

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМИ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОБРАЗОВАНИЕМ ГАЗОДИСПЕРСНОЙ СМЕСИ

Л.В. Кнауб, профессор, Военная академия г. Одесса

***Аннотация.** Предложен новый способ подготовки горючей смеси к сгоранию в двигателях с помощью дополнительных систем питания, что позволяет улучшить качество подготовки топливной смеси и экологические показатели работы двигателя вследствие образования мелкодисперсных фаз и рециркуляции отработавших газов, а также снизить стоимость эксплуатации автомобилей за счет использования более дешевого альтернативного топлива.*

***Ключевые слова:** двигатель, топливная смесь, испаритель-смеситель, детонация, стехиометрический состав, токсичность.*

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНІВ З ПОПЕРЕДНІМ УТВОРЕННЯМ ГАЗОДИСПЕРСНОЇ СУМІШІ

Л.В. Кнауб, професор, Військова академія м. Одеса

***Анотація.** Запропонований новий спосіб підготовки пальної суміші до згорання у двигунах за допомогою додаткових систем живлення, що дозволяє підвищити якість підготовки пальної суміші та екологічні показники роботи двигунів внаслідок утворення дрібнодисперсних фаз та рециркуляції відпрацьованих газів, а також знизити вартість експлуатації автомобілів за рахунок застосування більш дешевого альтернативного пального.*

***Ключові слова:** двигун, пальна суміш, випаровувач-змішувач, детонація, стехіометричний склад, токсичність.*

IMPROVEMENT OF SYSTEM OF FEED OF ENGINES WITH PRELIMINARY FORMATION OF THE GAS-DISPERSED MIXTURE

L.V. Knaub, professor, Military Academy, Odessa

***Annotation.** The new method of preparation of air-gas is offered to combustion in engines by the additional systems of feed, that allows to improve quality of preparation of fuel mixture because of formation of small-dispersible phases and ecological indexes because of decline of toxicness of exhaust gases, and also to reduce a running of cars cost due to the use of more cheap alternative fuel.*

***Keywords:** engine, fuel mixture, vaporizer-mixer, detonation, stoichiometrical composition, toxicness.*

Вступ

У даний період розвитку двигунобудування основною енергетичною установкою автомобіля продовжує залишатися двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) з усіма його позитивними і негативними

характеристиками. Для будь-якого теплового двигуна, тобто карбюраторного, дизельного або іншого виконання, проблема підвищення повноти згорання вирішується біля століття, тому що від неї (повноти) залежать економічні та екологічні показники. Крім того, що не менш важливо по відношенню до

вказаних показників, повнота згоряння та швидкість вигорання палива в заданих координатах на відведеному годинному інтервалі по камері згоряння визначають жорсткі вимоги до використаних палив по теплофізичних параметрах, які впливають на розпилювання, випаровування та змішування з окислювачем. Звідси з'являються обмеження на використання альтернативних палив для теплових двигунів, наприклад таких як газоконденсат, метанол, палив з вузьким фракційним складом по вуглеводням та ін.

Постановка проблеми

Рішення вказаної вище проблеми важливе для народного господарства України, особливо при рішенні задач енергонезалежності держави. Гострий дефіцит палив, а це не секрет, твердо зайняв свої позиції й диктує ціни майже на все (воду, хліб, тепло та ін.) і може стати головним аргументом у особливих умовах. Звідси впливає важлива науково-технічна задача послаблення цього аргументу – знайти можливості і науково обґрунтувати їхню реалізацію шляхом підготовки до горіння вуглеводних палив так, щоб економічні й екологічні показники та потужність двигунів задовольняли б усім режимам роботи. Шляхів і методів вирішення вказаної задачі багато, але, на наш погляд, найбільш реальним і перспективним обрано рішення з використанням додаткової системи живлення у вигляді вихрового випаровувача-змішувача, придатного для всіх існуючих двигунів, які роблять на будь-яких паливах, і для нормальних діапазонів зміни навантаження і частоти обертання колінчастого валу.

