

І.В. Парсаданов, С.О. Ковальов, С.В. Плис

РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ БЛОКІВ УПРАВЛІННЯ ГАЗОВИМИ ДВИГУНАМИ

Обґрунтована доцільність конвертування дизелів транспортних засобів у газові двигуни внутрішнього згорання з іскровим запалюванням. Показані переваги використання газових моторних палив, зокрема, зрідженого нафтового газу. Проаналізовані способи подачі та види впорскування зрідженого нафтового газу до впускного трубопроводу газового двигуна. Показано, що найпростішим способом переобладнання дизелів у газові двигуни є обладнання двигуна підсистемою живлення і подачі зрідженого нафтового газу до впускного трубопроводу через газоповітряний змішувач у поєднанні із застосуванням безконтактної електронної підсистеми запалювання з рухомим розподільником напруги. Такий спосіб переобладнання кваліфіковано як перший рівень складності, тобто рівень «А». Для обмеження максимальної частоти обертання газових двигунів, обладнаних згідно рівню «А» з двома підсистемами, розроблено і виготовлено електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37 «А». Описано принцип роботи блока управління Avenir Gaz 37 «А». Проведені випробування газового двигуна Д-240-LPG-«А» із електронним блоком управління Avenir Gaz 37 «А», які підтвердили його працездатність. Показано, що другому рівню складності переобладнання дизелів у газові двигуни відповідає обладнання двигуна акумулятивною підсистемою живлення та багатоточкового групового або послідовного впорскування зрідженого нафтового газу (типу Common Rail) у поєднанні із застосуванням безконтактної електронної підсистеми запалювання з рухомим розподільником напруги та підсистемою управління наповнення циліндрів зарядом робочої суміші. Такий спосіб переобладнання кваліфіковано як другий рівень складності, тобто рівень «В». Для роботи газових двигунів, обладнаних згідно рівню «В» із трьома підсистемами, розроблено і виготовлено електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37 «В». Описано принцип роботи кожної з трьох підсистем, якими обладнано газовий двигун Д-240-LPG-«В». Проведені випробування газового двигуна Д-240-LPG-«В» з блоком управління Avenir Gaz 37 «В», які підтвердили його працездатність.

Ключові слова: електронний мікропроцесорний блок управління, газовий двигун внутрішнього згорання, електронна система управління газовим двигуном, зріджений нафтовий газ.

Вступ

За останні десятиліття у світі і в Україні збільшилась увага до підвищення ефективності роботи транспорту, в першу чергу, за такими аспектами як екологія, енергозбереження і впровадження альтернативних (газових) моторних палив.

Відомо, що для збільшення частки альтернативних джерел енергії у загальній структурі енергозабезпечення транспорту з метою зменшення їх експлуатаційних витрат, а також витрат від забруднення довкілля транспортом, доцільно виробництво або переобладнання (конвертація) дизелів транспортних засобів (ТЗ) у двигуни внутрішнього згорання з іскровим запалюванням, які працюють тільки на газовому моторному паливі [1 - 3].

До найбільш розповсюджених у світі та в Україні екологічно чистих і, разом з тим, дешевих газових моторних палив відносяться зріджений нафтовий газ (ЗНГ), природний газ, суміші природного газу з воднем тощо.

При цьому, в Україні за останні роки найбільш дешевим газовим моторним паливом є ЗНГ (на англ. мові скорочено – LPG). До речі, споживання ЗНГ за останні три роки перевищило споживання ТЗ традиційних бензинів.

Відомо, що переобладнання (конвертація) дизелів ТЗ у ДВЗ із іскровим запалюванням вимагає як часткового розбирання дизеля з повним демонтажем систем живлення та впорскування дизельного палива (включаючи дизельні паливні баки, тру-

бопроводи, фільтри, паливний насос високого тиску разом з регулятором частоти обертання, дизельні форсунки тощо), так і внесення деяких змін до його конструкції. До змін конструкції двигуна відноситься доопрацювання головки блоку циліндрів дизеля (зокрема її отворів від дизельних форсунок) для монтажу свічок запалювання, а для зменшення ступеня стиснення – встановлення нових поршнів із збільшеними об'ємами камер згорання [3 - 5].

