



УДК 662.767

© С. О. Ковальов, канд. техн. наук, старш. наук. співроб. (ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГАЗОВИМИ ДВЗ ІЗ ПРИМУСОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ, ПЕРЕОБЛАДНАНИМИ НА БАЗІ ДИЗЕЛІВ ДЛЯ РОБОТИ НА ЗРІДЖЕНОМУ НАФТОВОМУ ГАЗІ

© S. O. Koval'ov, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer (SE «State Road Transport Research Institute»)

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC CONTROL SYSTEM FOR GAS-ENGINES WITH SPARK IGNITION, CONVERTED ON THE BASIS OF DIESEL ENGINES TO WORK FOR ON LIQUEFIED PETROLEUM GAS

Анотація. Показані доцільність і переваги використання транспортними засобами газових моторних палив, зокрема зрідженого нафтового газу, порівняно з традиційними рідкими моторними паливами. Обґрунтовано доцільність конвертування дизелів у газові ДВЗ із примусовим запалюванням відносно до переобладнання у газодизелі.

Розроблено електронну мікропроцесорну систему управління газовими ДВЗ із примусовим запалюванням, що складається з двох головних і низки додаткових підсистем. Описано принцип роботи головних підсистем, до яких належить підсистема управління живленням і впорскуванням ЗНГ, а також підсистема управління запалюванням. Розроблено та створено промисловий зразок ЕБУ. На базі дизеля Д-240 виготовлено газовий ДВЗ моделі Д-240-LPG з примусовим запалюванням.

Ключові слова: газовий ДВЗ із примусовим запалюванням, зріджений нафтовий газ (ЗНГ), електронна мікропроцесорна система управління газовими ДВЗ, транспортні засоби, що працюють на ЗНГ.

Аннотация. Показаны целесообразность и преимущества использования транспортными средствами газовых моторных топлив, в частности сжиженного нефтяного газа по отношению к традиционным жидким моторным топливам. Обоснована целесообразность переоборудования дизелей в газовые ДВС с принудительным зажиганием по отношению к переоборудованию в газодизели.

Разработана электронная микропроцессорная система управления газовыми ДВС с принудительным зажиганием, состоящая из двух главных и ряда дополнительных подсистем. Описан принцип работы главных подсистем, к которым относятся подсистема управления питанием и впрыском ЗНГ, а также подсистема управления зажиганием. Разработан и создан промышленный образец ЭБУ. На базе дизеля Д-240 изготовлен газовый ДВС модели Д-240-LPG с принудительным зажиганием.

Ключевые слова: газовый ДВС с принудительным зажиганием, сжиженный нефтяной газ (СНГ), электронная микропроцессорная система управления газовыми ДВС, транспортные средства, работающие на СНГ.

Annotation. The expediency and advantages of using gas motor fuels, in particular, liquefied petroleum gas with respect to traditional liquid motor fuels, are shown. Technical solutions for the use of liquefied petroleum gas by diesel engines are presented and analysed. The expediency and advantages of converting diesel engines to gas spark ignition internal combustion engines with respect to conversion to gas diesel engines. Developed by the Ukrainian synthesis technology Avenir Gaz has for converting diesel engines to gas internal combustion engines with spark ignition. According to the synthesis technology of Avenir Gaz, re-equipment of diesel engines of vehicles is carried out on the basis of the universal electronic control system for gas internal combustion engines, which is based on the multifunctional electronic



microprocessor control unit Avenir Gaz 37. The developed electronic microprocessor control system for gas internal combustion engines with forced ignition has a modular structure and consists of two main and a number of additional subsystems. A schematic diagram of a universal electronic control system of a gas internal combustion engine with spark ignition for operation on liquefied petroleum gas is presented. The principle of operation of the main subsystems, which include the subsystem of power management and injection of liquefied petroleum gas by gas electromagnetic injectors into the intake manifold of a gas engine, and the principle of operation of the control subsystem of the ignition with two-spark ignition coils are described. A multifunctional electronic control unit Avenir Gaz 37 has been designed and manufactured. Non-motorized tests of the electronic control unit confirmed its performance.

Based on the synthesis technology of Avenir Gaz using the universal electronic control system for gas internal combustion engines with the Avenir Gaz 37 ECU, the D-240 diesel engine was converted into a gas spark ignition internal combustion engine of the D-240-LPG model.

