

particular, the number of basic variants of the hydraulic type car suspension is 130 units, hydropneumatic type - 148 units, pneumatic type - 96 units, magnetofluid type - 133 units, hydrovacuum type - 130 units and pneumovacuum type - 96 units.

USING this synthesis method, we developed and researched structures of hydropneumatic shock absorbers with an active pneumatic cylinder and damping elements, which, compared to traditional racks, had high adaptability and vibration resistance. It was experimentally proven that the developed shock absorbers with an active pneumatic cylinder and damping elements act as vibration dampers to a large extent.

structural and schematic synthesis, adaptive suspension, motor vehicle, structural features of elements, morphological analysis

Одержано (Received) 10.10.2023

Прорецензовано (Reviewed) 26.10.2023

Прийнято до друку (Approved) 30.10.2023

УДК 621.434.432

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.164-169](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.164-169)

Л.А. Тарандушка, проф., д-р техн. наук, **Д.О. Шалапко**, доц., канд. техн. наук
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
e-mail: tarandushkal@ukr.net, shalapko.denys@gmail.com

Покращення показників автомобільних дизельних двигунів при додаванні водневої каталітичної добавки

У статті розглядається один із методів підвищення продуктивності автомобільних дизельних двигунів, а саме введення водню (від 0,2% до 2,0% за масою) у склад основного дизельного палива. Пропонується інтегрувати водень у паливопровід високого тиску між паливним насосом високого тиску (ПНВТ) та форсуною. Цей підхід дозволяє досягти зменшення споживання палива на рівні від 0,4...2,8% без суттєвого переобладнання конструкції двигуна.
дизельний двигун, водень, водневі добавки, спосіб подачі водню, каталізатор

Постановка проблеми. Навіть з урахуванням досягнень у розробці ефективних дизельних двигунів внутрішнього згоряння для транспортних та стаціонарних енергетичних систем, зниження споживання пального та обмеження викидів шкідливих речовин у вихлопних газах цих двигунів залишається важливою та актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з можливих рішень вказаної проблеми є введення водню безпосередньо в робочий циліндр двигуна та його спалювання під час робочого ходу. У багатьох вітчизняних та закордонних наукових розробках цей підхід базується на подачі газоподібного водню безпосередньо до камери згоряння під час наповнення циліндра. Процес включає постачання водню до повітряного ресивера дизеля, а звідти разом з повітрям він потрапляє в циліндри [1].

Далі цей процес ґрунтується на принципі роботи газодизеля, де запалення водню в камері згоряння відбувається через запалення дизельного палива. Важливо відзначити, що водень може використовуватися як основне паливо, так і як додаткове, залежно від пропорцій (відношення за масою) між воднем та дизельним паливом.

Одним із основних недоліків даного процесу є зниження коефіцієнта надлишку повітря, що призводить до втрат потужності двигуна, значного підвищення

максимальної температури згоряння палива та збільшення концентрації оксидів азоту (NOx) у вихлопних газах. Використання водню як основного палива для ДВЗ на даний момент не є практично доцільним через його високу вартість та труднощі зберігання великих обсягів.

Очевидно, що прийнятним варіантом для ДВЗ є часткова заміна вуглеводневого палива воднем, тобто введення в циліндри двигуна невеликих домішок водню поруч із основним паливом. Це може підвищити експлуатаційну ефективність ДВЗ та зменшити його вплив на навколишнє середовище. Використання водню у вигляді невеликих домішок до органічного палива ДВЗ не породжує проблем із виробництвом та зберіганням, що робить його варіантом, що логічно враховується.

Це особливо актуально при роботі дизельних двигунів в містах та рекреаційних зонах. Саме на ці райони припадають важливість запобігання викидам з відпрацьованими газами, або часткові та динамічні режими роботи двигуна. Такий підхід дозволяє покращити якість сумішоутворення та горіння палива в циліндрах двигуна, сповільнює швидкість процесів спалаху та скорочує період затримки запалення.

Виклад основного матеріалу. Іншим підходом до вирішення даної проблеми є використання невеликих домішок водню (від 0,2% до 1,0% за масою) до основного рідкого палива ДВЗ. Важливо відзначити, що в цьому випадку водень використовується не як основне паливо, що замінює вуглеводневе паливо, але як каталізатор процесу згоряння вказаного палива у циліндрах ДВЗ.