До того ж, двигун має бути дообладнано двома такими головними підсистемами:

- підсистемою живлення та подачі газового палива або
- акумулятивною підсистемою живлення та багатоточкового впорскування газового палива (типу Common Rail);
- підсистемою примусового, зокрема, іскрового запалювання.

Слід зауважити, що підсистема живлення та подачі газового палива конструктивно передбачає подачу палива до об'єднаного впускного трубопроводу через газоповітряний змішувач, встановлений перед дросельним пристроєм (дросельною заслінкою).

У свою чергу, акумулятивна підсистема живлення та впорскування газового палива (типу Common Rail) конструктивно передбачає впорскування палива газовими електромагнітними форсунками до патрубку впускного трубопроводу кожного

циліндру.

Акумулятивні підсистеми живлення та багаточислового впорскування газового палива (типу Common Rail) залежно від способу управління газовими електромагнітними форсунками підрозділяються на системи, що забезпечують [6]:

– синхронне впорскування (при якому кількість палива, необхідна для згорання, ділиться на дві рівні частини і кожна з них всіма газовими форсунками одночасно впорскується на кожному обороті колінчастого вала);

– групове впорскування (при якому повна кількість газового палива, необхідна для згорання, по чергові впорскується тільки відповідною парою газових форсунок);

– послідовне впорскування (при якому повна кількість газового палива, необхідна для згорання, впорскується у послідовності, яка відповідає порядку роботи циліндрів);

– індивідуальне впорскування (при якому газове паливо впорскується як і при послідовному впорскуванні, але момент початку впорскування для кожного циліндра індивідуальний).

З чотирьох приведених вище способів впорскування синхронне впорскування ЗНГ, в результаті деяких недоліків (впорскування ЗНГ через деякі відкриті впускні клапани, різний час на створення гомогенної газоповітряної суміші в циліндрах тощо) на цей час не застосовується.

У свою чергу, для реалізації індивідуального впорскування ЗНГ, яке потребує достатньо високу частоту опитування датчика частоти обертання, а також високу швидкість оброблення інформації, необхідно застосовувати електронний блок управління, створений на платформі високопродуктивного 32-х розрядного мікроконтролера. До того, мікроконтролер повинен мати високу обчислювальну потужність (продуктивність). Застосування такого електронного блока управління доцільно для реалізації індивідуального впорскування ЗНГ разом із електронною підсистемою запалювання з нерухомим розподільником напруги та двохіскровими або індивідуальними котушками запалювання. Для зменшення шкідливих викидів у ВГ двигуна, електронний блок управління має управляти підсистемою нейтралізації відпрацьованих газів (з трикомпонентним каталітичним нейтралізатором і двома лямбда-зондами та додатковим накопичувальним нейтралізатором), підсистемою рециркуляції відпрацьованих газів, підсистемою управління детонацією та іншими підсистемами.

Отже, синхронне (враховуючи достатню кількість недоліків) та індивідуальне впорскування (яке є темою окремого дослідження) у цій статті не розглядаються.

Другою головною підсистемою є підсистема примусового, зокрема, електронного іскрового за-

палювання. Для комплектації газового ДВЗ обрано безконтактну електронну систему запалювання (БЕСЗ) з рухомим розподільником напруги.

Крім того, газовий ДВЗ має бути дообладнано підсистемою управління наповнення циліндрів зарядом робочої суміші (що складається з дросельної заслінки з механічним приводом із датчиком кута повороту заслінки) і механізмом байпасного регулювання потоку повітря.

Крім цього, газовий ДВЗ для виконання відповідних екологічних вимог може бути дообладнаний такими додатковими підсистемами як: підсистема нейтралізації відпрацьованих газів (з трикомпонентним каталітичним нейтралізатором і одним або двома лямбда-зондами), підсистема рециркуляції відпрацьованих газів (ВГ) та ін.

