

Тимошевський Б.Г., Ткач М.Р., Шалапко Д.О.

ПОЛПШЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОДАВАННЯ ВОДНЮ

У статті запропоновано технічне рішення, що може бути застосовано у складі суднових дизельних енергетичних установок, які працюють на важких сортах палива. При цьому виробництво водню може бути здійснено на борту судна шляхом електролізу. Використання малих домішок водню представляється особливо доцільним при роботі на часткових та перехідних режимах, заходах судна в порти, вузькості, проливи та в інших районах з підвищеними вимогами щодо екологічних показників енергетичних установок

У статті представлено один із шляхів підвищення ефективності дизельних двигунів, яким є додавання водню (0,2...2,0% по масі) до основного дизельного палива. Запропоновано додавання водню до паливопроводу високого тиску між паливним насосом (ПНВТ) та форсункою. Завдяки цьому досягнуто зменшення питомої витрати палива на рівні 0,4...2,8%.

Ключові слова: *двигун внутрішнього згорання, водень, водневі добавки, система подачі водню.*

Постановка проблеми. Незважаючи на прогрес у створенні вискоефективних турбопоршневих двигунів внутрішнього згорання для транспортних та стаціонарних енергетичних установок, зменшення витрат пального та зниження викидів шкідливих речовин з випускними газами цих двигунів на теперішній час залишається актуальною проблемою.

Аналіз сучасних розробок та публікацій. Одним з рішень даної проблеми є подача водню до робочого циліндру двигуна та спалювання його на робочому ході. При цьому основні вітчизняні та закордонні розробки базуються на подачі газоподібного водню до камери згорання при наповненні циліндра. Водень подається у повітряний ресивер дизеля і далі разом з повітрям надходить у циліндри [1].

Далі суть процесу являє собою принцип роботи газодизеля, тобто запалення водню у камері згорання відбувається від запалення дизельного палива. При цьому водень може використовуватися як основне, так і додаткове паливо, в залежності від пропорції (кількості по масі) водню до дизельного палива.

Основним недоліком даного процесу є зменшення коефіцієнту надлишку повітря, що призводить до втрати потужності двигуна, значного збільшення максимальної температури згорання палива та збільшення концентрації NOx у відпрацьованих газах.

Використання водню як основного палива ДВС в даний час не представляється доцільним через високу вартість водню і труднощів його зберігання у великих кількостях. Очевидно, прийнятним для ДВС є часткова заміна воднем вуглеводневого палива, тобто подача в циліндри двигуна поряд з основним паливом невеликих добавок водню, що дозволяє підвищити експлуатаційну ефективність ДВС та їх екологічну безпеку. Використання водню у вигляді невеликих добавок до органічного палива двигунів СЕУ не створює проблем, пов'язаних з його виробництвом і зберіганням. Використання екологічно чистих водневих добавок особливо доцільно при входженні судів в прибережні акваторії і порти, коли основне навантаження припадає на високотоксичні дизель-генератори. Застосування невеликих добавок водню до дизельного палива дозволяє поліпшити якість сумішоутворення і горіння палива в циліндрах двигуна. Водневі добавки приводять до зменшення швидкості процесів спалаху і зменшення періоду затримки запалення.

Одним з шляхів щодо вирішення проблеми є використання малих (0,2...1,0% по масі) домішок водню до основного рідкого палива ДВЗ. При цьому слід зауважити, що водень в

даному випадку використовується не як енергоносіє, що заміщує вуглеводневе паливо, а у якості каталізатора процесу вигорання зазначеного палива у циліндрах ДВЗ.

Твердження, що водень виступає саме в якості каталізатора процесу горіння, ґрунтується на тому, що при незначній його кількості, незважаючи на високу теплотворну здатність ($Q_H = 120 \text{ МДж/(кгК)}$), його кількість (до 1,0% по масі) не впливатиме на горіння як додаткове паливо. Проте, наявність водню в циліндрі стимулюватиме сам процес горіння та виступатиме саме в якості каталізатора.

Дослідження малих домішок водню до основного рідкого дизельного палива ДВЗ, які були проведені в лабораторії перспективних енергетичних технологій, дають змогу стверджувати, що домішки водню приводять до інтенсифікації процесу вигорання дизельного палива (особливо важких сортів) таким чином, що робочий процес ДВЗ зміщується вліво, що наближає його до процесу при постійному об'ємі. Було встановлено також, що при цьому спостерігається перерозподіл теплового балансу ДВЗ: зменшуються частки тепла, яке викидається у навколишнє середовище системою охолодження та з випускними газами. Це приводить до підвищення ККД двигуна на 0,5...5,0% у залежності від кількості домішок водню та навантаження, що також підтверджується результатами інших дослідників [1-3].

