

Технико-эксплуатационные характеристики отечественных и зарубежных судовых дизелей мощностью до 3 МВт



В. А. Сорокин,
канд. техн. наук,
ЗАО «Центральный
научно-исследовательский
институт морского
флота»



М. Ю. Иванов,
заместитель начальника
отдела механического
оборудования и систем
ФАУ «Российский морской
регистр судоходства»

Сравнительный анализ отечественных и зарубежных судовых дизельных двигателей мощностью до 3000 кВт свидетельствует, что по основным технико-эксплуатационным показателям, определяющим конкурентоспособность дизеля, зарубежные двигатели превосходят аналогичную продукцию отечественного производства. В то время как судовые дизели остаются стратегически важным продуктом, в транспортной стратегии России не затрагиваются вопросы развития дизелестроения. Современные проблемы отечественного дизелестроения — следствие долгого невнимания ко всей отрасли на государственном уровне.

Анализ современного состояния и тенденций развития отечественного и зарубежного судового дизелестроения показывает, что основное направление совершенствования дизельных двигателей — это увеличение цилиндровой и агрегатной мощности за счет форсирования рабочего процесса и частоты вращения. Все фирмы ведут разработку и доводку конструктивных решений, применяют инновационные технологии, новые материалы, оптимизируют параметров рабочего процесса и др.

При форсировании двигателей появляются проблемы с обеспечением эксплуатационной надежности и ресурса дизелей и, в первую очередь, с сохранением тепловой и механической напряженности основных деталей и узлов двигателя (цилиндропоршневая группа (ЦПГ), подшипники и др.). Эксплуатационная надежность достигается с помощью конструктивных и технологических решений: интенсификации охлаждения, обеспечения качественного смесеобразования и различных других мер [3].

Конкурентоспособность дизельного двигателя, идет ли речь о сравнении его с другими типами тепловых двигателей или о сравнении между собой дизелей разных производителей (отечественных и зарубежных), во многом определяется его эксплуатационными показателями, наиболее важные из которых — эффек-

тивная мощность P и удельный эффективный расход топлива b_e . В настоящее время самым доступным способом повышения мощности дизеля является увеличение плотности воздуха перед цилиндрами при одновременном увеличении количества сжигаемого топлива. Общая тенденция дальнейшего развития дизелестроения состоит в совершенствовании применения газотурбинного наддува, который реализуется по различным схемам.

Воплощение конструктивных решений, связанных с применением внутриканального охлаждения деталей ЦПГ, позволило реализовать принцип независимого управления уровнями механических и тепловых напряжений. Такие решения совместно с усилениями подшипниковых узлов, деталей движения и остова, внедрением оптимальных конструктивных решений позволили существенно повысить максимальное давление сгорания P_{max} и среднее эффективное давление p_e , которое достигло 2,5–3,0 МПа. В результате получены низкие удельные расходы топлива (до $b_e = 170$ г/кВт·ч) при КПД двигателей до 50 %.

Это убедительно подтвердило тот факт, что дизельные двигатели, обладающие большими резервами дальнейшего совершенствования, остаются на обозримую перспективу самой экономичной энергетической установкой (ЭУ), определяющей развитие многих отраслей, включая судостроение.

Можно отметить разработанные и внедренные за последние годы конструктивные и технологические решения, обеспечивающие максимальную надежность дизеля в эксплуатации:

- коленчатый вал с развитым диаметром шеек, отличающийся повышенной жесткостью и пониженным удельным давлением на подшипники;
- цилиндровая втулка с внутриканальным охлаждением;
- турбонаддув при изобарном давлении;
- организация процесса сгорания с двойным впрыском топлива и/или применение системы топливоподачи Common Rail.

Успешное развитие и использование дизельных двигателей на судах объясняется, прежде всего, тем обстоятельством, что они наилучшим образом удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ЭУ судов.

Ниже в *таблицах* приведены технические характеристики отечественных и зарубежных дизелей, выпускаемых в настоящее время. Представлены только те дизели, которые на 1 января 2011 г. заявлены как судовые. Следует отметить, что только часть из приведенных отечественных дизелей одобрена Российским морским регистром судоходства или Российским речным регистром. Выбор диапазона мощности дизелей (до 3 МВт) обусловлен тем обстоятельством,

что основная доля отечественных судовых дизелей укладывается в этот предел (малооборотные двигатели (МОД) не рассматриваются).