Впровадження додаткової системи живлення у вигляді вихрового випаровувача-змішувача у систему живлення двигунів внутрішнього згоряння дозволить частково вирішити важливу народногосподарську задачу економії енергії та покращення довкілля. Ці пристрої працюють за замкнутим циклом та можуть використовувати альтернативні палива, такі як стабільний газоконденсат, продукти його переробки та ін. Таким чином, актуальною являється задача удосконалення процесу сумішоутворення палива у двигунах с високим ступенем стиснення за допомогою впровадження

додаткової системи живлення, яка призначена для більш якісної, порівняно зі стандартними системами живлення, підготовки пальної суміші до згоряння.

Огляд літератури

Автомобільний парк України станом на 2011 рік становив 9313 тис. од. із них: вантажних автомобілів - 13,4%; автобусів - 2,7%; легкових автомобілів - 74,1%; інші (мотоцикли й спеціальні транспортні засоби) - 9,8% [1]. Як видно, переважаюча частка транспортного сектору країни належить легковим автомобілям, які працюють на бензині. Бензинові двигуни викидають вуглеводнів більше, ніж аналогічні дизельні двигуни (табл.1).

Таблиця 1 Склад відпрацьованих газів

Компоненти	Бензинові двигуни	Дизельні двигуни
Азот, %	74-77	76-78
Кисень, %	0,2-8,0	2-18
Пари води, %	3,0-13,5	0,5-10,0
Вуглекислий газ, %	5-12	1-10
Діоксид вуглецю, %	5,0-14,0	1,0-12,0
Оксид вуглецю, %	0,1-10	0,01-0,3
Оксиди азоту, %	0,1-0,5	0,001-0,4
Альдегіди, %	0,2	0,009
Вуглеводні, %	0,2-3,0	0,01-0,5
Сірчастий газ, %	0-0,002	0,03
Оксид сірки, %	0,003	0,0-0,015
Сполуки свинцю, мг/м ³	0-60	-
Сажа, г/м ³	0,4	0,01-1,1
Бенз(а)пірен, мг/10000 м ³	до 0,00002	до 0,00001

У відпрацьованих газах міститься кілька десятків різних вуглеводнів, які різняться за токсичністю. Джерелом вуглеводневих сполук є шари паливної суміші, прилеглі до стінок камери згоряння, де відбувається гасіння полум'я, частини камери згоряння, в яких через нерівномірний розподіл суміші виникає нестача кисню, а також циліндри, що працюють з пропусками запалювання та згоряння. Склад відпрацьованих газів залежить від виду та якості застосованого палива, присадок та мастил, режимів роботи двигуна, його технічного стану, умов руху автомобіля та інших факторів. Наявність у відпрацьованих газах шкідливих речовин зумовлена насамперед умовами згоряння палива, яке, в свою чергу, залежить від якості підготовки пальної суміші.

Відповідно до практики європейських країн щодо регулювання рівня викидів ЗР автотранспортними засобами (г/км) у нашій країні, з 2006 року, впроваджено екологічні норми Євро-2 [8].

Поступове впровадження жорсткіших екологічних норм передбачає три основні напрями зменшення викидів шкідливих речовин автомобільним двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ) [3,4]:

1. Удосконалення конструкції та робочого процесу двигуна;
2. Очищення відпрацьованих газів у системі випуску;
3. Використання альтернативних палив.

У зв'язку з цим автовиробники встановлюють на нові автомобілі, які раніше були в експлуатації з карбюраторним двигуном сучасні системи впорскування із системами зниження токсичності відпрацьованих газів (ВГ) для підтримання тих чи інших екологічних норм. Цей напрямок являється одним із перспективних щодо покращення показників автомобілів, але потребує високих витрат на переобладнання автомобілів.