Попередні дослідження показали, що малі домішки водню позитивно впливають роботу ДВЗ на часткових та перехідних режимах, а також при використанні важких сортів основного дизельного палива. У цих випадках відносний позитивний ефект є найбільшим.

Однак, отримані результати мали якісний характер та не дозволяють розробити методики розрахунку робочих процесів з використанням домішок водню, остаточно визначити раціональну кількість подачі водню у циліндрі дизельного ДВЗ, надати практичні рекомендації щодо модернізації ДВЗ при використанні таких домішок.

Одним з вельми важливих факторів, який суттєво впливає на ефективність застосування домішок водню, є спосіб подачі у ДВЗ. Додавання водню на всмоктування двигуна, як найпростіший засіб, знайшло використання на ранніх стадіях впровадження. Але, цей засіб ускладнює якісне регулювання ДВЗ, а також не є повністю безпечним завдяки можливості утворення вибухонебезпечної суміші у впускному тракті ДВЗ та її запаленню з наступним вибухом. Такі явища спостерігалися як у ДВЗ, що працюють за циклом Отто, так і у дизельних двигунах.

Одним з можливих засобів є подача малих домішок водню із застосуванням рішення, запропонованого науковим колективом під керівництвом проф. Н.Н. Патрахальцева [5]. Головна ідея міститься у тому, щоб додавати водень у дизельне паливо в магістраль високого тиску на хвилі низького тиску за допомогою спеціального пристрою. При цьому на хвилі тиску дизельне паливо насичується воднем та поступає у форсунку і далі впорскується у циліндр двигуна. Після впорскування та зниження тиску в циліндрі водень звільнюється з дизельного палива, сприяє подальшому подрібненню крапель та швидко дифундує в об'єм надпоршневого простору. Кількість водню, який додається до циклової подачі дизельного палива, регулюється тиском водню на вході у пристрій.

Проте, у науковій літературі не знайдено достатньо інформації щодо результатів експериментального дослідження додавання водню до основного рідкого палива ДВЗ.

Тому **метою дослідження** було саме експериментальне підтвердження даної теорії та отримання якісних результатів.

Виклад основного матеріалу. Принципова схема цього рішення представлена на рис. 1, а на рис. 2 представлені осцилограми параметрів у зазначених елементах паливної системи [3].

Застосування такого рішення дозволяє не вносити суттєвих змін у конструкцію двигуна або паливної апаратури, забезпечити достатньо високий рівень якості регулювання та безпеку при використанні водню.

Попередні дослідження, які були проведені у лабораторії перспективних енергетичних технологій з використанням вдосконаленого пристрою такого типу показали, що використання зазначеного пристрою є досить ефективним з точки зору раціонального додавання водню до дизельного палива та дозволяє підвищити ККД двигуна та, відповідно,

зменшити витрату нафтового палива шляхом покращення характеристики підводу тепла у ДВЗ, а також сприяє перерозподілу складових теплового балансу в бік зменшення втрат тепла у систему охолодження та з випускними газами.

