

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ ДВОТАКТНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ

Міщенко М.І., д.т.н., проф., Супрун В.Л., аспірант, Шляхов В.С., студент

*На прикладах існуючих двотактних бензинових двигунів внутрішнього згоряння з кривошипно-камерною продувкою обговорюються перспективи і конструктивні рішення щодо їх використання на транспортних засобах.*

Двотактні бензинові двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) мають цілу низку суттєвих переваг над чотиритактними ДВЗ, а саме: просту конструкцію, низькі викиди токсичних монооксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ), високу питому потужність, бажаний характер протікання крутного моменту та ін.

Однак такі бензинові двигуни з кривошипно-камерною продувкою мають досить низьку паливну економічність, тому що вони, по-перше, працюють з використанням збагаченої паливоповітряної суміші, що пов'язано з необхідністю забезпечення нормального процесу згоряння паливної суміші, сильно розведеної залишковими газами, і, по-друге, мають неминучі втрати свіжого заряду, викликані двотактним робочим процесом.

Збагачення суміші і викид частини паливної суміші в процесі газообміну приводять не тільки до значної перевитрати палива, але і до викиду в навколишнє середовище великих кількостей токсичних компонентів таких, як монооксид вуглецю ( $\text{CO}$ ) і незгорілі вуглеводні ( $\text{CH}$ ).

Для усунення підвищених втрат палива при продувці і зниження викидів  $\text{CH}$  у двотактних ДВС знаходить застосування вприскування палива в циліндр після закінчення газообміну. Однак система вприскування палива ускладнює і удорожчує двигун у порівнянні з карбюраторною системою живлення. Останнім часом, судячи з патентної інформації і публікацій наукових праць, розглядається нова концепція високоефективного двотактного бензинового двигуна з кривошипно-камерною продувкою. У її основі лежить роздільна подача в циліндр повітря і багаті суміші, що зменшує втрати свіжого заряду. У такому двигуні при струминній подачі паливоповітряної суміші в зону свічки запалювання можливо організувати розшарування заряду. Однак схемні і конструктивні рішення таких двигунів перебувають у стадії експериментальних розробок.

В АДІ ДонНТУ також ведуться роботи по створенню двотактного двигуна, у якому реалізується розділена паливоподача.

*Огляд сучасного стану розробок.*

*Недоліки процесу газообміну двотактних двигунів.*

На відміну від чотиритактного двигуна, де більша частина відпрацьованих газів, витісняється поршнем, у двотактному двигуні очищення циліндра проводиться робочою сумішшю і як наслідок мають місце втрати суміші у випускну систему.

Зі зменшенням навантаження погіршуються умови запалення і згоряння суміші. У результаті з'являються пропуски запалення і росте межциклова

нестабільність процесу згоряння. Тому необхідно збагачувати свіжу суміш, що у свою чергу веде до збільшення витрати палива і токсичності відпрацьованих газів. Саме ці фактори є причиною того, що двотактні двигуни програють по економічності і токсичності (особливо по викидах СН) чотиритактним ДВЗ. Очевидно, що для успішної конкуренції з чотиритактними двигунами необхідно радикально змінити процес газообміну в двотактних ДВЗ.

*Шляхи зниження втрат палива в період продувки.*

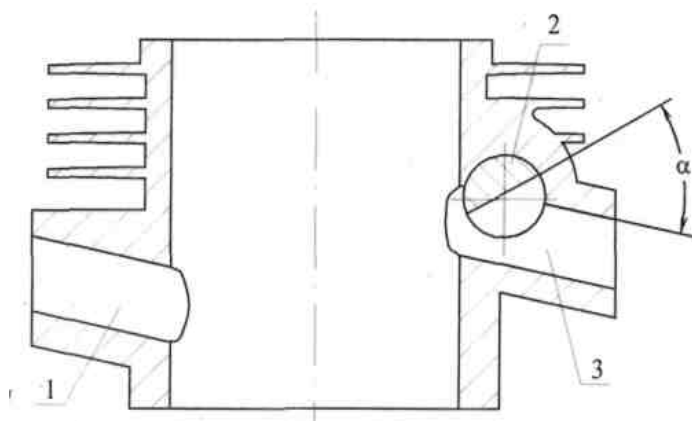


Рис. 1 – Система управління випуском YPVS фірми Yamaha:  
1 – впускний канал, 2 – золотник,  
3 – випускний канал

