газовий ДВЗ працює на економічному складі газоповітряної суміші (λ = 1,05...1,2). При підвищені навантаження, коефіцієнт λ надміру повітря продовжує зменшуватися і при номінальній потужності його значення становить 0,9 [тобто газоповітряна суміш із збідненої (економічний склад суміші) стає збагаченою (потужній склад суміші)]. При такому значенні коефіцієнту λ надміру повітря, швидкість згоряння, виділення теплоти та перетворення її в індикаторну роботу досягають максимальних значень і газовий ДВЗ має максимальну потужність.

Питомі ефективні витрати ЗНГ g_e обернено пропорційні η_e. На холостому ходу вони дорівнюють нескінченності, що вказує на те, що вся теплота витрачається на подолання механічних втрат газового ДВЗ, а не на корисну роботу. При збільшенні навантаження питомі ефективні витрати ЗНГ суттєво зменшуються і досягають свого мінімуму при 90…93% $N_{e,ном}$.

Ефективні витрати ЗНГ при роботі двигуна по зовнішній швидкісній характеристиці коливаються в межах від 4,0 до 11,3 кг/год (або 7,5 … 21,1 л/год) при частотах обертання від 900 до 2200 хв$^{-1}$ відповідно.

До речі, номінальні ефективні витрати ДП дизелем Д-240 складають 14 кг/год або 17 л/год.

Номінальна потужність газового Д-240-LPG-«А» дорівнює $N_{e,max}$ = 57,5 кВт (78 к.с.) при частоті обертання колінчастого валу $n_{д,ном}$ = 2200 хв$^{-1}$. Таким чином, номінальна потужність газового ДВЗ Д-240-LPG-«А» склала 97 % від номінальної потужності дизеля Д-240.

Основні технічні характеристики газового ДВЗ Д-240-LPG-«А», які наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики газового ДВЗ Д-240-LPG-«А».

Table 1. The main technical characteristics of the gas engine D-240-LPG-«A».

Назва параметра	Значення параметра
Марка ДВЗ	Д-240-LPG
Тип	4-х тактний газовий ДВЗ з іскровим запалюванням
Спосіб сумішеутворювання	Зовнішнє (подача ЗНГ до впускного трубопроводу)
Діаметр циліндра, мм	110
Хід поршня, мм	125
Кількість циліндрів	4
Робочий об'єм, л	4,75
Порядок роботи циліндрів	1-3-4-2
Номінальна потужність, кВт	57,5
Частота обертання при номінальній потужності, хв$^{-1}$	2350
Максимальний крутний момент / при частоті обертання, Н·м /хв$^{-1}$	304/1300
Номінальний коефіцієнт запасу крутного моменту,%	22
Максимальна частота обертання ДВЗ на холостому ходу, хв$^{-1}$	2250
Степінь стиснення	9,5
Паливо	ЗНГ

На всіх швидкісних та навантажувальних режимах роботи конвертований газовий Д-240-LPG-«А» з системою живлення та подачі ЗНГ до впускного трубопроводу та електронною системою запалювання з рухомим розподільником напруги і ЕБУ Avenir Gaz 37 рівня «А» працював стійко і без детонації.

Висновки

1. Показані переваги і доцільність використання транспортними засобами (у тому числі сільськогосподарськими тракторами) газових моторних палив, зокрема зрідженого нафтового газу порівняно з традиційним дизельним паливом.

2. Обґрунтована доцільність конвертування дизелів транспортних засобів у газові ДВЗ із іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ на підставі використання розробленої сучасної української синтез-технології Avenir Gaz рівня «А».

3. Розроблено та створено газовий ДВЗ моделі Д-240-LPG-«А» з системою живлення та подачі ЗНГ до впускного трубопроводу та електронною системою запалювання з рухомим розподільником напруги і ЕБУ Avenir Gaz 37 рівня «А» для роботи на зрідженому нафтовому газі, який конвертовано на базі тракторного дизеля Д-240.

4. Визначені основні технічні характеристики газового ДВЗ Д-240-LPG-«А», які довели, що ефективна номінальна потужність газового ДВЗ становить $N_{e,max}$ = 57,5 кВт при $n_д$ = 2200 хв$^{-1}$, а максимальний ефективний крутний момент дорівнює $M_{e,max}$ = 304 Н·м, при $n_д$ = 1300 хв$^{-1}$.