Таким чином, стає очевидним, що ефективне управління роботою газового ДВЗ може здійснюватися тільки системами електронного мікропроцесорного управління, основою яких є електронні мікропроцесорні блоки управління.

Мета роботи – розроблення електронних мікропроцесорних блоків управління різного рівня складності для забезпечення ефективного управління роботою газових ДВЗ із підсистемами живлення та подачі ЗНГ або багаточислового впорскування ЗНГ (типу Common Rail), безконтактною електронною підсистемою запалювання з рухомим розподільником напруги та підсистемою управління наповнення циліндрів зарядом робочої суміші.

Основна частина

Для управління роботою газового ДВЗ, укомплектованого двома такими головними системами як: системою живлення і подачі ЗНГ (через газоповітряний змішувач) до впускного трубопроводу, а також БЕСЗ з рухомим розподільником напруги, було розроблено електронний блок управління Avenir Gaz 37 «А», який відповідає першому рівню складності (класифікованому як рівень «А»).

Необхідність розроблення цього блоку обґрунтована тим, що за відсутності у газовому ДВЗ (з такою найбільш простішою комплектацією) механічного або електронного регулятора частоти обертання двигуна, демонтованого разом з паливним насосом високого тиску при роботі на режимах примусового холостого ходу, максимальна частота обертання двигуна може бути перевищена. Таке перевищення максимальної частоти обертання газового ДВЗ може привести до його руйнування. Отже, з метою уникнення перевищення максимальної частоти обертання газового ДВЗ (встановленої заводом-виробником для відповідної моделі дизеля) було розроблено і виготовлено мікропроцесорний електронний блок управління Avenir Gaz 37 рівня «А» (далі - Avenir Gaz 37 «А»), який показано на рис. 1.

Працює електронний блок управління Avenir Gaz 37 «А» наступним чином [7]. Сигнал від штатного датчика Холла, що входить до складу трамблера системи запалювання, подається на клему її електронного комутатора і дублюється до блоку Avenir Gaz37 «А». Цей сигнал, частота імпульсів якого пропорційна поточній частоті обертання колінчастого вала, обробляється блоком Avenir Gaz 37 «А» і порівнюється з наперед запрограмованою величиною максимальної частоти. У разі, коли величина поточної частоти обертання двигуна досягає величини запрограмованої максимальної частоти обертання, електронний блок управління знімає сигнал (напругу) +12 V з котушки реле, що знаходиться на платі електронного блока управління. В результаті, контакти реле розмикаються і запірні електромагнітні клапани системи живлення і подачі ЗНГ (інтегровані у мультиклапан, газовий фільтр та редуктор-випарник) закриваються. Водночас, подача ЗНГ від газового балона до газоповітряного змішувача припиняється.



а) б) в)
Рис. 1. Електронний блок управління Avenir Gaz 37 рівня «А»:

а – зовнішній вигляд ЕБУ Avenir Gaz 37 «А»;
б – плата електронного блока управління;
в – газовий ДВЗ Д-240-LPG-«А»

Як наслідок, двигун по інерції продовжує обертатися, але частота обертання колінчастого вала (за відсутності подачі ЗНГ) падає і після її зменшення (на величину наперед запрограмованого гістерезису) блок управління подає на котушку реле сигнал +12 V. Контакти реле замикаються і запірні електромагнітні клапани (інтегровані у мультиклапан, газовий фільтр та редуктор-випарник) знов відкриваються. ЗНГ від газового балона знову надходить до газоповітряного змішувача. Двигун запускається, але працює вже на меншій частоті обертання колінчастого вала.

Блок управління запрограмований таким чином, що через контакти реле подає сигнал +12 V до запірних електромагнітних клапанів (інтегрованих у мультиклапан, газовий фільтр та редуктор-випарник) тільки на момент початку запуску (момент початку обертання) газового двигуна. Таким чином, блок управління унеможливує подачу ЗНГ до газоповітряного змішувача та впускного трубопроводу до моменту початку запуску газового двигуна, що підвищує безпеку його експлуатації.