Keywords: *gas internal combustion engine with forced ignition, liquefied petroleum gas (LPG), electronic microprocessor control system for gas internal combustion engines, vehicles operating on LPG.*

Вступ

Протягом останніх років у результаті критично-го забруднення навколишнього середовища транспортними засобами (далі – ТЗ), що працюють на традиційних рідких моторних паливах, приділяється підвищена увага використанню більш екологічно чистих видів палив, до яких передусім належить газові моторні палива.

У зв'язку з цим, а також з урахуванням того, що сучасні колісні транспортні засоби (далі – КТЗ), особливо категорій М2, М3 (автобуси) та N (вантажні автомобілі та тягачі), а також комунальна та сільськогосподарська техніка (самохідні шасі, комбайни, потужні колісні та гусеничні трактори) оснащені переважно дизелями, що мають високі експлуатаційні витрати дизельного палива, стає очевидним доцільність його заміни на найбільш розповсюджене та дешеве і екологічно чисте газове моторне паливо – зріджений нафтовий газ (далі – ЗНГ, англійською мовою скорочено LPG) [1–3]. До переваг застосування ЗНГ як моторного палива, належить те, що ЗНГ зберігається на борту ТЗ під невеликим тиском у відносно легких автомобільних газових балонах і має (на відміну від стисненого природного газу) об'ємну енергетичну щільність наближену до бензинів та дизельного палива. До того ж, варто додати, що Україна завдяки налагодженій переробці нафти, має достатні обсяги ЗНГ власного виробництва.

Для підвищення використання ЗНГ зазначеними вище категоріями ТЗ, найбільш ефективним способом вважається конвертація їх дизелів у газові двигуни з примусовим запалюванням. Головними перевагами такого переобладнання є: 100 % заміна дорожчого дизельного палива на більш дешеве газове моторне паливо; зменшення рівня шкідливих викидів оксидів (СО) та діоксидів вуглецю (СО₂), оксидів азоту (NO_x) і твердих частинок у відпрацьованих газах [4]; зменшення зовнішнього шуму, створюваного сільсько-

господарською технікою; збереження енергетичних параметрів газових ДВЗ із примусовим запалюванням на рівні 80 ... 100 % від штатного дизеля; підвищення моторесурсу двигуна тощо.

Основна частина

Для переобладнання транспортних (автомобільних та тракторних) дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ здійснено розробку нової української синтез-технології Avenir Gaz. Згідно з синтез-технологією переобладнання ТЗ проводиться на базі створеної універсальної електронної системи управління газовими ДВЗ, основою якої є перспективний електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37 (далі – ЕБУ, англійською – Engine Control Unit (ECU)).

Застосування синтез-технології Avenir Gaz вимагає як часткової розбірки дизеля з внесенням деяких змін до його конструкції, так і повний демонтаж систем живлення та впорскування дизельного палива (включаючи дизельні паливні баки, трубопроводи, фільтри тощо); а також внесення відповідних змін у його конструкцію ДВЗ. До змін конструкції двигуна належать як доопрацювання головки блоку циліндрів дизеля для встановлення свічок запалювання, так і доопрацювання старих поршнів або встановлення нових поршнів. Для зменшення ступеню стиснення у поршнів має бути змінена форма (об'єм) камери згоряння.

До того ж, газовий ДВЗ має бути дообладнано двома такими головними сучасними системами як: системами живлення та багатоточкового впорскування ЗНГ типу Common Rail; а також електронною системою іскрового запалювання. При цьому, система впорскування ЗНГ електромагнітними форсунками до впускного колектору ДВЗ здатна забезпечити – груповий або послідовний, чи індивідуальний вид впорскування [4, 5] у зону наближену до впускного клапана, а електронна індуктивна



система іскрового запалювання з нерухомим розподільником напруги – роботу з двоіскровими або індивідуальними котушками запалювання.

Також газовий ДВЗ має бути дообладнано додатковою системою управління наповненням циліндрів зарядом робочої суміші, а для виконання відповідних екологічних вимог може бути дообладнано додатковими системами нейтралізації відпрацьованих газів (з трикомпонентним каталітичним нейтралізатором та одним або двома лямбда-зондами) та рециркуляції відпрацьованих газів.

При цьому для роботи газового ДВЗ із головними та додатковими системами мають бути встановлені ще і додаткові датчики та пристрої (у разі їх відсутності у складі дизеля).

