

УДК 621.433.2:621.436

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.215007

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГАЗОВИМИ ДВИГУНАМИ, КОНВЕРТОВАНИМИ НА БАЗІ ДИЗЕЛІВ

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

Об'єктом дослідження є електронна мікропроцесорна система управління газовими двигунами внутрішнього згорання з іскровим запалюванням для роботи на зрідженому нафтовому газі. Система складається з двох головних підсистем, таких як акумулювальна підсистема живлення та багатоточкового впорскування зрідженого нафтового газу типу Common Rail та безконтактна електронна підсистема запалювання з рухомим розподільником напруги. Крім того, до системи управління входить і підсистема управління наповнення циліндрів зарядом робочої суміші, яка складається з дросельної заслінки та регулятора холостого ходу з конічним шибером. Система управління залежно від версії програмного забезпечення здатна реалізовувати групове або послідовне впорскування зрідженого нафтового газу до впускного патрубку кожного циліндра в зону, наближену до впускного клапана. Така система управління може бути використана при конвертації (переобладнанні) як нових дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням, так і тих, що перебувають в експлуатації. Доцільність такої конвертації полягає в зменшенні експлуатаційних витрат потужними транспортними засобами на дизельне паливо, за рахунок його заміщення більш дешевим та екологічно чистим зрідженим нафтовим газом.

З метою перевірки ефективності роботи системи управління розроблено та створено газовий двигун моделі Д-240-LPG-«В» для роботи на зрідженому нафтовому газі. Газовий двигун конвертовано на базі транспортного дизеля Д-240 (атмосферний, чотирьохтактний, рідинного охолодження, 4-х циліндровий двигун з діаметром поршня 110 мм та ходом 125 мм). Зменшення ступеня стиснення дизеля досягнуто шляхом доопрацювання напівзакритої дизельної камери згорання типу ЦНІДІ у відкриту камеру згорання в формі вісісиметричного «усіченого конусу». Для ефективного управління трьома підсистемами газового двигуна моделі Д-240-LPG-«В», розроблено і виготовлено електронний мікропроцесорний блок управління моделі Avenir Gaz 37 «В». Проведені випробування газового двигуна Д-240-LPG-«В» з блоком управління Avenir Gaz 37 «В» показали ефективність використання електронної мікропроцесорної системи управління.

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

1. Вступ

Багато дослідників та підприємств як у світі, так і в Україні [1–3] займаються конвертацією транспортних дизелів у двигуни внутрішнього

згоряння (далі – ДВЗ) із іскровим запалюванням для роботи на газових моторних паливах.

При цьому, головною особливістю цих конвертацій є вибір способу зменшення ступеня стиснення дизелів. До них відносяться три найбільш відомих способи. Перший – це встановлення додаткових прокладок головки блоку циліндрів [1, 3], який приводить до суттєвого погіршення екологічних параметрів конвертованого газового ДВЗ. Другий – це застосування термодинамічного циклу Міллера, який забезпечує зниження не геометричного, а фактичного ступеня стиснення [4, 5]. Але треба зауважити, що застосування циклу Міллера, при якому дизельна форма камери згоряння залишається без змін, не вирішує головної проблеми забезпечення енергоефективної та екологічної роботи газового ДВЗ. Та найбільш поширений третій спосіб – це зменшення фактичного ступеня стиснення, яке забезпечується збільшенням об'єму камери згоряння [6–8]. Способи збільшення об'єму камери згоряння для різних форм камер згоряння детально проаналізовано в роботі [9].

Друга головна відмінність цих конвертацій є застосування одного з двох найбільш розповсюджених видів газових моторних палив – стисненого природного газу (далі – СПГ) або зрідженого нафтового газу (далі – ЗНГ). При цьому, необхідно зауважити, що у більшій частині робіт з конвертації транспортних дизелів у газові ДВЗ, в якості моторного палива використовувався СПГ. Але недоліком використання СПГ як моторного палива для транспортних засобів (далі – ТЗ) є необхідність встановлення значної кількості достатньо важких автомобільних газових балонів. Це у свою чергу вимагає зменшення або пасажиромісності чи вантажності ТЗ. На відміну від СПГ використання ЗНГ завдяки своїй об'ємній енергетичній щільності, яка наближена до бензинів та дизельного палива, не вимагає такої зміни.

Крім того, відомо, що споживання ЗНГ транспортними засобами у світі за останні роки суттєво збільшилось, в той час як їх кількість перевищила 25 млн. [10].