Твердження, що водень виступає саме в якості каталізатора процесу горіння, ґрунтується на тому, що при невеликій його концентрації, навіть при високій теплотворній здатності ($Q_H=120$ МДж/(кгК)), його кількість (до 1,0% за масою) не впливатиме на горіння як додаткове паливо. Однак наявність водню в циліндрі буде сприяти стимулюванню самого процесу горіння та функціонуватиме в якості каталізатора.

Дослідження, проведені в лабораторії перспективних енергетичних технологій НУК, щодо введення малих домішок водню до основного рідкого дизельного палива ДВЗ, свідчать про те, що ці домішки призводять до інтенсифікації процесу згоряння дизельного палива, особливо важких сортів. Це призводить до зсуву робочого процесу ДВЗ вліво, що наближає його до процесу при постійному об'ємі. Зауважено, що при цьому відбувається перерозподіл теплового балансу ДВЗ: зменшується кількість тепла, викиданого в навколишнє середовище через систему охолодження та випускні гази. Це сприяє підвищенню коефіцієнта корисної дії (ККД) двигуна на 0,5% до 5,0%, залежно від кількості домішок водню та режиму навантаження. Отримані результати також підтверджуються попередніми дослідженнями інших науковців [1-3].

Аналіз попередніх досліджень вказує на те, що малі домішки водню позитивно впливають на роботу ДВЗ в часткових та перехідних режимах, особливо при використанні стандартного дизельного палива (проводились експерименти з використанням альтернативних палив). В цих випадках спостерігається найбільший позитивний ефект.

Отримані результати досліджень мають якісний характер і наразі не дозволяють розробити методику розрахунку робочих процесів з використанням домішок водню, окреслити оптимальну кількість водню для введення у циліндри дизельного ДВЗ та надати конкретні практичні рекомендації щодо модернізації ДВЗ при використанні таких домішок.

Серед важливих факторів, що значно впливає на ефективність застосування домішок водню, є спосіб їх подачі у ДВЗ. Додавання водню під час всмоктування двигуна, хоча й є простим методом, зустрічає труднощі у якісному регулюванні ДВЗ та може становити певний ризик через можливість утворення вибухонебезпечної суміші у впускному тракті та її запалення.

Одним із можливих варіантів є подача невеликих домішок водню з використанням рішення, яке було запропоноване науковим колективом під керівництвом професора Тимошевського Б.Г. [5]. Згідно з цією концепцією, водень додається у дизельне паливо під високим тиском на етапі низького тиску за допомогою спеціального пристрою. Під час хвилі тиску дизельне паливо насичується воднем і подається у форсунку, а звідти в циліндр двигуна. Після впорскування та зниження тиску у циліндрі, водень вивільняється з дизельного палива, сприяє подальшому подрібненню крапель та швидко дифундує у об'єм надпоршневого простору. Кількість водню, яка додається до циклової подачі дизельного палива, регулюється тиском водню на вході у пристрій.

Однак наукова література не надає достатньої інформації щодо результатів експериментального дослідження впливу додавання водню до основного рідкого палива дизельного двигуна. Таким чином, головною метою нашого дослідження стало експериментальне підтвердження даної теорії та отримання якісних результатів.

Принципова схема цього рішення представлена на рис. 1, а на рис. 2 наведені осцилограми параметрів у вказаних елементах паливної системи [3].

Використання такого підходу дозволяє уникнути значних модифікацій в конструкції двигуна та паливної системи, забезпечуючи при цьому високий рівень якості регулювання та безпеки при використанні водню як домішки. Розглянута схема дозволяє ефективно впроваджувати водень у процес згорання, при цьому забезпечуючи необхідний рівень безпеки та функціональності двигуна.