Для забезпечення можливості роботи газового ДВЗ із різними датчиками і пристроями головних підсистем, а також із різною кількістю додаткових підсистем універсальна електронна система управління газовим ДВЗ розроблена як модульна структура, яка підтримує роботу чотирьох версій. Головним елементом такої системи є багатофункційний електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37.

Принципова схема універсальної системи електронного управління газовим ДВЗ із іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ показана на **рис. 1**. Система електронного управління газовим ДВЗ 1 з іскровим запалюванням працює у такий спосіб. На початку роботи (в момент запуску) ДВЗ 1 водій повертає ключ у замку запалювання 22 і напруга з акумулятора 23 подається до ЕБУ 41, який проводить опитування всіх датчиків та пристроїв системи на наявність і справність. За позитивними результатами опитування датчиків (зокрема датчика 49 температури охолоджувальної рідини газового ДВЗ), ЕБУ 41 розраховує початок моментів подачі та тривалість імпульсів впорскування (подачі) ЗНГ газовими електромагнітними форсунками 39, тобто величину пускової подачі ЗНГ, а також початок моментів і величину імпульсів струму, що подаються на первинну обмотку котушки запалювання 6, необхідних для пуску газового ДВЗ.

Після запуску газового ДВЗ, залежно від температури охолоджувальної рідини в блоці циліндрів ДВЗ, яка визначається датчиком 49 температури охолоджувальної рідини, ЕБУ 41 розраховує величину подачі ЗНГ, а також початок моментів і величину імпульсів струму, що подається на первинну обмотку котушки запалювання 6, необхідних для роботи газового ДВЗ за мінімальної частоти обертання холостого ходу. Одноразом ЕБУ 41 розраховує положення регулятора 11 холостого ходу, забезпечуючи відповідні витрати повітря по байпасному каналу регулятора холостого ходу (далі – РХХ) за умови закритої дросельної заслінки 10.

Під час подальшої роботи та прогріву газового ДВЗ, ЕБУ 41 за сигналом датчика 49 регулює величину подачі повітря через РХХ та подачу ЗНГ, зменшуючи таким чином величину мінімальної частоти обертання холостого ходу.

При русі ТЗ та зміні навантаження (збільшення або зменшення навантаження) на газовий ДВЗ, ЕБУ 41 розраховує початок моментів подачі та тривалість імпульсів подачі (впорскування) ЗНГ газовими електромагнітними форсунками 39 для відповідного режиму за результатами опитування таких датчиків: витратоміра повітря 19, регулятора холостого ходу 11, дросельної заслінки 10 (датчика положення 12), а також датчика температури 49 охолоджувальної рідини в блоці циліндрів ДВЗ, датчика 16 частоти обертання колінчастого валу, датчика 18 положення розподільного валу та датчика детонації 20.

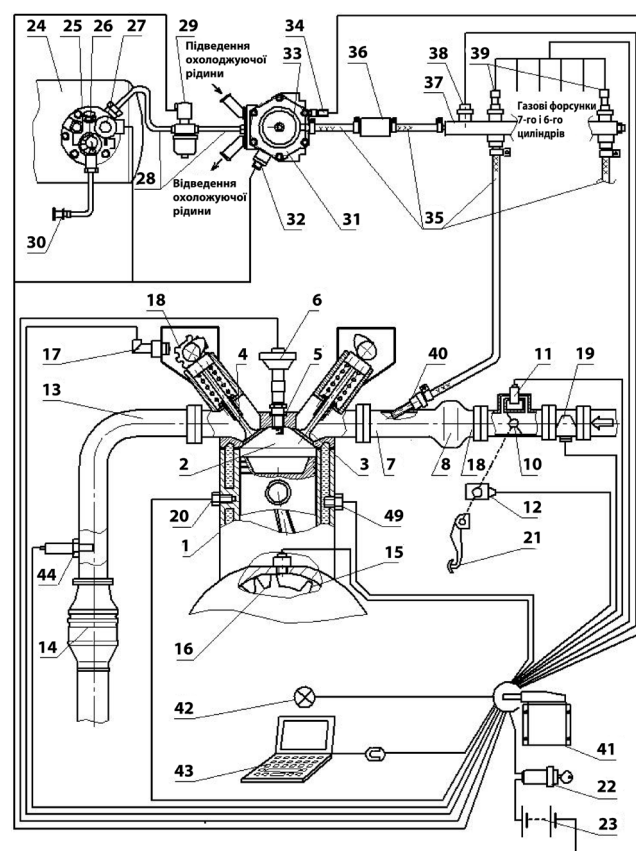


Рис. 1. Принципова схема універсальної системи електронного управління газовим ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ:

