

© С. Л. Тимошенко, завідувач сектору,

ORCID: 0009-0003-3781-4120,

e-mail: stimoshenko@insat.org.ua;

© В. Б. Агеєв, канд. техн. наук, начальник

науково дослідного центру – технічної  
служби з випробувань транспортних засобів,

ORCID: 0000-0002-5701-2518;

e-mail: vageev@insat.org.ua;

© А. В. Голик, канд. техн. наук, завідувач від-

ділу, ORCID: 0000-0002-0994-9541,

e-mail: aholyk@insat.org.ua

(ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

© Sergii Tymoshenko, Head of the sector,

ORCID: 0009-0003-3781-4120,

e-mail: stimoshenko@insat.org.ua;

© Volodymyr Ageiev, PhD., Head of Research

Centre - Road Vehicle Testing Technical Service,

ORCID: 0000-0002-5701-2518,

e-mail: vageev@insat.org.ua;

© Andrii Holyk, PhD, Head of Department,

ORCID: 0000-0002-0994-9541;

e-mail: aholyk@insat.org.ua

(SE "State Road Transport Research Institute")

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЇ ГАЗОБАЛОННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОБОТИ АВТОМОБІЛІВ НА ЗРІДЖЕНОМУ НАФТОВОМУ ГАЗІ

### TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF GAS CYLINDER EQUIPMENT DESIGN FOR VEHICLES RUNNING ON LIQUEFIED PETROLEUM GAS

**Анотація.** Розглянуто сучасні тенденції розвитку газобалонного обладнання (ГБО) для автомобілів, зокрема його конструктивні вдосконалення, що підвищують ефективність, безпеку та екологічність. Проведено огляд розвитку виробництва та встановлення газового обладнання, які сприяють зниженню витрат на паливо та покращенню безпеки водіїв та пасажирів. Проаналізовано вплив інтеграції електронних систем керування на точність подачі палива та зменшення витрат. Окреслено перспективи застосування ГБО в автомобілях з безпосереднім упорскуванням пального та новітніх технологій, таких як впорскування рідкої фази. Досліджено економічні аспекти впровадження ГБО та особливості його використання в сучасних умовах. Дана стаття буде корисною для фахівців у галузі автомобілебудування, екології та безпеки дорожнього руху, а також для власників автомобілів, які мають намір встановити газобалонне обладнання на свій автомобіль.

**Ключові слова:** газобалонне обладнання, альтернативне паливо, зріджений нафтовий газ, системи упорскування, автомобільний транспорт, колісний транспортний засіб.

**Abstract.** The article presents a historical overview of the development and use of liquefied petroleum gas in the transportation sector. It analyzes current trends in the advancement of gas cylinder equipment, particularly structural improvements aimed at enhancing vehicle safety and environmental performance. Special attention is given to liquid-phase fuel injection technologies. The study evaluates the role of LPG, its advantages and disadvantages, and the potential of emerging technologies in the automotive industry.

The article also explores modern trends in the development of gas cylinder equipment for vehicles, focusing on structural advancements that improve efficiency, safety, and ecological sustainability. A review of gas cylinder equipment systems is presented, emphasizing their role in reducing fuel costs and enhancing operational safety. Particular attention is paid to the integration of electronic control systems, which allow for more precise fuel dosing and lower consumption.

Additionally, the study investigates the prospects of using gas cylinder equipment in vehicles equipped with direct fuel injection systems, highlighting innovative technologies such as liquid-phase injection. These advancements contribute to optimizing the combustion process, improving engine efficiency, and reducing harmful emissions. Furthermore, the economic aspects of gas cylinder equipment implementation are analyzed, including fuel cost savings, investment profitability, and long-term financial benefits for vehicle owners, including commercial fleets.

Given the increasing popularity of LPG as an alternative fuel, the article underscores its advantages over conventional gasoline and diesel, particularly in terms of emission reduction, accessibility, and economic feasibility.

This research will be valuable for automotive engineers, specialists in environmental protection and road safety, as well as vehicle owners considering the installation of gas cylinder equipment.

**Keywords:** gas fuel system, alternative fuel, liquefied petroleum gas, fuel injection systems, automotive transport, wheeled vehicle.

## Вступ

У сучасних умовах автомобільний транспорт відіграє ключову роль у глобальній економіці, але водночас залишається одним із найбільших споживачів традиційних видів палива. Зростання цін на бензин та дизельне паливо, посилення екологічних стандартів та необхідність зменшення викидів  $\text{CO}_2$  стимулюють пошук альтернативних рішень. Одним із найбільш поширених варіантів є використання газобалонного обладнання (ГБО), яке дозволяє знизити витрати на паливо та покращити екологічні характеристики автомобілів.

Незважаючи на популярність ГБО, його впровадження супроводжується рядом технічних та економічних викликів. Зокрема, сучасні автомобільні двигуни з безпосереднім упорскуванням пального мають складні системи керування, що ускладнює адаптацію традиційних ГБО. Відтак, інженери активно працюють над новими поколіннями систем упорскування газу, які забезпечують ефективну роботу без втрати потужності двигуна та з мінімальними витратами на переобладнання.

