

УДК 629.113:621.431  
© 2017

**О.Б. СТРЕМОУХОВ,**  
аспірант

Дніпропетровський державний  
аграрно-економічний університет,  
Україна  
E-mail: AStremoukhov@gmail.com  
вул. С. Єфремова, 25, м. Дніпро

**ОБҐРУНТУВАННЯ  
КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ  
ПОДАЧІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ  
ДЛЯ АВТОТРАКТОРНИХ  
ГАЗОДИЗЕЛІВ**

*Проведено аналіз пристроїв подачі газу в двигуни внутрішнього згоряння провідних фірм, виявлено переваги, недоліки та перспективи застосування досліджуваних пристроїв. Розглянуто конструктивну схему системи всережимного регулювання газодизеля, яка розроблена в ДДАЕУ, запропоновано методику вдосконалення такої системи для підвищення точності регулювання на коректорній ділянці зовнішньої швидкісної характеристики. Обґрунтована необхідність застосування газових форсунок з електронним керуванням та розподіленням впливом газу. Показано принципову можливість регулювати цикл подачі газу і на коректорній ділянці характеристик, і на режимах холостого ходу.*

**Ключові слова:** газодизель, система подачі газу, система регулювання газодизеля, газові форсунки, всережимне регулювання двигуна.

**Постановка проблеми.** Газодизельний процес відомий з початку зародження двигунобудування, однак не одержав належного поширення. Основні переваги газодизелів порівняно з дизелями полягають у більш низькій вартості палива та більш високій екологічності за рівності решти показників. Незалежно від зміни кон'юнктури на ринку моторних палив застосування газодизелів завжди залишалося вигідним. Натеper в Україні, яка має власні запаси природного газу, збільшення обсягів використання газових моторних палив (ГМП) шляхом конвертування наявних дизельних енергозасобів у газодизельний процес варто вважати перспективним, таким, що підвищує енергонезалежність. При цьому необхідно прагнути до збереження характеристик газодизелів на рівні базового дизеля, що дозволяє зберегти експлуатаційні показники машин після доробки.

**Аналіз останніх публікацій.** У період "нафтових" криз інтерес до газодизелів

зростає і з'являються різні програми впровадження газових моторних палив [1, 2, 7]. Системи керування подачею ГМП за способом сумішоутворення і застосовуваних виконавчих механізмів можна розділити на кілька видів [11].

**Ежекторні системи** – газ і повітря змішуються у впускному колекторі двигуна, а керування подачею газу здійснюється за допомогою важільно-мембранних механізмів. Цей клас систем представлений фірмами Японії (Ісуцзу), Італії (Ловато, Ланді Ренцо), Канади (GFI, ECO) і призначений для застосування на двотактних і чотиритактних двигунах. Відмінною рисою моделей випуску після 2000 року є широке впровадження електронних блоків керування, які забезпечують нові функціональні можливості. Введення елементів електронного регулювання в традиційні важільно-мембранні системи не усуває повністю їхні основні недоліки, однак дозволяє значно стабілізувати роботу устаткування, що за відносно невисокої вартості

зберігає привабливість їхнього застосування. Важливо-мембранні системи, характеристики яких дещо поступаються характеристикам систем з розподіленим упорскуванням газу, орієнтовані не стільки на заводи, що випускають автомобілі або двигуни, скільки на фірми, які займаються переустаткуванням на газ автомобілів (рідше – тракторів), що перебувають в експлуатації. Це визначає їх поширення і місце на ринку (Аргентина, Бразилія, Єгипет, Індія, Іран, Китай, Туреччина, багато країн Європи, у тому числі і Україна).

*Інжекторні системи* з центральним (у впускний колектор двигуна – common rail) або з розподіленим (поциліндровим – multi port) упорскуванням газу розширюють можливості регулювання параметрів робочого процесу і поліпшення характеристик двигуна, що працює на ГМП.