Попередній досвід засвідчив, що заміна карбюратора електронною системою впорскування дозволяє значно покращити основні показники автомобілів в умовах експлуатації [3]. Проведені експериментальні і розрахункові дослідження показали, що система впорскування типу LE-Jetronic, налаштована на роботу за збідненого складу суміші (α зросло від 1,0 до 1,2), сприяє покращенню паливної економічності, екологічних та енергетичних показників автомобіля ВАЗ-2106. Але таке переобладнання двигуна також досить багатокоштовне.

Відпрацьовані гази (ВГ) є складною багатокомпонентною сумішшю газів, парів, крапель рідин та дисперсних твердих часток. Для забезпечення виконання жорстких вимог нормативно-технічних документів (НТД) за другим напрямом, пропонується за допомогою застосування у випускній системі автомобілів спеціальних пристроїв для очистки ВГ – нейтралізаторів, найбільш ефективними з яких є каталітичні нейтралізатори (КН). КН відпрацьованих газів можна застосовувати для всіх типів

ДВЗ, в тому числі й на автомобілях, випущених у попередні роки, двигуни яких не відповідають вимогам стандартів [6]. Але, нажаль, закупівля і встановлення нейтралізаторів на автомобілі будь-якої частини потребує багато часу.

Використання альтернативних видів палива, що являється третім напрямком покращення економічних і екологічних показників роботи двигунів, дозволяє знизити шкідливі викиди за рахунок більш повного згоряння в результаті змін у протіканні робочого процесу ДВЗ. Але альтернативне паливо повинне відповідати багатьом вимогам: мати необхідні сировинні ресурси, низьку вартість, не погіршувати роботу двигуна, сполучатися зі сформованою системою постачання паливом та ін.

Основна частина

Відомо, що якісне сумішоутворення є необхідною умовою отримання високих потужносних, економічних і екологічних показників двигуна.

Протікання процесів сумішоутворення в значній мірі залежить від фізико-хімічних властивостей палива і способу його подачі. У двигунах із зовнішнім сумішоутворенням процес сумішоутворення починається в карбюраторі, продовжується у впускному колекторі і закінчується в циліндрі.

Після виходу струменя палива з розпилювача карбюратора починається його розпад під впливом сил аеродинамічного опору. Дрібність і однорідність розпилювання залежать від швидкості повітря в дифузорі, в'язкості і поверхневого натягу палива. Струмінь розпадається на півки і краплі різних діаметрів. Середній діаметр крапель на виході з карбюратора орієнтовно можна вважати рівним 100 мкм. При запуску карбюраторного двигуна розпилювання палива практично немає, і в циліндри надходить до 90 і більше відсотків палива в рідкому стані. Внаслідок цього для забезпечення надійного пуску необхідно суттєво збільшувати циклову подачу палива.

Під дією потоку повітря і гравітаційних сил деякі краплі осідають на стінках карбюратора і впускного трубопроводу, утворюючи паливну плівку. На плівку

палива впливають сили зчеплення зі стінкою, дотичне зусилля з боку потоку повітря, перепад статичного тиску по периметру перетину, а також сили тяжіння і поверхневого натягу. В результаті дії цих сил плівка набуває складну траєкторію руху. Швидкість її руху в кілька десятків разів менше швидкості потоку суміші. Найбільша кількість плівки утворюється на режимах повних навантажень і малої частоти обертання, коли швидкість повітря і дрібність розпилювання палива невеликі. У цьому випадку кількість плівки на виході з впускного трубопроводу може доходити до 25% від загальної витрати палива. Низькі швидкості випаровування крапель визначаються, головним чином, молекулярним механізмом переносу теплоти і маси, оскільки більшу частину часу краплі рухаються при незначному охолодженні повітрям. Тому на випаровування крапель помітно впливають дрібність розпилювання і початкова температура палива, вплив ж температури повітряного потоку незначний.

На режимах холодного пуску і прогріву, коли температури палива, поверхонь впускного тракту і повітря малі, випаровування бензину мінімально, на режимі пуску, до того ж, майже відсутнє розпилювання, тобто умови сумішоутворення вкрай несприятливі.