1 – газовий ДВЗ із примусовим запалюванням, що працює на ЗНГ; 2 – камера згоряння; 3 – впускний клапан; 4 – випускний клапан; 5 – свічка запалювання; 6 – індивідуальна котушка запалювання (для ДВЗ із парним числом циліндрів можуть бути застосовані двоіскрові котушки запалювання); 7 – патрубок впускного колектора; 8 – об'єднана частина впускного колектора; 9 – дросельний пристрій із механічним приводом; 10 –



дросель; 11 – регулятор холостого ходу; 12 – датчик положення дросельної заслінки; 13 – випускний колектор; 14 – трикомпонентний каталітичний нейтралізатор; 15 – задаючий диск типу 60-2; 16 – датчик частоти обертання і положення колінчастого валу; 17 – фазний датчик положення розподільного валу; 18 – зубчасте колесо або спеціальний задаючий диск (пластина з отворами); 19 – масовий витратомір повітря з інтегрованим датчиком температури; 20 – датчик детонації; 21 – механічна педаль акселератора (педаль газу); 22 – замок запалювання; 23 – акумуляторна батарея (АКБ); 24 – автомобільний газовий балон для ЗНГ; 25 – мультиклапан газового балона; 26 – показчик рівня ЗНГ в газовому балоні; 27 – дистанційно керований запірний електромагнітний клапан мультиклапана; 28 – магістральний газопровід високого тиску для ЗНГ; 29 – дистанційно керований запірний газовий клапан (магістральний електромагнітний клапан); 30 – заправний вузол; 31 – одноступінчатий газовий редуктор-випарник ЗНГ; 32 – дистанційно керований запірний електромагнітний клапан газового редуктора-випарника; 33 – підігрівач газового редуктора-випарника; 34 – датчик температури охолоджувальної рідини газового ДВЗ; 35 – гнучкі газопроводи (газопроводи низького тиску); 36 – газовий фільтр парової фази ЗНГ; 37 – газова рейка (Common Rail); 38 – комбінований датчик тиску і температури газу; 39 – електромагнітні газові форсунки; 40 – газове сопло; 41 – ЕБУ Avenir Gaz 37; 42 – індикатор роботи двигуна на СНД; 43 – діагностично-налагоджувальний інтерфейс; 44, 45 – лямбда-зонд; 46 – датчик температури відпрацьованих газів; 49 – датчик температури охолоджувальної рідини газового ДВЗ; 50 – охолоджувач відпрацьованих газів у системі EGR; 51 – клапан системи EGR

Також ЕБУ 41 розраховує початок моментів та величину імпульсів струму, що подаються на первинну обмотку котушки запалювання 6, яка в результаті генерує іскровий розряд на свічці запалювання 22. При виникненні детонації за сигналом від датчика детонації 20 ЕБУ 41 коректує величину кута випередження запалювання (початок моментів імпульсів струму, що подаються на первинну обмотку котушки запалювання 23) у бік запізнення. Для забезпечення за всіх швидкісних і навантажувальних режимів роботи ДВЗ на гомогенній стехіометричній газоповітряній суміші ($\alpha = 1$) ЕБУ 41 використовує також сигнал від лямбда-зондів 44 та 45, які встановлено перед трикомпонентним каталітичним нейтралізатором 14 та після нього.

На підставі принципової схеми універсальної системи електронного управління газовим ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ, була розроблена принципова схема підсистеми управління живленням та впорскуванням ЗНГ в газовий ДВЗ, яка показана на **рис. 2**, а також принципова схема підсистеми управління запалюванням, яка показана на **рис. 3**.

Підсистема управління живленням і впорскуванням ЗНГ у газовий ДВЗ складається з газового балона 11 (циліндричного або тороїдального типу), блоку заправки (на **рис. 1** не показаний), мультиклапана з інтегрованими робочим клапаном 10 і датчиком-показником рівня ЗНГ 5, газового фільтра з дистанційно керованим запірним клапаном 9, газового редуктора-випарника з інтегрованими дистанційно керованим запірним клапаном 8 (за його наявності) і датчиком температури охолоджувальної рідини (на **рис. 1** не показаний), фільтра 7 газової парової фази, газової рейки 6 з газовими електромагнітними форсунками 12 і датчиком 16 тиску та температури газу, газових сопел (встановлених на впускному колекторі), жорстких і гнучких газопроводів.