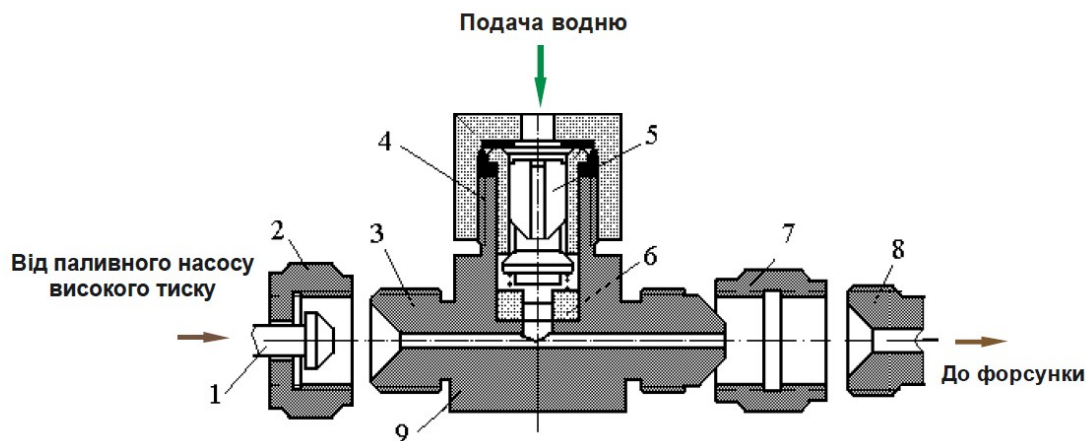


Рисунок 1 – Принципова схема пристрою для подачі каталітичних водневих домішок

Джерело: [3]

Раніше проведені дослідження в лабораторії перспективних енергетичних технологій НУК, використовуючи вдосконалений пристрій подачі водню, підтвердили ефективність цього методу в контексті раціонального введення водню до дизельного палива. Зазначений пристрій дозволяє підвищити ККД двигуна та зменшити споживання нафтового палива шляхом оптимізації передачі тепла у дизельному двигуні. Крім того, цей метод сприяє перерозподілу теплового балансу, зменшуючи втрати тепла через систему охолодження та викидами газів.

В результаті попередніх експериментів встановлено, що зменшення витрат дизельного палива для двигуна 8V12/12 (КАМАЗ 740.11-240) дорівнює 0,4–2,8%, в залежності від кількості водню (0,1–0,6% по масі) та навантаження на двигун (0,25–0,75 N_e). Додатково, отримані дані свідчать про поліпшення екологічних показників двигуна: викиди вуглеводнів (C_mH_n) зменшилися на 40–50%, монооксиду вуглецю (CO_2) – на 15–25%. Однак виявлено, що викиди оксидів азоту (N_xO_y) зросли на 3–7%, що пов'язано з певним підвищенням максимальної температури циклу.

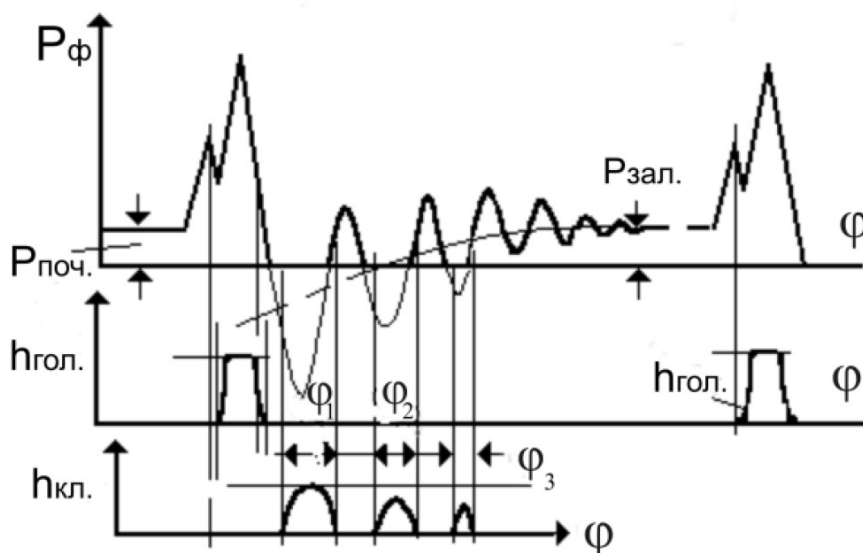


Рисунок 2 – Осцилограми хвильових коливань в паливній апаратурі дизеля та відносно переміщення голки форсунки

