

УДК 621.436.12

Ковбасенко С.В.

Національний транспортний університет

Голик А.В.

Національний транспортний університет

Петренко В.Г.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Соломаха А.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Устименко Є.В.

ТОВ «АвтоГазГлобал»

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ДИЗЕЛЯ, ЩО ПРАЦЮЄ ЗА ГАЗОДИЗЕЛЬНИМ ЦИКЛОМ

Одним зі шляхів розширення паливної бази дизелів є використання в якості моторного палива стисненого природного газу. В КПІ ім. Ігоря Сікорського та Національному транспортному університеті за підтримки ТОВ «АвтоГазГлобал» створено газодизельну мікропроцесорну систему живлення дизеля. Ця система за допомогою механізму задання запальної дози забезпечує величину запальної дози при роботі дизеля за газодизельним циклом. На експериментальному автомобілі з розробленою мікропроцесорною системою живлення проведено дослідження димності відпрацьованих газів. Вони засвідчили значне зниження димності відпрацьованих газів дизеля при роботі за газодизельним циклом.

Ключові слова: дизель, газодизель, стиснений природний газ, димність, запальна доза, мікропроцесорна система живлення.

Постановка проблеми. Швидке зростання кількості автомобілів в Україні та світі гостро ставить питання екологічної безпеки, особливо дизельних двигунів, оскільки дизелями оснащуються автобуси, легкові та вантажні автомобілі, будівельна, дорожня та сільськогосподарська техніка. Основним забрудником атмосфери міст є транспорт [1]. Сумарна екологічна небезпека компонентів відпрацьованих газів (далі – ВГ) дизеля при використанні газових палив у порівнянні з традиційним моторним паливом значно менша [2].

Одним зі шляхів розширення паливної бази дизелів є використання стисненого природного газу (далі – СПГ) як моторне паливо дизелів. При переобладнанні дизеля у газодизель, необхідно лише додати газову паливну систему, оскільки газодизель двопаливний двигун.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Широкі дослідження з переобладнання дизелів у газодизелі проведені у Національному транспортному університеті. На рис. 1 показано навантажувальні характеристики газодизеля ЯМЗ-236 ГД, на який встановлюється паливний насос високого тиску (ПНВТ) з механічним всережимним регулятором частоти обертання, при роботі за дизельним та газодизельним циклами [3]. Частка запальної дози дизельного палива (ДП) складає 30%.

Як видно із наведених характеристик, вміст CO та CO₂ при роботі за газодизельним циклом незначний і близький до значень при роботі двигуна за дизельним циклом. Оксиди азоту зі зростанням навантаження досягають значення 1200 млн⁻¹ при роботі за газодизельним циклом та 1000 млн⁻¹ при роботі за дизельним циклом. Вміст вуглеводнів C_mH_n при роботі за газодизельним циклом біль-

ший, ніж при роботі за дизельним циклом. Димність відпрацьованих газів зростає при збільшенні потужності двигуна при роботі як за дизельним, так і газодизельним циклами.

Дослідження з переобладнання дизелів у газодизелі проводились такими відомими компаніями як BOSCH, Solaris та Valtra [4-6]. На рис. 2 показано порівняльні гістограми викидів шкідливих речовин при роботі дизеля за дизельним та газодизельним циклами з системою DG-Flex BOSCH.

Як видно з рис. 2, використання газодизельної системи живлення DG-Flex покращує екологічні показники двигуна, зокрема, викиди твердих частинок зменшуються у 6 разів у порівнянні з дизельним режимом роботи, а також зменшуються викиди NO_x .

На рис. 3 показано порівняльні гістограми експлуатаційних витрат на паливо та частку заміщення дизельного палива СПГ.

Як видно із рис. 3, запальна доза ДП складає 26%, а економія коштів на паливо при використанні газодизельної системи DG-Flex BOSCH складає 39%.

Отже, у наведених дослідженнях зазначається, що при роботі дизеля за газодизельним циклом

зберігаються енергетичні показники двигуна, використання газодизельного циклу у дизелях призводить до зменшення шкідливих викидів ВГ, окрім вуглеводнів, збільшення яких пов'язано з нежаксним процесом згоряння СПГ при роботі на малих навантаженнях та режимі холостого ходу.