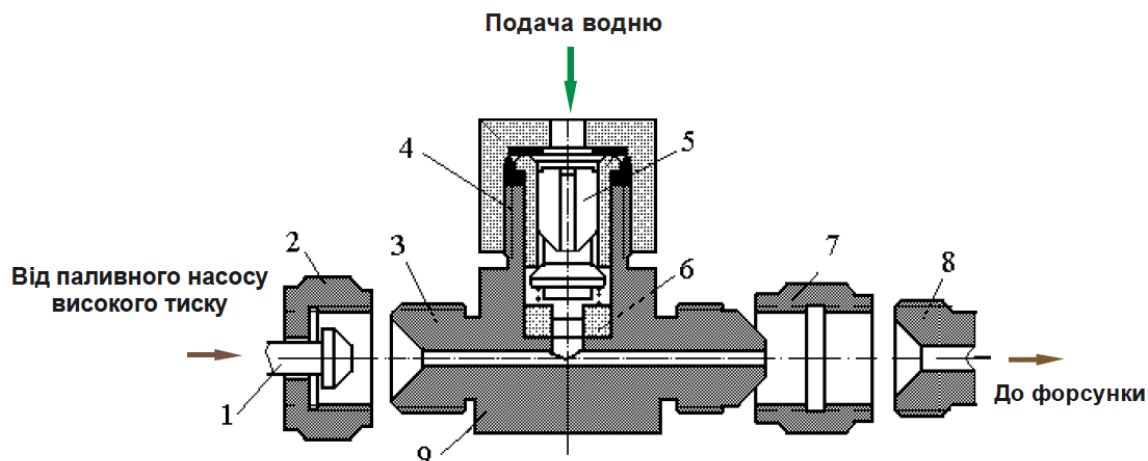


Рисунок 1 – Принципова схема та пристрій подачі малих домішок водню до дизельного ДВЗ [3]

За попередніми оцінками експериментальних даних, зменшення витрати дизельного палива двигуна 8V12/12 (КАМАЗ 740.11-240) складає 0,4...2,8% у залежності від кількості водню (0,1...0,6% по масі) та навантаження ДВЗ (0,25...0,75 N_e). Крім того, були отримані дані щодо покращення екологічних показників двигуна: кількість викидів вуглеводнів ($CmHn$) знизилася на 40...50%, монооксиду вуглецю (CO_2) – на 15...25%. Поряд з цим було встановлено, що викиди оксидів азоту ($NxOy$) збільшилися на 3...7%, що пов'язане з певним підвищенням максимальної температури циклу.

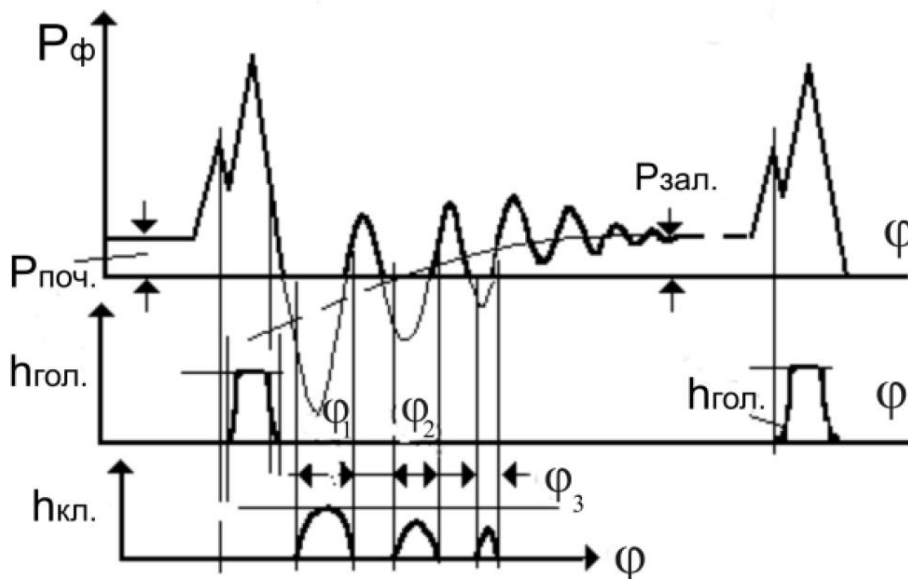


Рисунок 2 – Осцилограми зміни тиску палива біля форсунки (P_f), ходу голки форсунки ($h_{гол.}$) и хода клапана РНД ($h_{кл.}$) [3]

Потрібна кількості водню на борту транспортного заходу, наприклад для автомобіля КАМАЗ 4308 (ємність паливного баку – 250 л (210 кг) при додаванні 0,5% водню до дизельного палива складає 2,1 кг, що при будь-якому засобі зберігання є цілком припустимим. Так, наприклад, при використанні металогідридного акумулятора з використанням

інтерметаліда $TiFe$ маса пристрою оцінюється у 130...140 кг при об'ємі 20...22 л, а при використанні композитних балонів на основі полімерних матеріалів – 13...17 кг при об'ємі 28...30 л.

Однак, ці дані носять у більшій мірі якісний характер та не можуть бути використані для остаточних висновків та рекомендацій щодо впровадження.