Інжекторні системи з центральним упорскуванням газу представляють фірми Канади (Woodward, GFI, AFS), Японії (Nippon), Росії (КамАЗ-МАДИ), Німеччини (Мерседес), Швеції (VOLVO, SKANI). Фахівці вважають, що такі системи є розумним компромісом між ціною і якістю, однак подальше вдосконалення таких систем мало перспективно.

Інжекторні системи з розподіленим упорскуванням є сьогодні найбільш перспективним напрямом у створенні систем керування подачею газу у двигун. Вони дозволяють одержати найбільш досконалі робочі характеристики двигуна. Практично всі великі фірми представляють інжекторні системи з розподіленим упорскуванням, оснащені мікропроцесорними блоками керування.

*Комбіновані системи* включають інжекторний регулятор подачі газу (дозатор) і стандартний змішувач із подачею газоповітряної суміші у впускний колектор двигуна. Ці системи освоєні рядом фірм: IMPCO (США), Landi Renzo (Італія), Nissan Diesel, NIKKI (Японія). У цих системах застосовується регулятор інжекторного типу, керований мікропроцесорним блоком. У такий спосіб усувається основний недолік традиційних механічних систем, що дозволяє продовжити комерційне життя серійних газових систем за незначної модернізації. Газове устаткування встановлюється на двигуни зі

зовнішнім сумішоутворенням та іскровим запалюванням (газові двигуни), зі запаленням від стиску при використанні запальної дози дизельного палива (газодизелі).

*Газодизельні* (двопаливні) системи застосовують для великовантажних автомобілів і автобусів. Фірма AFS (Канада) розробила газодизельну систему з розподіленим упорскуванням газу і керованою запальною дозою дизельного палива. Головним елементом цієї системи є моноблок “Шерекс”, що виконує функції регулятора тиску, фільтра та відсічного магістрального клапана. Газ низького тиску (0,5–0,6 МПа) надходить у газову рампу, звідки через індивідуальні газові клапани подається до впускних клапанів двигуна. Необхідна запальна доза дизельного палива подається паливним насосом високого тиску (ПНВТ) через штатні форсунки. Обробку показань датчиків, встановлених на агрегатах двигуна, і керування подачею ГМП забезпечує мікропроцесорний блок. До основних переваг системи можна віднести зниження експлуатаційних витрат дизельного палива за рахунок його заміщення (до 80 %) дешевим природним газом, зниження димності відпрацьованих газів у кілька разів, збереження показників базового дизельного двигуна.

Фірма Westport (Канада) засвоїла газодизельну систему, в якій газ стискується до 30 МПа у спеціальному компресорі, охолоджується і подається разом з дизельним паливом у циліндр у такті стиску через спеціально розроблену форсунку. Це забезпечує усталену роботу двигуна на дуже бідних сумішах і дозволяє одержати мінімум викидів NOx. Упорскування газу здійснюється за закритих клапанів, що забезпечує максимальну потужність при ступені заміщення дизельного палива природним газом до 90 %.

Фірма “Газмотор” (Росія) пропонує систему живлення газодизелів, яка за структурою і способом подачі газу у двигун подібна до газодизельної системи фірми AFS. Однак у неї є істотні відмінності: для забезпечення точного дозування паливоповітряної суміші застосована електрокерована дросельна заслінка замість керування від педалі газу; газові інжектори мають ресурс до 109 циклів;

керування запальною дозою здійснюється у функції частоти обертання та реального навантаження на двигун; розроблено і застосовано “електронний” газовий редуктор, який стабілізує тиск у газовій рампі (важливо-мембранний редуктор не розрахований на роботу з імпульсним розбором газу).

Система регулювання газодизелів ДДАЕУ [3, 12, 13] розроблена з урахуванням можливості спільної роботи з конвертованими автотракторними дизелями різної потужності. Випробування проводили протягом тривалого часу [4–6, 8] і виявили як незаперечні переваги порівняно з відомими системами, так і недоліки, усунення яких застосуванням сучасних технічних засобів поставить розроблену систему в ряд кращих аналогів.