Газові електромагнітні форсунки 12 керуються ЕБУ 3 і забезпечують впорскування (подачу) газу до впускного патрубку впускного колектора кожного циліндра. Кількість газу, що надходить до циліндра, пропорційна часу відкриття газових форсунок, який розраховується ЕБУ 3 за сигналами датчиків, встановлених на ДВЗ. Момент відкриття газових форсунок 12 розраховується ЕБУ 3 за сигналом датчика 15 частоти обертання колінчастого валу і положення ВМТ, сформованого задаючим диском типу 60-2. За сигналами датчика 16 тиску і температури газу в рейці газових форсунок ЕБУ коригує час відкриття газових форсунок (величину подачі газу).

У «Базовій» версії системи електронного управління газовим ДВЗ, у комплектації якої відсутній датчик 17 положення розподільного валу (датчик Холла), а також датчики 18, 19 і 20, програмне забезпечення підсистеми живлення і впорскування ЗНГ забезпечує груповий вид впорскування газу. У «Середньої» і «Вищої» версій системи електронного управління, в комплектації яких присутній датчик 17 положення розподільного валу (датчик Холла), ЕБУ підсистемою живлення і впорскування ЗНГ забезпечує послідовний вид впорскування газу. А у версії «Майстер» – індивідуальний вид впорскування ЗНГ.

Наведена на **рис. 3** схема підсистеми управління запалюванням, яка укомплектована двоіскровими котушками запалювання 6, відповідає «Базовій» і «Середній» версіям системи електронного управління газовим ДВЗ.

Особливістю підсистеми управління запалювання є застосування двоіскрових котушок запалювання з двома високовольтними виводами, що, з одного боку, суттєво здешевлює систему запалювання, а з другого – дає змогу використовувати її тільки для ДВЗ, що мають пару кількість циліндрів.

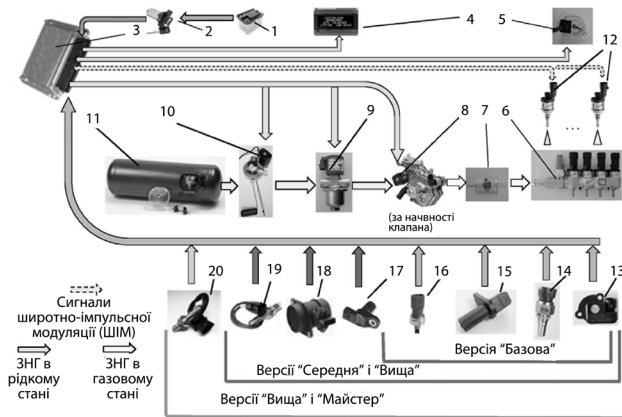


Рис. 2. Принципова схема підсистеми управління живленням та впорскуванням ЗНГ у газовий ДВЗ: 1 – акумулятор; 2 – замок запалювання; 3 – ЕБУ; 4 – рідкокристалічний дисплей (індикатор); 5 – датчик-показник рівня ЗНГ в газовому балоні, інтегрований у мультиклапан; 6 – рейка з газовими електромагнітними форсунками; 7 – фільтр газової парової фази; 8 – газовий редуктор-випарник з дистанційно керованим запірним клапаном; 9 – газовий фільтр з дистанційно керованим запірним клапаном; 10 – мультиклапан з дистанційно керованим робочим клапаном; 11 – газовий балон; 12 – газові електромагнітні форсунки; 13 – датчик кутового положення дросельної заслінки; 14 – датчик температури охолоджувальної рідини; 15 – датчик частоти обертання колінчастого валу і положення ВМТ; 16 – датчик тиску і температури газу в рейці газових форсунок; 17 – датчик положення розподільного валу (датчик Холла); 18 – масовий витратомір повітря з інтегрованим датчиком температури; 19 – лямбда-зонд (перед трикомпонентним каталітичним нейтралізатором); 20 – лямбда-зонд (після трикомпонентного каталітичного нейтралізатора)

У системах запалювання з двоіскровими котушками запалювання на кожні два циліндри припадає по одній котушці запалювання. Двоіскрові котушки запалювання конструктивно об'єднані в один блок. Висока напруга від котушок до свічок запалювання передається за допомогою високовольтних провідів, які на **рис. 3** не показані. Виходи вторинних

обмоток котушок підключаються до свічок запалювання у двох різних циліндрах. У одному з циліндрів такої пари запалювання відбувається в кінці такту «стиснення», що забезпечує так звану «робочу іскру», а в другому – в кінці такту випуску відпрацьованих газів, що створює так звану «холосту іскру». У зв'язку з цим, для забезпечення працездатності систем запалювання з двоіскровими котушками запалювання достатньо тільки датчика частоти обертання колінчастого валу і положення ВМТ.