Внаслідок неякісного сумішоутворення в циліндри карбюраторних двигунів надходить суміш, в загальному випадку, різна за складом палива та його октановим числом, що, в свою чергу, негативно впливає на згоряння пальної суміші, тобто зі значною кількістю шкідливих речовин.

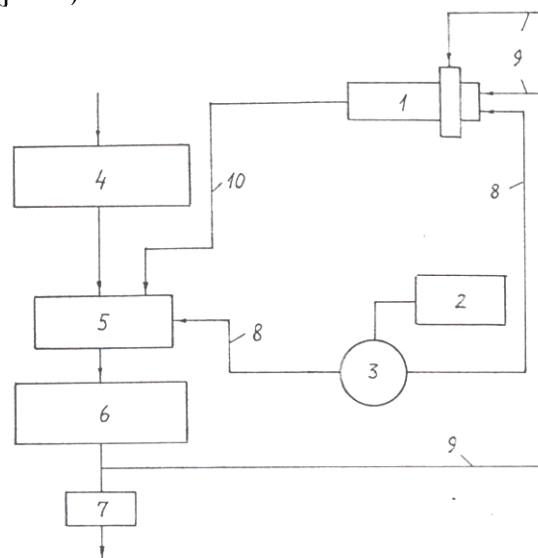
Усунення вказаних вище недоліків пропонується нами за допомогою установки додаткових систем живлення у вигляді вихрових випаровувачів-змішувачів [9].

Вихровий випаровувач-змішувач працює на енергії відпрацьованих газів і дозволяє використання дешевих, відносно стандартних, низькооктанових палив, наприклад, бензинових фракцій стабільного газоконденсату без переробки.

Використовуючи теплову енергію відпрацьованих газів додатковою системою живлення (використовується частина теплової енергії при значному пониженні температури навколишнього середовища)

для підігріву палива, і, використовуючи кінетичну енергію відпрацьованих газів для розпилення підігрітого палива, виключаються вказані вище недоліки карбюраторного двигуна. Відношення рециркуляційних відпрацьованих газів до свіжого повітря обирається так, щоб згоряння низькооктанових палив було бездетонаційним при високих ступенях стиснення ($\epsilon = 8-10$) на всіх швидкісних та навантажених режимах роботи. Додаткова система живлення – це трубка Ранка протитечійна з вимушеним вихровим потоком у сопловому вході, в якому розміщений розпилювач низькооктанового палива. Таке оформлення даного пристрою дозволяє використовувати аеродинамічний спосіб розпилення із утворенням крапель палива діаметром 5-40 мікрон, що задовольняє режиму горіння по швидкості вигорання та повноті при будь-якому швидкісному режимі роботи двигуна [7].

Нами пропонується функціональна схема пристрою для підготовки до згоряння низькооктанових палив для карбюраторних двигунів із високими ступенями стиснення (рис.1).



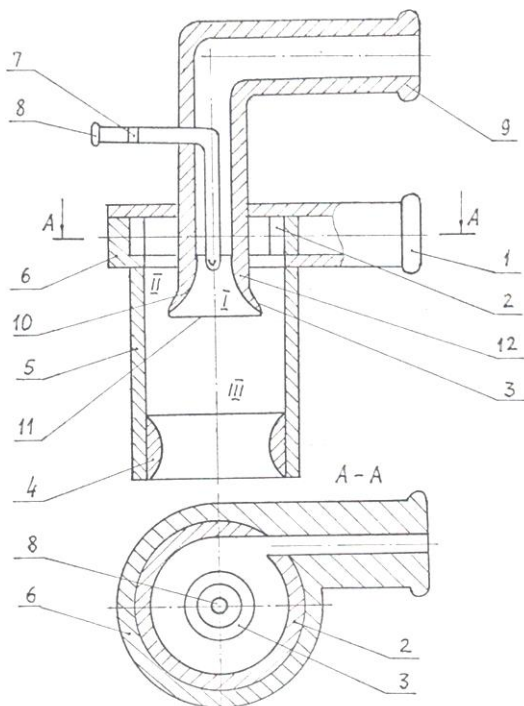
1 – випаровувач-змішувач; 2 – паливний бак; 3 – розподільвач; 4 – повітряний очищувач; 5 – карбюратор; 6 – двигун внутрішнього згоряння; 7 – глушник; 8 – паливопровід; 9 – газопровід; 10 – сумішопровід