Основними недоліками системи регулювання ДДАЕУ є складність регулювання витрати ГМП в коректорній ділянці зовнішньої швидкісної характеристики [8] і недостатня стійкість роботи в режимі газодизеля на малих частотах обертання холостого ходу [10]. Для усунення недоліків розробленої раніше системи всережимного регулювання газодизеля ДДАЕУ [12, 13] варто врахувати наявний досвід і застосува-

ти сучасні елементи – газові форсунки розподіленої подачі газу з керуванням від електронного комутатора.

**Мета роботи** – обґрунтування конструктивної схеми всережимного регулювання конвертованого автотракторного газодизеля із застосуванням газових форсунок.

**Виклад основного матеріалу.** Принцип роботи системи регулювання газодизеля ДДАЕУ, доповненої газовими форсунками, пояснює блок-схема, представлена на рисунку.

Система регулювання містить декілька незалежних функціональних вузлів: газобалонну установку 1 з редуктором першого ступеня, редуктор-регулятор витрати газу 2, паливний насос високого тиску (ПНВТ) 3 із всережимним регулятором і датчиком витрати газу, впускний тракт двигуна 4 з газовими форсунками, додаткове електроустаткування 5. Природний газ перебуває в балонах 6 під тиском  $P_6$  (0,8–20 МПа). Газобалонна установка 1 обладнана редуктором першого ступеня 7, який підтримує на виході постійний тиск  $P_p$  незалежно від тиску газу в балонах. Під тиском  $P_p$  (0,5 МПа) газ надходить на вхід редуктора-регулятора витрати газу 2. Під тиском  $P_p$  газ надходить на вхід редуктора-регулятора витрати газу 2.

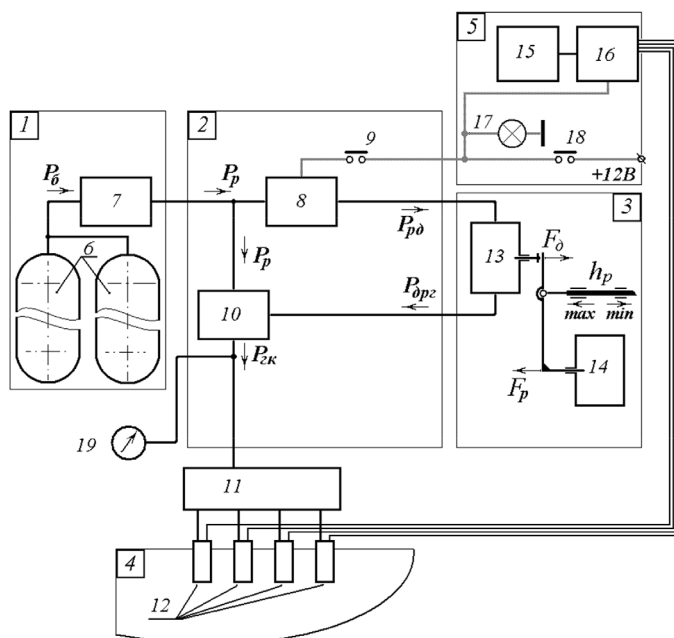


Рис. 1.  
Блок-схема системи  
всережимного регулювання  
конвертованих автотракторних  
газодизелів

У режимі “газодизель” через обмотку електромагнітного клапана 8 проходить електричний струм. Він перебуває у відкритому стані і пропускає газ під тиском  $P_{p0} = P_p$  до датчика витрати газу 13, встановленого в корпусі ПНВТ 3 і зв’язаного зі штатним всережимним регулятором 14. Напруга на обмотку електромагнітного клапана 8 подається через послідовно включені контакти перемикача режимів “дизель–газодизель” 18 з індикатором 17 і ключ блокування 9, що замикається від розрідження у впускному трубопроводі 4. Це запобігає подачі газу в непрацюючий двигун.

Датчик витрати газу 13 виконаний у вигляді упору рейки ПНВТ з приводом від вхідного тиску газу  $P_{p0}$ . Під час роботи двигуна в режимі дизеля, коли електромагнітний клапан 8 закритий і тиск  $P_{p0}$  відсутній, датчик-упор 13 не перешкоджає переміщенню рейки  $h_p$  ПНВТ для регулювання подачі рідкого палива. У режимі газодизеля, коли електромагнітний клапан 8 відкритий, упор 13 приводиться в дію тиском  $P_{p0}$  і обмежує хід рейки в бік збільшення подачі рідкого палива.

