

ЦИМБАЛ С.В., ст.викладач, ЗАКОРЧЕВСЬКИЙ А.В.,

БЕРЕЗОВСЬКИЙ Є.Є., КОЗАК Р.О.

Вінницький національний технічний університет

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ПОРШНЕВИХ ДВЗ І АГРЕГАТІВ НА ЇХНІЙ БАЗІ

Наведені європейські норми емісії шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів. Розглянуто технічний рівень сучасних автомобільних двигунів. Запропоновано комплекс алгоритмів керування оптимального адаптивного керування.

Вступ

На сьогоднішній день більше 70 % енергії на нашій планеті виробляють поршневі ДВЗ. Крім того, поршневі двигуни залишаються на доступну для огляду перспективу самою економічною установкою в діапазоні від 5 кВт до 100 МВт в одному агрегаті. Вони практично безальтернативно використовуються в таких життєво важливих секторах економіки, як транспорт, гірничодобувна промисловість, сільськогосподарська й будівельно-дорожня техніка, мала автономна енергетика. Технічний рівень поршневих ДВЗ і агрегатів на їхній базі по економічності, надійності, екологічній чистоті викидів, масогабаритним показникам, ступеню автоматизації і іншим параметрам значною мірою визначає як рівень досконалості й конкурентоспроможності об'єктів експлуатації (судів, тепловозів, автомобілів, електростанцій і ін.), так і раціональне використання найважливіших експлуатаційних матеріалів (масло, паливо, метали та ін.), а також витрати на обслуговування й ремонт об'єктів застосування.

Розвиток двигунобудування безпосередньо впливає на розвиток ряду галузей, що використовують ДВЗ та забезпечують двигунобудування (це металургія, верстатобудування, нафтохімія, електротехніка і електроніка). Наявність власної наукової й промислової бази є одним з найважливіших факторів розвитку двигунобудування в країні. Поршневі двигуни є одним з найбільш наукомістких і трудомістких видів продукції машинобудування. Створення, наприклад, нового типорозміру двигунів вимагає навіть у передових закордонних фірм, що не мають фінансових обмежень, 3-5 років і витрат у сотні мільйонів доларів.

Оскільки поршневому двигунобудуванню самим життям вирішено в найближчому майбутньому бути основою світової енергетики, доцільно розглянути концептуальні питання науково-технічного розвитку поршневих двигунів, пріоритетів їх удосконалювання.

Аналіз останніх досліджень та основні задачі

До теперішнього часу світовим досвідом, накопиченим в області поршневого двигунобудування й сферах експлуатації, сформульовані принципи й концепції конструювання нових і модернізації моделей, що випускаються, основні напрямки розвитку поршневих ДВЗ. Це підтверджується, зокрема, змістовною частиною 24-го Міжнародного Конгресу СІМАС по поршневих ДВЗ і газовим турбінам, який пройшов у Японії в червні 2004 р.

Сьогодні до таких напрямків можна віднести:

- підвищення циліндрових і агрегатних потужностей за рахунок форсування по середньому ефективному тиску та середньої швидкості поршня: у класі МОД досягнуте $p_e=19,5$ бар (фірма MAN B&W), у класі СОД - 28,2 бар (фірма Wartsila NSD), у класі ВОД - 30,2 бар (фірми MTU і Paxman);
- підвищення надійності, у тому числі ресурсних показників;
- поліпшення паливної й масляної економічності;
- поліпшення масогабаритних показників;
- екологічна безпека техніки двигунобудування в багатьох випадках виходить на перший план, це особливо відноситься до транспортних ДВЗ і, насамперед, до автомобільних двигунів;
- оснащення ДВЗ сучасними системами регулювання, керування, автоматизації та діагностики.

Загалом кажучи, спектр проблем сучасного двигунобудування набагато ширше (новітні принципи конструювання, параметри шуму й вібрації, перехідних процесів при знакозмінних навантаженнях на дизель-генератори змінного струму та ін.), але вище перераховані основні напрямки покращення показників ДВЗ, по яких між світовими провідними розроблювачами йде серйозна конкурентна боротьба.

Основна частина

Велику державну значимість для економіки країни, як відомо, має транспортний комплекс і темпи розвитку транспортного поршневого двигунобудування. Сьогодні в ситуації, що склалася, життєво необхідним стає подолання галузевої роз'єднаності, консолідація матеріальних ресурсів на найважливіших науково-технічних напрямках, найчастіше загальних для всього двигунобудування.

Як відомо, у якості автомобільних використовуються бензинові двигуни й дизелі, причому частка дизелів постійно підвищується. Розвиток бензинових і дизельних автомобільних ДВЗ іде по шляху підвищення паливної економічності й виконання перспективних екологічних показників, європейські норми емісії шкідливих речовин у

відпрацьованих газах двигунів наведені в табл. 1 (у г/(кВт*год)).