Постановка завдання. Проведений аналіз свідчить про необхідність розробки системи живлення дизелів для роботи за газодизельним циклом, що дозволить розширити паливну базу дизелів та дослідити зміну паливно-економічних, екологічних та енергетичних показників автомобіля при роботі його двигуна за дизельним та газодизельним циклами.

Виклад основного матеріалу. В КПІ ім. Ігоря Сікорського та Національному транспортному університеті за підтримки ТОВ «АвтоГазГлобал» розроблена газодизельна мікропроцесорна система живлення (МПСЖ), яка забезпечує заміщення дизельного палива стисненим природним газом на рівні 70...80 %. Розробленою системою було обладнано експериментальний автомобіль ГАЗ-3309 з дизелем Д245.7.

У розробленій МПСЖ можливо здійснювати встановлення запальної дози дизельного палива у залежності від частоти обертання колінчастого вала (КВ). Для цього було розроблено механізм задання запальної дози (МЗЗД) (рис. 4).

МЗЗД призначений для забезпечення заданої величини подачі дизельного палива при роботі двигуна у газодизельному режимі. Вузол МЗЗД включає кроковий двигун 3 (рис. 5), який встановлено на кронштейні 2, що закріплено на корпусі регулятора.

На вісь 7 кронштейна 2 встановлено важіль 6, до якого закріплено упорний гвинт 8. Для задання необхідної запальної дози на важіль 6 діє рухома ланка 4 через шарнір 5.

При положенні важеля зупинки двигуна у позиції «СТОП» МЗЗД вимкнено і електромагніт зупинки двигуна також вимкнено. Важіль МЗЗД знаходиться у верхньому положенні разом з важелем зупинки двигуна (рис. 6, а). При роботі двигуна у режимі «Дизель» кроковий двигун 3 вимкнено і пружина утримує важіль 6 у положенні, коли упорний гвинт 8 не взаємодіє з важелем зупинки двигуна 9 (рис. 6, б).

При переході на газодизельний режим подається живлення на обмотку крокового двигуна 3, який переміщує важіль 6 у положення «Газодизель» (рис. 6, в). Одночасно знеструмлюється електромагніт зупинки двигуна 10 і його внутрішня пружина штовхає важіль зупинки двигуна

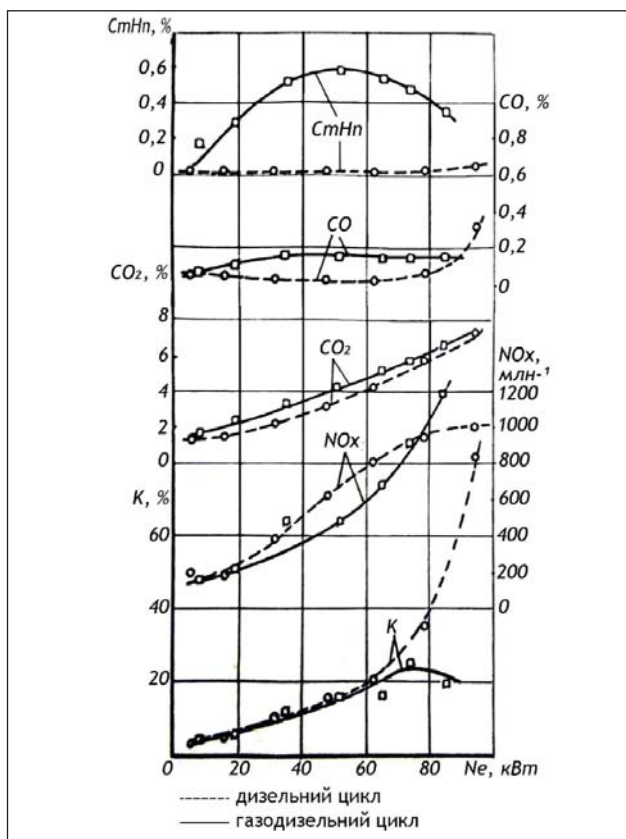


Рис. 1. Навантажувальні характеристики газодизеля ЯМЗ-236 ГД при роботі за газодизельним та дизельним циклами ($n=1500$ хв⁻¹)