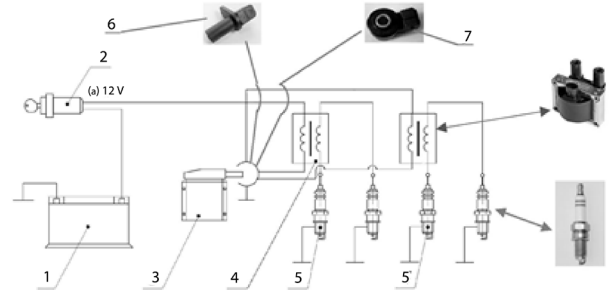


Рис. 3. Принципова схема підсистеми управління запалюванням газового ДВЗ: 1 – акумулятор; 2 – замок запалювання; 3 – ЕБУ; 4 – двоіскрові котушки запалювання; 5 – свічки запалювання; 6 – датчик частоти обертання колінчастого валу і положення ВМТ; 7 – датчик детонації

У «Базовій» версії програмного забезпечення управління підсистемою запалювання здійснюється ЕБУ за сигналами датчика 6 частоти обертання колінчастого валу і положення ВМТ, а також датчика детонації 7. При виникненні в циліндрах газового ДВЗ детонації, підсистема управління запалюванням за сигналом датчика детонації 7 коригує (зменшує) кут випередження запалювання до повного припинення детонації. У «Середній» версії програмного забезпечення, підсистема управління запалюванням обчислює кут випередження запалювання на підставі багатопараметрової характеристики, отриманої експериментальним шляхом.

До того ж варто додати, що для роботи системи запалювання газового ДВЗ обладнаного індивідуальними



а)



б)



в)

Рис. 4. Система наповнення циліндрів зарядом робочої суміші: а) дросельна заслінка; б) регулятор холостого ходу; в) впускний колектор ДВЗ із підсистемою наповнення циліндрів зарядом робочої суміші



котушками запалювання наявність датчика положення розподільного валу (датчик Холла) – обов'язкова. Такі системи відповідають версія системи електронного управління – «Вища» та «Майстер».

Окрім того газовий ДВЗ має бути дообладнано системою наповнення циліндрів зарядом робочої суміші. Система наповнення складається з дросельної заслінки із механічним приводом із датчиком кута повороту дросельної заслінки та механізму байпасного регулювання потоку повітря (регулятора холостого ходу, далі – РХХ). На **рис. 4** показано складові системи наповнення та впускний колектор газового ДВЗ із змонтованою системою наповнення.

Функціонування системи полягає в управлінні ЕБУ роботою РХХ, який забезпечує регулювання витрати повітря, що надходить до ДВЗ через додатковий повітряний канал (байпасний канал) в обхід дросельної заслінки.

Під час роботи на холостому ході в процесі прогрівання холодного газового ДВЗ ЕБУ керує роботою РХХ так, що в міру прогрівання газового ДВЗ, відбувається зниження його частоти обертання. Крім цього, при підключенні додаткових пристроїв (кондиціонера, електровентилятора тощо) за сигналом датчика частоти обертання ЕБУ керує роботою РХХ таким чином, що частота обертання газового ДВЗ на режимі холостого ходу не знижується.

Для роботи газового ДВЗ із головними та додатковими системами (за відсутності у складі дизеля) мають бути встановлені ще і додаткові датчики та пристрої (див. **рис. 1**).