Сьогодні починають діяти вже екологічні норми EURO-4, але й досягнення норм EURO-3, менш жорстких, являє собою непросте завдання. Звичайно вважають, що норми EURO-3 забезпечуються завдяки застосуванню нейтралізаторів відпрацьованих газів і введенню мікропроцесорного керування.

Таблиця 1

Європейські норми емісії шкідливих речовин

Норми	Дата ведення, категорія	CO	HC	NOx	Тверді частинки РМ
Euro I	1992 <85кВт	4,5	1,1	8,0	0,612
	1992 >85кВт	4,5	1,1	8,0	0,36
Euro II	1996	4,0	1,1	7,0	0,25
	1998	4,0	1,1	7,0	0,15
Euro III	1999	1,5	1,1	2,0	0,02
Euro IV	2005	1,5	0,46	3,5	0,02
Euro V	2008	1,5	0,46	2,0	0,02

Усі відомі концепції бензинових двигунів і дизелів, які можуть задовольняти нормам EURO-4, передбачають впровадження корінних змін у конструкцію двигунів і істотний розвиток системи керування. Норми EURO-4 не можуть бути виконані без створення двигунів з гнучким багатопараметричним керуванням робочих процесів й без використання адаптивних самонастроювальних і самонавчальних систем.

Більше того, створення конкурентоспроможних моделей обумовлює розробку електронних інформаційно-керуючих комплексів, що поєднують керування автомобілем і двигуном.

Технічний рівень сімейств двигунів нових типорозмірних рядів представлений у табл. 2.

Проблема створення інтелектуальних двигунів стоїть перед двигунобудуванням практично всіх типів поршневих ДВЗ.

Мікропроцесорне керування інтелектуальних ДВЗ вже отримало практичне втілення - поліпшення їх екологічних і економічних характеристик за рахунок високого рівня індивідуальної оптимізації робочого процесу в кожному циклі кожного циліндра. Вона досягається автоматичним вибором і встановленням сукупності значень параметрів робочого процесу в циліндрах двигуна та алгоритмів керування, оптимальних по витраті палива і якості перехідних процесів, при виконанні обмежень по екологічних і технічних параметрах.

Технічний рівень автомобільних двигунів

Країна, фірма, модель двигуна	Розміщення і число циліндрів	Робочий об'єм двигуна, л	Діаметр циліндра і хід поршня, мм	Потужність, частота обертання, л.с./хв ⁻¹	Максимальний крутний момент, частота обертання, Нм/хв ⁻¹	Мінімальна питома витрата палива, г/(л.с.*год)	Літрова потужність, л.с./л
1	2	3	4	5	6	7	8
Росія, ОАО «Барнаултрансмаш» 4ТД1.6	P4	1,8	82x84	89/4000	257/1800	211	49,4
Германія, BMW	P4	1,95	84x88	100/4000	280/1750	-	51,3
Германія, Volkswagen	P4	1,9	79,5x95,5	96/4000	285/1750	203	50,5
Японія, Mitsubishi	P4	1,87	80x93	75/4000	215/1700	-	41,7
Росія, ОАО «ЗМЗ», 43.514.30	P4	2,23	87/94	96/4200	284/2500	199	43,1
Германія, Ford	P4	2,0	86x86	85/4000	230/1900	-	42,5
Германія, Mercedes- Benz	P4	2,18	88x88,3	105/1800	315/1800	200	48,2
Франція, Peugeot	P4	2,18	85x96	98/4000	317/2000	201	44,95
Росія, ОАО «Ав- тодизель», ЯМЗ 534	4P	3,94	102x122	125/2300	650/1400	193	31,7
Германія, Mercedes- Benz, OM904 LA- 180	4P	4,25	102x130	130/2200	675/1200	193	30,6
Франція, Renault, DC-14	4P	4,12	102x126	128/2400	560/1800	197	31,1
Італія, Iveco Tector 4	4P	3,92	102x120	125/2700	560/2100	197	31,9
Росія, ОАО «Ав- тодизель», ЯМЗ 536	6P	5,99	102/122	177/2300	1020/1400	193	29,5
Германія, Mercedes- Benz, OM 906 LA-280	6P	6,37	102x130	205/2200	110/1200	193	32,2
Італія, Iveco, Tector 6	6P	5,8	102x120	202/2700	9300/2100	197	34,8
Росія, ОАО «КамАЗ»	P6	9,5	120x140	257/2000	1500/1100	197	27,1
Швеція, Scania, DC-9	P6	8,97	115x144	221/2000	1400/1100	199	24,6
Франція, Renault, Midr 06.20.45 E41	P6	9,8	120x145	249/2000	1550/1200	205	25,4