Отже, *об'єктом дослідження* є електронна мікропроцесорна система управління газовими ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ. А *метою роботи* є розроблення та дослідження електронної мікропроцесорної системи управління газовим ДВЗ із електронним блоком управління (далі – ЕБУ) Avenir Gaz 37 «В», що забезпечує групове або послідовне впорскуванням ЗНГ.

2. Методи проведення досліджень

При проведенні дослідження використовувалися:

- безмоторні випробування електронного блока управління Avenir Gaz 37 «В» на спеціально створеному моделюючому стенді;
- стендові (моторні) випробування електронної мікропроцесорної системи управління газовим ДВЗ із електронним блоком управління Avenir Gaz 37 «В» у складі газового двигуна моделі Д-240-LPG-«В».

Для проведення пуско-налагоджувальних робіт ЕБУ Avenir Gaz 37 «В» було розроблено та виготовлено спеціальний моделюючий стенд. Стенд складався з вхідних датчиків та пристроїв, а також виконавчих елементів та пристроїв, що входять до складу електронної мікропроцесорної системи

управління 4-х циліндровим газовим ДВЗ. До вхідних датчиків стенда входять:

- датчик частоти обертання і кутового положення колінчастого валу та датчик Холла трамблера (сигнали від яких були промодельовані генераторами імпульсів);
- датчик кутового положення дросельної заслінки;
- датчик температури охолоджуючої рідини.

До виконавчих елементів та пристроїв стенда входять:

- газова рейка типу Common Rail з чотирма низькоомними газовими електромагнітними форсунками;
- три електромагнітні клапана (які входять до складу редуктора-випаровувача, мультиклапана газового балона та клапана-фільтра ЗНГ);
- регулятор холостого ходу.

Всі елементи спеціального обладнання, що входять до складу системи живлення та групового чи послідовного впорскування ЗНГ, відповідають вимогам [11, 12].

Зменшення ступеня стиснення дизеля Д-240 ($\epsilon=6$) проводилось третім способом. Так, напівзакрита дизельна камера згоряння типу ЦНІДІ була перетворена у відкриту камеру згоряння в формі вісісиметричного «усіченого конусу» із $\epsilon=9,5$ [9].

Стендові випробування електронної мікропроцесорної системи управління газовим ДВЗ моделі Д-240-LPG-«В» із ЕБУ Avenir Gaz 37 «В» проводились на електричному навантажувальному стенді Zöllner (Німеччина) типу В-350АС (рис. 1).

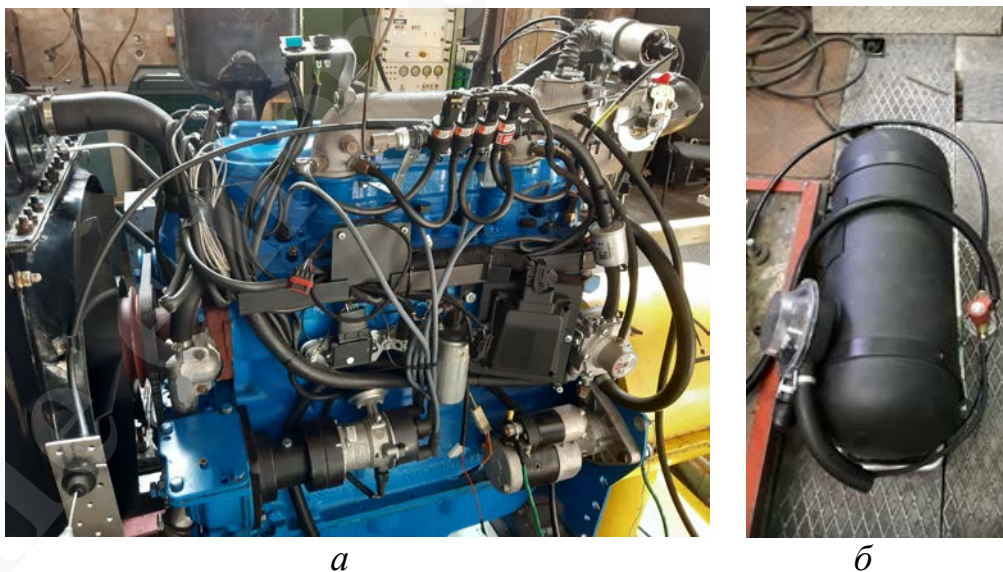


Рис. 1. Фотографія газового двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) Д-240-LPG-«В», встановленого на електричному навантажувальному стенді Zöllner типу В-350АС: *а* – газовий ДВЗ на стенді; *б* – газовий балон для живлення газового ДВЗ зрідженим нафтовим газом

Стенд обладнано модернізованою мікропроцесорною системою вимірювання та керування. Система вимірює, розраховує та зберігає всі необхідні при стендових випробуваннях параметри газового ДВЗ, а також фіксує параметри навколишнього середовища в боксі випробувань.

