

УДК 629.113

В.П.Сахно, О.А.Корпач

Національний транспортний університет

**ВПЛИВ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ І ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ**

*У роботі наведено порівняльний аналіз показників автомобільних двигунів при роботі на традиційних та альтернативних паливах.*

Ключові слова: *автомобільний двигун, паливо.*

Вступ. Розвиток науково-технічного прогресу, ріст чисельності населення на земній кулі та покращення його добробуту привели до різкого збільшення енергоспоживання, зворотною стороною якого є виснаження вуглеводневих природних ресурсів. Зараз людство знаходиться в перехідному періоді розвитку енергетичної системи, що характеризується закінченням ери дешевої нафти і різким скороченням її запасів. При цьому кількість транспортних засобів у світі постійно зростає, а, отже - виникає необхідність переведення їх на інші (альтернативні) види палива. Також даний перехід зумовлюється введенням більш жорстких екологічних норм, щодо шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів транспортних засобів, зокрема автомобілів.

Головною причиною екологічної ситуації, що погіршується з кожним роком як у світі, так і в нашій країні, особливо в містах, стало неухильне зростання чисельності автомобільного парку. У масштабах країни доля автотранспорту в сумарних викидах забруднюючих речовин в атмосферу всіма техногенними джерелами сягає в середньому 40%, у викидах парникових газів - наближено 10%, в масі промислових відходів - 2%, в скиданнях шкідливих речовин із стічними водами - близько 3%, у вжитку озоноруйнуючих речовин - близько 5% [1].

Така ситуація вимагає адекватних заходів, і один із найбільш дієвих - застосування альтернативних екологічно чистіших видів моторного палива і джерел енергії, гібридних силових установок автомобілів і автобусів. Це найбільш ефективний шлях до зниження негативного впливу автомобіля на екологічний стан довкілля. В цьому напрямі сьогодні активно працюють вчені в багатьох розвинених країнах. Провідні світові автомобільні концерни інвестують мільярди доларів у розвиток транспорту і розробку технологій створення альтернативного моторного палива і джерел енергії.

Метою роботи є аналіз зміни енергетичних, екологічних показників та паливної економічності двигунів транспортних засобів, зокрема автомобілів різного призначення, при використанні альтернативних палив.

Основна частина. До альтернативних палив відносяться всі палива, що не є продуктами переробки нафти, тобто альтернативні палива – це всі палива, що використовуються для живлення двигунів автомобілів, за винятком бензину та дизельного палива.

Взагалі, паливо для автотранспорту можна розглядати як альтернативне при виконанні декількох умов. Перша - це наявність і доступність сировинних ресурсів, в майбутньому перевага віддаватиметься паливу, що виробляється з поновлюваних джерел енергії. Друга - технологія і устаткування для виробництва палива в комерційних об'ємах повинні забезпечувати максимально низьку його вартість, у тому числі в процесі транспортування, зберігання і розподілу. Третя - паливо повинне забезпечити автомобілю високі споживчі якості, зокрема забезпечити необхідні потужнісні і економічні параметри двигуна. Четверта - паливо має бути екологічно безпечним при виробництві, транспортуванні, зберіганні, заправці і при спалюванні в двигунах. [1].

У залежності від виду альтернативного палива, що використовується, тягово-швидкісні, техніко-економічні і екологічні показники двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) сильно змінюються.

В сучасних умовах серед значної кількості альтернативних палив широкого використання набули газові палива. Це зумовлено достатньо великими їх запасами, низькою вартістю та простотою переведення транспортних засобів на дані види палива. Серед усіх газових палив найбільш перспективними для використання в якості моторного палива є природний газ та зріджений нафтовий газ (ЗНГ).

Природний газ може бути у 2-х станах: стисненому (СПГ) та зрідженому (ЗПГ). В автомобільних ДВЗ використовується в основному СПГ.

ДВЗ, переведені на використання природного газу, характеризуються більшим високим ККД, ніж двигуни, що працюють на бензині, а ККД при роботі на збіднених сумішах близький до ККД дизеля. Октанове число метану, що є основним компонентом природного газу, визначене по дослідницькому методу, знаходиться на рівні 130 од., тому він характеризується високими антидетонаційними властивостями, завдяки чому можна значно збільшити ступінь стискання [2].