Метою даного дослідження є аналіз тенденцій розвитку конструкції ГБО, визначення його переваг та недоліків, а також оцінка перспектив застосування новітніх технологій в автомобільній галузі.

В нашій країні широке розповсюдження як моторного палива отримав зріджений нафтовий газ (ЗНГ) та стає все більш популярним в умовах постійно зростаючих цін на бензин. Перехід автомобілів на ЗНГ здійснюється переважно шляхом встановлення газового обладнання вже на автомобіль, який експлуатується. Роботами з переобладнання шляхом встановлення газобалонного обладнання займаються різноманітні підприємства, які не мають відношення до виробництва автомобілів. При цьому деякі виробники автомобілів створюють спеціальні модифікації газобалонних автомобілів, які працюють виключно на газовому паливі.

Газобалонне обладнання для автомобілів (ГБО) - це система, яка дозволяє автомобілю працювати на газовому

паливі, крім бензину. Типова сучасна система ГБО складається з кількох компонентів, включаючи балони для зберігання газу, редуктор, який знижує тиск газу, форсунки, які розпилюють газ у двигун, і електронний блок керування (ЕБК), який контролює роботу системи.

## Основна частина

За даними World LPG Association (WLPGA), зріджений нафтовий газ (ЗНГ) посідає третє місце у світі за обсягами споживання моторних палив, поступаючись лише традиційним бензинам та дизельному паливу[1].

ЗНГ, який застосовується як моторне паливо, здебільшого містить такі вуглеводні: пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) і бутан ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), а також у незначних кількостях етан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), етилен ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), пропілен ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ), бутилен ( $\text{C}_4\text{H}_8$ ) і пентани ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ). Його фізико-технічні характеристики полягають у тому, що суміш пропану та бутану, яка за нормальних умов має газоподібний стан, під впливом підвищеного тиску переходить у зріджений стан та має достатньо високу об'ємну енергетичну щільність, яка наближена до бензинів та дизельного палива.

Перші автомобільні двигуни, які працювали на ЗНГ з'явилися в середині 1930-х років. ЗНГ був виявлений у Німеччині в 1920-х роках як побічний продукт нафтопереробки. Він продавався в балонах як пропан і бутан. У