Состояние отечественного дизелестроения

В настоящее время судовые дизели в России производят 11 предприятий, правовой статус которых — открытое акционерное общество. Часть дизелестроительных заводов, не выдержав конкуренции и потери заказов, прекратили либо свое существование, либо производство судовых дизелей.

С учетом того обстоятельства, что после распада СССР часть дизелестро-

Таблица 1. Технические характеристики судовых дизелей, производимых отечественными предприятиями

Фирма-производитель	Обозначение двигателя	Число и расположение цилиндров	Диапазон мощности, кВт	Частота вращения об/мин	Назначение		Средн. эффект. давл., бар	Удельн. расход топл., г/кВтч	Удельн. расход масла, г/кВтч
					Суд.	Эл. ген.			
ОАО «Брянский машзавод»	ДКРН 26/98	4-8L	1100–3200	212–250	+	+	14,8–18,5	174–179	1,1–1,6
	ДКРН 35/140	4–8L	1900–5900	173–210	+		14,7–18,4	170–175	1,1–1,6
	ДКРН 42/176	4–8L	1920–8200	136–176	+	+	11,5–18,0	165–177	0,9–1,4
ОАО «Барнаул-трансмаш»	Ч, ЧН 15/18	6L, 8, 12V	110–220	1350–1500	+	+	6,4–10,1	218–242	1,3–2,0
	Ч 15/15	6, 10V	130–220	1800–2200	+	+	6,3–7,8	231–238	4,1–5,4
АО «Волжский дизель им. Маминых»	ЧН 21/21	4,6L	333–670	1000–1500	+	+	14–18,2	196–201	1,36
	ЧН 21/26	6,8L	649–950	1000–1210	+	+	12,1–16,2	198–201	1,36
	ЧН 19/21	12V	532–670	1000–1500		+	7,6–9,1	210	1,0
	ЧН 19/25,5	12V	1053	1000		+	14,9	210	1,0
	ЧН 17/20	6,8L	184–280	965–1014	+		8,6–9,4	225	1,36
	ЧН20/27	6,8L	550–750	1000	+		13,2–13,7	226	1,36
	ЧН10,5/12	3,4L	24–50	1500		+	6,3–7,2	210	
ОАО «Дагдизель»	Ч 8,5/11	2,4,6L	5,6–21,6	1500		+	3,7–4,3	320–450	
	Ч 9,5/11	2,4,6L	8–30	1500–2000		+	4,9–5,2	300–340	
ОАО «Звезда»	ЧН 16/17	42;56	1765–3675	1700–2000	+		8,9–11,8	222–243	
	ЧН 18/20	6L, 12V	500–990	1550	+	+	9,5–12,8	213–220	
ОАО «КамАЗ-Дизель»	ЧН 12/12	8V	176	2200		+	8,8	207	0,6
ОАО «Коломенский завод»	ЧН 26/26	8,16V	800–4400	1000–1100	+	+	8,8–22,2	191–200	1,01–1,47
	ЧН 30/38	4,6,8L	450–1850	360–750	+		14,2–17,7	178–186	1,32–2,5
ОАО «Пензадизельмаш»	ЧН 31,8/33	6L	600	750		+	6,1	224+11	2,04
ОАО «Румо»	Ч 23/30	6,8 L	240–440	750, 1000	+	+	5,2–5,4	219–226	2,04
	ЧН, ЧРН 36/45	6 L	660–1150	350–500	+		7,8–10,5	202	1,22
	ЧН 22/28	6, 8 L	700–1100	750–1000	+	+	15,8–17,7	185–195	1
	ЧН 32/40	6, 8 L	2880–3840	750	+		23,9	186	1
ОАО «Уральский дизель-моторный завод»	ЧН 21/21	6,8,12V	770–1760	1500		+	14,4–16,5	204–220	1,1–1,5
ОАО «Богородский машиностроительный завод»	Завод производит судовые двигатели мощностью от 50 до 230 л.с. для катеров, яхт и рыболовецких ботов водоизмещением от 3 до 45 т, а также имеет разрешение ОАО «Автодизель» (г. Ярославль) на применение базового двигателя для конвертации в судовой вариант								