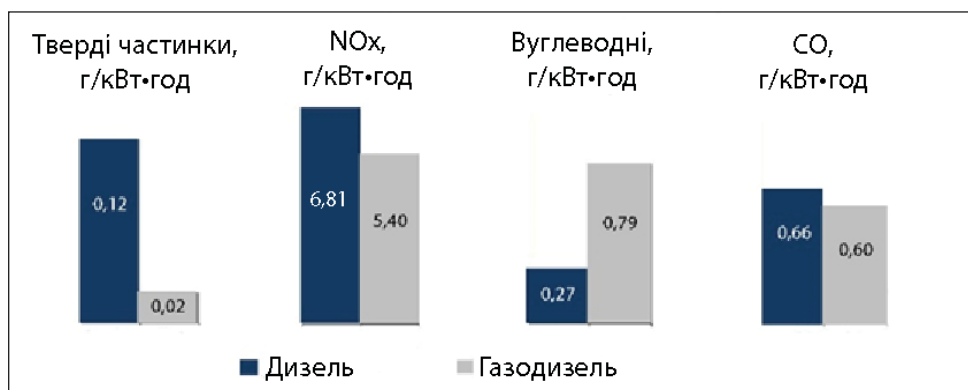


Рис. 2. Порівняння викидів шкідливих речовин дизеля, що працює за дизельним та газодизельним циклами із системою DG-Flex BOSCH

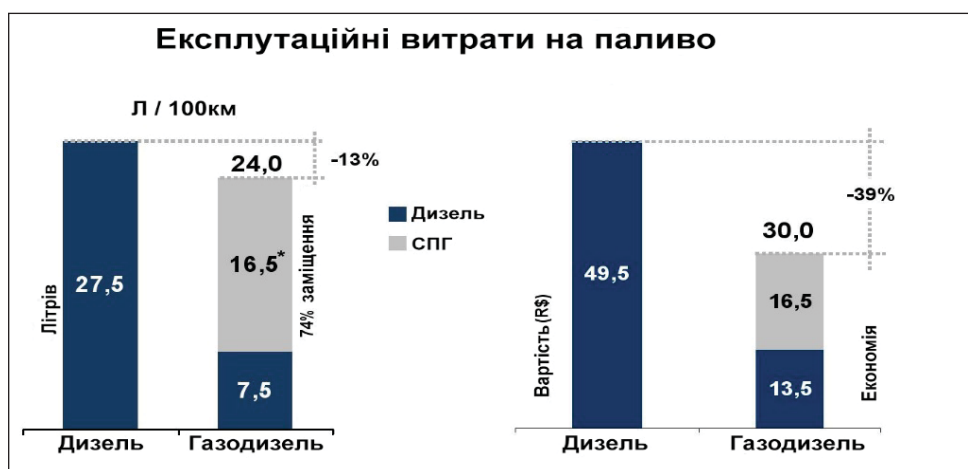


Рис. 3. Частка заміщення дизельного палива при використанні газодизельної системи DG-Flex BOSCH та порівняльні витрати на паливо

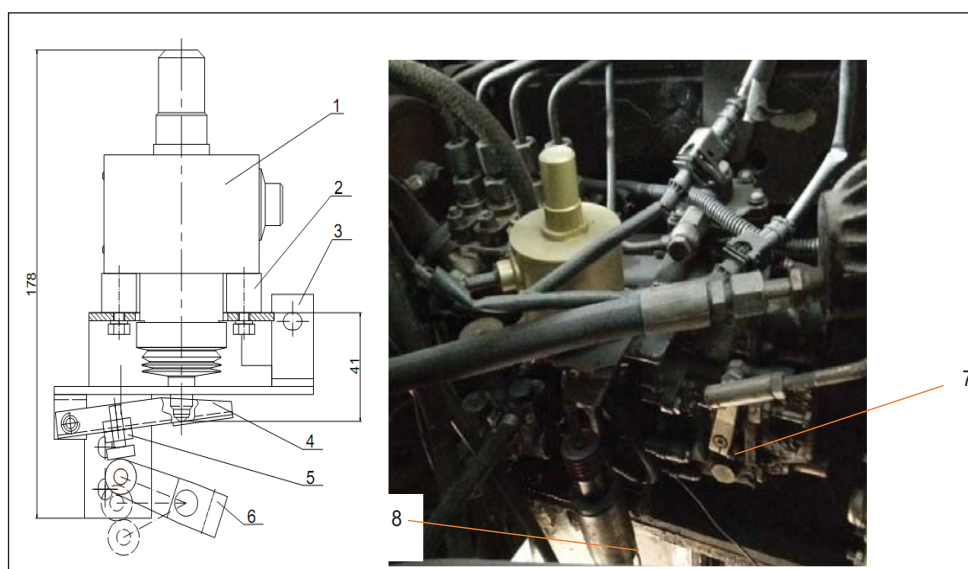


Рис. 4. Механізм задання запальної дози, що встановлений на паливному насосі дизеля Д245.7

