

УДК 621.436

В.Г. Петренко<sup>1</sup>, С.В. Ковбасенко<sup>2</sup>, П.О. Барабаш<sup>1</sup>, А.С. Соломаха<sup>1</sup>, А.В. Голик<sup>2</sup><sup>1</sup> КПП ім. Ігоря Сікорського<sup>2</sup> Національний транспортний університет**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАЗИ ВПОРСКУВАННЯ ГАЗОВОГО ПАЛИВА НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ГАЗОДИЗЕЛЯ**

*Встановлено, що реалізоване в розробленій газодизельній мікропроцесорній системі живлення динамічне керування фазою впорскування газового палива суттєво впливає на робочі процеси газодизеля. Показано, що змінюючи кут впорскування газу, залежно від навантажувального та швидкісного режимів, можна поліпшити енергетичні та екологічні показники газодизеля.*

*Ключові слова:* дизель, газодизель, мікропроцесорна система живлення, фаза впорскування

**V. Petrenko, S. Kovbasenko, P. Barabash, A. Solomaha, A. Holyk****INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE GAS FUEL EXPRESSION PHASE ON THE INDICATORS OF THE GAZODIESEL'S WORK**

*It was established that the dynamical control of the gas fuel injection phase realized in the developed gas-diesel microprocessor power system significantly influences the working processes of the gas diesel engine. It is shown that changing the angle of gas injection, depending on load and speed modes, it is possible to improve the energy and environmental parameters of gas diesel.*

*Key words:* diesel engine, gas diesel engine, microprocessor power system, injection phase

**Постановка проблеми.** Дизель є одним із основних споживачів рідкого вуглеводного палива, запаси якого вичерпуються. За сучасних темпів зростання споживання палив нафтового походження, розвіданих запасів нафти вистачить приблизно на 50 років [1]. Для України, яка імпортує значну кількість сирової нафти та нафтопродуктів проблеми паливного забезпечення дизельних енергоустановок є особливо гострими.

Використання альтернативних екологічно чистих моторних палив дозволить вирішити зазначені проблеми [2-4]. В якості альтернативного моторного палива може успішно використовуватись стиснений природний газ (СПГ), який є більш екологічно чистим видом палива, а його ресурсів, за даними [5], вистачить на 100-150 років. Екологічний ефект, який отримується при згорянні природного газу в дизелях, це різке зменшення викидів частинок сажі (димність відпрацьованих газів дизеля), які є одними із основних носіїв токсичних та канцерогенних речовин. За сумарною екологічною безпекою газове паливо в сто разів ефективніше за дизельне паливо (ДП).

Таким чином, актуальність використання СПГ в якості моторного палива для дизелів незаперечна. Заміна ДП на стиснений природний газ здатна значно знизити собівартість транспортних перевезень і одночасно покращити екологію повітряного басейну населених пунктів і атмосфери в цілому.

Для практичної реалізації зазначених переваг використання газового палива, необхідна досконала та надійна універсальна газодизельна система живлення, яка б забезпечила ефективну роботу дизеля, як в стандартному дизельному, так і в газодизельному режимах.

За інжекторного способу подачі газу до дизеля (розподільне впорскування з фазним регулюванням) газодозуюча система суттєво відрізняється від класичної ежекційної, яка працює під дією розрідження. Робочі процеси в інжекторній системі недостатньо вивчені, не визначені оптимальні параметри як газового редуктора та його складових елементів, так і системи живлення в цілому.

**Метою роботи** є дослідження впливу зміни фази впорскування СПГ та визначення доцільних параметрів впорскування на паливно-економічні, екологічні та енергетичні показники роботи дизеля, що працює за газодизельним циклом.

**Результати досліджень.** Як відомо існує два способи подачі палива до циліндрів ДВЗ: дискретне та безперервне. Дискретне (циклове) дозування палива має істотну перевагу перед безперервним. При безперервному дозуванні необхідний діапазон зміни витрати палива дуже широкий ( $G_{\text{пmax}}/G_{\text{пmin}} \approx 40$ ).