5. Отримані енергетичні та економічні параметри показали, що конвертація дизелів у газові ДВЗ на підставі використання розробленої синтез-технології Avenir Gaz рівня «А» є ефективним способом зменшення експлуатаційних витрат сільськогосподарською технікою за рахунок заміни більш дорогого дизельного палива більш дешевим зрідженим нафтовим газом.

Список літератури

1. Украина лидирует в мире по потреблению автогаза и стала главным драйвером роста цен в Европе. [Електронний ресурс]. https: // ubr.ua/market /auto/ ukraina-lidiruet-v-mire-popotrebleniju-avtohaza-i-stala-hlavnym-drajverom-rosta-tsen-v-evrope-3870825. Режим доступу на 06.05.2019.

2. Ціни на бензин, ДТ, газ на заправках України. [Електронний ресурс]. Все АЗС. Режим доступу до журн.: http://vseazs.com.

3. *Ковальов С. О.* Системи управління газовими ДВЗ з іскровим запалюванням, переобладнаними на базі транспортного дизеля. Автомобільний транспорт та інфраструктура: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 23–26 квітня 2020 року: тези конференції. Київ. 2020. С. 112–115.

4. *Генкин К. И.* Газовые двигатели. Москва. Машиностроение, 1977. 196 с.

5. Дизели: справочник. Под общей ред. *В. А. Ваншейдта, Н. Н. Иванченко, Л.К. Коллерова.* 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград. Машиностроение, 1977. 480 с.

6. *Захарчук В. І.* Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів: навчальний посібник. Луцьк: ЛНТУ, 2011. 233 с.

7. *Захарчук О. В.* Покращення екологічних показників колісного трактора використанням газового палива. Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Темат. Вип.: Автомобіле- та тракторобудування. Харків: НТУ "ХПІ". 2014. № 10 (1053). С. 27–32.

8. *Абрамчук Ф. И., Манойло В. М., Дзюбенко А. А.* Экспериментальная установка для исследования газового двигателя 6ГЧН 13/14 с наддувом и принудительным воспламенением. Автомобильный транспорт. 2011. № 29. С. 43–51.

9. *Манойло В. М.* Дослідження характеристик автотранспортного двигуна 6ГЧН 13/14 з наддувом і розподіленою подачею газу. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2018, Vol. 9, No. 2. 143-147.

10. Technical and Economic Analysis of Vehicles Pollutant Emissions Reduction Technologies. *Luksho V.A., Kozlov A.V., Terenchenko A.S., Ter-Mkrtichian Yu.G., Karpukhin K.E.* // Biosciences Biotechnology Research Asia, 2015, Vol. 12(2). Doi: http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1852

11. Research into emissions of nitrogen oxides when converting the diesel engines to alternative fuels. *Kryshtopa S., Panchuk M., Dolishnii B., Kryshtopa L., Hnyp M., Skalatska O.* Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1, Issue 10 (91). P. 16–22. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.124045

12. *Ковальов С.О.* Камера згоряння газового ДВЗ, конвертованого на базі дизеля для роботи на зрідженому нафтовому газі. Двигатели внутреннего сгорания. 2019. № 1. С. 15–20.

13. *Ковальов С.О., Плис С.В., Ковальчук В.В.* Заявка на корисну модель від 27.02.2020 номер u2020 01334. Система управління роботою газового двигуна внутрішнього згоряння із іскровим запалювання та електронним блоком управління.

14. Правила ООН № 67 Транспортные средства, работающие на СНГ (Regulation No. 76 LPG vehicles).

15. Колісні транспортні засоби. Вимоги безпеки до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, двигуни яких працюють на газовому моторному паливі, та методи контролю: ДСТУ 7434:2013. − [Чинний від 2014−07−01]. Київ. Мінекономрозвитку України, 2014. 28 с.: табл. (Національний стандарт України).

16. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний: ГОСТ 18509-88 (ISO 2288:1997 Agricultural tractors and machines. Engine test code. Net power). [Чинний від 1990-01-01]. Москва. Изд-во стандартов, 1988. 69 с.

17. Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия (Liquefied hydrocarbon fuel gases. Specifications): ГОСТ Р 52087-2003. [Дата введення 2004-07-01]. Москва. Изд-во стандартов, 2003. 7 с.

References

1. “Ukraine leads the world in autogas consumption and has be-come the main driver of price increases in Europe”, available at: https: // ubr.ua/market/auto/ukraina-lidiruet-v-mire-popotrebleniju-avtohaza-i-stala-hlavnym-drajverom-rosta-tsen-v-evrope-3870825.