Електронний блок управління Avenir Gaz 37

«А» було побудовано на платформі 8-розрядного мікроконтролера PIC16F (Microchip Technology Inc.) з тактовою частотою 20 МГц. Обчислювальна потужність (продуктивність) мікроконтролера досягає 5 DMIPS.

Роботу блока управління Avenir Gaz 37 «А» було перевірено у складі конвертованого газового двигуна Д-240-LPG-«А» при проведенні стендових випробувань на електричному навантажувальному стенді Zöllner (рис. 1, в). Проведенні випробування показали працездатність блока управління Avenir Gaz 37 «А». Так, запірні електромагнітні клапани інтегровані у мультиклапан, газовий фільтр та редуктор-випарник відкриваються тільки після моменту початку обертання газового двигуна. До того, блок управління Avenir Gaz 37 «А» забезпечив обмеження максимальної, наперед запрограмованої, частоти обертання газового ДВЗ, яка дорівнює 2250 хв^{-1} та гістерезис, який дорівнює 50 хв^{-1} .

Блок управління Avenir Gaz 37 «А» було розроблено і виготовлено з можливістю перепрограмування величини пускової частоти обертання газового ДВЗ, що відповідає моменту відкриття запірних електромагнітних клапанів при запуску газового двигуна, а також величин максимальної частоти обертання газового ДВЗ та гістерезису.

Роботи із розроблення та дослідження електронного блока управління Avenir Gaz 37 «А» на сьогодні завершені [7, 8].

На цей час проводяться роботи із розроблення та дослідження блока управління Avenir Gaz 37 другого рівня складності – рівня «В». Цей електронний блок управління призначено для керування роботою газового ДВЗ, укомплектованого двома такими головними підсистемами як: підсистема живлення і багатоточкового групового або послідовного впорскування газовими електромагнітними форсунками ЗНГ до впускного трубопроводу (підсистема типу Common Rail) та безконтактна електронна підсистема запалювання з рухомим розподільником напруги.

Для управління роботою підсистеми багатоточкового **групового впорскування ЗНГ** блоку управління Avenir Gaz 37 «В» достатньо отримувати інформацію (сигнал) лише величини частоти обертання колінчастого вала. Цей сигнал генерується датчиком частоти обертання колінчастого вала завдяки проходженню повз нього спеціального задаючого диску 60-2, встановленого (рис. 2) на доопрацьованому шківі колінчастого вала. Відмінностями розробленого блока управління Avenir Gaz 37 «В» є те, що він має зв'язок як з датчиком частоти обертання колінчастого вала, так і з датчиком Холла рухомого розподільника запалювання (трамблера) [9].

Це забезпечує можливість розрахунку величини

ни поточної частоти обертання колінчастого вала двигуна на підставі сигналів датчика частоти обертання та/або датчика Холла.

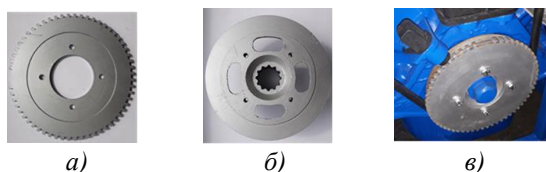


Рис. 2. Встановлення задаючого диску із шківом колінчастого вала та датчиком частоти обертання на газовому ДВЗ Д-240-LPG-«В»: а – задаючий диск типу 60-2; б – доопрацьований шків колінчастого вала; в – місце встановлення шківу із задаючим диском та датчиком частоти обертання на газовому ДВЗ

Тим самим, підвищується надійність роботи електронного блоку управління і забезпечується безаварійна робота двигуна при виході з ладу датчика частоти обертання.

Крім двох головних підсистем, блок управління керує підсистемою наповнення циліндрів зарядом робочої суміші, яка складається з дросельної заслінки та регулятора холостого ходу (далі – РХХ) з конічним шибером. Елементи підсистеми наповнення наведено на рис. 3.



