



УДК 621.41

© Г. А. Конкс, В. А. Лашко, 2005

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
ПОРШНЕВЫХ ДВС И АГРЕГАТОВ НА ИХ БАЗЕ
НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

Конкс Г. А. – канд. техн. наук, проф. кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», лауреат Государственной премии СССР по науке и технике;
Лашко В. А. – завкафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» д-р техн. наук, проф., чл.-кор. Российской инженерной академии (ТОГУ)

В статье рассмотрены тенденции технического развития двигателей. Дается оценка ожидаемого развития по экономичности, надежности, повышению технического уровня по другим показателям.

The paper deals with the tendencies for the technical development of engines. The expected development in economy, reliability, the rise in technical level are provided.

В июне 2004 г. в Киото (Япония) состоялся Международный Конгресс по двигателям СИМАС. Ранее, в 2003 г., в Санкт-Петербурге прошел Всероссийский Конгресс двигателестроителей. Эти события подтверждают актуальность и необходимость повышенного внимания к перспективам развития двигателестроения в мире. Ведь известно, что в настоящее время более 70 % энергии на нашей планете вырабатывают поршневые ДВС. Кроме того, поршневые двигатели остаются на обозримую перспективу самой экономичной установкой в диапазоне от 5 кВт до 100 МВт в одном агрегате. Они практически безальтернативно используются в таких жизненно важных секторах экономики, как транспорт, горнодобывающая промышленность, сельскохозяйственная и строительно-дорожная техника, малая автономная энергетика, объекты Министерства обороны и др.

Технический уровень поршневых ДВС и агрегатов на их базе по экономичности, надежности, экологической чистоте выбросов, массогабаритным показателям, степени автоматизации и другим параметрам в значительной мере определяет как уровень совершенства и конкурентоспособности объектов эксплуатации (судов, тепловозов, автомобилей, электростанций и др.), так и рациональное использование важнейших эксплуатационных материалов (масло, топливо, металлы и пр.), а также затраты на обслуживание и ремонт объектов применения.



Развитие двигателестроения непосредственно влияет на развитие ряда отраслей, использующих ДВС и обеспечивающих двигателестроение (это металлургия, станкостроение, нефтехимия, электротехника и электроника и многое другое).

Наличие собственной научной и промышленной базы является одним из важнейших факторов развития двигателестроения в стране. Поршневые двигатели являются одним из наиболее наукоемких и трудоемких видов продукции машиностроения. Создание, например, нового типоразмера двигателей требует даже у передовых зарубежных фирм, не испытывающих финансовых ограничений, 3-5 лет и затрат в сотни миллионов долларов.

Положение в отрасли двигателестроения в стране является сложным: устаревшие и изношенные производственные фонды, недостаток оборотных средств, кадровый дефицит. К этому следует добавить пробелы в типаже, т.к. ряд дизелестроительных предприятий оказались за рубежом. Россия лишилась производства танковых двигателей последнего поколения, промышленных и тракторных двигателей мощностью от 5 до 100 кВт, ряда судовых и тепловозных дизелей.

Имеет место сокращение научно-технического задела, отсутствует постановка на производство новых дизелей и коренная модернизация существующих. Приходится констатировать и значительное отставание выпускаемых двигателей и агрегатов на их базе по уровню форсирования, по надежности, несоответствие экологических показателей требованиям международных норм. Имеется также существенное отставание по применению современных электронных систем автоматизации, управления и диагностики.

Большинство заводов отрасли двигателестроения в России в настоящее время ограничивается незначительным совершенствованием отдельных модификаций двигателей. При этом мы наблюдаем мощную экспансию на отечественный рынок продукции зарубежных фирм, а в европейских странах, например, после продолжительного периода стабилизации наблюдается устойчивая тенденция роста заказов на двигатели, особенно в диапазоне мощностей 1000 – 3500 кВт.

Поскольку поршневому двигателестроению самой жизнью предопределено в ближайшем будущем быть основой мировой энергетики, целесообразно рассмотреть концептуальные вопросы научно-технического развития поршневых двигателей, приоритетов их совершенствования.