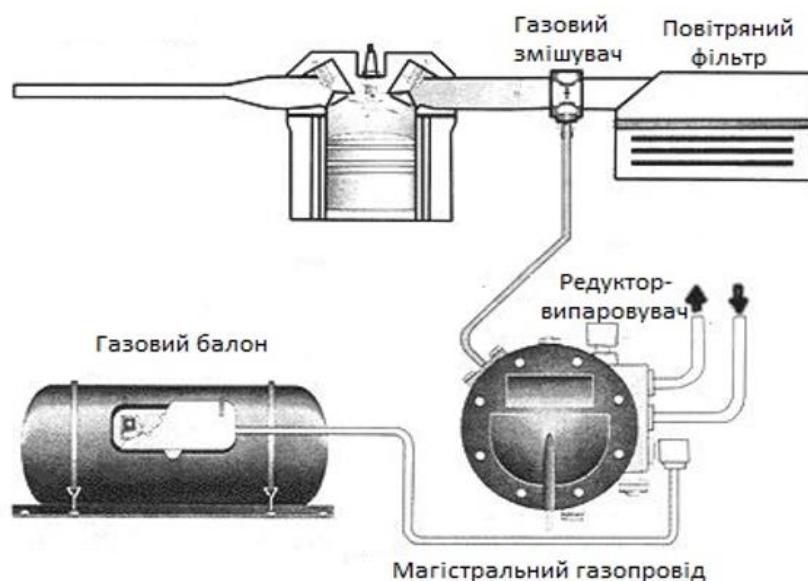


Рис. 1. Схема перших систем ГБО

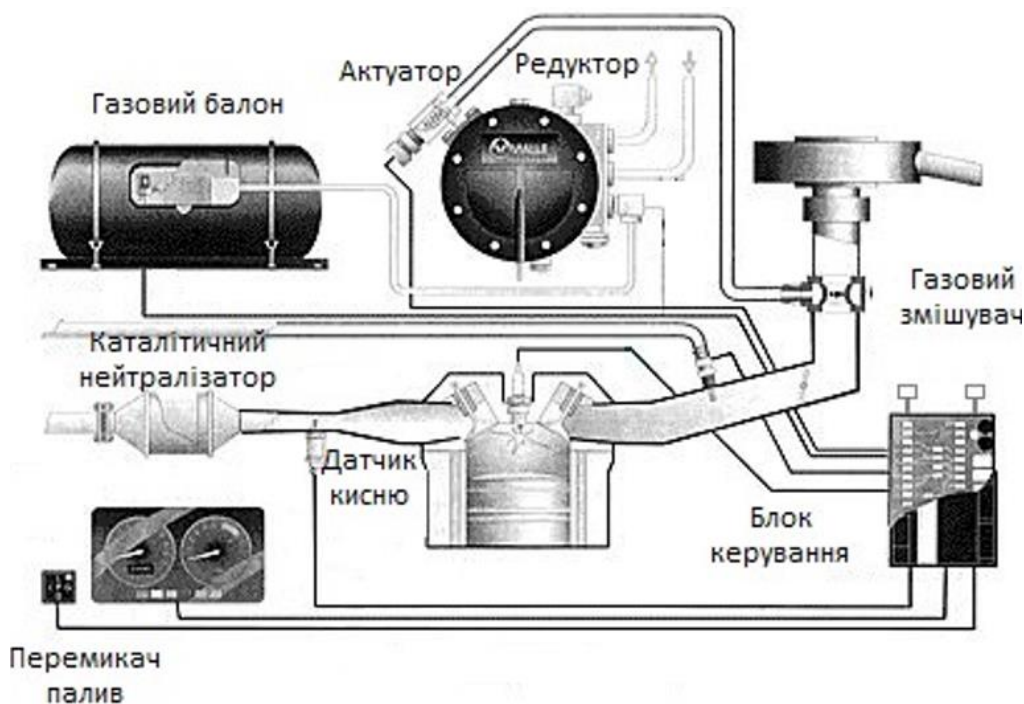


Рис. 2. Схеми другого покоління ГБО

той же час країни з низькими запасами нафти, такі як Англія та Німеччина, почали шукати альтернативні види палива для своїх зростаючих автопарків. Вони експериментували з різними видами палива, включаючи природний газ (метан) і ЗНГ [2].

У 1934 році Німеччина почала шукати способи зменшити свою залежність від імпорту нафти. У 1935 році в берлінському автосалоні були представлені кілька автомобілів, які працювали на альтернативних видах палива, включаючи дизельне, газове, метанове та метанольне. Через дефіцит традиційного палива в роки другої світової війни газові автомобілі стали дуже популярними. Зріджений газ був доступним у великій кількості, оскільки він вироблявся як побічний продукт при синтезі авіаційних та інших рідких палив з бурого вугілля.

Перші системи ГБО були розроблені для бензинових і дизе-

льних двигунів. Зріджений газ з балонів або резервуарів подається в рідкій фазі до випарника, який перетворює його в газоподібний стан і регулює тиск. Потім газ подається в змішувач, розташований перед дросельною заслінкою. Змішувач створює низький тиск у впускному колекторі, що сприяє змішуванню газу з повітрям. Склад суміші регулюється вручну, щоб забезпечити оптимальну роботу двигуна в різних режимах. Система повністю механічна і має дуже мало рухомих час-

тин (рис. 1) [3].

Технічні рішення, розроблені в ті роки, стали еталоном на десятиліття вперед. Ця проста технологія поширилася в інших країнах і використовувалася на півдні Франції та в Італії (як на ЗНГ, так і на природному газі). Його основні принципи все ще використовуються сьогодні на карбюраторних двигунах, таких як ті, які є на скутерах або в гене-

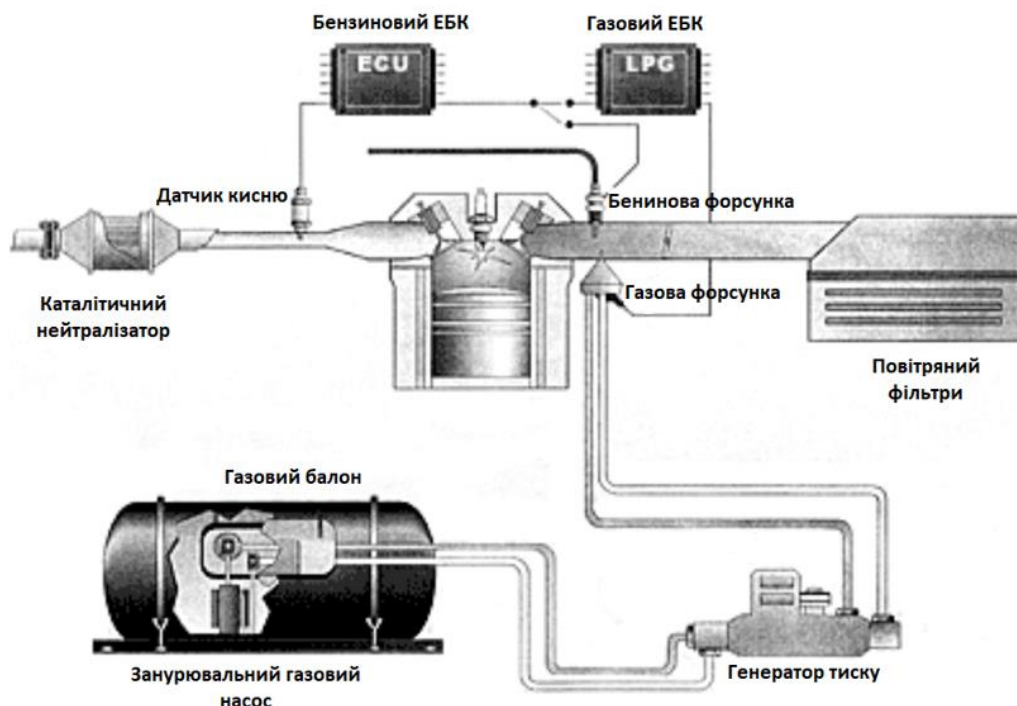


Рис. 3. Схема третього покоління ГБО

раторах. Навіть поява карбюраторів з електронним керуванням і перших систем впорскування палива не змінили міцну та надійну технологію.