Джерело: розроблено авторами

Для визначення кількості водню на борту транспортного засобу, такого як автомобіль КАМАЗ 4308, при додаванні 0,5% водню до дизельного палива (що становить 2,1 кг), розглядайте різні варіанти для зберігання водню. Наприклад, якщо використовуєте металогідридний акумулятор із інтерметалідом $TiFe$, його маса може бути від 130 до 140 кг при об'ємі 20–22 л. Якщо обираєте композитні балони на основі полімерних матеріалів, їх маса може коливатися від 13 до 17 кг при об'ємі 28–30 л. Отже, важливо вибрати оптимальний варіант враховуючи конкретні потреби автомобіля КАМАЗ 4308.

Проте, ці дані переважно є описового характеру та не можуть служити основою для остаточних висновків і рекомендацій щодо впровадження зазначених заходів. Попередній економічний аналіз ефективності використання малих домішок водню у дизельному паливі дозволяє стверджувати, що витрати на додаткове обладнання та водень є невеликими у порівнянні з вартістю самого двигуна і становлять 0,09–1,14%. Додаткові витрати на водень складають приблизно 0,11–0,53% від вартості використаного дизельного палива (за умови використання технічного водню марки Б або нижчого гатунку). Зменшення витрат на дизельне паливо становить приблизно 4–9%, що призводить до загального позитивного економічного та екологічного впливу. На шляху впровадження цих заходів необхідно вирішувати комплекс завдань, перш за все, пов'язаних з експериментальним вивченням робочого процесу дизельного двигуна при використанні малих домішок водню, визначенням оптимальних параметрів цього

процесу та раціонального обсягу водню, що додається до дизельного палива для досягнення максимального ефекту.

Висновки:

1. Застосування невеликих кількостей водню як каталізатора для згоряння дизельного палива, включаючи важкі сорти, сприяє зменшенню витрат палива та навантаження на навколишнє середовище через зменшення викидів шкідливих речовин.

2. Необхідно розробити адекватні математичні моделі для опису робочого процесу у дизельних двигунах при використанні малих домішок водню. Також потрібні математичні моделі для процесів, які відбуваються в пристроях для подачі водню в паливній магістраль високого тиску.

3. Впровадження цього заходу має економічний сенс і може бути реалізоване на сучасному технічному рівні.

Список літератури

1. Gomes Antunes J.M, Mikalsen R., Roskilly A.P. An experimental study of a direct injection compression ignition hydrogen engine . *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, Issue 15, August 2009, P. 6516-6522.
2. Szwaja S, Grab-Rogalinski K. Hydrogen combustion in a compression ignition diesel engine. *Int. J. Hydrogen Energy* (2009), doi: 10.1016/2009.03.020.
3. Shalapko D. An experimental study of the wave effect in fuel equipment using hydrogen additives to diesel fuel . *Technology audit and production reserves*. 2018. № 6/1 (44). С. 36–40.
4. Шалапко, Д.О. Дослідження ефектів хвильових коливань в паливній апаратурі дизельного двигуна із застосуванням водневих добавок . *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2021. № 3 (486). С. 40-47.
5. Керимов З.Х. Математическое моделирование неустойчившихся процессов в двухфазном потоке в системе впрыска топлива дизельного двигателя . *Азербайджанское нефтяное хозяйство*. Баку. 2003. № 7. С. 42 – 47.
6. Керимов З.Х. Математическое моделирование гидродинамических процессов с учетом двухфазной среды в граничных полостях дизельной системы впрыска топлива . *Авиационно-космическая техника и технология*. 2004. № 8(16). 63-69 с.
7. Шалапко Д.О. Непрямі методи дослідження ефекту використання малих домішок водню до основного палива . *Авиационно-космическая техника и технология*. 2018. № 6 (150). С. 44–51.