К настоящему времени мировым опытом, накопленным в области поршневого двигателестроения и сферах эксплуатации, сформулированы принципы и концепции конструирования новых и модернизации выпускаемых моделей, основные направления развития поршневых ДВС. Это подтверждается, в частности, содержательной частью 24-го Международного Конгресса СИМАС по поршневым ДВС и газовым



турбинам, который прошел в Японии в июне 2004 г., в котором приняла участие и российская делегация.

Сегодня к таким направлениям можно отнести:

- повышение цилиндровых и агрегатных мощностей за счет форсирования по среднему эффективному давлению и средней скорости поршня: в классе МОД достигнуто $p_{me}=19,5$ бар (фирма MAN B&W), в классе СОД – 28,2 бар (фирма Wartsila NSD), в классе ВОД = 30,2 бар (фирмы MTU и Paxman); максимального форсирования по p_{me} в России достиг «Коломенский завод» на выпускаемых моделях дизелей $p_{me}=22$ бар;

- повышение надежности, в том числе ресурсных показателей;
- улучшение топливной и масляной экономичности;
- улучшение массогабаритных показателей;
- экологическую безопасность техники двигателестроения во многих случаях выходящую на первый план. Это особенно относится к транспортным ДВС и, прежде всего, к автомобильным двигателям;
- оснащение ДВС современными системами регулирования, управления, автоматизации и диагностики.

Вообще говоря, спектр проблем современного двигателестроения гораздо шире (новейшие принципы конструирования, параметры шума и вибрации, переходных процессов при сбросах-набросах нагрузки на дизель-генераторы переменного тока и др.), но выше перечислены основные направления, основные показатели ДВС, по которым между мировыми ведущими разработчиками идет серьезная конкурентная борьба.

Большую государственную значимость для экономики страны, как известно, имеет транспортный комплекс и темпы развития транспортного поршневого двигателестроения. Сегодня в сложившейся ситуации жизненно необходимым становится преодоление отраслевой разобщенности, консолидация материальных ресурсов на важнейших научно-технических направлениях, зачастую общих для всего двигателестроения.

Автомобильные двигатели. Как известно, в качестве автомобильных используются бензиновые двигатели и дизели, причем доля дизелей постоянно повышается. Развитие бензиновых и дизельных автомобильных ДВС идет по пути повышения топливной экономичности и выполнения перспективных экологических показателей. европейские нормы эмиссии вредных веществ в отработавших газах двигателей даны в табл. 1 (в г/(кВт·ч)).

Сегодня начинают действовать уже экологические нормы EURO-4, но и достижение норм EURO-3, менее жестких, представляет собой непростую задачу. Обычно считают, что нормы EURO-3 обеспечиваются благодаря применению нейтрализаторов отработавших газов и введению микропроцессорного управления.



Таблица 1

Европейские нормы эмиссии вредных веществ

Нормы	Дата введения, категория	СО	НС	NO _x	Твердые частицы 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

Все известные концепции бензиновых двигателей и дизелей, которые могут удовлетворять нормам EURO-4, предусматривают внедрение коренных изменений в конструкцию двигателей и существенное развитие систем управления. Нормы EURO-4 не могут быть выполнены без создания двигателей с гибким многопараметрическим управлением рабочих процессов и без использования адаптивных самонастраивающихся и самообучающихся систем управления.

Более того, создание конкурентоспособных моделей потребует электронных информационно-управляющих комплексов, объединяющих управление автомобилем и двигателем.

В последние годы в России была разработана программа «Развитие отечественного автомобильного дизелестроения на период до 2010 года», которая включает широкую номенклатуру семейств двигателей как на нижнем диапазоне мощностного ряда, так и верхнем. В основу заложено неукоснительное выполнение основных положений «Концепции развития автомобильной промышленности России» и, в первую очередь, повышение экологических показателей двигателей.

Согласно программе на первом этапе в 2005 г. должны были быть закончены НИОКР по созданию в России двигателей, удовлетворяющих требованиям EURO-3, а сертификации вновь осваиваемой продукции должны проводиться по этим показателям.