Рис. 3. Підсистема наповнення циліндрів зарядом робочої суміші: а – дросельна заслінка; б – регулятор холостого ходу; в – впускний колектор ДВЗ із підсистемою наповнення циліндрів

Ще однією особливістю електронного блоку управління є здатність розраховувати і змінювати величину мінімальної частоти обертання холостого ходу колінчастого вала двигуна залежно від температури охолоджуючої рідини двигуна. Зміна величини мінімальної частоти обертання холостого ходу відбувається за рахунок керування положенням заслінки (шибера) РХХ та величини подачі (впорскування) ЗНГ.

Блок управління здатний розраховувати і тимчасового збільшувати величину подачі (впорскування) ЗНГ та збільшувати відкриття заслінки (шибера) РХХ в період перехідного процесу при збільшенні навантаження на двигун.

Для управління роботою підсистеми багаточислового **послідовного впорскування ЗНГ** блоку управління Avenir Gaz 37 «В» необхідно отримувати інформацію (сигнал) як від датчика частоти обе-

ртання колінчастого вала, так і інформацію (сигнал) про положення розподільного вала. У разі відсутності у комплектації дизелів датчика положення розподільного вала та спеціального задаючого диска, встановленого на розподільному валу, реалізувати послідовне впорскування можливо шляхом модернізації безконтактної електронної підсистеми запалювання з рухомим розподільником напруги [10].

Крім головних функцій, електронний блок управління Avenir Gaz 37 «В» виконує таку додаткову функцію як регулювання системи нейтралізації відпрацьованих газів (з трьохкомпонентним каталітичним нейтралізатором та одним лямбда-зондом).

В результаті, блок управління Avenir Gaz 37 рівня «В» (див. рис. 4) було розроблено для забезпечення групового або послідовного впорскування ЗНГ до впускного трубопроводу в поєднанні із безконтактною штатною або модифікованою електронною підсистемою запалювання з рухомим розподільником напруги, а також підсистемою наповнення циліндрів зарядом робочої суміші.

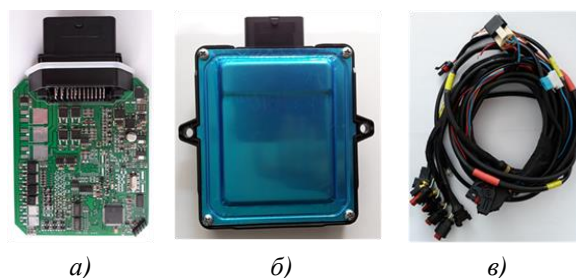


Рис. 4. Багатофункціональний мікропроцесорний електронний блок управління Avenir Gaz 37 «В»: а – плата Avenir Gaz 37 «В» в зборі; б – зовнішній вигляд ЕБУ; в – джгути проводів з'єднання блока управління з датчиками і пристроями

Електронний блок управління Avenir Gaz 37 «В» було побудовано на платформі високопродуктивного 16-розрядного мікроконтролера PIC24F (Microchip Technology Inc.) з технологією nanoWatt XLP, яка забезпечує наднизьке енергоспоживання. Максимальна тактова частота – 32 МГц. Обчислювальна потужність (продуктивність) мікроконтролера при робочій частоті досягає 16 DMIPS.

Для візуалізації роботи системи електронного управління газового ДВЗ в цілому, використовується 20-ти символний 4-х рядковий рідкокристалічний індикатор (дисплей) моделі WH2004A-PLL-STVE.

Для проведення пуско-налагоджувальних робіт електронний блок управління підключається до персонального комп'ютера за допомогою перетворювача інтерфейсів USB-UART, створеного на базі мікроконтролера моделі PIC16F1825 і перетворювача інтерфейсу FT232.

На рис. 5 показано газовий ДВЗ Д-240-LPG-

«В» з підсистемою багатоточкового впорскування ЗНГ, безконтактною електронною підсистемою запалювання з рухомим розподільником напруги, підсистемою наповнення циліндрів зарядом робочої суміші та блоком управління Avenir Gaz 37 «В».