Зростаючі вимоги до викидів забруднюючих речовин призвели до широкого впровадження трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів у вихлопні системи автомобілів. Для забезпечення ефективної роботи цих нейтралізаторів необхідно забезпечувати точне регулювання суміші повітря і палива. Значене регулювання було реалізовано розробленням систем електронного управління, які замінили механічні регулювання в системах Вентурі, що мало наслідком формування певної сукупності систем, що можна визначити як системи ГБО нового – другого «покоління» (рис. 2) [3]. З того часу при впровадженні істотних змін в конструкції систем ГБО їх розпочали умовно класифікувати за поколіннями.

Оскільки ризик появи ефекту зворотного вогню різко зростає у двигунах (чи у системах ГБО) з довшими впускними отворами та більшими камерами нагнітання, системи Вентурі менш підходять для цих більш сучасних типів двигунів. У пізніші ітерації розвитку систем ГБО повністю відмовилися від змішувача та передбачали подачу палива безпосередньо перед впускним отвором кожного циліндра. Окрім зменшення ризику зворотного вогню, ці системи були набагато точнішими з точки зору розподілу палива, і втрату потужності, зазвичай пов'язану з роботою на газовому паливі, можна було значно зменшити. Ці інжеційні системи постійного потоку, які відносно до третього покоління, вже були оснащені регульованим клапаном, керованим електронікою

для регулювання потоку суміші палива (рис. 3) [3].

Система розподіленого упорскування газу четвертого покоління забезпечує подачу газу в циліндри двигуна за допомогою електромагнітних форсунок. Ця система відрізняється від попередніх поколінь більш точним дозуванням палива, оскільки газовий електронний блок керування (ЕБК) застосовує власні таблиці часу для впорскування та керує процесами двигуна автомобіля незалежно від блоку керування бензиною частиною системи живлення. Ці системи дозволяють точно контролювати подачу газу в двигун, гарантуючи, що він завжди отримує необхідну кількість палива. Електронні системи керування також дозволяють діагностувати та моніторити газобалонне обладнання, що полегшує виявлення та усунення несправностей. Наразі системи ГБО четвертого покоління (рис. 4) [4] є найпоширенішим типом газобалонного обладнання, яке встановлюють на автомобілі.

Майже одночасно з четвертим поколінням ГБО, виробники почали досліджувати можливість впорскування рідкої фази ЗНГ безпосередньо в двигун замість того, щоб перетворювати зріджений газ на пару. Системи вприскування рідкої фази (Liquid Phase Injection - LPI) і пряме впорскування рідкої фази (Liquid Phase Direct Injection - LPDI), го-

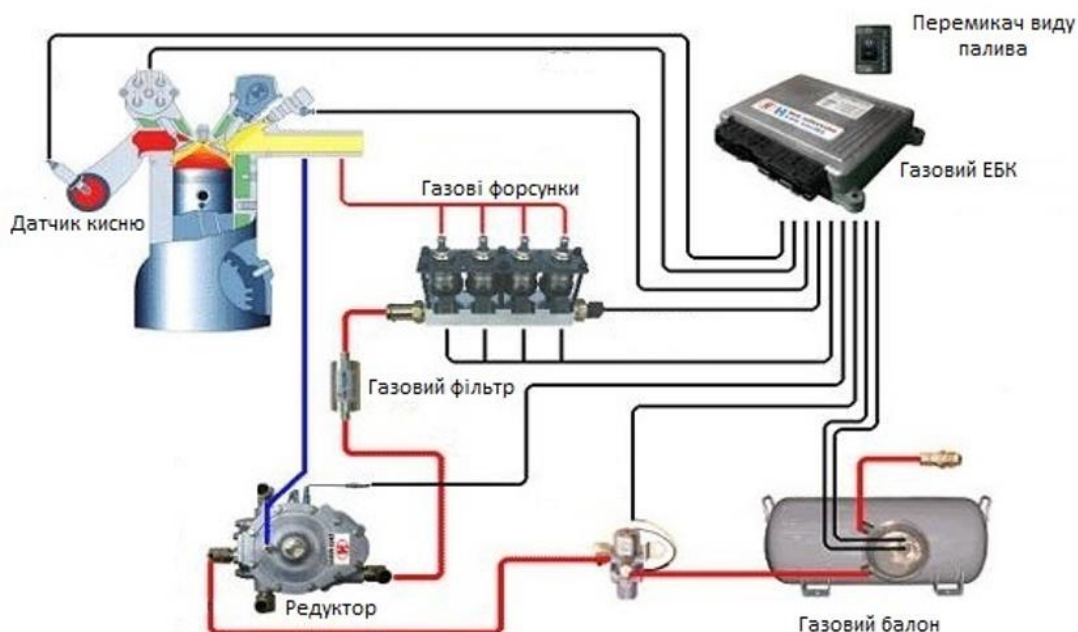


Рис. 4. Схема четвертого покоління ГБО



Рис. 5. Схема система ГБО Liquid Si компанії Vialle Autogas Systems B.V.