На втором этапе (2005–2008 гг.) должен быть завершен переход на выпуск двигателей с показателями EURO-3 и начато производство автомобильных дизелей в соответствии с требованиями EURO-4.

На третьем этапе (2008–2010 гг.) должен быть завершен переход на выпуск двигателей уровня EURO-4 и создан научно-технический задел для обеспечения экологических требований EURO-5.



Технический уровень семейств двигателей новых типоразмерных рядов, создаваемых в нашей стране, в сравнении с зарубежными аналогами, представлен в табл. 2.

Понятно, для того чтобы отечественные автомобильные двигатели занимали достойное место в ряду зарубежных аналогов, их надо обеспечить компонентами и комплектующими изделиями должного технического уровня (топливной аппаратурой, системой турбонаддува и др.).

Таблица 2
Технический уровень автомобильных двигателей

Страна, фирма, модель двигателя	Расположение и число цилиндров	Рабочий объем двигателя, л	Диаметр цилиндра и ход поршня, мм	Мощность, частота вращения, л.с./мин ⁻¹	Максимальный крутящий момент, частота вращения, Нм/мин ⁻¹	Минимальный удельный расход топлива, г/(л.с.·ч)	Литровая мощность, л.с./л
Россия, ОАО «Барнаултрансмаш» 4ТД1,6	P4	1,8	82x84	89/4000	257/1800	211	49,4
Германия, BMW	P4	1,95	84x88	100/4000	280/1750	-	51,3
Германия, Volkswagen	P4	1,9	79,5x95,5	96/4000	285/1750	203	50,5
Япония, Mitsubishi	P4	1,87	80x93	75/4000	215/1700	-	41,7
Россия, ОАО «ЗМЗ», 43.514.30	P4	2,23	87/94	96/4200	284/2500	199	43,1
Германия, Ford	P4	2,0	86x86	85/4000	230/1900	-	42,5
Германия, Mercedes-Benz	P4	2,18	88x88,3	105/1800	315/1800	200	48,2
Франция, Peugeot	P4	2,18	85x96	98/4000	317/2000	201	44,95
Россия, ОАО «Автотдизель», ЯМЗ 534	4P	3,94	102x122	125/2300	650/1400	193	31,7
Германия, Mercedes-Benz, OM904 LA-180	4P	4,25	102x130	130/2200	675/1200	193	30,6
Франция, Renault, DC-14	4P	4,12	102x126	128/2400	560/1800	197	31,1



Продолжение табл. 2

Страна, фирма, модель двигателя	Расположение и число цилиндров	Рабочий объем двигателя, л	Диаметр цилиндра и ход поршня, мм	Мощность, частота вращения, л.с./мин ⁻¹	Максимальный крутящий момент, частота вращения, Нм/мин ⁻¹	Минимальный удельный расход топлива, г/(л.с.·ч)	Литровая мощность, л.с./л
Италия, Iveco Tector 4	4P	3,92	102x120	125/2700	560/2100	197	31,9
Россия, ОАО «Автодизель», ЯМЗ 536	6P	5,99	102/122	177/2300	1020/1400	193	29,5
Германия, Mercedes-Benz, OM 906 LA-280	6P	6,37	102x130	205/2200	110/1200	193	32,2
Италия, Iveco, Tector 6	6P	5,8	102x120	202/2700	9300/2100	197	34,8
Россия, ОАО «КамАЗ»	P6	9,5	120x140	257/2000	1500/1100	197	27,1
Швеция, Scania, DC-9	P6	8,97	115x144	221/2000	1400/1100	199	24,6
Франция, Renault, Midr 06.20.45 E41	P6	9,8	120x145	249/2000	1550/1200	205	25,4
Нидерланды, DAF PE265C	P6	9,2	118/140	265/2200	1450/1100	193	28,8
Россия, ОАО «КамАЗ», ОАО «Автодизель»	P6	11,9	130x150	368/1900	2200/1000	195	30,9
Германия, Mercedes-Benz, OM 444.901	V8	21,92	128x142	441/1900	2300/1200	207	20,1
Швеция, Volvo, D12C460	P6	12,1	131x150	338/1900	2400/1100	189	27,9
Швеция, Scania, DC 12	–	11,70	127x154	346/1900	2200/1050	193	29,6
Германия, MAN, D2866LF28	P6	11,97	128x155	302/1900	1850/900	–	25,2
Нидерланды, DAF, XE390C	P6	12,58	130x158	390/1900	2350/1100	178	31,0