Ефективне управління роботою газовим ДВЗ зі встановленими головними і додатковими системами та датчиками і пристроями здійснюється



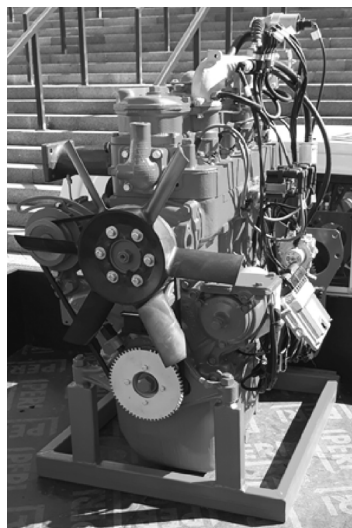
Рис. 5. ЕБУ Avenir Gaz 37



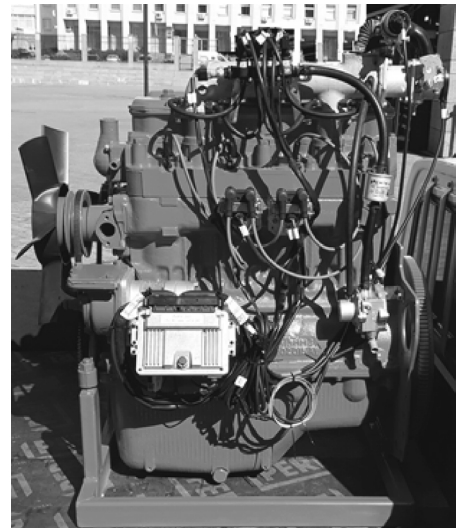
Рис. 6. ЕБУ Avenir Gaz 37 з підключеними роз'ємами та дротами до датчиків і пристроїв



а)



б)



в)

Рис. 7. Зовнішній вигляд газового ДВЗ моделі Д-240-LPG: а) вигляд з правого боку; б) вигляд з переду; в) вигляд з лівого боку



розробленим і виготовленим промисловим зразком ЕБУ Avenir Gaz 37 [6, 7]. Зовнішній вигляд розробленого ЕБУ Avenir Gaz 37 (побудованого на основі мікроконтролера моделі STM32F4) показано на **рис. 5**, а разом із підключеними роз'ємами та джгутами проводів до датчиків і пристроїв показано на **рис. 6**.

На підставі синтез-технології Avenir Gaz із застосуванням універсальної електронної системи управління газовими ДВЗ із багатофункційним ЕБУ Avenir Gaz 37 на базі дизеля Д-240 виготовлено газовий ДВЗ з іскровим запалюванням моделі Д-240-LPG, зовнішній вигляд якого показано на **рис. 7**.

На **рис. 7** показано газовий ДВЗ Д-240-LPG укомплектований двома такими головними сучасними системами, як: система живлення та багаточислового послідовного впорскування ЗНГ типу Common Rail (із впорскуванням газу електромагнітними форсунками до впускного колектора ДВЗ у зону, наближену до впускного клапана) та електронна індуктивна система іскрового запалювання з нерухомим розподільником напруги (з двоіскровими котушками запалювання). До того ж газовий ДВЗ укомплектовано системою управління наповненням циліндрів зарядом робочої суміші.

Висновки

1. Розроблено сучасну українську синтез-технологію Avenir Gaz переобладнання транспортних (тракторних та автомобільних) дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ.

2. Розроблено універсальну електронну систему управління газовими ДВЗ із іскровим запалюванням.

3. Розроблено та виготовлено багатофункційний електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37, безмоторні випробування якого підтвердили його працездатність.

4. На підставі синтез-технології Avenir Gaz із застосуванням універсальної електронної системи управління газовими ДВЗ із ЕБУ Avenir Gaz 37 на базі дизеля Д-240 виготовлено газовий ДВЗ з іскровим запалюванням моделі Д-240-LPG.

5. Подальший напрям робіт пов'язано із проведенням моторних випробувань газового ДВЗ моделі Д-240-LPG та випробуваннями газового ДВЗ як силового агрегату трактора МТЗ-80.

ЛІТЕРАТУРА

1. Переобладнання дизеля самохідного шасі СШ-2540 у газові ДВЗ для роботи на газових моторних паливах / Ковальов, С. О. // Збірник тез доповідей XIII Міжнародної наукової конференції «Рациональне використання енергії в техніці. TechEnergy» (17–19 травня 2017 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2017. – С. 9–11.

2. Разработка газовых ДВС с принудительным зажиганием на базе штатного дизеля Д-120-45 самоходного шасси СШ-2540 / Редзюк,

А. М., Ковальов, С. А. // XXII-міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2017. – С. 46.