Проте у ДВЗ, що розроблені для живлення бензином та переобладнаних для роботи на природному газі, потужність знижується на 10-20% (рис. 1) [3]. Це пояснюється зменшенням наповнення циліндрів повітрям, неоптимальним кутом випередження запалювання, а також тим, що в процесі розширення робочої суміші приймає менша кількість молекул, ніж після згоряння рідкого палива. Підвищити потужність можливо збільшивши ступінь стискання двигуна, відповідно до октанового числа природного газу, змінивши кут випередження запалювання.

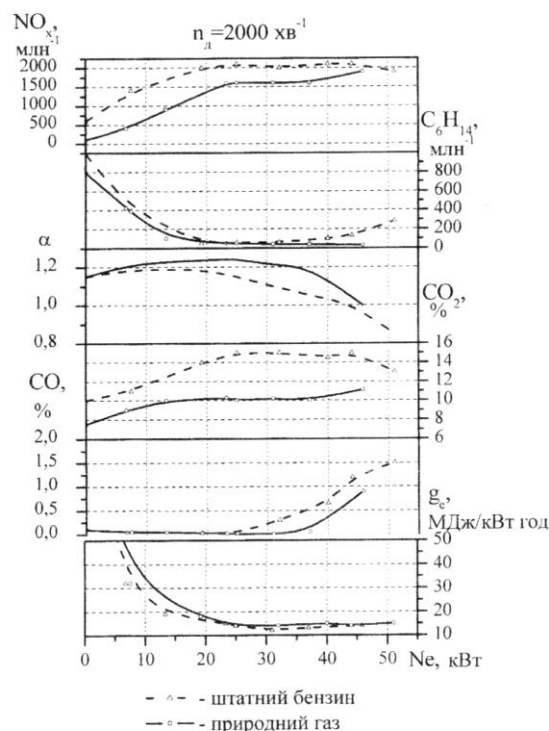


Рис.1. Навантажувальні характеристики двигуна 849,2/8,0 (ЗМЗ-53-11) при живленні бензином та СПГ

Вміст токсичних речовин у ВГ ДВЗ, що живляться природним газом в 1,5-2 рази менший, ніж при живленні бензином. Зокрема, вміст оксиду вуглецю ( $CO$ ) знижується в 2-6 разів, вуглеводнів ( $C_m H_n$ ) в 1,6-1,8 разів, вміст оксидів ( $NO_x$ ) азоту практично однаковий. Крім того, вуглеводні відносяться до групи метанових і не є токсичними.

Використання природного газу можливе і в дизелях по газодизельному циклу. При однакових або вищих потужностях робота по газодизельному циклу забезпечує різке зменшення витрати рідкого палива та менші викиди шкідливих речовин. Так, димність ВГ зменшується на 50-70%, викиди сірки – в 70 разів. Викиди  $CO$  можуть знаходитися на рівні звичайного дизеля, а вміст  $C_m H_n$  зростає в 25-30 разів, проте це переважно нетоксичний метан, що не згорів. Широкого розповсюдження використання природного газу в дизелях не набуло, через дороговизну переобладнання та нерозвинену інфраструктуру заправних станцій [3].

ЗНГ є побічним продуктом нафтопереробних підприємств. Як паливо, використовується вже протягом 60 років і є найбільш розповсюдженим серед усіх альтернативних палив. Складається, в основному, з суміші пропану і бутану. Для використання в двигунах з іскровим запалюванням необхідне внесення конструктивних змін (використання випаровувача для переведення палива з рідкого стану в газ) [2].

ЗНГ за моторними якостями дуже близький до бензину. Він характеризується високим октановим числом (90-100од.), що дозволяє використовувати його в двигунах з високими ступенями стискання. Проте, в автомобілях, що працюють на пропан-бутані, знижується потужність на 7-15% та збільшується об'ємна витрата палива на 15-20%. До того ж, для отримання такої самої кількості енергії, що і при роботі на бензині, об'єм паливних баків автомобілів, що живляться ЗНГ, повинен бути на 45% більшим [2].

Екологічні показники ДВЗ, що працює на ЗНГ, також покращуються. Так, у порівнянні з бензиновим двигуном викиди CO зменшуються в 2-4 рази, NO<sub>x</sub> – в 1,4-1,8 рази. Викиди C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> незначно зростають, особливо, у низьких швидкісних режимах і режимах малих навантажень

У теперішній час для живлення ДВЗ впроваджуються альтернативні палива на основі спиртів: метилового (метанол), етилового (етанолі) та бутилового (бутанол). Вони можуть бути основними паливами, чи використовуватися як добавки до палив нафтового походження [3].