ловна відмінність яких полягає в тому, що системи LPI впорскують рідкий зріджений газ у впускний колектор, тоді як альтернатива LPDI є більш досконалою та впорскує зріджений газ безпосередньо в камеру згорання.

Значних результатів в розробці таких систем як LPI та LPDI досягла нідерландська компанія Vialle Autogas Systems B.V. Система Liquid Si (рис. 5) [5] позиціонується як п'яте покоління та працює майже так само, як і бензинова система. Рідке паливо циркулює і подається в інжектори. Система має газовий балон з вбудованим мембранним насосом. Паливо подається в форсунки, які розташовані у впускному колекторі. Надмірне паливо повертається через блок регулятора тиску в паливний бак.

Конструкція сучасних двигунів внутрішнього згорання значно ускладнилась,

одна з основних тенденцій розвитку це зменшення робочого об'єму двигуна та застосування системи безпосереднього упорскування палива, яка включає в себе високотехнологічні паливні форсунки та паливний насос високого тиску. Встановлення на такі двигуни найбільш розповсюджених систем ГБО четвертого покоління без суттєвого доопрацювання є неможливим. Тому більшість виробників ГБО почали розробляти спеціальні системи четвертого покоління для двигунів з безпосереднім упорскуванням палива,

але значним недоліком таких систем є те що для захисту бензинових форсунок від перегріву та нагароутворення подача бензину через них не припиняється, а обмежується приблизно до 20% від загальної витрати палива.

Система DirectBlue (рис. 6) [6] – це шосте покоління систем ГБО метою якого було

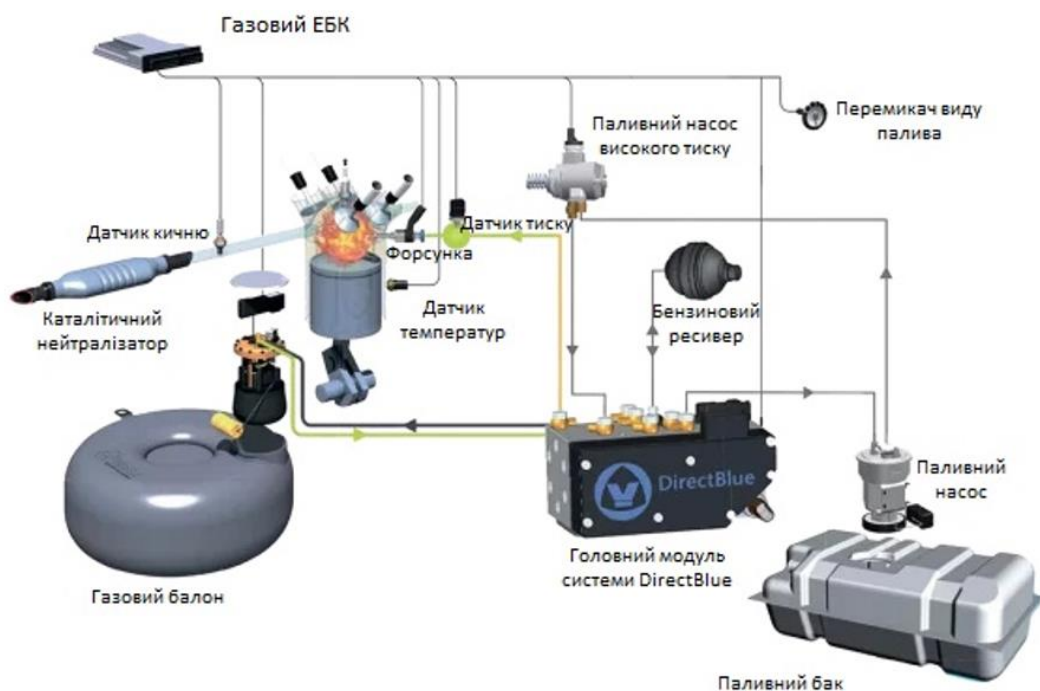


Рис. 6. Схема система ГБО DirectBlue компанії Vialle Autogas Systems B.V.

імплементуватися у двигуни з безпосереднім упорскуванням палива. Інноваційне рішення від Vialle Autogas Systems B.V. передбачає двосторонній рухомий поршень, що створює тиск газу за рахунок тиску бензину та є «серцем» всієї системи. Система відрізняється від попередніх поколінь тим, що вона використовує для впорскування газу штатні пристрої двигуна, призначені для бензину. Газова електросхема керування лише переключає магістралі в модулі узгодження DirectBlue, що дозволяє їй бути більш надійною і довговічною. В результаті не потрібно врізати додаткові форсунки або свердлити отвори в двигуні. Система має ідеальне налаштування та до-

і включена до групи найновітніших польських виробів і технологій [9]. Цю систему вже представляють як сьоме покоління.