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Нідерланди, DAFPE265C	P6	9,2	118/140	265/2200	1450/1100	193	28,8
Росія, ОАО «КамАЗ», ОАО «Автодизель»	P6	11,9	130x150	368/1900	2200/1000	195	30,9
Германія, Mercedes-Benz, OM 444.901	V8	21,92	128x142	441/1900	2300/1200	207	20,1
Швеція, Volvo, D12C460	P6	12,1	131x150	338/1900	2400/1100	189	27,9
Швеція, Scania, DC 12	-	11,70	127x154	346/1900	2200/1050	193	29,6
Германія, MAN, D2866LF28	P6	11,97	128x155	302/1900	1850/900	-	25,2
Нідерланди, DAF, XE390C	P6	12,58	130x158	390/1900	2350/1100	178	31,0
Італія, Iveco, Cursor 13	P6	12,88	135x150	397/1900	2350/1000-1400	197	30,8
Росія, ОАО «Автодизель», ЯМЗ 260	V6	11,15	130x140	287/1900	1760/1100	195	25,7
Германія, Mercedes-Benz, OM501 LA-400	V6	11,95	130x150	290/1800	1850/1080	189	24,3
Германія, Mercedes-Benz, OM 441	V6	10,96	128x142	280/1900	1850/1100	-	25,6
Росія, ОАО «Автодизель», ЯМЗ 751	V8	14,36	130x140	386/1900	2370/1100	195	26,9
Росія, ОАО «КамАЗ» 340.8-450	V8	12,30	120x136	331/1800	1750/1100	197	26,9
Германія, Mercedes-Benz, OM 502 LA-570	V8	15,93	130x150	419/1800	2700/1080	189	24,3
Швеція, Scania DSC-14	V8	14,19	127x140	390/1900	2300/1100	193	27,5
Росія, ОАО «ТМЗ»	V8	17,24	140x140	368/2100	1960/1400	197	21,4
Італія, Iveco, 8280, 42 S	V8	17,17	145x130	378/1900	2200/1100	197	22,0
Росія, ОАО «Автодизель», ЯМЗ 401	V8	25,86	140x140	478/2100	2450/1300	207	18,5
США, Cummins, VTA 28C	V8	28,0	140/152	467/2100	2400/1350	211	16,7
США, Caterpillar, 3412T	V8	22,3	130x140	382/1800	2300/1100	214	17,13
Германія, Mercedes-Benz, OM 444.901	V8	21,92	128x142	441/1900	2300/1200	207	20,12

Неодмінною умовою реалізації ефективного мікропроцесорного керування ДВЗ є наявність у ньому електронних систем паливоподачі й газообміну. Найбільш ефективні з паливних систем, що серійно випускаються, акумуляторні системи з електрорегульованими форсунками (ЕКФ). ЕКФ містять електромагнітні керуючі клапани й гідравлічний підсилюючий привід голок форсунок. Однак ряд закордонних фірм, у тому числі Siemens, Bosch, виробляють й більш досконалих ЕКФ із п'єзоелектричними керуючими клапанами.

Усі функції керування упорскуванням палива в акумуляторних системах реалізуються бортовим мікроконтролером. Ці системи мають найбільші діапазони індивідуального роздільного незалежного імпульсного керування параметрами упорскування палива (тривалістю, фазою, тиском і формою характеристики упорскування), необхідного для оптимізації робочих процесів у кожному циклі кожного циліндра в будь-якій крапці будь-якого режиму роботи ДВЗ аж до відключення подачі палива в окремі циліндри (цикли) на холостих ходах і часткових навантаженнях.

Висока стабільність і ідентичність параметрів упорскування палива в акумуляторних паливних системах на всіх режимах роботи двигуна знижують витрату палива, зміст токсичних компонентів у відпрацьованих газах і гучність ДВЗ. Саме акумуляторні електронні паливні системи забезпечують виконання, наприклад, автомобільними дизелями екологічних вимог не тільки EURO-3, але й наступних, ще більш жорстких.

Мікропроцесорне керування параметрами повітряного заряду (зокрема фазами газорозподілу) створює додаткові можливості оптимізації робочих циклів дизелів.

Електронне керування геометрією впускних і випускних каналів і рециркуляцією відпрацьованих газів забезпечує додаткове поліпшення робочих циклів ДВЗ. Уже почалося активне застосування систем, що використовують електромагнітні клапани, наприклад, на двигунах легкових автомобілів та вантажівок. Швидкодіючі електромагнітні клапани дозволяють, так само як і електрогідравлічні форсунки, забезпечити індивідуальну оптимізацію тривалості, фази й переміщення кожного клапана (впускного й випускного) у будь-який час на будь-якому режимі роботи двигуна, аж до повного відключення циліндрів (циклів), і швидко переведення двигуна в гальмівний режим.