Велика зацікавленість у використанні метанолу, як палива для ДВЗ, спостерігається в країнах, що мають власні ресурси кам'яного вугілля і недостатні ресурси нафти. Метанол можна виготовляти з природного газу, вугілля, біомаси.

Метанол є дуже перспективним паливом для ДВЗ, має високе значення октанового числа (104-114 од.). У порівнянні з бензином метанол має практично в двічі меншу теплоту згоряння (22 МДж/кг), тому для отримання однакової кількості енергії його витрату потрібно значно збільшити. Проте, кількість повітря, що необхідна для згоряння 1 кг метанолу, менша у 2 рази, ніж для бензину, і становить 6,52 кг/кг. У результаті енергія, що утворюється під час згоряння 1 кг паливо-повітряної суміші, для метанолу і бензину наближено однакова [3].

При використанні метанолу ККД двигуна підвищується на 5-15% у порівнянні з бензином. Це пов'язано з високою температурою випаровування метанолу, що сприяє зниженню температури суміші і збільшенню маси паливо-повітряного заряду, зменшенню тепловідведення в циліндрах двигуна і температури ВГ. При цьому потужність двигуна не знижується. Проте при низьких температурах навколишнього середовища, висока температура випаровування є суттєвим недоліком метанолу, адже погіршує пускові якості двигуна, а при температурі 0°C запуск двигун майже неможливий.

Шкідливі викиди при живленні ДВЗ метанолом значно знижуються. Так вміст NO<sub>x</sub> знижується, завдяки нижчій температурі в циліндрах. Вміст CO практично однаковий, а C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> на метанолі становить 25-33% вмісту вуглеводнів за роботи на бензині. Альдегідів утворюється в 2 рази більше, проте у ВГ відсутні сполуки сірки та сажа [3].

У якості палива використовується, в основному, суміш М85 (85% метанолу і 15% вуглеводнів), а також чистий метанол М100 (100% метанолу) [2].

При експлуатації двигуна на суміші метанолу з бензином зростають ефективний ККД двигуна і його потужність, проте паливна економічність при цьому погіршується. За даними, отриманими на одноциліндровій установці «Ricardo», при  $\epsilon=8,6$  і  $n=2000$  хв<sup>-1</sup> для суміші з 20% метанолу і  $\alpha = 1,0...1,3$  ефективний ККД підвищується наближено на 3%, потужність на 3-4%, а витрата палива збільшується на 8-10% [4].

Етанол використовується в якості моторного палива і має властивості, близькі до властивостей метанолу. Отримують його в основному методом бродіння з рослинної сировини.

Етанол має деякі переваги, як моторне паливо, порівняно з бензином, проте використання етанолу для повної заміни бензину, зокрема в двигунах з іскровим запалюванням пов'язано з труднощами. До переваг етанолу можна віднести високе октанове число на рівні 100 од. за моторним методом, що дозволяє збільшити ступінь стискання ДВЗ, а отже і його ККД та паливну економічність. Крім того, при використанні етанолу двигун може працювати стабільно на більш збіднених сумішах, завдяки вищій, ніж у бензину, межі розповсюдження полум'я в суміші.

Разом з тим, одним із недоліків етанолу, як моторного палива, є менша (майже в 1,7 рази) нижча теплота згоряння. Це потребує суттєвого збільшення витрат етанолу в порівнянні з бензином, але завдяки тому, що в молекулі етанолу міститься кисень, теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг етанолу становить 9,0 кг/кг, що значно менше, у порівнянні з бензином (14,8 кг/кг). Тому, енергія, що міститься в 1 л бензиноповітряної та етанолоповітряної суміші, майже однакова. Теплота випаровування етанолу в 3,2 рази вища у порівнянні з бензином, що значно погіршує умови запуску двигуна [5].