при повороті на кут змінює площу перерізу випускного каналу (кут задається комп'ютером у залежності від швидкісного і навантажувального режимів).

У іншому конструктивному виконанні використовується спосіб підключення до порожнини випускного каналу (рис. 2) додаткові резонансні камери 1 за допомогою обертового золотника.

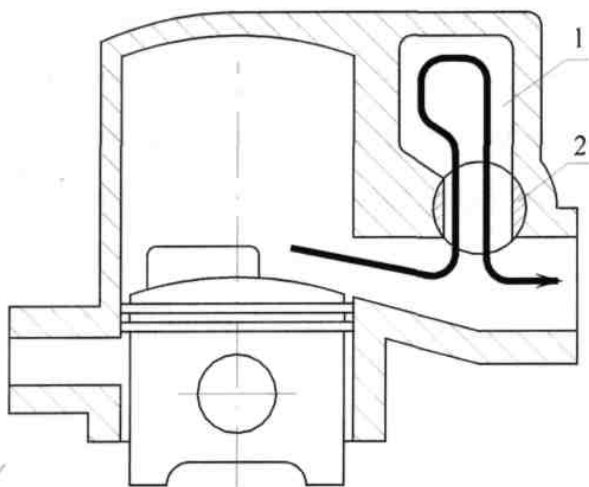


Рис. 2 – Система регулювання випуску SAEC фірми Yamaha:  
1 – резонансна камера; 2 – поворотний золотник

нення втрат палива при продувці.

*Регулювання параметрів системи випуску.*

Одним із широко використовуваних способів впливу на процес газообміну є регулювання фази випуску шляхом зміни прохідного перерізу вікна в залежності від швидкісного режиму. Наприклад, у двигуні Yamaha RD400 застосовується система Yamaha Power Valve System (YPVS). Основним елементом цієї системи (рис. 1) є циліндричний золотник, що

при повороті на кут змінює площу перерізу випускного каналу (кут задається комп'ютером у залежності від швидкісного і навантажувального режимів). У іншому конструктивному виконанні використовується спосіб підключення до порожнини випускного каналу (рис. 2) додаткові резонансні камери 1 за допомогою обертового золотника. У цьому випадку при незмінній довжині випускного трубопроводу і фази випуску досягається зниження частоти власних коливань газового стовпа, що підвищує крутний момент, при знижених частотах обертання і зменшує витрату палива. Описаний спосіб використовується на мотоциклах фірми Honda (система АТАС) і Suzuki.

*Безпосереднє вприскування палива.*

В теперішній час застосування безпосереднього вприскування є самим розповсюдженим способом усуну-

Інтерес до безпосереднього впорскування підсилюється в зв'язку з успіхами в розробці електронних систем впорскування палива і керування процесом згорання за допомогою ЕОМ.

Двигуни з безпосереднім впорскуванням мають різні конструктивні виконання. Так впорскування палива може здійснюватися в продувочні канали, у порожнину циліндра чи в камеру, розташовану в поршні. Впорскування палива відбувається після чи незадовго до закриття випускних вікон, а продувка здійснюється чистим повітрям. При цьому цілком виключаються втрати палива у випускну систему.