References

1. Gomes Antunes, J. M., Mikalsen, R., & Roskilly, A. P. (2009). An experimental study of a direct injection compression ignition hydrogen engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(15), 6516-6522 [in English].
2. Szwaja, S., & Grab-Rogalinski, K. (2009). Hydrogen combustion in a compression ignition diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*. doi: 10.1016/2009.03.020 [in English].
3. Shalapko, D. (2018). An experimental study of the wave effect in fuel equipment using hydrogen additives to diesel fuel. *Technology audit and production reserves*, 6(1), 36–40 [in English].
4. Shalapko, D. O. (2021). Doslidzhennia effektiv khvyl'ovykh kolyvan' v palyvnyj aparaturi dyzel'noho dyvhuna iz zastosuvanniam vodnevyykh dobavok . [Investigation of wave oscillation effects in the fuel equipment of a diesel engine using hydrogen additives]. *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noho universytetu korablebuduvannia imeni admirala Makarova – Collection of Scientific Works of the National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov*, 3(486), 40-47 [in Ukrainian].
5. Kerimov, Z. K. (2003). Matematycheskoe modelyrovanye neustanovyvshykhsia protsessov v dvukhfaznom potoke v systeme vpryska toplyva dyzel'noho dyvhatelia [Mathematical modeling of unsteady processes in a two-phase flow in the fuel injection system of a diesel engine]. *Azerbajdzhanskoe nefyanoie khozjaystvo – Azerbaijan Oil Economy*, 7, 42–47 [in Ukrainian].
6. Kerimov, Z. K. (2004). Matematycheskoe modelyrovanye gidrodynamycheskykh protsessov s uchedom dvukhfaznoj sredy v hranychnykh polostiakh dyzel'noj systemy vpryska toplyva [Mathematical modeling

- of hydrodynamic processes considering a two-phase medium in the boundary chambers of the diesel fuel injection system]. *Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnika y tekhnolohiya – Aviation and Space Technology and Technology*, 8(16), 63-69 [in Ukrainian].
7. Shalapko, D. O. (2018). Nepriami metody doslidzhennia efektu vykorystannia malykh domishok vodniu do osnovnoho palyva [Indirect methods for investigating the effect of using small hydrogen admixtures to the base fuel]. *Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnika y tekhnolohiya – Aviation and Space Technology and Technology*, 6(150), 44–51 [in Ukrainian].

Ludmyla Tarandushka, Prof., DSc., **Denys Shalapko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Enhancement of Automotive Diesel Engine Performance Through the Addition of Hydrogen Catalytic Additive

The aim of the study is to present a new proposed method for improving the efficiency of transportation diesel engines. Considering the rising cost of transportation, where 80% of the expenses are attributed to fuel costs, there is a necessity to develop methods for reducing fuel consumption. Among the main approaches are the use of alternative fuels or fuel additives. One of the most effective and promising options is the utilization of hydrogen, both as an alternative fuel and a fuel additive.

Among the crucial factors significantly influencing the efficiency of hydrogen additives is the method of their delivery to the internal combustion engine. Injecting hydrogen during the engine's intake stroke, although a simple method, faces challenges in achieving precise engine control and poses risks due to the potential formation of an explosive mixture in the intake tract and subsequent ignition.

A proposed solution involves introducing small hydrogen additives into the high-pressure fuel line, between the fuel pump and the injector. After the completion of the injection process in the high-pressure line, a "rarefaction wave" is generated. Utilizing this effect allows introducing a small amount of hydrogen into the diesel fuel. Hydrogen delivery is ensured by a special device equipped with a check valve that reacts to changes in pressure in the fuel line. Hydrogen, when introduced into the fuel, promotes improved combustion and increased engine efficiency. This results in a reduction in fuel consumption by 0.4 to 3.5% compared to nominal values, with particularly high fuel efficiency observed at partial load conditions, as well as during acceleration and maneuvers.

It is worth noting the positive environmental impact of this technology. When adding hydrogen in a proportion of 0.1% of the fuel mass, a decrease in hydrocarbon emissions by 40–50% and carbon monoxide by 15–25% is observed. However, an increase in nitrogen oxide emissions by 3–7% has been identified, which is associated with a certain elevation of the maximum cycle temperature. Nevertheless, NOx emissions increase can be mitigated by implementing appropriate adjustments to the engine's operating parameters.

diesel engine, hydrogen, hydrogen additives, hydrogen injection method, catalyst

Одержано (Received) 02.10.2023

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2023

Прийнято до друку (Approved) 30.10.2023