1 – МЗЗД; 2 – амортизатор гумовий; 3 – кронштейн; 4 – важіль; 5 – упор регулювальний; 6 – важіль ПНВТ; 7 – ПНВТ; 8 – електромагніт зупинки двигуна

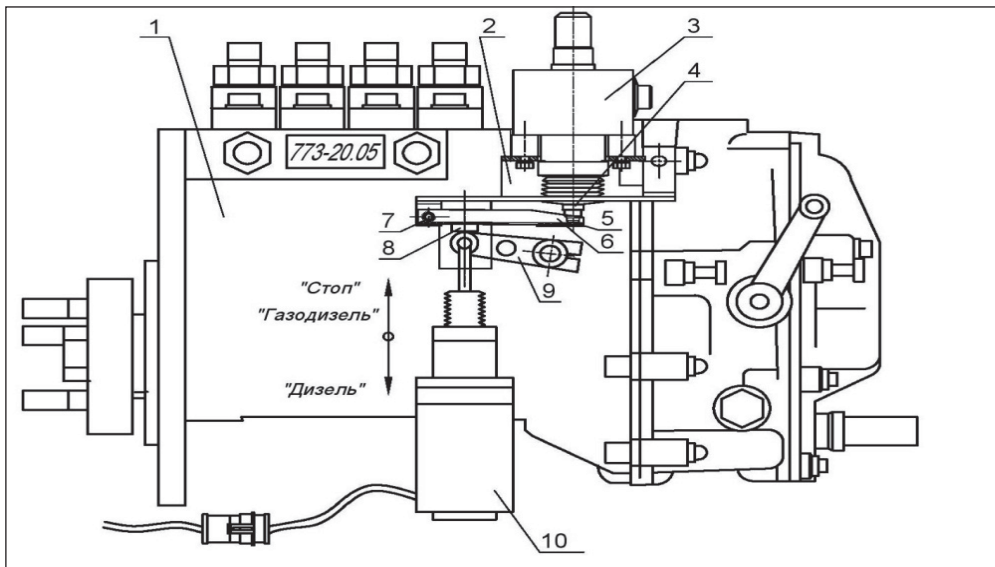


Рис. 5. ПНВТ 773-20.05 з встановленим МЗЗД

1 – ПНВТ; 2 – кронштейн; 3 – кроковий двигун МЗЗД; 4 – рухома ланка МЗЗД; 5 – шарнір; 6 – важіль МЗЗД; 7 – вісь; 8 – упорний гвинт; 9 – важіль зупинки двигуна; 10 – електромагніт зупинки двигуна

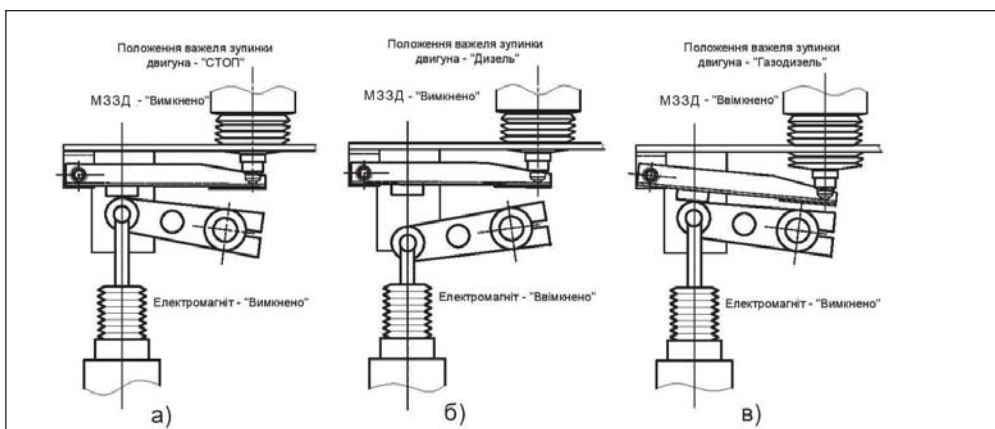


Рис. 6. Робочі положення МЗЗД

а) положення «СТОП»; б) положення «Дизель»; в) положення «Газодизель»