Система STAG 500 DIS призначене лише для автомобілів з безпосереднім упорскуванням палива. Вона відрізняється від інших поколінь тим, що газ подається в циліндри як у рідкому, так і в газоподібному вигляді. Газоподібна фаза подається через газові форсунки, а рідка фаза - через бензинові форсунки. Для подачі рідкої фази використовуються два насоси, які створюють тиск близько 20 атмосфер. Цього тиску достатньо, щоб охолодити бензинові форсунки і запобігти їх перегріву.

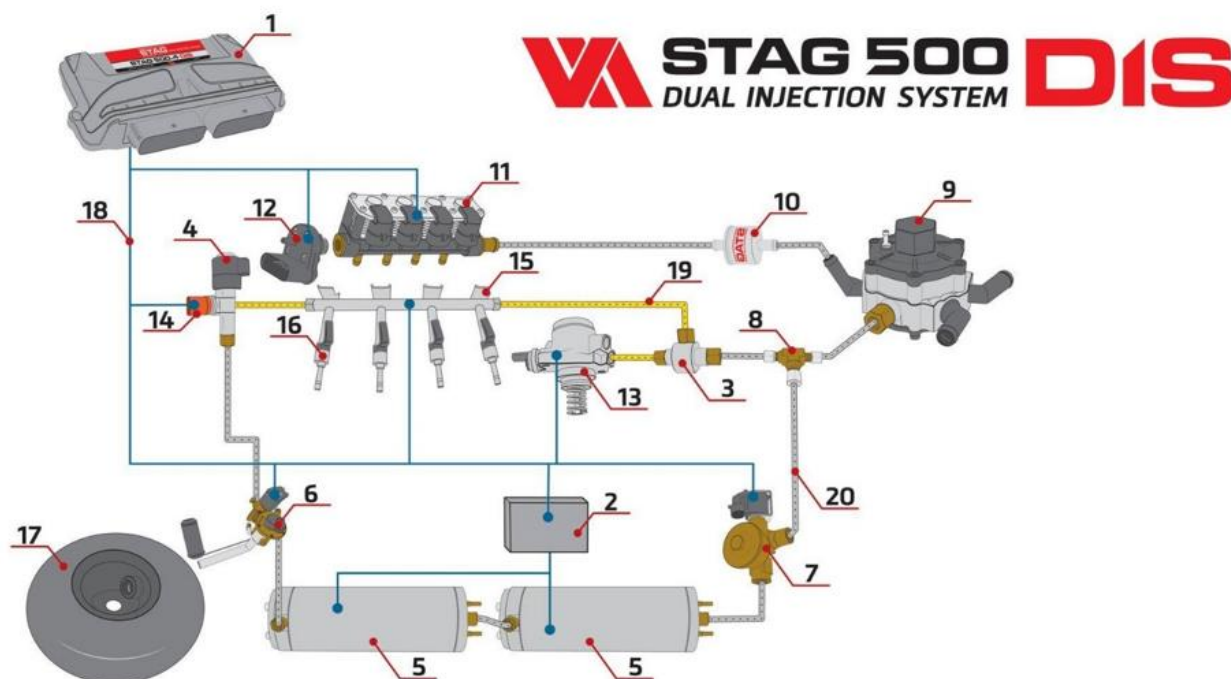


Рис. 7. Схема система ГБО STAG 500 DIS компанії AC S.A.

зволяє зменшити витрати палива та контролювати його дозування, що робить його більш точним та дозволяє не втрачати при цьому в потужності двигуна. Але недоліком такої системи є його дороговизна.

На жаль, компанія Vialle Autogas Systems B.V. в травні 2022 року оголосила про своє банкрутство та припинила діяльність [7].

На стадії тестування знаходиться система STAG 500 DIS польського виробника ГБО AC S.A. Система STAG 500 DIS є інноваційною газовою установкою, яка подає газ безпосередньо в циліндри (рис. 7) [8]. Вона не передбачає додаткового використання бензину при роботі на ЗНГ, що робить її більш екологічною і економічною. Система була відзначена як одна з найперспективніших на ринку

**Рис. 7.** 1-електронний газовий блок керування STAG 500 DIS; 2-блок керування газовими насосами; 3-паливний розподільник; 4-зворотній газовий електромагнітний клапан; 5-два газових насоси; 6-мультиклапан; 7-електромагнітний клапан з фільтром; 8-трийник; 9-газовий редуктор; 10-газовий фільтр парової фази; 11-газові форсунки; 12-датчик тиску газу; 13-паливний насос високого тиску; 14-паливний датчик високого тиску; 15-паливна рейка; 16-паливні форсунки; 17-газовий балон; 18-електричний джгут; 19-паливний трубопровід високого тиску; 20-газовий трубопровід.