Попередній економічний аналіз ефективності застосування малих домішок водню до дизельного палива дає змогу стверджувати, що вартість додаткового обладнання та водню є досить малими величинами у порівнянні з вартістю двигуна і складає 0,09...1,14%. Додаткові витрати на водень складають приблизно 0,11...0,53 % від вартості витраченого дизельного палива (при використанні технічного водню марки Б або нижчого гатунку). В цьому випадку зменшення витрат на дизельне паливо складає приблизно 4...9%, що обумовлює загальний позитивний економічний та екологічний ефекти.

На шляху впровадження зазначених заходів треба вирішити комплекс завдань, які, насамперед, пов'язані з експериментальним дослідженням робочого процесу дизельного ДВС при використанні малих домішок водню, визначенням раціональних параметрів цього процесу та доцільного обсягу водню, який додається до дизельного палива з метою досягнення максимального ефекту.

Висновки.

1. Використання малих домішок водню у якості каталізатора згоряння дизельного палива, у тому числі й важких сортів, дозволяє знизити витрати палива та знизити навантаження на довколишнє середовище за рахунок зменшення викидів шкідливих речовин.

2. Необхідним є створення адекватних математичних моделей щодо робочого процесу у ДВЗ при використанні малих домішок, що здійснюються зазначеним способом, та математичних моделей процесів, які мають місце у пристрої для подачі водню у паливну магістраль високого тиску.

3. Впровадження зазначеного заходу є економічно доцільним та може бути реалізоване на теперішньому рівні розвитку техніки.

4. Запропоноване технічне рішення може бути застосовано у складі судових дизельних енергетичних установок, які працюють на важких сортах палива. При цьому виробництво водню може бути здійснено на борту судна шляхом електролізу. Використання малих домішок водню представляється особливо доцільним при роботі на часткових та перехідних режимах, заходах судна в порти, вузькості, проливи та в інших районах з підвищеними вимогами щодо екологічних показників енергетичних установок.

ЛІТЕРАТУРА

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*, Volume 34, Issue 15, August 2009, Pages 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. Шкаликowa В. П., Патрахальцев Н. Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях: Монография. Изд. 2-е, доп. – М.: Изд-во РУДН, 1993. – 64 с.
4. Патрахальцев Н. Н. Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 248 с.
5. Керимов З. Х. Математическое моделирование неустановившихся 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. Патрахальцев Н. Н., Савастенко А. А., Виноградский В. Л. Регулирование начального давления топлива – методы и средства повышения экономичности и эффективности работы дизелей // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 3. – С. 8-19. [Patrahalsev N.N. i dr. Regulirovanie nathalnogo davlenija topliva – metody i sredstva economical effectivity // Automobile promyshlennost. – 2002. – N 3. – S. 8-19.]

Тимошевский Б.Г., Ткач М.Р., Шалапко Д.О.

УЛУЧШЕНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ВОДОРОДНЫХ ДОБАВОК

В статье предложено техническое решение, которое может быть применено в составе судовых дизельных энергетических установок, работающих на тяжелых сортах топлива. При этом производство водорода может быть осуществлено на борту судна путем электролиза. Использование малых примесей водорода представляется особенно целесообразным при работе на частичных и переходных режимах, мероприятиях судна в порты, узости, проливы и в других районах с повышенными требованиями экологических показателей энергетических установок

В статье представлен один из путей повышения эффективности дизельных двигателей – добавление водорода (0,2...2,0% по массе) к основному дизельного топлива. Предложено добавления водорода к топливопроводу высокого давления между топливным насосом (ТНВД) и форсункой. Благодаря этому достигнуто уменьшение удельного расхода топлива на уровне 0,4 ... 2,8%.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, водород, водородная добавка.*

Tymoshevsky B., Tkach M., Shalapko D.

METHODS TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF DIESEL ENGINE USING HYDROGEN ADDICTS

In the article, the proposed technical solution can be used as a part of marine diesel power plants that operate on heavy grades of fuel. In this case, hydrogen production can be carried out on board the vessel by electrolysis. The use of small admixtures of hydrogen seems particularly useful when operating on partial and transient modes, ship activities in ports, bottlenecks, straits and in other areas with increased requirements for the environmental performance of power plants.

One way to improve the efficiency of diesel engines is the addition of hydrogen (0.2 ... 2.0% by weight) to the main diesel fuel. An addict of hydrogen to the fuel line between the high pressure fuel pump (HPFP) and nozzle. This achieved by reducing specific fuel consumption at 0,4 ... 2,8%.

Keywords: *internal combustion engine, hydrogen, hydrogen addict.*