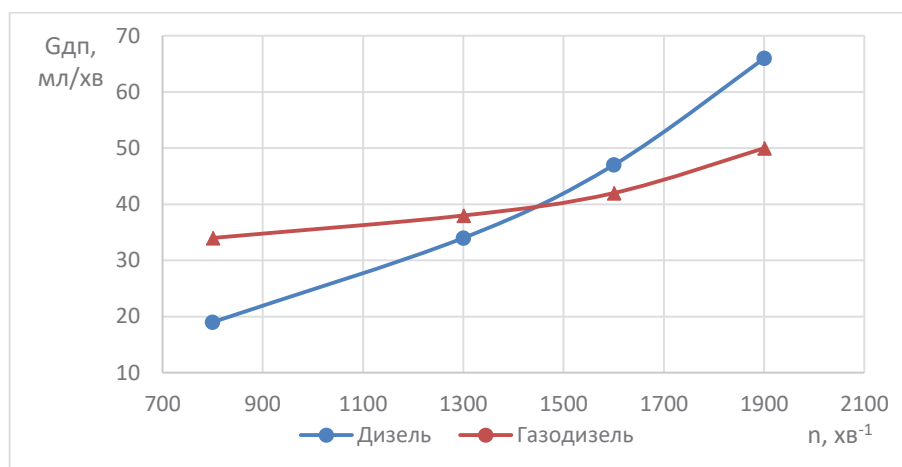


Рис. 7. Порівняння витрат ДП на холостому ходу двигуна (дизельний цикл) та запальної дози ДП в навантажувальних режимах (газодизельний цикл)

9 вгору до торкання з упорним гвинтом 8 МЗД. При цьому важіль зупинки двигуна 9 займає певне положення і обмежує циклову подачу ПНВТ до рівня запальної дози.

Зі зростанням швидкісного режиму роботи двигуна, рухома ланка 4 втягується і зрушує упорний гвинт 8 вгору, що призводить до додаткового переміщення рейки ПНВТ у бік зменшення подачі палива, тим самим, компенсуючи збільшення циклової подачі відповідно до швидкісної характеристики ПНВТ. Графік зміни циклової подачі ДП від частоти обертання КВ показано на рис. 7.

Як видно з рис. 7, залежність $G_{dp}=f(n)$ при роботі за газодизельним циклом скоригована МЗД. Така форма залежності $G_{dp}=f(n)$ сприяє покращенню динамічних властивостей автомобіля при переході від холостого ходу до 1450 хв^{-1} і забезпечує покращення паливно-економічних показників на робочих швидкісних режимах ($1500 \dots 1900 \text{ хв}^{-1}$).

Корегування подачі дизельного та газового палив здійснюється за допомогою таблиць інтерфейсу користувача (рис. 8).

За допомогою цих таблиць встановлюються: час відкриття форсунок (Тф), кут впорскування

газового палива – фаза впорскування ψ та запальна доза дизельного палива у залежності від частоти обертання КВ та тиску наддуву повітря.

Для перевірки дизеля Д245.7 розробленого МПСЖ на відповідність екологічним нормативам і стандартам на експериментальному автомобілі ГАЗ-3309 при роботі за дизельним та газодизельним циклами було здійснено вимірювання димності відпрацьованих газів згідно ДСТУ 4276-2004 [7]. Двигун Д 245.7 обладнано турбокомпресором, тому значення вимірювань необхідно порівнювати з нормами для автомобілів з наддувом. Димність дизелів транспортних засобів згідно ДСТУ 4276-2004 не повинна перевищувати значень, що наведені у таблиці 1.

Підключення димоміра МЕТА – 01МП для перевірки димності дизеля згідно ДСТУ 4276-2004 показано на рис. 9.

Результати вимірювань димності автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем Д245.7 за роботи за дизельним та газодизельним циклами приведено в таблиці 2.