Таблица 2. Ресурсные и массо-габаритные характеристики судовых отечественных дизелей

Фирма-производитель	Обозначение двигателя	Число и расположение цилиндров	Ресурс, тыс. часов		Удельная масса двигателя (агрегата), кг/кВт	Удельный габаритный объем, л/кВт
			До-1й переборки	До кап. ремонта		
ОАО «Брянский машзавод»	ДКРН 26/98	4-8L	15	120	18,1-15,9	16,86-13,99
	ДКРН 35/140	4-8L	15	120	18,92-15,54	16,62-14,04
	ДКРН 42/176	4-8L	15	120	26,1-21,34	22,2-18,9
ОАО «Барнаул-трансмаш»	Ч, ЧН 15/18	6L,8,12V	8,0-4,5	20,0-14,0	8,5-10,1	15,8-14,2
	Ч 15/15	6, 10V	3,0	8,0	3,5-4,3	4,1-5,7
АО «Волжский дизель им. Маминых»	ЧН 21/21	4,6L	-	50-65	14,4-8,2	-
	ЧН 21/26	6,8L	-	55-60	8,1-7,6	-
	ЧН 19/21	12V	-	40	20,3 ¹	-
	ЧН 19/25,5	12V	-	55	15,7 ¹	-
	ЧН 17/20	6,8L	-	45	24,7 ² -20,4 ²	25,6 ² -26,9 ²
	ЧН20/27	6,8L	-	45	18,8 ² -17,8 ²	29,8 ² =27,8 ²
	ЧН10,5/12	3,4L	-	30	31,3 ¹ -18 ¹	70,1 ¹ -35,2 ¹
ОАО «Дагдизель»	Ч 8,5/11	2,4,6L	-	-	56,4 ¹ -41,5 ¹	92,8 ¹ -60,3 ¹
	Ч 9,5/11	2,4,6L	-	-	30,7 ¹	37,5 ¹
ОАО «Звезда»	ЧН 16/17	42;56	3,0-5,0 (до полной переборки)	-	5,1 ² -3,3 ²	1,9 ² -3,1 ²
	ЧН 18/20	6L, 12V	5,0 (до полной переборки)	-	3,0-3,7	5,4-6,2
ОАО «КамАЗ-Дизель»	ЧН 12/12	8V	-	-	5,03	-
ОАО «Коломенский завод»	ЧН 26/26	8,16V	-	-	19,2-5,9	31,1-9,3
	ЧН 30/38	4,6,8L	-	-	24,6-12,2	34,8-19,5
ОАО «Пенза-дизельмаш»	ЧН 31,8/33	6L	6,0	36,0	36,5 ¹	44 ¹
ОАО «Румо»	Ч 23/30	6,8 L	-	30	23,4	41,7
	ЧН,ЧРН 36/45	6 L	-	55-60	31,1-25,9	-
	ЧН 22/28	6, 8 L	12-15	55-60	18,4-14	12,7-8,7
	ЧН 32/40	6, 8 L	-	60-80	13,2-12,2	-
ОАО «Уральский дизельмоторный завод»	ЧН 21/21	6,8,12V	-	40,5-21,0	7,08-5,88	9,86-7,96

Примечание: 1 — относится к дизель-генератору в целом; 2 — относится к дизель-редукторному агрегату.

тельных заводов оказалась за рубежом (в странах СНГ), в России прекратился выпуск отдельных ранее востребованных дизелей. К ним относятся в первую очередь мощные среднеоборотные (СОД) и высокооборотные (ВОД) дизели.

Российские дизельстроительные заводы производят судовые двигатели в узких диапазонах и ориентированы на определенный круг потребителей. Так, 7 из 11 заводов выпускают дизели в диапазоне мощности от 500 до 2000 кВт. Дизели только 3 заводов (ОАО «Брянский машиностроительный завод», ОАО «Коломенский тепловозостроительный завод» и ОАО «Звезда») имеют более высокий диапазон мощности, не покрывающий, однако, в полной мере потребности судостроения.