3. Розроблення системи управління транспортними газовими ДВЗ з примусовим запалюванням, конвертованими на базі штатних дизелів для роботи на зрідженому нафтовому газі / Ковальов, С. О. // Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя; Міжнародна науково-практична конференція, Київ, Україна, 23–25 травня 2018 року: матеріали конференції. – Київ: НУБіП, 2018. – Т. 5. – С. 174–176.

4. Автомобильный справочник BOSCH. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2000. – 896 с.

5. Системы управления бензиновыми двигателями BOSCH. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. – 432 с.

6. Разработка электронной системы управления газовыми ДВС, переоборудованными на базе транспортных дизелей для работы на сжиженном нефтяном газе / Ковальов, С. А. // Двигатели внутреннего сгорания. Научно-технический журнал. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 2. – С. 55–61.

7. Універсальна електронна система управління газовими ДВЗ з іскровим запалюванням, конвертованими на базі дизелів для роботи на зрідженому нафтовому газі / Ковальов, С. О. // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування. 9-а Міжнародна науково-практична конференція, 13–14 вересня 2018 року. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2018. – С. 272–277.

REFERENCES

1. Koval'ov, S. A. (2017) *Pereobladnannya dy'zelya samoxidnogo shasi SSh-2540 u gazovi DVZ dlya roboty' na gazovy'x motorny'x paly'vax* [Replacement of diesel engine of self-propelled chassis СШ-2540 in gas engines for operation on gas motor fuels]. Proceedings of the XIII Mizhnarodnoyi naukovoyi konferenciyi «Racional'ne vy'kory'stannya energiyi v technici. TechEnergy» (Ukraine, Kyiv, May 17 – 19, 2017), Kyiv: National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine, pp. 9–11.

2. Redzyuk, A. M., Koval'ov, S. O. (2017) *Razrabotka gazovyh DVS s prynuditel'nym zazhiganiem na baze shtatnogo dizelja D-120-45 samohodnogo shasi SSh-2540* [Development of gas engines with forced ignition on the basis of standard diesel D-120-45 self-propelled chassis СШ-2540] (PhD Thesis), Kharkiv: National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute».

3. Koval'ov, S. O. (2018) *Rozroblennya sy'stemy' upravlinnya transportny' my' gazovy' my' DVZ z pry'musovy'm zapalyuvanniam, konvertovany' my' na bazi shtatny'x dy'zeliv dlya roboty' na zridzhenomu naftovomu gazi* [Development of a control system for transport gas vehicles with forced ignition, convertible on the basis of standard diesel engines for operation on liquefied petroleum gas]. Proceedings of the International scientific and practical conference «The goals of sustainable development of the third millennium are challenges for life sciences universities» (Ukraine, Kyiv, May 23 – 25, 2018), Kyiv: National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine, pp. 174–176.

4. ООО «Knizhnoe izdatel'stvo «За рулем» (2000) *Avtomobil'nyj spravochnik BOSCH* [BOSCH Car Directory], Moscow: ООО «Knizhnoe izdatel'stvo «За рулем», 896 p. / in Russian.

5. ООО «Knizhnoe izdatel'stvo «За рулем» (2005) *Sistemy upravlenija benzinovymi dvigateljami BOSCH* [Control systems for petrol engines BOSCH], Moscow: ООО «Knizhnoe izdatel'stvo «За рулем», 432 p. / in Russian.

6. Koval'ov, S. A. (2018) *Razrabotka jelektronnoj sistemy upravlenija gazovymi DVS, pereoborudovannymi na baze transportnyh dizeljev dlja roboty na szhizhenom nefthanom gaze* [Development of an electronic control system for gas internal combustion engines converted on the basis of transport diesel engines to work on liquefied petroleum gas]. Internal combustion engines, no. 2, pp. 55 – 61.

7. Koval'ov, S. O. (2018) *Universal'na elektronna sy'stema upravlinnya gazovy' my' DVZ z iskrovy'm zapalyuvanniam, konvertovany' my' na bazi dy'zeliv dlya roboty' na zridzhenomu naftovomu gazi* [Universal electronic control system for gas-operated diesel engines with spark ignition, convertible diesel engines for operation on liquefied petroleum gas]. Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference the Modern energy installations on transport, technologies and equipment for their maintenance (Ukraine, Kherson, September 13 – 14, 2018), Kherson: Kherson State Maritime Academy, pp. 272 – 277.