2. “Prices for gasoline, diesel fuel, gas at Ukrainian gas stations”, available at: http://vseazs.com.

3. *Kovalov S. O.* (2020). Sistemi upravlinnya gazovimi DVZ z iskrovim zapalyuvannyam, pereobladnanimi na bazi transportnogo dizelya // Avtomobilniy transport ta infrastruktura: III Mizhnarodna naukovo-praktichna konferentsIya, m. Kiyiv, Ukrayina, 23–26 kvitnya 2020 roku: tezi konferentsiyi. Kiyiv. 2020. 234 s.– S. 112 – 115.

4. *Genkin K. I.* Gazovyie dvigateli. M., Mashinostroenie, 1977. 196 p.

5. *Vansheydt, V.A., Ivanchenko, N.N., Kollerov, L.K. (1977)* “Diesels: Handbook” [“Dizeli: spravochnik”], Mechanical engineering, Leningrad, 480 p.

6. *Zaharchuk V. I.* Osnovi teoriyi ta konstruktsiyi avtomo-bilnih dviguniv: Navchalniy posibnik dlya studentiv vischih navchalnih zakladIv. - Lutsk: LNTU, 2011 – 233 p.

7. *Zaharchuk O. V.* (2014) Pokraschennya ekologichnih pokaznikiv kolisnogo traktora vikoristannyam gazovogo paliva // Visnik Nats. tehn. un-tu "HPI": zb. nauk. pr. Temat. Vip.: Avtomobile- ta traktorobuduvannya. Harkiv: NTU "HPI". 2014. No. 10 (1053). S. 27–32.

8. *Abramchuk, F. S., Manoylo, V. M., Dzyubenko, A. A. (2011).* Research setup for studying gas engine 6ГЧН 13/14 with the boost and positive ignition. Road transport. No. 29. 43-51.

9. *Manoylo V. M.* (2018). Research performance engine car motor 6hchn 13/14 supercharged and distributed gas supply. Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. 2018, Vol. 9, No. 2, 143-147

10. Technical and Economic Analysis of Vehicles Pollutant Emissions Reduction Technologies / *Luksho V.A., Kozlov A.V., Terenchenko A.S., Ter-Mkrtichian Yu.G., Karpukhin K.E. //* Biosciences Biotechnology Research Asia, 2015, Vol. 12(2). Doi: http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1852

11. Research into emissions of nitrogen oxides when con-verting the diesel engines to alternative fuels / *Kryshtopa S., Panchuk M., Dolishnii B., Kryshtopa L., Hnyp M., Skalatska O. //* Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1, Issue 10 (91). P. 16–22. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.124045

12. *Kovalov S.O.* (2019). Kamera zgoryannya gazovogo DVZ, konvertovanogo na bazi dizelya dlya roboti na zridzhenomu naftovomu gazi / Kovalov S.O. // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2019. – No. 1. 15 – 20.

13. *Kovalov S.O., Plis S.V., Kovalchuk V.V.* (2020). Zayavka na patent vid 27.02.2020 nomer u2020 01334 «The control system of the gas internal combustion engine with spark ignition and electronic control unit».

14. Regulation No. 76 LPG vehicles.

15. National standard of the Ukraine No. 7434:2013. Wheeled vehicles. Requirements of safety for construction and technical condition of gas fueled wheeled vehicles and methods of inspection.

16. National standard of the Russian Federation No. 18509-88. Agri-cultural tractors and machines. Engine test code. Net power.

17. National standard of the Russian Federation No. 52087-2003. Liquefied hydrocarbon fuel gases. Specifications. 10.“Prices for gasoline, diesel fuel, gas at Ukrainian gas stations”, available at: http://vseazs.com

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОВЫМ ДВС, КОНВЕРТИРОВАНЫМ НА БАЗЕ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

С. А. Ковалёв

Аннотация. В статье показаны целесообразность и преимущества использования сельскохозяйственной техникой (такой как мощные дизельные колесные и гусеничные тракторы) газовых моторных топлив, в частности, сжиженного нефтяного газа по сравнению с традиционными жидкими моторными топливами. Обоснована целесообразность преобразования тракторных дизелей в газовые ДВС с искровым зажиганием.

Разработана электронная система управления газовыми ДВС с искровым зажиганием, состоящая из двух главных систем электронного блока управления Avenir Gaz 37 уровня «А».