Окончание табл. 2

Страна, фирма, модель двигателя	Рас- поло- же- ние и число ци- лин- дров	Рабо- чий объем двиге- ля, л	Диаметр цилиндра и ход поршня, мм	Мощ- ность, частота враще- ния, л.с./мин ⁻¹	Макси- мальный крутящий момент, частота вращения, Нм/мин ⁻¹	Мини- маль- ный удель- ный расход топли- ва, г/(л.с.·ч)	Лит- ровая мощ- ность, л.с./л
Италия, Iveco, Cursor 13	P6	12,88	135x150	397/1900	2350 /1000- 1400	197	30,8
Россия, ОАО «Ав- тодизель», ЯМЗ 260	V6	11,15	130x140	287/1900	1760/1100	195	25,7
Германия, Mercedes-Benz, OM501 LA-400	V6	11,95	130x150	290/1800	1850/1080	189	24,3
Германия, Mercedes- Benz, OM 441	V6	10,96	128x142	280/1900	1850/1100	–	25,6
Россия, ОАО «Ав- тодизель», ЯМЗ 751	V8	14,36	130x140	386/1900	2370/1100	195	26,9
Россия, ОАО «Ка- маЗ» 340.8-450	V8	12,30	120x136	331/1800	1750/1100	197	26,9
Германия, Mercedes-Benz, OM 502 LA-570	V8	15,93	130x150	419/1800	2700/1080	189	24,3
Швеция, Scania DSC-14	V8	14,19	127x140	390/1900	2300/1100	193	27,5
Россия, ОАО «ТМЗ»	V8	17,24	140x140	368/2100	1960/1400	197	21,4
Италия, Iveco, 8280, 42S	V8	17,17	145x130	378/1900	2200/1100	197	22,0
Россия, ОАО «Ав- тодизель», 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
Германия, Mercedes- Benz, OM 444.901	V8	21,92	128x142	441/1900	2300/1200	207	20,12

Судовые агрегаты. Морской, речной и рыбопромысловый флот, а также плавсредства для освоения океана и шельфа в течение последних 25-30 лет оснащаются преимущественно дизельными энергетиче-



скими установками. Учитывая положительные стороны дизельного привода, можно полагать, что судостроение и судоходство сохраняют роль одного из крупнейших потребителей дизелей в обозримом будущем. Понятно, что тенденции технического развития судовых дизелей и агрегатов на их базе, в том числе российского производства, формируются под воздействием широкого круга факторов, к важнейшим из которых можно отнести:

- топливно-энергетическую ситуацию, определяющую динамику цен на топливо и изменение его качества;
- экологические условия, обуславливающие все большее ужесточение требований к охране окружающей среды;
- новейшие достижения в проектировании, технологии изготовления и автоматизации двигателей, связанные, в первую очередь, с компьютеризацией;
- конъюнктуру спроса на те или иные модели дизелей;
- конкуренцию ведущих фирм-поставщиков комплектующего судового дизельного оборудования.

Всё перечисленное повлияло и будет влиять на приоритеты совершенствования технического уровня судовых двигателей (агрегатов): экономичность, надежность, экологическую безопасность, цену, автоматизацию с адаптацией к условиям эксплуатации.

Сегодня можно с большой долей уверенности назвать лидеров мирового дизелестроения в области МОД (малооборотных ДВС с частотой вращения до 250 мин^{-1}), СОД (среднеоборотных ДВС с частотой вращения до $1000\text{--}1200 \text{ мин}^{-1}$), ВОД (высокооборотных дизелей с частотой вращения 1500 мин^{-1} и выше).