В настоящее время в России имеются проблемы с выпуском ВОД мощностью 5-110 кВт (заводы «Дагдизель»,

«Волжский дизель им. Маминых», «Богородский машиностроительный завод», завод «Барнаултрансмаш»). Двигателей производится мало, в рамках ограниченной номенклатуры, их параметры не отвечают современным требованиям. Указанные двигатели применяются на катерах, рыболовных ботах, речных судах водоизмещением от 3 до 45 т в качестве главных, аварийных и вспомогательных дизель-генераторов.

На сегодняшний момент отечественные судовые дизели в диапазоне рассматриваемых мощностей (от 5 до 3000 кВт) могут удовлетворить потребности судостроения. Оценка потребности в судовых дизелях, которая формирует спрос, а следовательно, определяет производство в условиях рыночной экономики, является непростой задачей.

В табл. 1 и 2 представлены данные о дизельных двигателях, производимых в

России, в том числе их технико-эксплуатационные характеристики [2]. Учитывая большое многообразие судов по назначению, размерам и мощности ЭУ, целесообразно разбить суда на группы в зависимости от преимущественно применяемого типа и мощности судовой дизельной установки (СДУ).

- Морские суда различного назначения и водоизмещения, плавбазы, транспортные рефрижераторы, рефрижераторы с мощностью ЭУ от 2 до 20 МВт.

В качестве главного двигателя (ГД) на этих судах устанавливаются МОД с частотой вращения до 250 об/мин с прямой передачей на винт или СОД с частотой вращения 350-700 об/мин и редукторной передачей на винт. Кроме того, на судне устанавливается 3-4 дизель-генератора мощностью примерно 500-800 кВт. Потребность этого типа судов в отечественных дизелях мож-

Таблица 3. Современные среднеоборотные дизели зарубежного производства с частотой вращения до 500 об/мин и мощностью до 3000 кВт

Фирма-производитель	Тип дизеля	Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	Рабочий объем цилиндра, л	Количество цилиндров	Цилиндровая мощность, кВт (min/max)	Частота вращения, об/мин (min/max)	Ср. эффективное давление, бар (min/max)	Агрегатная мощность, кВт (min/max)
MAN B & W Diesel AG	L42MC	420/1360	188	4–12L	640/995	141/176	14,4/18	2560/11940
	L35MC	350/1050	101	4–12L	440/650	178/210	14,7/18,4	1760/7800
	S26MC	260/980	52	4–12L	270/400	212/250	14,8/18,5	1080/4800
Mitsubishi Heavy Industries	UEC33SII	330/105	90	4–8L	/566	162/215	/18	1230/4530
	UEC37LA	370/880	95	4–8L	/520	158/210	/15,6	1120/4160
Niigata Power Systems Co., Ltd	6M26AT	260/460	24,4	6L	147	400	18,1	882
	6M28BT/NT	280/460	30	6L	172/196	390	17,9/20,4	1029/1176
	6M31BT	310/530	40	6L	221	360	18,4	1323
	6M31BLT	310/600	45,3	6L	221	290	20,2	1393
	6M34BT/NT	340/620	56,3	6L	282/306.	310/320	18,8/21,1	1680/1838
	6M38T(A)	380/720	81,7	6L	368	250	21,6	2059/2206

Таблица 4. Современные высокооборотные дизели зарубежного производства с частотой вращения до 1200 об/мин

Фирма-производитель	Тип дизеля	Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	Рабочий объем цилиндра, л	Количество цилиндров	Цилиндровая мощность, кВт (min/max)	Частота вращения, об/мин (min/max)	Ср. эффективное давление, бар (min/max)	Агрегатная мощность, кВт (min/max)
Caterpillar Inc.	3606.C280	280/300	18,5	6,8L	386/454	900/1000	20,0/22,8	2320/3634
	Маk M20C	200/300	9,5	6,8,9L	170/190	900/1000	24,1/24,2	1020/1710
Daihatsu Diesel Mfg. Co Ltd	DC-17	170/270	6,13	5,6L	101,7	1000	22,1	480/610
Fairbanks Morse Engine	PA6 L/V	280/290	17,9	6,8L,12-20V	273/324	900/1050	21,5	1638/6480
	PA6B L/V	280/330	20,32	6,8L,12-20V	350/405	900/1050	21,3	2100/8100
MAN B & W Diesel AG	L21/31	210/310	10,7	5–9L	215	900/1000	24,1	1075/1935
	L16/24	160/240	4,8	5–9L	90/100	100/1200	20,7/22,4	450/900
Niigata Power Systems Co., Ltd	22HX	220/280	10,6	6L	178	1000	20,0	735/810
	26HX	260/275	14,6	6,8L,12–18V	250	1000	21,3	1400/4500
S.E.M.T. Pielstick	PA5	255/270	13,79	4L,18V	210/220	900/1000	19,2	840/3960
	PA6B	280/330	20,32	4L,18V	325/405	900/1000	22,8	4860/8100
Wärtsilä Co.	Wartsila 20.	200/280	8,8	4–9L	200	1000	28,0	720/1800
	Wartsila 26.	260/320	17,0	4–9L, 12,16V	340	1000	26,5	1860/5440
Yanmar Co., Ltd	6N18L	180/280	7,13	6L	66,7/110	1000		400/660
	N21L	210/290	10,05	6,8L	102,5/170	1000		615/1360