Рис.1. Схема системи живлення карбюраторного двигуна:

Запуск двигуна 6 здійснюється підготовленою сумішшю повітря з

низькооктановим бензином через карбюратор, при цьому вихровий випаровувач – змішувач 1 не робить через відсутність достатнього перепаду тиску між відпрацьованими газами трубопроводу 9 і трубопроводу потоку суміші відпрацьованих газів з низькооктановим паливом 10. Робить тільки карбюратор 5. При збільшенні частоти обертання колінчастого валу перепад тиску між трубопроводами 9 і 10 збільшується через зростання тиску – опору глушника 7 і зростання розрідження від карбюратора 5, при цьому збільшується вихровий ефект у вихровому випаровувачі – змішувачі 1, куди подається низькооктанове неетильоване паливо по трубопроводу 8 через розподільувач 3 із баку 2. Чим вища частота обертання колінчастого валу двигуна, тим вища ефективність дії випаровувача – змішувача, тобто у випаровувачі – змішувачі відбуваються інтенсивні процеси випаровування та змішування палива з відпрацьованими газами двигуна.

Щоб задовольнити потреби робочих процесів автомобільних двигунів по якості розпилювання карбюраторного палива пропонується схема вихрового випаровувача- змішувача карбюраторного двигуна (рис. 2).



1 – вхідний патрубок улітки; 2 – улітка; 3 – зовнішня поверхня вхідного патрубку; 4 – дифузор; 5 – циліндрична трубка; 6 – корпус

улітки; 7 – жиклер; 8 – розпилювач палива; 9 – кінець вхідного патрубку; 10 – внутрішня поверхня вхідного патрубку; 11 – зріз вхідного патрубку; 12 – подвоєний дифузор

Рис.2. Схема вихрового випаровувача- змішувача

У вихровому випаровувачі – змішувачі на всіх режимах (крім запуску) до вхідного патрубку 1 улітки вихрової труби 2 та до вхідного патрубку подвоєного дифузору 9, куди встановлений розпилювач палива 8 з жиклером 7, надходять відпрацьовані гази двигуна (рис. 2). Кінець вхідного патрубку 9 спрофільований зовнішньою поверхнею подвоєного дифузору 12, із зовнішньою поверхнею 3 і внутрішньою поверхнею 10 і обмежений зрізом 11 вхідного патрубку 9. У кінці циліндричної трубки 5 встановлений дифузор 4, який задає підпір вихровому руху, що приводить до зростання кутової швидкості відпрацьованих газів із сумішшю низькосортного палива, який (дифузор) з'єднаний співвісно з корпусом 6 улітки вихрової трубки 2.

Робота випаровувача-змішувача визначається газодинамічними параметрами у окремих зонах (рис. 2): I – зоні ежекторного розпилювання, яка розміщена від внутрішнього критичного перерізу дифузору 12 до зрізу розпилювача 11; II – зоні змішування відпрацьованих газів, палива та повітря, яка розміщена від улітки 2 до зрізу розпилювача 11; III – зоні вихрового змішування і випаровування від зрізу розпилювача 11 до виходу із циліндричної труби 5 і через дифузор трубки 4.

Наявність відпрацьованих рециркуляційних газів у суміші з повітрям і низькооктановим паливом понижує ймовірність появи детонаційного згоряння через присутність водяної пари і окису вуглеводню, а покращення якості підготовки низькооктанового палива шляхом аеродинамічного розпилення і випаровування в трубці Ранка підвищують швидкість і повноту згоряння палива, що значно понижує викид токсичних складових в атмосферу [3].