В области МОД – фирма MAN B&W (Германия – Дания), предлагающая на рынок продаж судовые дизели агрегатной мощностью от 500 до 100 000 кВт (с диаметром цилиндра от 260 до 1080 мм). Определенную конкуренцию ей оказывают швейцарская фирма Sulzer (входит в международную группу Wärtsilä NSD) и японская фирма Mitsubishi.

В России по лицензии фирмы MAN B&W выпускаются МОД на ОАО «БМЗ» (г. Брянск).

В области СОД – фирма Wärtsilä (входит в международную группу Wärtsilä NSD), которая предлагает на рынок продаж модели дизелей мощностью от 500 до 35 000 кВт (с диаметром цилиндра от 160 до 640 мм). С ней конкурирует, прежде всего, фирма MAN B&W, в области СОД успешно работают дизелестроительные фирмы Франции, Норвегии, Японии и других стран.

В России по лицензии ведущих зарубежных фирм судовые СОД выпускают предприятия «Русский дизель» (Санкт-Петербург), РУМО (Нижегород), отечественные конструкции предлагают ОАО «Коломенский завод», ООО «Дальдизель ДВ» (г. Хабаровск), Волжский завод им. Маминых (г. Балаково), «Русский дизель».



В области судовых ВОД признанным лидером является германская фирма MTU, освоившая поле мощностей самых высокофорсированных моделей ВОД до 7400 кВт (диаметры цилиндров до 230 мм).

В России в области судовых ВОД работают ОАО «Звезда» (г. Санкт-Петербург), «Барнаултрансмаш» (г. Барнаул), Волжский завод им. Маминых, Дагдизель (г. Каспийск) и некоторые другие.

По лицензии фирмы MTU выпускает судовые дизель-редукторные агрегаты ОАО «Промдизель» (г. Чебоксары).

В табл. 3 показаны отдельные модели фирм-лидеров мирового судового дизелестроения, дана техническая характеристика с основными параметрами: диаметр цилиндра и ход поршня, количество цилиндров, цилиндровая мощность, частота вращения, среднее эффективное давление и ход поршня, удельный расход топлива и удельная масса.

Таблица 3

**Основные параметры судовых дизелей фирм-лидеров
мирового дизелестроения**

Типоразмерный ряд	Диаметр цилиндра, мм	Ход поршня, мм	Количество цилиндров	Цилиндровая мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Среднее эффективное давление, бар (макс)	Средняя скорость поршня, м/с (макс)	Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	Удельная масса, кг/кВт
MAN B&W(МОД)									
K98MC	980	2660	6-12	4090-5720	84-94	18,2	8,3	165-171	33,3-31,6
K98MC-C	980	2400	6-12	4130-5710	94-104	18,2	8,3	165-171	36,3-32,5
S90MC-C	900	3188	6-7	3140-4890	61-76	19,0	8,1	160-167	37,5-37,8
K90MC	900	2550	4-12	2200-4570	71-94	18,0	8,0	159-171	43,7-36,1
K90MC-C	900	2300	6-12	3100-4560	89-104	18,0	8,0	165-171	32,3-33,1
L90MC-C	900	2916	6-12	2340-4890	62-83	19,0	8,0	155-167	36,7-34,7
S80MC-C	800	3200	6-8	1860-3880	57-76	19,0	8,1	155-167	36,1-35,0
S80MC	800	3056	4-9	1840-3880	59-79	19,0	8,0	155-167	41,4-35,3
K80MC-C	800	2300	6-12	2470-3610	89-104	18,0	8,0	167-174	35,9-32,9