но удовлетворить МОД производства ОАО «Брянский машиностроительный завод». СОД большой мощности (более 4 МВт) в России не производятся.

- Рыбопромысловые суда, суда «река — море» и суда внутреннего плавания.

Рыбодобывающие суда (траулеры, сейнеры и др.) весьма разнообразны по типу и мощности энергетической установки: СОД с редукторной передачей; СОД с прямой передачей (250–350 об/мин) на винт; высокооборотные дизель-редукторные агрегаты. Суда оборудованы относительно мощными электростанциями для обеспечения работы технологического оборудования (лебедки, рефустановки, спецоборудование и др.) В ряде случаев совместно с дизель-генераторами используются валогенераторы. Диапазон потребляемой мощности очень широкий: от 500 до 4000 кВт для пропульсивной установки и от 200 до 1500 кВт для электростанции.

К данной категории судов условно могут быть отнесены суда «река — море», на которых потребность в электроэнергии и мощность вспомогательных дизель-генераторов несколько меньше (от 150 до 700 кВт). Суда сме-

шанного плавания типа «река — море» имеют среднюю грузоподъемность 3–5 тыс. т с двумя главными двигателями мощностью 600–1000 кВт. В настоящее время в связи с ростом грузооборота на внутренних водных путях наблюдается тенденция увеличения грузоподъемности судов и, следовательно, мощности главных двигателей.

Отечественное дизелестроение может восполнить потребность этих классов судов в дизелях.

- Суда внутреннего плавания: транспортные, буксиры, самоходные баржи, катера и др.

Суда данного класса могут быть обеспечены отечественными СОД с прямой или редукторной передачей и высокооборотными дизель-редукторными агрегатами.

Состояние зарубежного дизелестроения

Для рассматриваемого диапазона мощности наиболее приемлемыми являются среднеоборотные и высокооборотные дизели с частотой вращения от 350 до 2000 об/мин, которые наиболее известны своим применением на судах в качестве главных и вспомогательных двигателей. Поэтому как динамика их выпуска, так и направления технического совершенствования в значительной степени определяются конъюнктурой в мировом судоходстве и судостроении.

В настоящее время насчитывается около 15 зарубежных конкурирующих между собой фирм, выпускающих СОД и ВОД, наиболее известными являются: MAN Diesel, Wärtsilä Corp, S.E.M.T. Pielstick, MWM Motores Diesel Ltd, Caterpillar Inc. (США) и Caterpillar Motoren (Германия), Mitsubishi Heavy Industries, Volvo Penta, Cummins и др. На отечественных судах имеются дизели всех указанных производителей.

Иностранные фирмы — разработчики судовых дизелей вынуждены приспособляться к изменившимся условиям и постоянно обновлять свою

продукцию. Ими созданы новые конструкции дизелей, отличающиеся высокой степенью форсировки, пониженным расходом топлива и масла, пригодностью к работе на низкокачественных сортах топлив, надежностью, простотой технического обслуживания, экологической безопасностью.

В табл. 3–5 представлены технико-эксплуатационные характеристики современных дизелей зарубежного производства. Дизели различных фирм и производителей объединены по частоте вращения, что позволяет легко выполнить сравнительный анализ.

Можно отметить высокую конкуренцию дизелей зарубежных фирм и производителей, когда одна и та же востребованная мощность может быть перекрыта 3–5 типами дизелей различных фирм.