а) б)
Рис. 5. Газовий ДВЗ Д-240-LPG-«В» з електронним блоком управління Avenir Gaz 37«В»: а – газовий ДВЗ моделі Д-240-LPG-«В»; б – підсистема наповнення циліндрів зарядом робочої суміші

Проведені безмоторні випробування електронного блока управління Avenir Gaz 37«В» та моторні випробування газового ДВЗ Д-240-LPG-«В» з блоком управління Avenir Gaz 37«В», підтвердили його працездатність (виконання головних та додаткових функцій), які показали, що обчислювальна потужність (продуктивність) електронного блоку з мікроконтролером моделі PIC24F дозволяє управляти роботою газового ДВЗ в реальному масштабі часу.

Висновки

Розроблено і виготовлено електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37 «А», призначений для обмеження максимальної частоти обертання газових ДВЗ з подачею ЗНГ до впускного трубопроводу через газоповітряний змішувач та БЕСЗ.

Моторні випробування блока управління Avenir Gaz 37 «А» у складі газового ДВЗ Д-240-LPG-«А» підтвердили його працездатність і виконання головних функцій.

Розроблено і виготовлено електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37 «В», призначений для керування роботою газового ДВЗ Д-240-LPG-«В» з підсистемою багатоточкового групового або послідовного впорскування ЗНГ, безконтактною штатною або модифікованою електронною підсистемою запалювання з рухомим розподільником напруги та підсистемою наповнення циліндрів зарядом робочої суміші.

Моторні випробування газового ДВЗ Д-240-LPG-«В» з блоком управління Avenir Gaz 37«В» на пускових режимах та режимах навантаження підтвердили його працездатність і виконання головних та додаткових функцій.

Подальший напрямок робіт пов'язано з визначенням енергетичних, ефективних та екологіч-

них параметрів газового ДВЗ Д-240-LPG-«В» на електричному навантажувальному стенді.

Список літератури:

1. Автомобильный справочник BOSCH. Перевод с англ. Первое русское издание. – М.: Издательство «За рулем», 2000. – 896 с. 2. Генкин К. И. Газовые двигатели. М., Машиностроение, 1977. 196 с. 3. Ковальов С.О. Розроблення електронної системи управління газовими ДВЗ з примусовим запалюванням, переобладнаними на базі дизелів для роботи на зрідженому нафтовому газі / С.О. Ковальов // Науково-виробничий журнал «Автошляховик України». – 2018. – № 4. – С. 12 – 18. 4. Захарчук В.І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. - Луцьк: ЛНТУ, 2011 – 233 с. 5. Ковальов С. О. Камера згоряння газового ДВЗ, конвертованого на базі дизеля для роботи на зрідженому нафтовому газі / Ковальов С.О. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2019. – № 1. – С. 15 – 20. 6. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. – 432 с.: ил. 7. Ковальов С.О., Плис С.В., Ковальчук В.В. Патент України на корисну модель № 142853. Система управління роботою газового двигуна внутрішнього згоряння із іскровим запалюванням та електронним блоком управління. Заявка № и 2020 01334 від 27.02.2020; опубліковано 25.06.2020. Бюлетень № 12. 8. Ковальов С. О. Розроблення та дослідження газового двигуна Д-240-LPG, конвертованого на базі тракторного дизеля / Ковальов С.О. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2019. – № 2. – С. 18 – 25. 9. Ковальов С. О., Плис С.В. Система управління роботою двигуна внутрішнього згоряння із електронним блоком управління, для забезпечення групового впорскування газового палива. Заявка на патент України на корисну модель № и 2020 03041 від 21.05.2020. 10. Ковальов С. О. Система управління роботою двигуна внутрішнього згоряння із електронним блоком управління, для забезпечення послідовного впорскування газового палива. Заявка на патент України на корисну модель № и 2020 032826 від 25.06.2020.