В цьому випадку при регулюванні витрати палива зміною пропускної спроможності дозуючого отвору (за постійного тиску палива) його переріз необхідно змінювати в 40 разів. При регулюванні витрати шляхом зміни тиску палива (за постійного перерізу дозуючого отвору) тиск

необхідно змінювати в 1600 разів. Практична реалізація цих двох способів пов'язана з певними труднощами.

У разі дискретного дозування палива діапазон необхідної зміни циклової подачі різко скорочується. В якості дозуючого елемента зручно застосовувати швидкодіючі клапани з електромагнітним керуванням - форсунки. Вони застосовуються у всіх сучасних системах впорскування з електронним управлінням. При постійному перепаді тиску на форсунці циклова витрата палива  $\Delta G_n$  залежить тільки від тривалості відкриття клапана форсунки. Таким чином, весь комплекс керування паливоподачею зводиться до формування командного імпульсу певної тривалості.

Формування командного імпульсу є процесом обробки інформації датчиків системи. Сформований командний імпульс тривалістю  $t$  подається на обмотку форсунки.

В результаті попередніх експериментальних і аналітичних досліджень авторів встановлено, що поліпшення характеристик газодизелів досягаються при розподільному впорскуванні газу до циліндрів дизеля [6]. Тому в КПІ ім. Ігоря Сікорського у співпраці з Національним транспортним університетом розроблена газодизельна мікропроцесорна система живлення (МПСЖ), яка забезпечує роботу дизельних двигунів на суміші дизельного палива та стисненого природного газу за газодизельним циклом зі збереженням стандартної паливної системи [7]. В цій системі регулювання циклової подачі газу здійснюється електромагнітними газовими форсунками (ЕГФ), які встановлюють до впускних клапанів кожного циліндра двигуна. На рис. 1 приведені діаграми роботи системи газоподачі розробленої мікропроцесорної системи живлення МПСЖ на такті впуску першого циліндра дизеля Д-245.7 для  $n=800\text{хв}^{-1}$ , що дозволяє регулювати зміну кута впорскування газу (ФВГ – фазне впорскування газу).

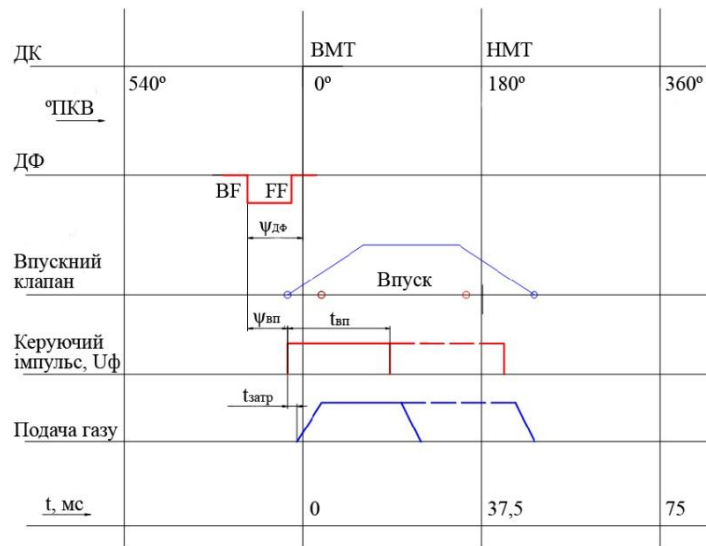


Рис. 1. Діаграми роботи елементів системи газоподачі МПСЖ

На рис. 1 показано: фазу впуску першого циліндра, що визначається відкритим станом впускного клапана, керуючий електричний імпульс, що подається на обмотку ЕГФ, момент циклової подачі газу, що впорскується ЕГФ.