Крім того, здійснено перевірку динаміки експериментального автомобіля ГАЗ-3309 за роботи за дизельним та газодизельним циклами. Перевірка була здійснена без вантажу при розгоні

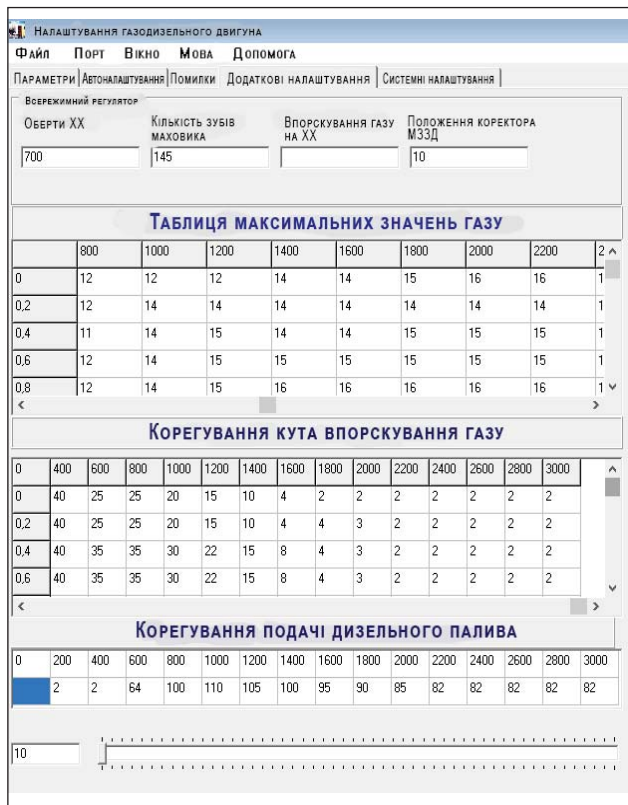


Рис. 8. Таблиці інтерфейсу для корегування значень подачі дизельного та газового палив

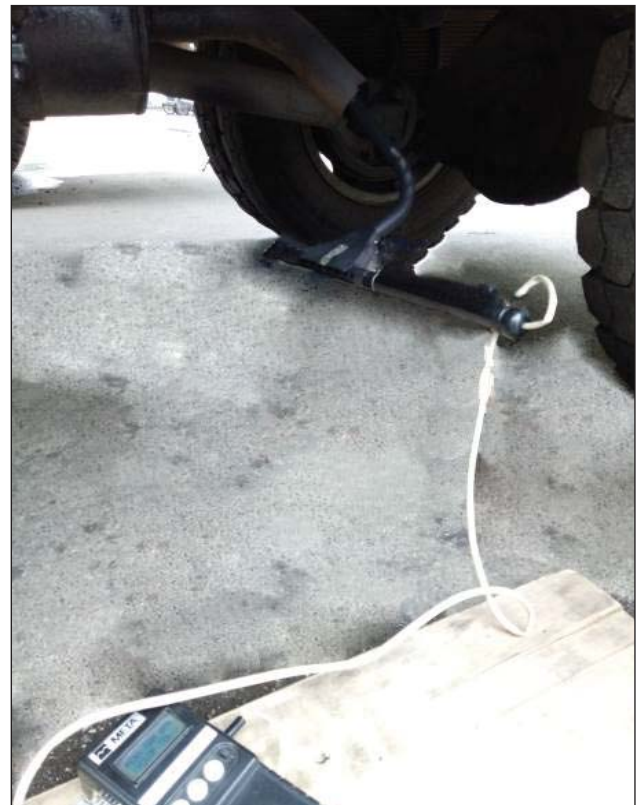


Рис. 9. Перевірка димності ВГ автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами

Таблиця 1

**Гранично допустимі значення
для автомобілі з дизелями та газодизелями**

Автомобілі	Гранично допустимий показник ослаблення світлового показника, Кдоп, м ⁻¹	Гранично допустимий коефіцієнт ослаблення світлового потоку, Nдоп, %
Автомобілі з дизелями: без наддуву з наддувом	2,5 3,0	66 73
Автомобілі з газодизелями: без наддуву з наддувом	1,7 2,0	52 58

Таблиця 2

**Результати вимірювань димності автомобіля
ГАЗ-3309**

Цикл, за яким працює двигун	Показник ослаблення світлового показника, К, м ⁻¹	Коефіцієнт ослаблення світлового потоку, Nдоп, %
Дизельний	2,88	71
Газодизельний	0,22	9

автомобіля з місця до 60 км/год. При роботі за дизельним циклом автомобіль виконав розгін до 60 км/год за 18,5 с, а при роботі за газодизельним циклом – за 20 с.