При організації безпосереднього впорскування палива в циліндри двигуна однією з основних проблем є одержання достатньо однорідної паливоповітряної суміші при одночасному зниженні вартості паливної апаратури. Як відомо, на одержання однорідної суміші впливають багато факторів таких, як розміри крапель палива, висока турбулентність і час сумішоутворення. В двотактних двигунах час, що відводиться на сумішоутворення, складає порядку 40–60° п.к.в., що в п'ять разів менше, ніж у чотиритактних. Задачу зменшення розміру краплі конструктори вирішують двома основними способами: використанням впорскування високого тиску за допомогою форсунки і застосуванням пневматичного впорскування (впорскування низького тиску).

Спосіб впорскування високого тиску, необхідний для тонкого і якісного розпилювання палива. При цьому тиск може досягати 14 МПа. Система впорскування може бути механічною, електричною (за допомогою електричного насоса-форсунки) і комбінованою (механічний насос + електромагнітні форсунки).

Фірмою Chrysler (США) розроблений двотактний ДВЗ Chrysler Phase III 1.5L L3 із приводним відцентровим нагнітачем (типу Roots) і системою мащення з мокрим картером, який обладнаний системою безпосереднього впорскування високого тиску. Двигун перевершує по паливній економічності на 40% чотиритактні ДВЗ того ж класу і здатний працювати на паливоповітряній суміші з коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha=1,35$ . Але поки має місце погане запалення і горіння палива в режимі холостого ходу і на малих навантаженнях, а також підвищена емісія  $\text{NO}_x$ .

Фірма Piaggio (Італія) розробила системи механічного й електричного впорскування палива в циліндр для малопотужних ДВЗ. Застосування системи дозволило в 1,5 рази зменшити витрати палива, у кілька разів знизити викиди CO і на порядок зменшити викиди СН.

Безсумнівний інтерес представляють експериментальні дослідження двотактного ДВЗ з впорскуванням бензину в циліндр, виконані Sato Tadanori (Японія). Експерименти проводилися на двоциліндровому ДВЗ повітряного охолодження. Тиск початку впорскування палива складав 4,4 МПа. У результаті досліджень встановлено, що при аналогічних конструкціях і регулюваннях експериментального і базового карбюраторного ДВЗ у двигуні з впорскуванням бензину при повному навантаженні  $g_e$  менше на 15–25%; мінімальна витрата  $g_{e \min} = 300 \text{ г/кВт}\cdot\text{год}$ , що на 20% менше, ніж у карбюраторному

ДВЗ. Викид СН при середньому і високому навантаженні в ДВЗ з впорскуванням бензину знизився до рівня, близького до чотиритактного ДВЗ.

До недоліків усіх систем безпосереднього впорскування високого тиску можна віднести високу вартість у порівнянні з карбюраторними системами, пропуски запалювання, нестійке запалення і горіння палива на режимах холостого ходу і малих навантажень, невисоку надійність форсунок, чутких до засмічення і закоксування.

Застосування пневматичного впорскування палива дозволяє готувати паливоповітряну суміш високої якості з найменшими втратами потужності. Класичний варіант системи пневматичного впорскування розроблений фірмою Orbital Engine Corporation (Австралія). Система Orbital Combustion Process (ОСР) була розроблена наприкінці 80-х років минулого століття, а в 1992 двигунами із системою ОСР була оснащена дослідна партія автомобілів. Компанія придбала ліцензію на виробництво цих двигунів. Система ОСР застосована в двотактному ДВЗ фірми Suzuki (Японія) із кривошипно-камерною продувкою. Ліцензії на технологію системи впорскування палива в камеру згорання придбані фірмами GM, Ford Motors і кількома фірмами, що випускають підвісні суднові ДВЗ. У червні 1996 року відбувся перший комерційний продаж партії з 20 автомобілів Ford із двотактними двигунами виробництва Orbital Engine Corporation. Зовнішній вигляд двотактного двигуна, оснащеного системою ОСР, показаний на рис. 3.