Для забезпечення фазної подачі газу на валу привода паливного насоса високого тиску (ПНВТ) встановлено датчик фази (ДФ), положення якого визначається кутом  $\Psi_{дф}$  відносно верхньої мертвої точки першого циліндра ДВЗ. Значення  $\Psi_{дф}$  вимірюється після установки ДФ на двигуні і враховується мікропроцесорним блоком керування системою живлення газодизеля. Оскільки фізично можна реалізувати тільки затримку сигналів датчиків, то при встановленні ДФ треба виконати умову:

$$\Psi_{дф} \geq \Psi_{вп}$$

Очевидно, що оптимальні процеси ФВГ передбачають зміну поточного значення кута  $\Psi_{вп}$  залежно від частоти обертання КВ двигуна  $n$ . Для цього в систему параметрів МПСЖ введена залежність  $\Psi_{вп} = f(n)$ , де:  $\Psi_{вп}$  - кут відкриття газової форсунки відносно верхньої мертвої точки.

Принципово ФВГ може проходити впродовж всієї фази впуску, але існують оптимальні значення кута  $\Psi_{вп}$  ( $\Psi_{овп}$ ), за яких робочі процеси газодизеля найбільш ефективні, що може бути підтверджено при проведенні експериментальних досліджень.

Ще однією умовою повноцінної реалізації ФВГ є узгодження суперечливих вимог між обмеженою пропускною здатністю газової форсунки, часом впорскування і величиною циклової подачі газу на різних режимах дизеля. Використання газового редуктора-регулятора (ГРР) дозволить забезпечити живлення газових форсунок змінним тиском  $P_f$ , залежно від режиму роботи дизеля. ГРР за командним сигналом від мікропроцесорного блоку залежно від частоти  $n$  та навантаження встановлює на вході газових форсунок задане значення тиску  $P_f$ . Ця залежність визначається з умови:

$$\Psi_{вп} = \Psi_{овп}.$$

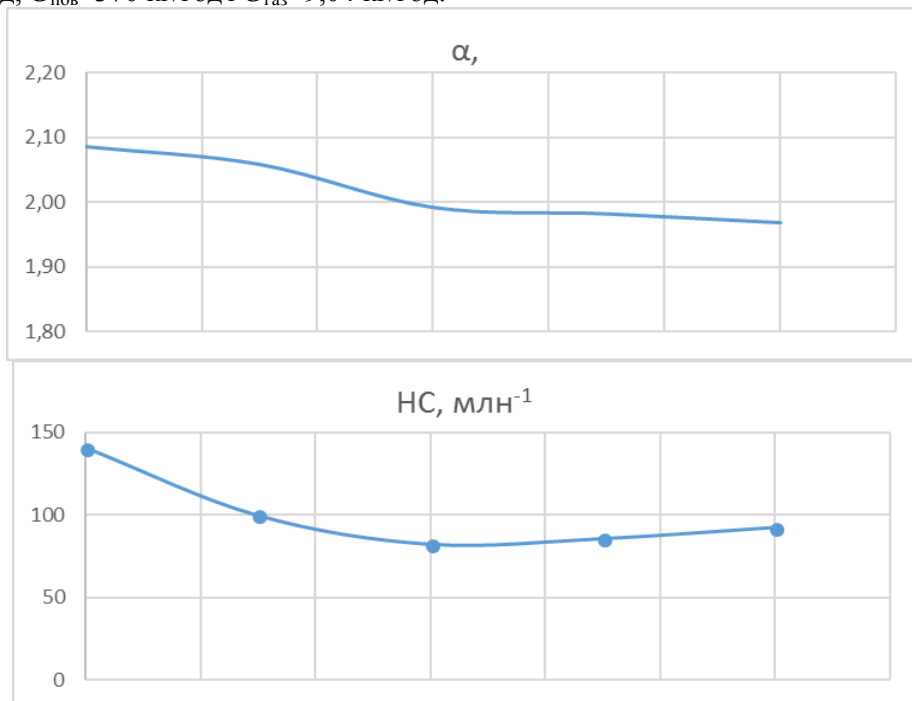
На стенді тягових властивостей автомобілів мод. 4918 VM було проведено дослідження впливу зміни фази впорскування газового палива  $\psi$  на екологічні, паливно-економічні та енергетичні показники вантажного автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем, який обладнано розробленою МПСЖ. Для прикладу, на рис. 2, 3 наведено отримані характеристики для частоти обертання колінчастого вала  $n=1600$  хв<sup>-1</sup>.