Частина відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згоряння потрапляє через вхідне сопло 1 в улітку трубки Ранка 2, де

створюється інтенсивний вихровий рух відпрацьованих газів. Після цього на основі вихрового ефекту Ранка аерозольний стан суміші низькосортного палива з відпрацьованими газами розділяється на два потоки – “гарячий” і “холодний”, які потрапляють до змішування з чистим повітрям. Під дією відцентрових сил, великі краплі, що рухаються по трубці 5, потрапляють до гарячого потоку, де повністю випаровується, понижуючи температуру гарячого потоку, отже рідка плівка в трубці відсутня повністю. Таким чином досягається повне випаровування палива і повне змішування з відпрацьованими газами, що дозволяє отримати бездетонаційне згоряння отриманої суміші з повітрям у карбюраторних двигунах. Попереднє випаровування та змішування палива з відпрацьованими газами дозволяє отримати вибухонебезпечну газову суміш, яка за нормальних умов являється пальною. При подальшому змішуванні з чистим повітрям у змішувальній камері або у всмоктувальному патрубку отримується робоча суміш, яка має найменшу ймовірність передчасного самозаймання або детонаційного згоряння.

Висновки

1. Доведено, що для удосконалення роботи карбюраторного двигуна, необхідно розробити метод підвищення якості розпилювання і випаровування палива для утворення робочої суміші, близької до стехіометричної, особливо на режимах часткових навантажень і холостого ходу.

2. Запропоновано використання випарувачів-змішувачів в якості додаткових систем живлення для карбюраторних двигунів, що дозволить:

- відмовитися від використання багатокоштовних високооктанових палив;
- знизити вартість експлуатації за рахунок застосування більш дешевого пального;
- підвищити якість підготовки пальної суміші до згоряння внаслідок утворення дрібнодисперсних (аерозольних) фаз;
- покращити екологічні показники внаслідок зниження токсичності відпрацьованих газів за рахунок підвищення повноти згоряння і рециркуляції відпрацьованих газів.

Література

1. Анохин В.И. Вітчизняні автомобілі. – М.: Машинобудування, 1977. – 592 с.
2. Білоконь Я.Ю., Онеча А.І. Трактори та автомобілі: Підр. для вищ. агр. Закладів освіти II-IV рівнів акредитації. – К.: Урожай, 2002. – 324с.
3. Вулис Л. А., Кострица А. А. Элементарная теория эффекта Ранка // Теплоэнергетика. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – № 10. – С. 72 – 77.
4. Гунько А. В. Шляхи зниження шкідливих викидів легковими автомобілями в умовах експлуатації / А. В. Гунько, В. В. Славін, І. В. Манько // «Вісник НТУ». – 2011. – №22. – С. 118– 126
5. Экологизация автомобильного транспорта: передовой опыт стран Европейского Союза и России // об. тр. II Всерос. конф. / под ред. д.т.н. В.Н. Денисова. - С.Пб: МАНЭБ, 2004.-160 с
6. Екологія автомобільного транспорту: Навч. посіб. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун та ін. -К.: Основа, 2002.-312 с.
7. Кнауб Л. В. Энергообмен вихревых потоков в дополнительных системах питания двигателей // Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. – Одесса: ОПУ, 2002. – Вып. №1(17). – С. 90 – 92.
8. Уведення екологічних норм Євро-3–Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками / А. М. Редзюк., В. С. Устименко., О. А. Клименко [та ін.] //Автошляховик України. – 2011.–№4. – С. 2–7.
9. Двигатель внутреннего сгорания: А. с. № 1686212, СССР, ГКИГО2М21(02) / Барсуков С. И., Кнауб Л. В., Манаенко В. П. – № 4676127/06; Заявл.11.04.89; Опубл. 23.10.1991, Бюл. № 39. – 3 с.

Рецензент: **В.П. Волков**, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 21 травня 2015 р.