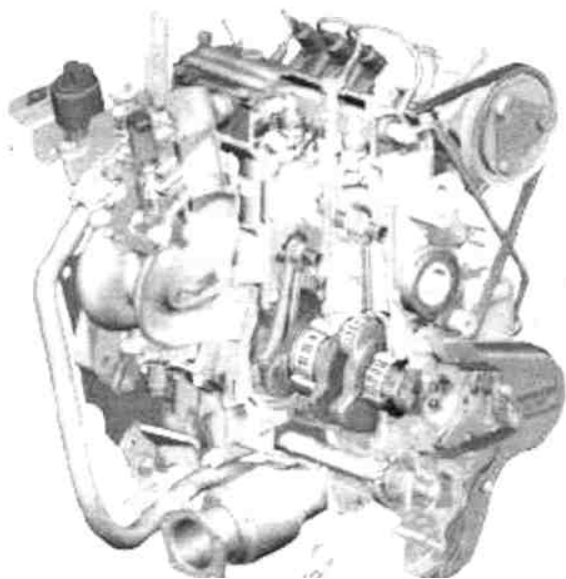


Рис. 3 – Двотактний двигун Orbital

Суть ОСР-процесу полягає у використанні для розпилювання палива енергії стиснутого повітря з тиском (0,55–0,63 МПа). Повітря і паливо дозуються електромагнітними клапанами, встановленими у форсунці.

Форсунка забезпечує розпилювання палива до крапель діаметра 10 мкм замість 150 мкм, що відповідають звичайним форсункам. Підвищення паливної економічності двигунів, оснащених системою ОСР, на 20–30% і зниженні токсичності до норм сучасних стандартів у порівнянні зі звичайними двотактними двигунами з кривошипно-камерною продувкою.

Значні труднощі виникають при збільшенні числа циліндрів більш шести і об'єму більш 3 л.

Значні труднощі виникають при збільшенні числа циліндрів більш шести і об'єму більш 3 л.

Оригінальна система впорскування організована у двотактному ДВЗ з іскровим запалюванням, у якому тиск відпрацьованих газів у випускному трубопроводі використовується для впорскування палива в циліндр. Пропускний трубопровід, що відходить від випускного, закінчується вікном у стінці циліндра. У пропускний трубопровід біля входу в циліндр впорскується па-

ливо, що підхоплюється гарячими відпрацьованими газами, випаровується і вприскується в циліндр. Така схема подачі палива в циліндр двигуна забезпечує гарне перемішування з повітрям, що знаходиться в циліндрі. Додавання відпрацьованих газів до свіжого заряду сприяє зменшенню викидів  $\text{NO}_x$ .

Системи пневматичного вприскування палива в циліндр, також як і системи вприскування високого тиску, мають високу вартість через наявність апаратури вприскування. Крім того, двигуни цього типу характеризуються підвищеною димністю в зв'язку з малим часом, що відводиться на сумішоутворення. При цьому не вирішуються питання зниження викидів  $\text{CH}$  і пропусків запалювання на малих режимах двигуна. При використанні електромагнітних форсунок виникає проблема швидкодії і довговічності.

Останнім часом з'явилися двигуни з безпосереднім нагнітанням збагаченої суміші в циліндр наприкінці процесу продувки-наповнення. Для подачі збагаченої суміші служить звичайний поршневий нагнітач, що істотно знижує вартість паливної апаратури. Експериментально підтверджено, що двигуни з роздільною (змішаною) подачею в циліндр повітря і палива мають економічність на рівні чотиритактних двигунів, а на часткових режимах перевершують їх через відсутність дроселювання повітря основного заряду.