Вміст вуглеводнів у ВГ при роботі за газодизельним циклом при  $n_d = 1600$  хв<sup>-1</sup> зі збільшенням кута впорскування газового палива  $\psi$  зменшується до 78 млн<sup>-1</sup> при  $\psi=15^\circ$ , при подальшому збільшенні кута впорскування газового палива вміст вуглеводнів дещо збільшується. При  $n=1600$  хв<sup>-1</sup> мінімальний вміст вуглеводнів спостерігається при значенні  $\psi=15^\circ$  після верхньої мертвої точки.

Зі збільшенням кута впорскування газового палива  $\psi$  при  $n=1600$  хв<sup>-1</sup> спостерігається збільшення тягового зусилля на колесі. При  $n=1600$  хв<sup>-1</sup> та  $\psi=15^\circ$  тягове зусилля на колесі складає 3,2 кН. При подальшому збільшенні кута  $\psi$  спостерігається незначне зменшення тягового зусилля на колесі.

Концентрації  $NO_x$  у ВГ при  $n=1600$  хв<sup>-1</sup> зі збільшенням кута  $\psi$  збільшуються до максимуму і складають 1620 млн<sup>-1</sup> для кута  $\psi=15^\circ$  і при подальшому збільшенні кута  $\psi$  концентрації  $NO_x$  у ВГ зменшуються до 1510 млн<sup>-1</sup> при значенні  $\psi=30^\circ$ .

Годинні витрати дизельного палива, повітря та газового палива при  $n=1600$  хв<sup>-1</sup> зі збільшенням кута  $\psi$  дещо збільшуються до максимуму. При  $n=1600$  хв<sup>-1</sup> максимальні годинні витрати дизельного палива, повітря та газового палива спостерігаються при значенні  $\psi=30^\circ$   $G_{дп}=3,7$  л/год,  $G_{пов}=370$  кг/год і  $G_{газ}=9,04$  кг/год.