Сравнение по основным параметрам

Интеграция России в мировую транспортную систему делает задачу повышения конкурентоспособности отечественных дизелей как на внутреннем, так и на внешнем рынке одной из приоритетных. При оценке конкурентоспособности судовых дизелей учитываются параметры цены и качества предоставляемых услуг, сферы применения продукции, технико-экономические и другие комплексные показатели. Техничко-эксплуатацион-

ные параметры дизелей, отвечающие современным требованиям, обеспечивают их конкурентоспособность, повышенный спрос и расширение области применения.

В условиях острой конкуренции между дизелестроительными фирмами и сложной конъюнктуры сбыта продолжается процесс слияния и укрупнения компаний как внутри отдельных стран, так и в межгосударственном масштабе. Подобные объединения дают очевидные преимущества: оптимизация общего типажа выпускаемых двигателей, проведение НИОКР, расширение сети сбыта и послепродажного технического обслуживания.

Производители, как правило, выпускают дизели не только последнего поколения, но и одного-двух предшествующих. Для сравнительной оценки технического уровня анализируемой группы зарубежных дизелей отобраны те, которые были созданы или существенно модернизированы за последние 5–6 лет. Из отечественных судовых дизелей рассмотрены все модели, которые выпускаются в настоящее время в России.

Приведенные в табл. 1 и 2 параметры отечественных судовых дизелей относятся к 30 типоразмерам, выпускаемым 11 предприятиями России. Зарубежные судовые дизели, представленные в табл. 3–5, включают 60 типов

Таблица 5. Современные высокооборотные дизели зарубежного производства с частотой вращения более 1200 об/мин

Фирма-производитель	Тип дизеля	Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	Рабочий объем цилиндра, л	Количество цилиндров	Цилиндровая мощность, кВт (min/max)	Частота вращения, об/мин (min/max)	Ср. эффективное давление, бар (min/max)	Агрегатная мощность, кВт (min/max)
Caterpillar Inc.	3508,3512	170/190	4,3	8V,12V	66/109	1200/1800	12,3/20,3	526/1305
Mitsubishi Heavy Industries	SR2 Series	170/220	5,0	6L	134,3	1500		655/705
MTU Friedrichshafen GmbH	S60	130/160	2,12	6L	37/62	1500/2300	/15,2	224/373
	S60	133/168	2,33	6L	37/103	1500/2300	/23,1	224/615
	2000	130/150	1,99	8–18V	68/93	1500/2350	/23,6	452/1492
	4000	165/190	4,06	8,12,16V	87/172	1500/2100	/23,6	700/2760
Niigata Power Systems Co., Ltd	NSD/16CX	160/210	4,2	6L	/90	1500	/19,2	485/540
S.E.M.T. Pielstick	PA4-185VG	185/210	5,64	6L,18V	98/123	1200/1500	17,4	590/2215
	PA4-200VG	200/210	6,6	8,16V	132/166	1200/1500	20	1060/2650
Volvo Penta	D12-AUX	131/150	2,0	6L	48,7/61,7	1500/1800		292/670
Yanmar Co., Ltd	6RY17P Series	165/219	4,68	6L	104/123	1500		625/736

дизелей, производимых фирмами из 10 стран.

Ниже сравниваются некоторые из основных параметров отечественных и зарубежных судовых дизелей.

Тактность и наличие наддува

Все представленные двигатели, как отечественные, так и зарубежные, работают по четырехтактному циклу. Все новые СОД и ВОД, предлагаемые на мировом рынке, имеют турбонаддув. Из отечественных дизелей не имеют наддува ВОД малой размерности (Ч8,5/11 и Ч9,5/11), выпускаемые ОАО «Дагдизель», и устаревшая модель ОАО «Румо» — Ч23/30.

Компоновка и число цилиндров

Из общего количества рассмотренных иностранных и отечественных двигателей примерно 60 % составляют рядные двигатели с числом цилиндров от 4–5 до 8–9, остальные двигатели — V-образные с числом цилиндров от 6–10 до 18–20. Среди них есть уникальные двигатели с двумя цилиндрами звездообразные (завод «Звезда») с числом цилиндров 42 и 56. Преимущественное использование рядных двигателей отвечает потребностям судостроения и стремления фирм-разработчиков обеспечить простоту конструкции, доступность узлов и деталей, эксплуатационную надежность, удобство технического обслуживания и ремонта.