Як видно з отриманих результатів, значення коефіцієнта ослаблення світлового потоку при роботі за дизельним циклом майже рівне гранично допустимому значенню, що свідчить про погіршення технічного стану штатної паливної системи. При роботі за дизельним циклом коефіцієнт ослаблення світлового потоку рівний 71%, а при роботі за газодизельним циклом 9%. Отримані результати коефіцієнта ослаблення світлового потоку при роботі за газодизельним циклом вказують на зменшення значення димності ВГ майже у 7 разів.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено, що робота дизелів за газодизельним циклом суттєво зменшує димність ВГ у порівнянні з роботою дизеля на традиційному паливі, що призводить до зменшення сумарної токсичності ВГ. Перевірка динаміки автомобіля за роботи його за газодизельним циклом показала близькі результати енергетичних показників автомобіля у порівнянні з роботою його двигуна за дизельним циклом.

Список літератури:

1. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В. та інші. Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник 2-ге вид., перероблене та доповнене. К.: Арістей, 2008. 296 с., с. 99.
2. Петренко В.Г. Поліпшення ефективних та екологічних показників автомобільних ДВЗ шляхом застосування трипаливної бензогазової технології: дис. канд. техн. наук. К.: НТУУ «КПІ», 2011. 238 с., с. 26.
3. Кухтик В.В. Уменьшение расхода жидкого топлива и дымности отработавших газов переоборудованием автомобильного дизеля в газодизель: дис. канд. техн. наук. К.: УТУ, 1997. 345 с., с. 189.
4. Bosch dual-fuel – future of diesel engines. // gazeo.com: [сайт]. [2014]. URL: <http://gazeo.com/automotive/technology/Bosch-Dual-Fuel-future-of-diesel-engines,article,7831.html>.
5. Solaris diesel dual fuel. // <http://fuelfusion.pl/>: [сайт]. URL: <http://www.solarisdiesel.eu/ru/solaris-diesel-dual-fuel-3/>.
6. Valtra dual fuel tractors – The natural choice <http://valtra.com/>: [сайт]. URL: www.valtra.com/dual-fuel.aspx.
7. Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями: ДСТУ 4276:2004.
8. Компания «МЕТА». Измеритель дымности отработавших газов МЕТА–01МП. URL: http://www.meta-moscow.ru/ru/store/dymomery/meta-01mp-0-1-ltk.html#product_downloads

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО ПО ГАЗОДИЗЕЛЬНОМУ ЦИКЛУ

Одним из путей расширения топливной базы дизелей является использование в качестве моторного топлива сжатого природного газа. В КПИ им. Игоря Сикорского и Национальном транспортном университете создана газодизельная микропроцессорная система питания дизеля. Эта система при помощи механизма задавания запальной дозы обеспечивает заданное значение запальной дозы при работе дизеля по газодизельному циклу. На экспериментальном автомобиле с разработанной микропроцессорной системой питания проведено исследование дымности отработавших газов. Они показали значительное снижение дымности отработавших газов дизеля при работе по газодизельному циклу.

Ключевые слова: дизель, газодизель, сжатый природный газ, дымность, запальная доза, микропроцессорная система питания.

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF A MICROPROCESSOR-BASED SYSTEM FOR DIESEL ENGINE OPERATING ON A DIESEL-GAS CYCLE

One way to expand the diesel fuel base is to use compressed natural gas as a motor fuel. By KPI named after Igor Sikorsky and National Transport University a diesel-gas microprocessor-based system was created. This system with help of the pilot dose setting mechanism provides value of the pilot dose when diesel engine operates on the diesel-gas cycle. On the experimental car with the developed microprocessor system the smokiness of the exhaust gases was studied. They have shown a significant reduction in the smokiness of diesel exhaust gases when working on a diesel-gas cycle.

Key words: *diesel engine, diesel-gas engine, compressed natural gas, smokiness of exhaust gases, pilot dose, diesel-gas microprocessor-based system.*