Продолжение табл. 3

Типоразмерный ряд	Диаметр цилиндра, мм	Ход поршня, мм	Количество цилиндров	Цилиндровая мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Среднее эффективное давление, бар (макс)	Средняя скорость поршня, м/с (макс)	Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	Удельная масса, кг/кВт
L80MC	800	2592	4-12	1750-3640	70-93	18,0	8,0	162-174	39,8-33,2
S70MC-C	700	2800	4-8	1490-3105	68-91	19,0	8,5	156-169	32,8-28,3
S70MC	700	2674	4-8	1350-2830	68-91	18,0	8,1	156-169	36,7-32,0
L70MC	700	2268	4-8	1355-2830	81-108	18,0	8,0	162-174	33,9-29,4
S60MC-C	600	2400	4-8	1085-2255	79-105	19,0	8,4	158-170	29,1-25,9
S60MC	600	2292	4-8	980-2040	79-105	18,0	8,0	158-170	33,4-28,9
L60MC	600	1944	4-8	920-1920	92-123	17,0	8,0	159-171	34,9-29,3
S50MC-C	500	2000	4-8	760-1580	95-127	19,0	8,5	159-171	24,5-21,6
S50MC	500	1910	4-8	690-1430	95-127	18,0	8,1	159-171	29,9-25,2
L50MC	500	1620	4-8	640-1330	111-148	17,0	8,0	160-173	30,6-25,9
S46MC-C	460	1932	4-8	880-1310	108-129	19,0	8,3	169-174	25,4-20,7
S42MC	420	1764	4-12	670-1080	115-136	19,5	8,0	171-177	25,2-20,8
L42MC	420	1360	4-12	480-995	132-176	18,0	8,0	165-177	23,9-20,4
S35MC	350	1400	4-12	505-740	147-173	19,1	8,0	173-178	19,2-15,9
L35MC	350	1050	4-12	440-650	178-210	18,4	8,0	171-177	19,1-16,0
S26MC	26	980	4-12	275-400	212-250	18,5	8,1	174-179	20,0-16,0



Окончание табл. 3

Типоразмерный ряд	Диаметр цилиндра, мм	Ход поршня, мм	Количество цилиндров	Цилиндровая мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Среднее эффективное давление, бар (макс)	Средняя скорость поршня, м/с (макс)	Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	Удельная масса, кг/кВт
Wärtsilä NSD(СОД)									
W-64	600	940	6-9, 12-18	2010	327-428	25,5	11,0	172	-
Vasa46	460	580	4,8,9, 12,16,18	905-1050	450-514	26,1	9,9	166-168	17,9-13,8
ZA40S	400	560	6,8,9, 12-18	720	510	24,1	9,6	176-180	13,8-11,2
Vasa 32	320	350	4,6,8,9, 12,16,18	410	720-750	24,0	8,75	181	11,3-7,6
W 26 X	260	320	12,16,18	400	1000	28,2	10,7	185	6,4-6,0
Vasa 22	220	240/260	4,6,8,12,16	187,5	720-1000	22,8	9,6	189-191	10,3-7,6
Vasa 20	200	280	4,6,9	130-180	720-1000	24,6	9,3	187-189	10,0-7,9
MTU(ВОД)									
RV 183 E	128	142	12	32-71	1800-2400	19,3	11,4	205	5,6-2,4
V396TB-TE	165	185	8,12,16	87-170	1600-2100	23,6	12,2	195	5,4-2,3
V538TE	185	200	12,16,20	206	1900	24,2	12,7	200	2,6
V956TB	230	230	12,16,20	245-345	1500	28,8	11,5	195	5,5-2,35
V595TE	190	210	12,16 12,16,20	270 220-370	1800 1300	30,3 29,4	12,6 12,1	192 189	4,0-2,6 5,1-3,1
V1163TB	230	280	12,16,20	220-370	1300	29,4	12,1	189	5,1-3,1

В настоящее время наряду с параметрами топливной и масляной экономичности и ресурсов большое внимание уделяется экологической безопасности судовых двигателей. Влияние выбросов судовых дизелей на глобальное экологическое состояние воздушного бассейна является ограниченным и оценивается в 5-7 % от общего количества выбросов вредных веществ стационарными энергетическими установками и транспортными средствами. Однако из-за относительно большой агре-

гатной мощности судовые дизели могут быть основным источником загрязнения атмосферы в таких локальных зонах, как порты, водные акватории рек, особенно в черте городов. Поэтому решение проблемы токсичности выпускных газов судовых двигателей регламентируется требованиями классификационных обществ, ГОСТов, а также международной морской организацией ИМО.