Цилиндровая и агрегатная мощность

За последние годы цилиндровая мощность судовых дизелей практически не изменялась, составляя от 8 до 1500 кВт для СОД и ВОД. Поскольку в настоящей работе установлен верхний предел агрегатной мощности дизеля в 3000 кВт, в *табл. 1–5* рассмотрены в основном дизели, соответствующие отмеченному ограничению. Например, для дизеля агрегатной мощностью 3000 кВт могут использоваться дизели с цилиндрической мощностью от 100 до 500 кВт (в рядном или V-образном исполнении). Для рассматриваемого примера современные зарубежные производители могут поставлять более 20 типоразмеров (примерно 30 % номенклатуры, представленной в *табл. 3–5*), а отечественные — 5 типоразмеров дизельных двигателей (*табл. 1, 2*). Нижний предел цилиндрической мощности (5–10 кВт), как правило, удовлетворяется ВОД с малой размерностью цилин-

дра (80–100 мм), и дизели предназначаются для маломерных судов. Такие дизели выпускаются отечественными предприятиями ОАО «Дагдизель», ОАО «Волжский дизель им. Маминых» и ОАО «Богородский машиностроительный завод» и целым рядом зарубежных фирм. Дизели имеют агрегатную мощность от 10 до 100 кВт, частоту вращения от 1000 до 2200 об/мин и дизель-редукторную передачу при использовании их в качестве главных.

Следует отметить, что если ранее зарубежные фирмы концентрировали свои усилия в первую очередь на повышении мощности дизелей (цилиндровой, агрегатной), то в последнее время начали доминировать другие критерии: экономичность, надежность, экологичность и др.

В стремлении максимально повысить экономичность дизелей создатели предлагают потребителям дефорсированные модели с несколькими номинальными рабочими точками, на которых обеспечиваются соответственно более низкие расходы топлива. Это позволяет фирмам-производителям дизелей расширить номенклатуру производимых моделей дизелей, из которых можно выбрать оптимальный вариант для конкретного объекта применения.

Показатели форсировки

Среднее эффективное давление, характеризующее степень совершенства рабочего процесса, а также степень наддува дизеля, продолжает постепенно повышаться и в настоящее время на отдельных моделях зарубежных дизелей достигло 3,0 МПа. Величины p_e в пределах 2,3–2,6 МПа освоены на значительной части серийно выпускаемых зарубежных дизелей (*табл. 3–5*). Такому росту форсировок при одноступенчатой системе наддува способствовал значительный прогресс в развитии турбокомпрессоров, совершенствовании процесса топливоподачи, смесеобразования и организации рабочего процесса, увеличением максимального давления сгорания до 22,0 МПа, целым комплексом конструктивных усовершенствований, некоторым увеличением средней скорости поршня и др. Средняя скорость поршня C_m для рассматриваемых двигателей укладывается в диапазон 8–10,5 м/с. В целом можно констатировать незначительное увеличение C_m на современных двигателях.

Большинство отечественных двигателей значительно уступают зару-

бежным аналогам в величине среднего эффективного давления. Значения среднего эффективного давления всех выпускаемых в России дизелей (за исключением МОД) условно можно разделить на три группы:

- $p_e = 0,5–1,2$ МПа — 14 единиц;
- $p_e = 1,2–1,8$ МПа — 6 единиц;
- $p_e = 1,8–2,4$ МПа — 3 единицы.

Из представленных результатов видно, что только три модели судовых дизелей по параметру форсировки соответствуют зарубежным аналогам. Это двигатели 6,8 ЧН 22/28 и 32/40 ОАО «Румо» и двигатель ЧН 26/26 ОАО «Коломенский тепловозостроительный завод». Следует отметить, что современные зарубежные судовые дизели с p_e меньше 1,5 МПа практически не выпускаются.

Топливная экономичность

Рассматривая эту характеристику как важнейшую в конкурентоспособности дизеля, все производители работают над максимальным снижением удельного расхода топлива на характерных эксплуатационных режимах, а также использованием в двигателе низкосортных (тяжелых) топлив.