На холостому ходу газодизеля рейка ПНВТ перебуває в положенні малих подач палива (зміщена вправо) і датчик-упор 13 не взаємодіє з регулятором:  $F_d = F_p = 0$ . При цьому доступ газу з входу на вихід датчика 13 перекритий і вихідний тиск відсутній:  $P_{др2} = 0$ . У разі навантаження двигуна рейка переміщається в бік збільшення подачі палива (вліво) і головний важіль регулятора упирається в датчик-упор 13, діючи на нього з деякою силою  $F_d$ , що створюється чутливим елементом регулятора  $F_p = F_d$  і залежить від відхилення частоти обертання двигуна від заданого значення. При цьому датчик починає пропускати газ на вихід, підтримуючи вихідний тиск  $P_{др2}$  пропорційним зусиллю  $F_d$ , створюваному регулятором 14,

$$P_{др2} = f \cdot F_d,$$

де  $f$  – коефіцієнт пропорційності між силою дії регулятора 14 на упор-датчик витрати газу 13 і величиною вихідного тиску (МПа/Н) [9].

Під тиском  $P_{др2}$  газ надходить до регулятора вихідного тиску 10, що забезпечує необ-

хідну витрату в рампу 11 при тиску  $P_{зк} = P_{др2}$  і обмежує вихідний тиск  $P_{зк} \leq P_{кmax}$ . Витрата газу контролюється покажчиком 19.

Газові форсунки 12 відкриваються на постійний час незалежно від частоти обертання вала двигуна  $n_d$ , забезпечуючи витрату газу  $Q_z$  у двигун, пропорційний величині тиску в рампі:

$$Q_z = \mu \cdot P_{зк} \cdot n_d,$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати форсунок 12.

За часткових навантажень датчик витрати газу 13 формує на виході тиск менше максимального  $P_{др2} < P_{кmax}$ , що забезпечує формування регуляторної ділянки характеристики газодизеля при подачі газу

$$Q_z = \mu \cdot P_{зк} \cdot n_d = \mu \cdot f \cdot F_d \cdot n_d.$$

Зі збільшенням навантаження і, внаслідок цього, зниженням частоти обертання двигуна  $n_d$ , збільшуються зусилля, створюване відцентровим регулятором  $F_p$ , реакція датчика  $F_d$  і, відповідно, тиск  $P_{др2}$ . Із моменту досягнення  $P_{др2} = P_{кmax}$  вихідний тиск  $P_{зк}$  стабілізується ( $P_{зк} = P_{кmax}$ ), забезпечуючи постійну максимальну циклову подачу газу – формується коректорна ділянка характеристики при подачі газу

$$Q_z = \mu \cdot P_{кmax} \cdot n_d.$$

Таким чином, під час роботи газодизеля в режимі середніх навантажень (регуляторна ділянка зовнішньої швидкісної характеристики при  $n_d \approx \text{const}$ ) величина подачі газу  $Q_z$  у двигун визначається в основному роботою відцентрового регулятора 14. При цьому

$$Q_z = \mu \cdot P_{зк} \cdot n_d \equiv \mu \cdot f \cdot F_d.$$

Після перевищення режиму номінального навантаження настає обмеження циклової подачі газу (коректорна ділянка зовнішньої швидкісної характеристики при  $P_{зк} = P_{кmax} \approx \text{const}$ ), і його витрата визначається в основному частотою обертання

$$Q_z = \mu \cdot P_{кmax} \cdot n_d \equiv \mu \cdot n_d.$$

Корегуючи час відкриття газових форсунок комутатором 16, зв’язаним з датчиком положення колінчастого вала 15, можна в широких межах змінювати коефіцієнт витрати  $\mu \cdot i$  подачу газу, що дозволяє вирішити і проблему стійкості роботи газодизеля на малих частотах обертання холостого ходу.