Так, ИМО оговаривает норму выброса оксидов азота для судовых двигателей в количестве 9,8–17 г/кВт·ч в зависимости от частоты вращения. Однако производителям судовых агрегатов с ДВС следует ожидать существенного ужесточения норм ИМО. Поэтому снижение токсичных выбросов с отработавшими газами судовых дизелей, прежде всего оксидов азота NO_x , является одной из самых актуальных задач современного мирового судового дизелестроения, которую надо решать без ущерба по уровню топливной экономичности двигателей.

Следующая сверхважная проблема – создание главных судовых и вспомогательных дизельных агрегатов как интеллектуальных двигателей (на основе компьютерного управления). В нашем прогнозе к 2015 г. во всех классах судовых двигателей мы должны увидеть впечатляющий прогресс и в этом стратегическом направлении, что скажется на теории и практике всего современного судостроения и судоходства.

Уже сейчас предпринимаются серьезные попытки создания судовых интеллектуальных двигателей, которые адаптированы к условиям эксплуатации (фирмы MAN B&W, Caterpillar и др.). Такое направление развития судовых дизельных агрегатов приведет к значительным изменениям в конструкции судовых ДВС, будет локомотивом принципиального изменения их функционирования в реальных условиях различных судов.

Впрочем, проблема создания интеллектуальных двигателей стоит перед двигателестроением практически всех типов поршневых ДВС.

На Международном Конгрессе SIMAS работает секция интеллектуальных двигателей, которая заслушивает наиболее интересные идеи и разработки.

Новая заявляемая цель микропроцессорного управления интеллектуальных ДВС, которая уже получила практическое воплощение, – улучшение их экологических и экономических характеристик за счет высокого уровня индивидуальной оптимизации рабочего процесса в каждом цикле каждого цилиндра. Она достигается автоматическим выбором и установлением совокупности значений параметров рабочего процесса в цилиндрах двигателя и алгоритмов управления, оптимальных по расходу топлива и качеству переходных процессов, при выполнении ограничений по экологическим и техническим параметрам.

Непременным условием реализации эффективного микропроцессорного управления ДВС является наличие в нём электронных систем топливоподачи и газообмена. Наиболее эффективны из серийно выпускаемых топливных систем аккумуляторные системы с электрически управляемыми форсунками (ЭГФ). ЭГФ содержат электромагнитные



управляющие клапаны и гидравлический усилительный привод игл форсунок. Однако ряд зарубежных фирм, в том числе Siemens, Bosch, уже освоили производство и более совершенных ЭГФ с пьезоэлектрическими управляющими клапанами.

Все функции управления впрыскиванием топлива в аккумуляторных системах реализуются бортовым микроконтроллером. Эти системы имеют наибольшие диапазоны индивидуального раздельного независимого импульсного управления параметрами впрыскивания топлива (продолжительностью, фазой, давлением и формой характеристики впрыскивания), необходимого для оптимизации рабочих процессов в каждом цикле каждого цилиндра в любой точке любого режима работы ДВС вплоть до отключения подачи топлива в отдельные цилиндры (циклы) на холостых ходах и частичных нагрузках.

Высокая стабильность и идентичность параметров впрыскивания топлива в аккумуляторных топливных системах на всех режимах работы двигателя снижают расход топлива, содержание токсичных компонентов в отработавших газах и шумность ДВС. Именно аккумуляторные электронные топливные системы обеспечивают выполнение, например, автомобильными дизелями экологических требований не только EURO-3, но и последующих, еще более жестких.

Микропроцессорное управление параметрами воздушного заряда (в частности фазами газораспределения) создает дополнительные возможности оптимизации рабочих циклов дизелей.