3. Результати дослідження та обговорення

Для керування роботою газового ДВЗ було розроблено та виготовлено багатофункціональний мікропроцесорний ЕБУ Avenir Gaz 37 «В» (рис. 2). Двигун був укомплектований трьома підсистемами:

- акумулятивною підсистемою живлення та багатоточкового впорскування газовими електромагнітними форсунками ЗНГ;
- безконтактною електронною підсистемою запалювання (далі – БЕСЗ) з рухомим розподільником напруги;
- підсистема управління наповнення циліндрів зарядом робочої суміші.



Рис. 2. Багатофункціональний мікропроцесорний електронний блок управління (ЕБУ) Avenir Gaz 37 «В»: *а* – плата Avenir Gaz 37 «В» у зборі; *б* – зовнішній вигляд ЕБУ; *в* – джугти проводів для з'єднання блока управління з датчиками та пристроями

ЕБУ Avenir Gaz 37«В» побудовано на платформі високопродуктивного 16-розрядного мікроконтролер PIC24F (Micro-chip Technology Inc.) з технологією nanoWatt XLP, яка забезпечує наднизьке енергоспоживання. Пристрій включає розширені функції низького енергоспоживання, в тому числі режим низької напруги. Максимальна тактова частота – 32 МГц. Обчислювальна потужність (продуктивність) мікроконтролера при робочій частоті досягає 16 DMIPS.

Проведені безмоторні випробування ЕБУ Avenir Gaz 37«В» підтвердили його працездатність і показали, що обчислювальна потужність (продуктивність) ЕБУ з мікроконтролером моделі PIC24F дозволяє управляти роботою газового ДВЗ в масштабі реального часу.

Стендові випробування газового двигуна моделі Д-240-LPG-«В» з розробленими електронною мікропроцесорною системою управління та ЕБУ Avenir Gaz 37 «В» підтвердили забезпечення як групового, так і послідовного впорскування ЗНГ.

Принципи роботи розробленої системи електронного мікропроцесорного управління транспортним газовим ДВЗ із ЕБУ Avenir Gaz 37 «В», яка забезпечує групове впорскування ЗНГ, детально описані в роботі [13]. Новим у

цій системі управління є наявність електронного зв'язку ЕБУ з датчиком Холла трамблера, що забезпечує безаварійну роботу системи в разі виходу з ладу датчика частоти обертання колінчастого валу двигуна.

У свою чергу, принципи роботи розробленої системи електронного мікропроцесорного управління транспортним газовим ДВЗ із ЕБУ Avenir Gaz 37 «В», яка забезпечує послідовне впорскування ЗНГ, описані в роботі [14]. Новим у цій системі управління є можливість реалізувати послідовне впорскування ЗНГ у ДВЗ, у штатній комплектації якого відсутні датчик положення розподільного валу та спеціальний задаючий диск, встановлений на розподільному валу. Для реалізації цього була проведена модифікація системи запалювання шляхом внесення змін у конструкцію штатного задавального диску (обтюратора) трамблера. Штатний задавальний диск (обтюратор) модифіковано шляхом збільшення довжини дуги сектора окружності прорізі першого циліндру. Завдяки цьому ЕБУ отримує від датчика Холла трамблера сигнал, який визначає момент положення поршня в першому циліндрі відносно верхньої мертвої точки.

Випробування показали, що система управління виконує такі головні та додаткові функції як:

- точне дозування необхідної кількості газового палива в кожен циліндр ДВЗ;
- регулювання величини пускової подачі газового палива в залежності від температури охолоджуючої рідини ДВЗ;
- регулювання частоти обертання газового ДВЗ на режимі холостого ходу в залежності від температури охолоджуючої рідини;
- обмеження максимальної частоти обертання газового ДВЗ шляхом формування зовнішньої регуляторної характеристики тощо.

Проведені стендові випробування газового двигуна моделі Д-240-LPG-«В» з електронною мікропроцесорною системою управління та ЕБУ Avenir Gaz 37 «В» підтвердили ефективність її роботи.