Bibliography (transliterated):

1. Bosch R. GmbH. (Hrsg.) Ottomotor-Management. 1 Aufl. – Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1998. 372 p. 2. Genkin, K. (1977), Gas engines. [Газовые двигатели.], Mechanical Engineering, Moscow, 196 p. 3. Kovalov S.O. (2018), "Development of electronic control system for gas engines with forced ignition, retrofitted on the basis of diesel engines for operation on liquefied petroleum gas", Scientific and production magazine "Auto road builder of Ukraine" ["Rozroblennyya elektronnoyi sistemi upravlinnya gazovimi dvigatel ami z primusovim zapalyuvannyam, pereobladnanimi na bazi dizeliv dlya roboti na zridzhenomu naftovomu gazi", Naukovo-virobnichiy zhurnal "Avtozhlyahovik Ukrainy", No 4, pp. 12 – 18. 4. Zakharchuk, V. (2011), Fundamentals of Theory and Design of Automotive Engines: A Textbook for Students of Higher Education. [Osnovi teoriiyi ta konstruktivniyi avtomobilnih dviguniv: Navchalnyi posibnik dlya studentiv vischih navchalnih zakladiv.], LNTU, Lutsk, 233 p. 5. Kovalov S. O. (2019), "Combustion chamber for gas-engines, converted on the basis of diesel to work for on liquefied petroleum gas". Internal combustion engines ["Kamira zgoriyannya gazovogo DVZ, konvertovanogo na bazi dizelya dlya roboti na zridzhenomu naftovomu gazi", No 1, pp. 15–20. 6. Bosch R. GmbH. Ottomotor-Management. 2 Auflage. – Chefredaktion: Dipl.-Ing. (FH) Horst Bauer. – Springer Fachmedien Wiesbaden, 2003. 418 p. 7. Kovalov S.O., Plis S.V., Kovalchuk V.V. (2020), Patent of Ukraine for a utility model № 142853. The control system of

the gas internal combustion engine with spark ignition and electronic control unit. № u 2020 01334 it is stated 27.02.2020; it is published 25.06.2020. Bulletin № 12. 8. Kovalov S. O. (2019), "Development and research of gas engine D-240-LPG converted on the basis of a tractor diesel", *Internal combustion engines* ["Rozroblenniya ta dosludzhennya gazovogo dviguna D-240-LPG, konvertovanogo na bazi traktornogo dizelya"], No 2, pp. 18–25. 9. Kovalov S.O., Plis S.V. (2020), *Ukrainian*

an patent application for a utility model № u 2020 03041 it is stated 21.05.2020. The control system of the internal combustion engine with an electronic control unit, to provide group injection of gas fuel. 10. Kovalov S. O. (2020), *Ukrainian patent application for a utility model № u 2020 03826 it is stated 25.06.2020. The control system of the internal combustion engine with an electronic control unit, to ensure sequential injection of gas fuel.*

Надійшла до редакції 05.07.2020 р.

Парсаданов Ігор Володимирович – доктор техн. наук, проф., головний науковий співробітник кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua, <http://orcid.org/0000-0003-0587-4033>.

Ковальов Сергій Олександрович – канд. техн. наук, ст. науч. спів., заступник завідувача лабораторії дослідження використання палив та екології Державного підприємства «Державний автотранспортний науково-дослідний та проектний інститут», Київ, Україна, e-mail: skovalev@insat.org.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3107-530X>

Плис Сергій Васильович – радіоінженер, фізична особа підприємець, Кременчук, Україна, ultrasat@gmail.com

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ БЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