Екологічні показники при роботі на етанолі, у цілому, покращуються. Так, концентрації  $C_mH_n$  незначні у всьому діапазоні роботи двигуна, що пояснюється роботою на збіднених сумішах. Кількість  $NO_x$  набагато нижча, ніж при роботі на бензині, що пов'язано з нижчим температурним режимом у процесі згоряння. Концентрації CO у ВГ при роботі двигуна на бензині і етанолі, практично, однакові. Відмічається тільки зростання вмісту альдегідів у ВГ, в основному, ацетальдегіду.

У теперішній час етанол, як паливо, у чистому вигляді майже не використовується. Найбільш розповсюджені його суміші з нафтовим паливом E85 (85% етанолу, 15% бензину) та газохол (10-22% етанолу, решта - бензин) [6].

Ще одним спиртовим паливом, що використовується в автомобільних двигунах, є бутанол. Отримують його з біомаси чи видобувного палива. Як моторне паливо бутанол має октанове число 78-80 од. за моторним методом, що практично співпадає з октановим числом бензину. Нижча теплота згоряння бутанолу (33,1 МДж/кг) менша, ніж у бензину (43,58 МДж/кг), що потребує збільшення витрати палива приблизно на 10% для отримання однакової потужності двигуна [7,8].

Бутанол безпечніший у використанні, оскільки у 6 разів менше випаровується, ніж етанол і 13,5 разів менш летючий, ніж бензин. У сумішах з бензином бутанол з меншою вірогідністю виділяється з цього палива, ніж етанол, якщо в паливо потрапила вода. При горінні бутанол не виробляє оксидів сірки або азоту, що дає істотну вигоду з точки зору екології

З точки зору енергомісткості, а також концентрації шкідливих речовин у ВГ двигунів, водень є найкращим з усіх можливих палив.

Водень можна виробляти за допомогою електролізу води, для чого необхідна затрата великої кількості електричної енергії. Також його можливо отримувати з біомаси, в результаті гідрування вугілля, часткового окислення вуглеводневого палива, а також використовуючи сонячну енергію. Собівартість цих методів, у перерахунку на енергетичну одиницю, у 2-10 вища, ніж отримання природного газу.

Характеристики водню, як моторного палива, такі: нижча теплота згоряння – 120 МДж/кг, що в майже в 3 рази більше, ніж у нафтового палива, що робить його найбільш енергомістким паливом серед існуючих. Енергія запалювання воднево-повітряної суміші дуже низька (у 10 разів нижча, ніж у вуглеводневих палив). Швидкість згоряння воднево-повітряної суміші висока, особливо збагаченої воднем. Запалювання суміші можливе в дуже широких межах ( $\alpha=0,15-1,0$ ) співвідношення водню з повітрям, що дозволяє регулювати потужність двигуна лише зміною складу суміші [3].

Молекула водню – найпростіша по своїй структурі і під час її окислення виникає лише водяна пара, що міститься у ВГ. Проте азот, що міститься в повітрі, є причиною виникнення  $NO_x$  в двигунах, що працюють на водні. Олива, що потрапляє в камеру згоряння, слугує джерелом утворення у ВГ CO і  $C_mH_n$  у невеликих кількостях.

Проблеми, що відносяться до використання водню в якості моторного палива, не пов'язані з ефективністю чи токсичністю ВГ, а пов'язані з заправкою, зберіганням та безпечністю водню.

Останнім часом для живлення дизелів все більш широко використовують біопалива на основі рослинних олій (соняшникової, соєвої, ріпакової та ін.). Найбільш розповсюдженим є біопаливо на основі ріпакової олії. Отримують його з насіння ріпаку, в основному, методом етерифікації. Кінцевим продуктом є ріпаковий метил ефір, що може вирисовуватись як паливо в дизелях.

Ріпаковий метил ефір, як моторне паливо, має ряд особливостей. Високе цетанове число на рівні 51 од. сприяє скороченню періоду затримки самозаймання і меншій "жорсткості" роботи дизеля. Нижча теплота згоряння ріпакового метилефіру (36-37,3 МДж/кг) менша, ніж у дизельного палива (40,2-43,5 МДж/кг), що приводить до збільшення витрати палива. Наявність кисню в молекулі ріпакового метилефіру дозволяє інтенсифікувати процес горіння, підвищити температуру в циліндрі двигуна, а отже і підвищити ККД двигуна. В'язкість і густина ріпакового метилефіру вища, ніж у дизельного палива. Це може привести, при використанні стандартних форсунок, до потрапляння біодизельного палива на стінки камери згоряння та гільзи циліндрів, і як наслідок деякому гіршому сумішоутворенню [9].