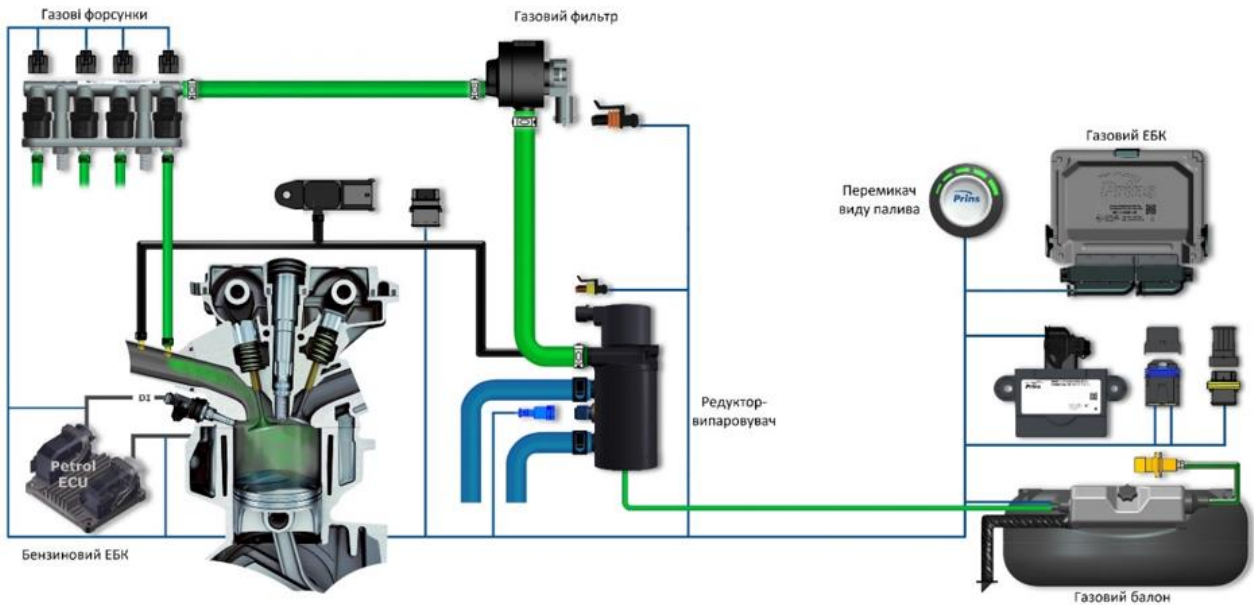


Рис. 8. Схема система ГБО компанії Prins

Досить цікавий шлях розвитку для систем ГБО обрала нідерландська компанія Prins (рис. 8) [10]. Компанія пропонує готові рішення для установки під конкретні моделі та модифікації автомобілів, які включають в себе все необхідне для успішного монтажу. До них відносяться детальні інструкції з розташування елементів, типів кріплень, довжини магістралей і шлангів тощо. Однак найголовніше в цих рішеннях - це персоналізоване програмне забезпечення, яке забезпечує управління впорскуванням палива не гірше,

ніж штатний бортовий ЕБК автомобіля, а також впровадження виняткового сервісу та підтримки свого продукту.

На сьогодні кількість автомобілів оснащених двигунами з безпосереднім впорскуванням стрімко зростає, а для власників таких автомобілів все актуальнішим постає питання фінансової вигоди від переобладнання свого автомобіля для роботи на ЗНГ, тому що сучасні та інноваційні системи ГБО значно перевищують вартість базових систем для

Таблиця 1

Порівняння систем ГБО 5-7 поколінь

Система ГБО	Принцип роботи	Переваги	Недоліки	Виробники
LPI (Liquid Phase Injection)	Впорскування рідкого ЗНГ у впускний колектор	Вища продуктивність, менше замерзання	Вища вартість, складніша установка	Vialle, Prins
LPDI (Liquid Phase Direct Injection)	Впорскування рідкого ЗНГ безпосередньо в камеру згоряння	Відсутність бензинової фази, вища ефективність	Висока вартість, потреба у спеціальних форсунках	Vialle, ICOM
DirectBlue	Перемикання магістралей між бензином і газом у штатній системі двигуна	Висока точність дозування, простота інтеграції	Дорожнеча, обмежена сумісність	Vialle (знято з виробництва)

двигунів з розподільчим впорскуванням палива. Хоч зріджений газ коштує менше, ніж бензин, однак ціна обладнання для переходу на ЗНГ може значно відтермінувати відчутну фінансову вигоду. Найкращим способом оцінити ефективність переобладнання автомобіля на газ є розрахунок економічного ефекту на 100 км пробігу. Пробіг до настання моменту окупності переобладнання можна розрахувати за формулою [10], км:

$$S = \frac{V_{\text{переобл}}}{V_{\text{Б}} - V_{\text{ЗНГ}}}, \quad (1)$$

де  $V_{\text{переобл}}$  – вартість переобладнання, грн;

$V_{\text{Б}}$  – вартість одного кілометра пробігу на бензині, грн/км;

$V_{\text{ЗНГ}}$  – вартість одного кілометра пробігу на ЗНГ, грн/км.

Формула визначення терміну окупності (днів) має такий вигляд [11]:

$$n_{\text{днів}} = \frac{V_{\text{переобл}}}{(V_{\text{Б}} - V_{\text{ЗНГ}}) \cdot S_{\text{доб}}}, \quad (2)$$

де  $S_{\text{доб}}$  – добовий пробіг автомобіля, км;

$$V_{\text{Б}} = \frac{Q_{\text{Б}} \cdot C_{\text{Б}}}{100}; \quad V_{\text{ЗНГ}} = \frac{Q_{\text{ЗНГ}} \cdot C_{\text{ЗНГ}}}{100}, \quad (3)$$

де  $Q_{\text{Б}}$  – витрата бензину на 100 км, л/100 км;

$Q_{\text{ЗНГ}}$  – витрата ЗНГ на 100 км, л/100 км;

$C_{\text{Б}}$ ,  $C_{\text{ЗНГ}}$  – ціна одного літру бензину та ЗНГ відповідно, грн.