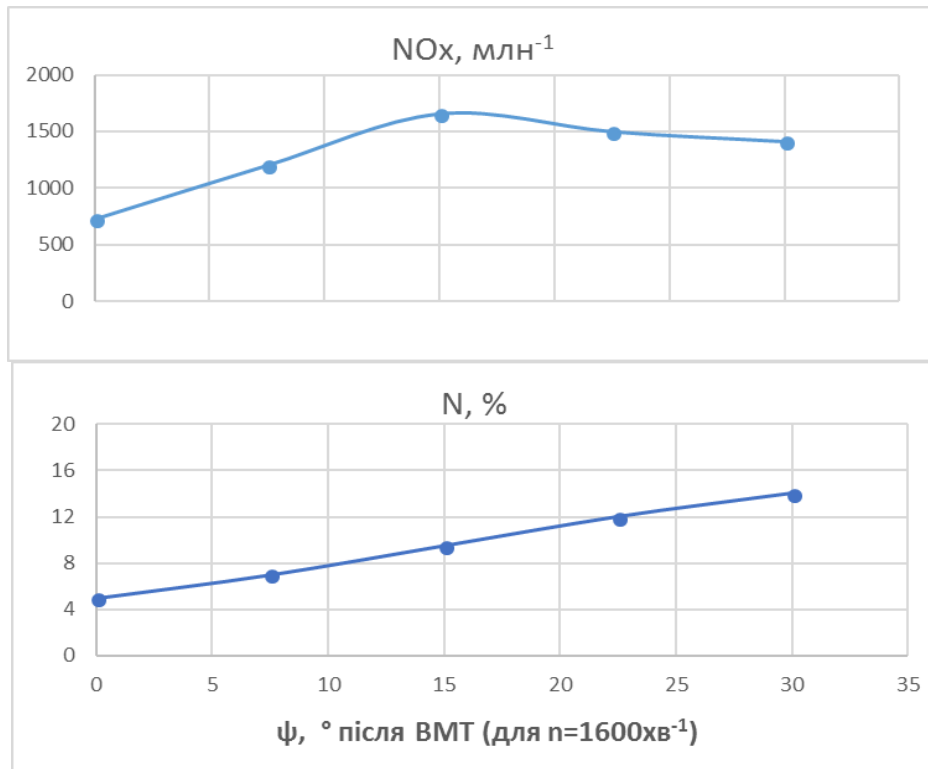
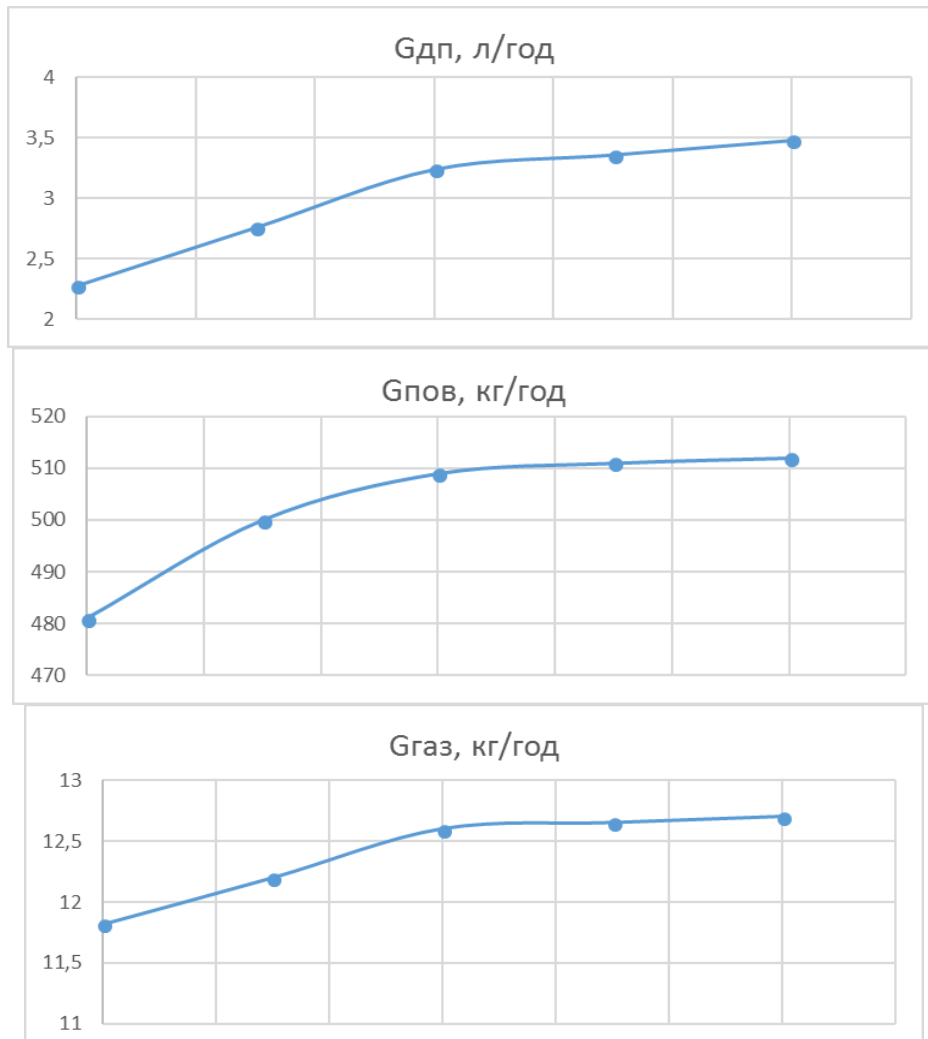


Рис. 2. Вплив зміни фази впорскування газового палива на екологічні показники дизеля при частоті обертання КВ  $n=1600\text{хв}^{-1}$