Використання ріпакового метилефіру забезпечує зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами. Так, концентрація CO знижується на 10-12%,  $C_mH_n$  – на 10-35%, сажі – на 50-52%. Викиди сірки практично, відсутні. Але відмічається невелике зростання концентрації

NO<sub>x</sub> у ВГ двигуна, що пов'язано з вищою, ніж при роботі на звичайному дизельному паливі, температурою в циліндрі двигуна.

Ріпаковий метилефір характеризується підвищеною агресивністю до гумових та полімерних виробів, що може призвести до пошкодження елементів паливної апаратури.

Одним з перспективних альтернативних палив для дизелів є диметилефір. Виробляють його з природного газу, вугілля або біопалива. Диметилефір – похідна метанолу, яку отримують в процесі перетворення газу в рідкий стан. При нормальних умовах це газ, за своїми характеристиками схожий на пропан-бутанові гази. Зберігають його в зрідженому стані і газовому балоні під тиском [1,10].

Диметилефір характеризується високим цетановим числом(55-60 од.), що забезпечує гарне самозаймання палива, покращує пускові якості та сприяє “м'якій” роботі дизеля. Високий вміст в молекулі диметилефіру зв'язаного кисню(35%) підвищує рівномірність розподілення в камері згоряння, а отже і повноту згоряння палива. Перевагою диметилефіру є також підвищена випаровуваність палива, що знижує вимоги до дисперсності розпилювання, дозволяє знизити тиск впорскування і забезпечує добре сумішоутворення.

Результати випробувань дизелів, що працюють на диметилефірі, показали реальну можливість значно знизити рівень шкідливих викидів у ВГ. Так, у 3-4 рази відмічено зниження вмісту NO<sub>x</sub> при практично бездимній роботі ДВЗ на усіх режимах. Крім того, при роботі на диметилефірі виявлено зберігання, а в деяких режимах і покращення до 5% економічності дизеля, підвищення його ККД у зрівнянні з роботою на дизельному паливі.

Основним недоліком диметилефіру є мала кінематична в'язкість (на порядок нижча ніж у дизельного палива), в результаті чого погіршується змащувальні можливості палива, а також підвищується схильність до задирів в прецезійних парах тертя.

#### Висновки

Проведений аналіз показав, що альтернативні палива можуть стати повноцінним замінниками паливам нафтового походження. При цьому енергетичні показники двигунів можуть залишатися на рівні традиційних палив, або змінюватись незначно, з покращенням екологічних показників.

1. В. Васильев, Диметиловый эфир. Надежды конструкторов, водителей и экологов// Основные средства . №1.- 2007.
2. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С., Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М.: МАДИ(ГУ), 2000. – 311 с.
3. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В. та ін. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник 2-ге вид., перероблене та доповнене. – К.: Арістей, 2008. – 296 с.
4. Ассад М.С. Альтернативные моторные топлива: тенденции развития, феноменологические аспекты горения: монография / М.С. Ассад. - Барановичи: РИО БарГУ, 2008. – 328 с.
5. Говорун А.Г., Корпач А.О., О.М.Захарченко. До використання спиртових сполук як палива для двигунів внутрішнього згоряння дорожніх транспортних засобів // Вісник північного наукового центру Транспортної академії України. “Автошляховик України”, окремих випуск № 8, травень 2005, с.31-33.
6. <http://bolidos.com.ua/art021.php>. Этанол и бензино-этанольные топлива. Биотоплива
7. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1 . Теория рабочих процессов: Учебник для вузов/ В. Н. Луканин, К. А. Морозов, А. С. Хачиян и др.; Под ред. В. Н. Луканина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 479 с.
8. [http://en.wikipedia.org/wiki/Butanol\\_fuel#Production\\_of\\_biobutanol](http://en.wikipedia.org/wiki/Butanol_fuel#Production_of_biobutanol). Butanol fuel.
9. Корпач А.О, Левкіський О.О., Можливості та перспективи використання біопалива в дизелях // Вісник північного наукового центру Транспортної академії України. “Автошляховик України”, окремих випуск № 12, 2009. – С. 156-158.
10. <http://bolidos.com.ua/art011.php> Диметиловый эфир - альтернативное топливо для дизеля