Описаны принцип работы системы управления газовыми ДВС, с системой питанием и подачи СНГ во впускной трубопровод через газовоздушная смеситель, бесконтактной электронной системой зажигания с подвижным распределителем напряжения, системой наполнения цилиндров зарядом рабочей смеси и ЭБУ Avenir Gaz 37 уровня «А».

Разработан и создан газовый двигатель внутреннего сгорания модели Д-240-LPG-«А» для работы на СНГ. Газовый двигатель был конвертирован на базе тракторного дизеля Д-240 (атмосферный, четырехтактный, жидкостного охлаждения, 4-х цилиндровый двигатель с диаметром поршня 110 мм и ходом 125 мм), который устанавливается на универсально-пропашные колесные тракторы МТЗ-80 и МТЗ-82.

В работе приведены результаты испытания газового ДВС модели Д-240-LPG-«А» на электрическом нагрузочном стенде Zöllner с модернизированной микропроцессорной системой измерения и управления.

Снятые нагрузочные характеристики газового двигателя, на основании которых определены основные технические характеристики газового Д-240-LPG-«А», а также его эффективные параметры. Технические характеристики показали, что номинальная мощность газового ДВС Д-240-LPG-«А» составила 97% от номинальной мощности дизеля Д-240.

В статье доказано, что полученные в результате испытаний энергетические и экономические параметры газового ДВС Д-240-LPG-«А» подтвердили целесообразность конвертирования тракторных дизелей в газовые ДВС с искровым зажиганием. К тому же, полученные в испытаниях технические параметры показали, что такая конвертация является эффективным способом уменьшения эксплуатационных расходов сельскохозяйственной техникой за счет замены более дорогого дизельного топлива более дешевым сжиженным нефтяным газом.

Ключевые слова: газовый двигатель внутреннего сгорания, система управления газовым двигателем внутреннего сгорания, электронный блок управления Avenir Gaz 37 уровня «А», нагрузочные характеристики газового ДВС, сжиженный нефтяной газ.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE SYSTEM OF MANAGEMENT OF A GAS ENGINE CONVERTED ON THE BASIS OF TRACTOR DIESEL

S. O. Kovalov

Abstract. The article shows the feasibility and advantages of using agricultural machinery (such as powerful diesel wheeled and tracked tractors) of gas motor fuels, liquefied petroleum gas in comparison with traditional liquid motor fuels. The expediency of converting tractor diesel

engines into gas engines with spark ignition is substantiated.

An electronic control system for gas internal combustion engines with spark ignition is developed, consisting of two main systems and of the electronic control unit Avenir Gaz 37 level «A».

The principle of operation of a gas engine control system is described, with a liquefied petroleum gas system for the intake gas through an air-gas mixer, a non-contact electronic ignition system with a movable voltage distributor, a cylinder filling system with a charge of the working mixture and Avenir Gaz 37 ECU level «A».

A gas-fired internal combustion engine of the D-240-LPG-«A» model for operation in the LPG was developed and created. The gas engine was converted on the basis of the D-240 tractor diesel engine (atmospheric, four-cycle, liquid cooling, 4-cylinder engine with a piston diameter of 110 mm and a stroke of 125 mm), which is mounted on universal wheeled tractors MTZ-80 and MTZ-82.

The paper presents the test results of a gas engine model D-240-LPG-«A» on the Zöllner electric load bench with an upgraded microprocessor measurement and control system.

Were filmed load characteristics of the gas engine, on the basis of which the main technical characteristics of the gas D-240-LPG-«A» are determined, as well as its effective parameters. Technical characteristics showed that the rated power of the gas ICE D-240-LPG-«A» amounted to 97% of the nominal power of the D-240 diesel engine.

It is proved in the article that the energy and economic parameters of the D-240-LPG-«A» gas engine obtained as a result of the tests confirmed the feasibility of converting tractor diesel engines into gas engines with spark ignition. In addition, the technical parameters obtained in the tests showed that such a conversion is an effective way to reduce operating costs by agricultural machinery by replacing more expensive diesel fuel with cheaper liquefied petroleum gas.

Key words: gas internal combustion engine, gas engine control system, Avenir Gaz 37 electronic control unit level “A”, load characteristics of a gas internal combustion engine, liquefied petroleum gas.

С. О. Ковальов ORCID 0000-0002-3107-530X.