Одним із пріоритетних напрямків досліджень та розробок виробників систем ГБО є створення досконалої та безпечної технології, яка б не потребувала значних зусиль при встановленні, налаштуванні, обслуговуванні та, водночас, була б більш доступною для споживача.

## Висновки

1. Сучасні системи ГБО у процесі свого розвитку вже набули певних основних переваг та мають такі недоліки:

- можливість запуску двигуна на газовому паливі при будь-якій температурі навколишнього середовища;

- можливість автоматичного перемикання між видами палива;

- відсутність втрати потужності двигуна після переобладнання;

- підвищення екологічних властивостей двигунів;

- відносно невелику зміну витрати палива порівняно з бензином;

- складність усієї системи ГБО разом з іншими системами живлення;

- висока вартість систем та їх обслуговування.

2. Огляд систем ГБО показав, що виробники ГБО стали все більше зосереджуватися на покращенні ефективності й продуктивності своїх систем з урахуванням сучасних тенденцій автомобілебудування. Тенденції розвитку сучасних систем газобалонного обладнання це можливість повної інтеграції з електронною та паливною системою керування двигуна автомобіля, при цьому виробники шукають шляхи вдосконалювання технологій виробництва з метою зменшення вартості обладнання.

3. Загалом, для більшості власників автомобілів установка ГБО на сучасні автомобілі з двигунами безпосереднього впорскування палива є економічно вигідною. Однак, перед тим, як прийняти рішення про встановлення ГБО, необхідно врахувати всі фактори, які можуть вплинути на економічність експлуатації автомобіля або на можливість забезпечити виконання стрімко зростаючих вимог щодо екологічності автомобілів, зокрема обмежень до використання автомобілів на певних дорожніх інфраструктурах, встановлених законодавством або місцевими органами влади.

4. Найбільш перспективним є застосування спеціалізованих суто газових двигунів при серійному виробництві автомобілів. На жаль, лише кілька підрозділів автоконцернів виготовляють такий спеціальний автотранспорт лише дрібними партіями.

## References

1. Autogas incentive policies. (2023). World LPG Association. Retrieved from <https://online.fliphtml5.com/addge/nxuz/#p=39>
2. The Initial Spark. site. (2023) Retrieved from <https://auto-gas.net/about-autogas/history>
3. Pham, Phuong. (2006). Comparison of Liquid and Gaseous Liquefied Petroleum Gas Injection in a Spark Ignition Engine. 10.13140/RG.2.1.2470.0969. Retrieved from

[https://www.researchgate.net/publication/274700925\\_Comparison\\_of\\_Liquid\\_and\\_Gaseous\\_Liquefied\\_Petroleum\\_Gas\\_Injection\\_in\\_a\\_Spark\\_Ignition\\_Engine](https://www.researchgate.net/publication/274700925_Comparison_of_Liquid_and_Gaseous_Liquefied_Petroleum_Gas_Injection_in_a_Spark_Ignition_Engine)

4. Filling it up: LPG. (2024). Retrieved from <https://www.carexpert.com.au/car-news/filling-it-up-lpg>

5. Autogas Centre (2024). How gas cylinder equipment of the 5th generation is arranged: General principles and scheme of operation of the main nodes. Retrieved from <https://gbo.co.ua/uk/gbo/lpg-element-2>

6. Vialle Autogas Systems B.V. (2023). Vialle is proud to offer you the most advanced gas system available in the world: the unique and highly innovative DirectBlue system. Retrieved from <https://www.vialle.nl/ua/products/directblue>

7. Vialle Autogas Systems B.V. (2023). Retrieved from <https://www.vialle.nl/ua/>

8. Piotr Złoty. (2017). STAG 500 DIS - more than sixth generation. Retrieved from

<https://gazeo.com/automotive/products/STAG-500-DIS-more-than-sixth-generation.article.9761.html>

9. AC S.A. (2024) STAG 500 DIS – Продукт будущего предпринимателя. Retrieved from [https://www.ac.com.pl/ru-aktualnosci-main?cmn\\_id=4719&title=stag-500-dis-&ph\\_kontener\\_glowny\\_B\\_start=show](https://www.ac.com.pl/ru-aktualnosci-main?cmn_id=4719&title=stag-500-dis-&ph_kontener_glowny_B_start=show)

10. Prins. (2025) The following are the main components that are added to your car when an LPG conversion is installed. Retrieved from <https://www.prinsautogas.com/en/systems/vsi-system>

11. Manko, R.V. Symonenko. (2013). Expediency substantiation of conversion of a vehicle with a gasoline engine to liquefied petroleum gas by installing a modern gas supply system. Avtoshliakhovyk Ukrainy, 6, 2–4.