### Висновки

1. Короткий аналіз робіт із застосуванням природного газу як моторного палива показує, що створення систем живлення двигунів внутрішнього згоряння природним газом все ще залишається актуальним. Останнім часом розширюється застосування систем упорскування газу з електронним керуванням.
2. Впровадження природного газу для живлення двигунів в Україні через відсутність власного двигунобудування повинно здійснюватися шляхом перевodu (конверту-

вання) існуючих двигунів установкою газового устаткування, виробництво якого може бути налагоджене на наявних машинобудівних або ремонтних підприємствах.

3. Застосування газових форсунок для подачі ГМП у системі регулювання газодизеля ДДАУ дозволяє усунути основний її недолік – забезпечити дозування палива на коректорній ділянці характеристики і збільшити стійкість роботи газодизеля на малих частотах обертання холостого ходу.

### Бібліографія

1. Концепція національної програми використання природного газу як моторного палива в Україні на період до 2010 року / Національна академія наук України; Інститут газу. – К., 1999. – 14 с.
2. Закон України про альтернативні види рідкого та газового палива / Відомості Верховної Ради № 12. – К., 2000, ст. 94.
3. Бабич А.С. Всережимный регулятор газодизеля / А.С. Бабич, П.М. Кухаренко, В.А. Улексін // Геотехническая механика: межведомственный сборник научных трудов. – Днепропетровск: Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова НАН Украины, 2008. – Вып. 75. – С. 214–218.
4. Бабич А.С. Резултати експлуатаційних випробувань газобалонних автомобілів КраЗ-258 / А.С. Бабич, П.М. Кухаренко, В.О. Улексін // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук, 2002. – Вип. 3(14). – С. 37–38.
5. Бабич А.С. Коректування характеристики автотракторного газодизеля / А.С. Бабич, П.М. Кухаренко, В.О. Улексін // Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства ім. П.М. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2006. – Вип. 44, т. 1. – С. 133–137.
6. Результати випробувань газодизельних тракторів / А.С. Бабич, П.М. Кухаренко, В.О. Улексін, В.М. Яцук // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – № 12(2). – С. 456–464.
7. Володин В.М. Использование газа в качестве топлива для тракторов / В.М. Володин // Обзор. информ. Сер. 1. Тракторы и двигатели. – М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1989. – Вып. 1. – 48 с.
8. Кухаренко П.М. Формування коректорної характеристики газодизеля. / П.М. Кухаренко, В.О. Улексін, В.М. Яцук // Геотехническая механика: межведомственный сборник научных трудов. – Днепропетровск: Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова НАН Украины, 2008. – Вып. 75. – С. 214–218.
9. Кухаренко П.М. Дослідження роботи датчика витрати газу системи регулювання газодизеля Д-65Н / П.М. Кухаренко, В.О. Улексін, В.М. Яцук // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – Дніпропетровськ, 2009. – № 2. – С. 227–229.
10. Кухаренко П.М. Методика експериментальних досліджень роботи газодизеля на режимі холостого ходу / П.М. Кухаренко, В.О. Улексін, В.М. Яцук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків, 2011. – Вип. 109. – С. 34–39.
11. Пронин Е.Н. Системы управления подачи природного газа для двигателей (по материалам конференции и выставки Международной ассоциации использования природного газа на транспорте IANGV, Иокогама, Япония) / Е.Н. Пронин, В.А. Бурцев // Информационный бюллетень № 2(7). – М.: Национальная газомоторная ассоциация, 2001. – 19 с.
12. Пат. 82708 Україна, МПК4F02B69/04. Пристрій для регулювання потужності газодизеля / А.С. Бабич, П.М. Кухаренко, В.О., Улексін, В.М. Яцук. – Опублік. 2008. Бюл. № 9.
13. Пат. 87768 Україна, МПК4F02B69/04. Пристрій для регулювання потужності газодизеля / А.С. Бабич, С.В. Безрукавий, В.М. Панченко, В.О. Улексін. – Опублік. 2009. Бюл. № 11.