И.В. Парсаданов, С.А. Ковалёв, С.В. Плис

Обоснована целесообразность переоборудования дизелей транспортных средств в газовые двигатели внутреннего сгорания с искровым зажиганием. Показаны преимущества использования газовых моторных топлив, в частности, сжиженного нефтяного газа. Проанализированы способы подачи и виды впрыскивания сжиженного нефтяного газа во впускной трубопровод газового двигателя. Показано, что самым простым способом переоборудования дизелей в газовые двигатели является оборудование двигателя подсистемой питания и подачей сжиженного нефтяного газа во впускной трубопровод через газоздушный смеситель в сочетании с применением бесконтактной электронной подсистемой зажигания с подвижным распределителем напряжения. Такое переоборудование квалифицировано как первый уровень сложности, то есть уровень «А». Для ограничения максимальной частоты вращения газовых двигателей, оборудованных согласно уровню «А» двумя подсистемами, разработан и изготовлен электронный микропроцессорный блок управления Avenir Gaz 37 «А». Описан принцип работы блока управления Avenir Gaz 37 «А». Проведены испытания газового двигателя Д-240-LPG-«А» с электронным блоком управления Avenir Gaz 37 «А», которые подтвердили его работоспособность. Показано, что второму уровню сложности переоборудования дизелей в газовые двигатели соответствует оборудование двигателя аккумуляторной подсистемой питания и многоточечного группового или последовательного впрыскивания сжиженного нефтяного газа (типа Common Rail) в сочетании с применением бесконтактной электронной подсистемой зажигания с подвижным распределителем напряжения и подсистемой управления наполнения цилиндров зарядом рабочей смеси. Такой способ переоборудования квалифицировано как второй уровень сложности, то есть уровень «В». Для работы газовых двигателей, оборудованных согласно уровню «В» тремя подсистемами, разработан и изготовлен электронный микропроцессорный блок управления Avenir Gaz 37 «В». Описан принцип работы каждой из трех подсистем, которыми оборудован газовый двигатель Д-240-LPG-«В». Проведены испытания газового двигателя Д-240-LPG-«В» с блоком управления Avenir Gaz 37 «В», которые подтвердили его работоспособность.

Ключевые слова: электронный микропроцессорный блок управления, газовый двигатель внутреннего сгорания, электронная система управления газовым двигателем, сжиженный нефтяной газ.

DEVELOPMENT OF ELECTRONIC MICROPROCESSOR UNITS OF GAS ENGINE CONTROL

I.V. Parsadanov, S.O. Kovaliov, S.V. Plis

The expediency of converting vehicles diesel engines into gas internal combustion engines with spark ignition has been substantiated. The advantages of using gas motor fuels, in particular, liquefied petroleum gas, are shown. Methods of supply and types of injection of liquefied petroleum gas into the inlet pipeline of a gas engine are analyzed. It is shown that the simplest way to convert diesel engines to gas engines is to equip the engine with a power supply subsystem and supply of liquefied petroleum gas to the inlet pipeline through a gas-air mixer in combination with the use of a contactless electronic ignition subsystem with a movable voltage distributor. Such re-equipment is qualified as the first level of complexity, that is, level "A". To limit the maximum gas engines speed equipped with two subsystems according to level "A", an electronic microprocessor control unit Avenir Gaz 37 "A" has been developed and manufactured. The principle of operation of the Avenir Gaz 37 "A" control unit is described. Tests of the D-240-LPG-"A" gas engine with the electronic control unit Avenir Gaz 37 "A" were carried out, which confirmed its performance. It is shown that the second level of complexity of converting diesels into gas engines corresponds to the equipment of the engine with an accumulative power supply subsystem and multi-point group or sequential injection of liquefied petroleum gas (Common Rail type) in combination with the use of a contactless electronic ignition subsystem with a movable voltage distributor and a subsystem for controlling the filling of cylinders with the charge of the working mixture. This method of converting is qualified as the second level of complexity, that is, level "B". For the operation of gas engines equipped with three subsystems according to level "B", an electronic microprocessor control unit Avenir Gaz 37 "B" has been developed and manufactured. The principle of operation of each of the three subsystems equipped with D-240-LPG-"B" gas engine is described. The tests of the D-240-LPG-"B" gas engine with the Avenir Gaz 37 "B" control unit were carried out, which confirmed its performance.

Key words: electronic microprocessor control unit, gas internal combustion engine, electronic control system of gas engine, liquefied petroleum gas.