З інформації World LPG Association (WLPGA) [10] відомо, що ЗНГ є найбільш поширеним у світі альтернативним моторним паливом для транспорту. Враховуючи широке використання ЗНГ, а також те, що в Україні він є найбільш дешевим паливом [15], конвертація дизелів у газові ДВЗ є ефективним способом зменшення експлуатаційних витрат дизельними транспортними засобами.

4. Висновки

Показана доцільність конвертування дизелів транспортних засобів у газові ДВЗ із примусовим запалюванням для роботи на ЗНГ. Розроблено електронну мікропроцесорну систему управління газовими ДВЗ з іскровим запалюванням, що складається з двох головних підсистем (підсистеми багатоточкового впорскування ЗНГ типу Common Rail та БЕСЗ), а також підсистеми управління наповнення циліндрів зарядом робочої суміші. Розроблено та виготовлено спеціальний багатофункціональний електронний блок управління Avenir Gaz 37 «В», який в складі системи управління, залежно від версії програмного забезпечення, здатний реалізовувати групове або послідовне впорскування ЗНГ. Доведено, що конвертація дизелів у газові ДВЗ є ефективним способом зменшення

експлуатаційних витрат дизельними транспортними засобами.

Література

1. Genkin, K. I. (1977). *Gazovye dvigateli*. Moscow: Mashinostroenie, 196.
2. Vansheidta, V. A., Ivanchenko, N. N., Kollerova, L. K. (Eds.) (1977). *Dizeli*. Leningrad: Mashinostroenie, 480.
3. Zakharchuk, V. I. (2011). *Osnovy teorii ta konstruksii avtomobilnykh dvyhunyv*. Lutsk: LNTU, 233.
4. Luksho, V. A., Kozlov, A. V., Terenchenko, A. S., Ter-Mkrtichian, J. G., Karpukhinn, K. E. (2015). Technical and Economic Analysis of Vehicles Pollutant Emissions Reduction Technologies. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 12 (2), 1867–1872. doi: <http://doi.org/10.13005/bbra/1852>
5. Mo, H., Huang, Y., Mao, X., Zhuo, B. (2016). Investigations on the Potential of Miller Cycle for Performance Improvement of Gas. *Engine Global Journal of Researches in Engineering*, 16 (1), 37–46.
6. Abramchuk, F. I., Manoilo, V. M., Dziubenko, A. A. (2011). Eksperimentalnaia ustanovka dlia issledovaniia gazovogo dvigatel'ia 6GCHN 13/14 s nadduvom i prinuditel'nym vosplamneni'em. *Avtomobilnii transport*, 29, 43–51.
7. Manoylo V. M. (2018). Research performance engine car motor 6HCHN 13/14 supercharged and distributed gas supply. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, 9 (2), 143–147.
8. Abramchuk, F. I., Voronkov, A. I., Otchenashko, S. I. (2008). Analiz kamer sgoraniia, ispolzuemykh v sovremennykh vysokooborotnykh avtomobilnykh dizelnykh dvigateliakh. *Avtomobilnii transport*, 22, 117–122.
9. Kovalov, S. (2020). Designing the shape of the combustion chambers for gas engines converted on the basis of the diesel engines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (104)), 23–31. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198700>
10. *World LPG Association*. About LPG. Available at: <https://www.wlpga.org/about-lpg/applications>
11. *Regulation No. 67 LPG vehicles*. Available at: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R067r3e.pdf>
12. *Kolisni transportni zasoby. Vymohy bezpeky do konstruksii ta tekhnichnoho stanu kolisnykh transportnykh zasobiv, dvyhuny yakykh pratsiuiut na hazovomu motornomu palyvi, ta metody kontroliu: DSTU 7434:2013* (2014). Kyiv: Minekonomrozytku Ukrainy, 28.
13. Kovalov, S. O., Plys, S. V. (2020). Pat. No. 144229 UA. *Systema upravlinnia robotoiu dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia iz elektronnym blokom upravlinnia, dlia zabezpechennia hrupovoho vporskuvannia hazovoho palyva*. No. u 2020 03041. declared: 21.05.2020; published: 10.09.2020. Bul. No. 17.
14. Kovalov, S. O. (2020). Pat. No. 144091 UA. *Systema upravlinnia robotoiu dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia iz elektronnym blokom upravlinnia, dlia zabezpechennia poslidovnoho vporskuvannia hazovoho palyva*. No. u 2020 03826 declared: 25.06.2020; published: 25.08.2020. Bul. No. 16.
15. *Tsiny na benzyn, DT, haz na zapravkakh Ukrainy*. Vse AZS. Available at: <http://vseazs.com>