Электронное управление геометрией впускных и выпускных каналов и рециркуляцией отработавших газов обеспечивает дополнительное улучшение рабочих циклов ДВС. Уже началось активное применение систем, использующих электромагнитные клапаны, например, на двигателях легковых автомобилей, легких и тяжелых грузовиков. Быстродействующие электромагнитные клапаны позволяют, так же как и электрогидравлические форсунки, обеспечить индивидуальную оптимизацию продолжительности, фазы и перемещения каждого клапана (впускного и выпускного) в любое время на любом режиме работы двигателя, вплоть до полного отключения цилиндров (циклов), и быстрый перевод двигателя в тормозной режим.

За рубежом над системами и устройствами, обеспечивающими полностью изменение фаз газораспределения, работают ряд фирм. Так, фирма FEV Motorenttechnik разработала систему электромагнитного привода к клапанам, систему VNT разработала фирма Meta, систему EVA – фирма Aura Systems. Фирма Aura Systems утверждает, что с электромагнитными клапанами EVA при использовании любых типов топлив (бензина, дизельного, природного газа, этанола, метанола или спирта) топливная экономичность двигателя за счет оптимизации сгорания во всем диапазоне частот вращения, снижения насосных потерь и потерь на трение улучшается на 15 %. Утверждается также, что с клапанами EVA повышаются мощность, крутящий момент, надежность, снижаются уровень вредных выбросов и стоимость двигателя.



Фирма BMW создала 4-цилиндровый двигатель с системами Valvetronic и Doppel-VANOS. Фирма BMW считает, что разработка семейства двигателей, оснащенных системой изменения фаз газораспределения в зависимости от режима работы двигателя (Valvetronic), является наиболее значительным событием в истории фирмы.

Еще одним важнейшим фактором, определяющим эффективность микропроцессорного управления двигателями (агрегатами на их базе), являются алгоритмы управления, и в первую очередь, регулирования частоты вращения и реализующие их структуры микроконтроллеры.

Применение рациональных алгоритмов в сочетании с импульсным управлением подачей топлива и воздуха обеспечивает достижение предельно возможных наилучших значений показателей качества. Это относится, прежде всего, к точности поддержания частоты вращения в установившихся режимах, величине максимального отклонения и длительности переходных процессов пуска, разгона, нагружения и отработки изменения нагрузки. Наиболее эффективным для регулирования частоты вращения двигателей и особенно дизель-генераторов считаются нелинейные алгоритмы, осуществляемые в микроконтроллере переменными структурами с адаптивно изменяемыми параметрами. Установлено, что оптимизация системы регулирования частоты вращения по быстродействию минимизирует и максимальные отклонения частоты вращения в переходных процессах. При этом уменьшаются соответственно расход топлива и вредные выбросы. Повышение качества регулирования частоты вращения микропроцессорными регуляторами в установившихся режимах позволяет также снизить минимально-устойчивую частоту вращения на холостом ходу. Это важно для главных судовых дизелей. Кроме того, пуск дизеля можно заканчивать на соответственно меньшей частоте вращения.

Итак, в комплекс алгоритмов управления интеллектуальных двигателей входят в общем случае: алгоритмы оптимального адаптивного управления опережением, давлением, числом фаз, формой характеристики впрыскивания топлива, ограничением подачи топлива, исключением подачи топлива при условиях, не обеспечивающих его воспламенения и эффективное сгорания, фазами газораспределения, давлением наддува и др. Здесь нельзя забывать и о средствах и алгоритмах безразборной автоматической технической диагностики.

На всех дизелях с электронными управляющими устройствами достигнуто существенное снижение эксплуатационного расхода топлива, температуры отработавших газов и вредных выбросов. Улучшены также пусковые и тормозные характеристики, повышена живучесть и надежность.

Все перечисленное выше показывает, что развитие поршневого двигателестроения вступило в новую фазу – создания, выпуска и эксплуатации суперинтеллектуальных двигателей новых поколений. На этом пути, будем надеяться, нас ждут впечатляющие научно-технические идеи, которые позволят продлить жизненный цикл современных ДВС на обозримую перспективу, повысит их значимость в мировой энергетике.