У роботах, проведених у вищій інженерній школі м. Цвіккау (Німеччина), для усунення підвищених втрат палива при продувці в двотактних карбюраторних двигунах із кривошипно-камерною продувкою пропонується

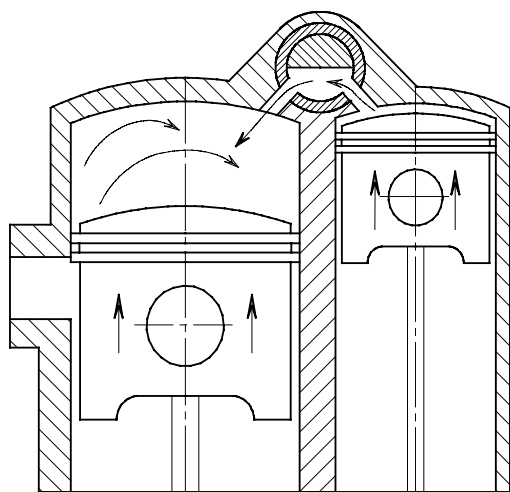


Рис. 4 – Схема розділеної подачі заряду

нагнітання в циліндр збагаченої паливоповітряної суміші за допомогою окремого нагнітача з поршнем невеликого діаметра відразу після закриття (чи перед самим кінцем закриття) випускних вікон (рис. 4). Впуск і продувка циліндра при цьому здійснюються чистим повітрям.

В АДІ ДонНТУ створений експериментальний двотактний бензиновий ДВЗ із розділеною подачею свіжого заряду [4]. Двигун складається з двох основних вузлів: власне двигуна і автономного поршневого

нагнітача, вали яких з'єднані муфтою.

У картері двигуна стискається Perezбіднена суміш (або чисте повітря), що через продувочні вікна надходить у циліндр для здійснення продувки-наповнення. Perezбачена паливоповітряна суміш вприскується в камеру згоряння у момент (чи трохи раніше) закриття випускного вікна за допомогою нагнітача. Керування вприскуванням пальної суміші здійснюється обертовим циліндричним золотником, зв'язаним з колінчастим валом двигуна за допомогою гвинтової передачі.

Тривалість вприскування паливоповітряної суміші складає  $50^\circ$  по куту повороту колінчастого вала. Експериментальний двигун має знімну головку

циліндра, що може повертатися навколо осі циліндра в межах від 0 до 360°, що дає можливість оптимізувати розташування камери згорання.

В конструкції двигуна передбачена можливість регулювання зміни по фазі в русі поршня нагнітача стосовно поршня двигуна за допомогою спеціального пристрою.

Проведені теоретичні й експериментальні дослідження показують підвищення паливної економічності двигуна з розділеною паливopoдачею порівняно із класичним ДВЗ на 20–30%. Крім цього, в експериментальному двигуні спостерігається більш сприятливий характер зміни крутного моменту.

### **Висновки**

1. Проведений аналіз сучасного стану розвитку автомобільних двигунів свідчить про те, що створені до цього часу різноманітні конструкції нетрадиційних двотактних двигунів вимагають глибоких досліджень і проведення великих дослідно-конструкторських робіт.

2. Результати одержані в АДІ ДонНТУ, свідчать про те, що двотактний бензиновий двигун може стати реальною альтернативою сучасному чотири-тактному двигуні.

### **Бібліографічні посилання**

1. Kuntschev Nolkman, Singer Andreas, Kaul Hartmut. Die Weiterentwicklung des Zweitakt - Ottomotors durch Gemischeinspritzung // Wiss Beitr Ingenieurhochsch // Zwickau. – 1988. – Vol. 14, № 3. – p.17 – 24, 24 – 33.

2. Benrens Martin. Zuproblemen der Weiterentwicklung von Zweitakt -Ottomotoren // Wiss. Beitr ingenieurhochsch // Zwickau. – 1988. – Vol. 14, № 3. – p. 17 – 24, 24 – 33.

3. N. Sawa, S. Hayashi. Peak Value of Delivery Ratio in Two-Stroke Motorcycle Engine // SAE. Preprint, 1979. № 790485, p.9.

4. Исследование возможности повышения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов двухтактных бензиновых двигателей: Отчет о НИР (заключительный) / ДПИ. - УДК 621.432; № ГР 01860128621; Инв. № 02900051745. – Д., 1990. – 100 с.

30.04.08