За рубежем над системами й пристроями, що забезпечують повну зміну фаз газорозподілу, працюють ряд фірм. Так, фірма FEV Motorentechnik розробила систему електромагнітного привода до клапанів, систему VNT розробила фірма Meta, систему EVA - фірма Aura Systems. Фірма Aura Systems стверджує, що з електромагнітними клапанами EVA при використанні будь-яких типів палив (бензину, дизельного, природного газу, етанолу, метанолу або спирту) паливна економічність двигуна за рахунок оптимізації згорання у всьому діапазоні частот обертання, зниження насосних втрат і втрат на тертя поліпшується

на 15%. Підкреслюється, що із клапанами EVA підвищуються потужність, крутний момент, надійність, знижуються рівень шкідливих викидів і вартість двигуна.

Фірма BMW створила 4-циліндровий двигун із системами Valvetronic і Doppelvanos. Фірма BMW вважає, що розробка сімейства двигунів, оснащених системою зміни фаз газорозподілу залежно від режиму роботи двигуна (Valvetronic), є найбільш значною подією в історії фірми.

Ще одним найважливішим фактором, що визначають ефективність мікропроцесорного керування двигунами (агрегатами на їхній базі), є алгоритми керування, і в першу чергу, регулювання частоти обертання, які реалізуються мікроконтролерами.

Застосування раціональних алгоритмів у комбінації з імпульсним керуванням подачею палива й повітря забезпечує досягнення гранично можливих найкращих значень показників якості. Це відноситься, насамперед, до точності підтримки частоти обертання в сталих режимах, величині максимального відхилення й тривалості перехідних процесів пуску, розгону, навантаження й відпрацьовування зміни навантаження. Найбільш ефективним для регулювання частоти обертання двигунів і особливо дизель-генераторів вважаються нелінійні алгоритми, які реалізуються в мікроконтролерах. Встановлено, що оптимізація системи регулювання частоти обертання по швидкодії мінімізує і максимальні відхилення частоти обертання в перехідних процесах. При цьому зменшуються відповідно витрата палива й шкідливі викиди. Підвищення якості регулювання частоти обертання мікропроцесорними регуляторами на сталих режимах дозволяє також знизити мінімально стійку частоту обертання на холостому ході.

Отже, у комплекс алгоритмів керування інтелектуальних двигунів входять у загальному випадку: алгоритми оптимального адаптивного керування випередженням, тиском, числом фаз, формою характеристики упорскування палива, обмеженням подачі палива, виключенням подачі палива, якщо немає умов його запалення і ефективного згоряння, фазами газорозподілу, тиском наддуву та ін.

Не можна забувати й про засоби й алгоритми безрозбірної автоматичної технічної діагностики. На всіх дизелях з електронними керуючими пристроями досягнуте істотне зниження експлуатаційної витрати палива, температури відпрацьованих газів і шкідливих викидів. Поліпшені також пускові й гальмові характеристики, підвищена живучість і надійність.

Висновки

Усе перераховане вище показує, що розвиток поршневого двигунобудування вступило в нову фазу - створення, виробництво і експлуатацію суперінтелектуальних двигунів нових поколінь. На цьому шляху, будемо сподіватися, нас чекають вражаючі науково-технічні ідеї,

які дозволять продовжити життєвий цикл сучасних ДВЗ.

Список літератури

1. Автомобільні двигуни : [підручник] / Ф. І. Абрамчук, І. І. Тимченко, Ю. Ф. Гутаревич, К. Є. Долгунов. – [2-е вид.]. – К., 2004. – 476 с.
2. Алексеев И. В. Автомобильные двигатели : учебник [для студ. высш. учебн. завед.] / Алексеев И. В. – М. : Транспорт, 2010. – 464 с.
3. Конструкция и расчет поршневых и комбинированных двигателей / [Орлин А. С., Вырубов Д. Н., Круглов М. Г. и др.]. – М. : Машиностроение, 1992. – 464 с.
4. Хачиян А. С. Двигатели внутреннего сгорания : в 3-х кн. / А. С. Хачиян, К. А. Морозов, М. Г. Шатров; под ред. В. Н. Луканина. – М. : Высшая школа, 2005.

Аннотация. Приведены европейские нормы эмиссии вредных веществ в отработанных газах двигателей. Рассмотрен технический уровень современных автомобильных двигателей. Предложен комплекс алгоритмов управления оптимального адаптивного управления.

Abstract. The brought European norms over of emission of harmful substances in exhaust gases of engines. The technical level of modern motor-car engines is considered. The complex of algorithms of management of optimal adaptive control is offered.