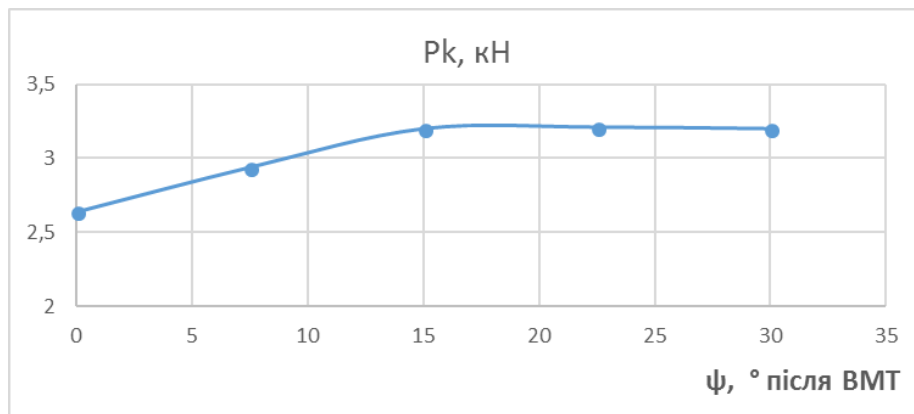


Рис. 3. Вплив зміни фази впорскування газопалива на паливно-економічні та енергетичні показники дизеля при частоті обертання КВ  $n=1600 \text{ хв}^{-1}$

Подібні характеристики екологічних, паливно-економічних та енергетичних показників отримано при частоті обертання колінчастого вала  $n_d = 1300 \text{ хв}^{-1}$ .

Отже, зміна кута впорскування газопалива  $\psi$  дозволяє отримати доцільні значення паливно-економічних, екологічних та енергетичних показників дизеля в залежності від режиму його роботи.

**Висновки.** Досліджено вплив зміни фази впорскування газопалива  $\psi$  до впускного колектору дизеля на екологічні, паливно-економічні та енергетичні показники. Встановлено доцільні значення кута впорскування  $\psi$  для двигуна Д245.7, за яких спостерігається поліпшення показників роботи газодизеля. Визначено наступні значення кута впорскування  $\psi$  для швидкісних діапазонів: при  $n=1000 \dots 1600 \text{ хв}^{-1}$   $\psi=30 \dots 40^\circ$  після верхньої мертвої точки; при  $n=1600 \dots 2500 \text{ хв}^{-1}$   $\psi=0 \dots 30^\circ$  після верхньої мертвої точки.

Використання розробленої МПСЖ з визначеними доцільними параметрами впорскування дозволяє поліпшити паливно-економічні, екологічні та енергетичні показники автомобіля з дизелем, що працює за газодизельним циклом.

#### Перелік посилань

1. BP statistical review of world energy // bp.com [сайт]. [2017]. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>. – BP, June 2017.
2. Хачиян А. С. Использование природного газа в качестве топлива для автомобильного транспорта / А. С. Хачиян // Двигателестроение.-2002.-№1. с.34-36.
3. Стативко В. Л. Формирование рынка альтернативных видов моторных топлив / В. Л. Стативко, А. В. Строганов // Газовая промышленность.-2007.-№4.-с.17-19.
4. Ковбасенко С. Переобладнання дизеля в газодизель, як можливість розширення паливної бази автомобільного транспорту/ С.Ковбасенко, В.Петренко, С.Гутаревич, А.Голик// Вісник. Науково-технічний збірник №1 (37). Серія «Технічні науки». НТУ. – К: 2017. – с.154-160
5. CIA. The World Factbook // cia.gov [сайт]. [2017]. URL: <https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/fields/2250.html#163>
6. М.О. Дикий, В.Г. Петренко, А.С. Соломаха, В.В. Рябов, Є.В. Устименко Газодизельна система живлення автомобільного двигуна з мікропроцесорним керуванням // Наукові нотатки (Міжвузівський збірник). – 2011. – Випуск 31. – с.120-123.
7. Ковбасенко С.В. Визначення раціональних ПД-параметрів регулятора газодизельної мікропроцесорної системи живлення / С.В. Ковбасенко, В.Г. Петренко, А.В. Голик, С.Ю. Гутаревич // Автошляховик України. Науково-технічний збірник. – К., ДП «ДержавтотрансНДІпроект» 2018. – Вип. № 1.

#### Рецензент:

**Кравченко О.П.**, доктор технічних наук, Житомирський державний технологічний університет, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомир, Україна