Представленные в *табл. 3–5* зарубежные судовые дизели имеют удельный расход топлива b_e в пределах 180–200 г/кВт · ч. Из отечественных судовых дизелей (СОД и ВОД) только три модели характеризуются удельным расходом топлива в указанных выше пределах. Это двигатели ОАО «Румо» ЧН 32/40 и ЧН 22/28, а также двигатель ЧН 26/26 ОАО «Коломенский тепловозостроительный завод». Остальные отечественные судовые дизели имеют удельный расход топлива в пределах 200–250 г/кВт · ч, что на 20–30 % выше, чем у зарубежных аналогов. Большинство ведущих зарубежных фирм декларируют возможность эксплуатации своих двигателей (СОД, ВОД) на тяжелых топливах с вязкостью до 360–700 сСт при 50 °С. При эксплуатации двигателей на тяжелых топливах иносфирмы по важнейшим деталям и узлам задают нормы наработки и технического обслуживания (ремонта) дизелей в зависимости от сорта применяемого топлива — дизельного или тяжелого. Отечественные производители, как правило, эксплуатацию своих дизелей на тяжелых топливах в рекламе, прайс-листах и других документах не подтверждают.

Тенденции и проблемы отрасли

На основании материалов, изложенных в настоящей статье, а также с учетом отечественной и зарубежной информации по современному состоянию развития судовых дизелей можно сделать следующие выводы. На мировом рынке судовых дизелей наблюдается достаточно жесткая конкуренция, что заставляет ведущие дизелестроительные фирмы принимать меры для увеличения спроса на их продукцию. Все ведущие дизелестроительные фирмы внедряют в производство типоразмерные ряды, широко развернутые по числу цилиндров, частоте вращения и степени форсировки по среднему эффективному давлению. Это дает проектанту судна возможность выбрать оптимальный вариант энергетической установки для конкретного проекта и тем самым потенциально увеличить спрос на дизели той или иной фирмы. Кроме того, крупные судовладельцы, имеющие суда разного типа, предпочитают иметь дизельные установки одного производителя, что снижает их эксплуатационные расходы.

Абсолютно все зарубежные фирмы-производители судовых дизелей (Wärtsilä, GE, Cummins, Caterpillar, MTV и др.) используют в своих конструкциях комплектующие лучших специализированных фирм Mahle (поршни), Glico (рамовые и шатунные вкладыши), Goetze (поршневые кольца), DUAP (топливная аппаратура), Geislinger (демпферы крутильных колебаний), Stromag (муфты), Stafford (генераторы) и др. Отечественные производители дизелей применяют ограничительное количество деталей, поставляемых зарубежными специализированными фирмами, по двум причинам:

- для исключения зависимости от комплектующих западных фирм;
- из-за значительного удорожания дизеля.

Производители высокооборотных дизелей предлагают агрегаты со встроенными редукторами (дизельредукторные агрегаты) и электрическими генераторами (дизельгенераторы), что по-



зволяет сократить габариты установки. Более того, некоторые фирмы (MAN, Wärtsilä, Caterpillar Motoren) предлагают поставку комплектной пропульсивной установки в составе дизеля, валопровода, винта регулируемого шага, винто-рулевых колонок и системы управления, что позволяет сократить время и затраты на проектирование и постройку судна. Ведущие фирмы (MAN, Wärtsilä, Caterpillar) декларируют возможность работы средне- и высокооборотных дизелей на тяжелом топливе (до 700 сСт при 50 °С), что дает экономию в эксплуатационных расходах.

В диапазоне частоты вращения более 500 об/мин и мощности до 3000 кВт все фирмы предлагают четырехтактные дизели с достаточно высокой форсировкой по среднему эффективному давлению (как правило, более 2,0 МПа) за некоторыми исключениями, касающимися маломощных дизелей без наддува с рабочим объемом цилиндра менее 1 л и частотой вращения до 1800 об/мин. В диапазоне частоты вращения до 500 об/мин для пропульсивных установок предлагаются как двухтактные крейцкопфные, так и четырехтактные дизели, обычно с прямой или редукторной передачей мощности на винт. Известно, что японские рыбодобывающие компании предпочитают суда, имеющие главные двигатели с прямой передачей мощности на винт. По данным каталогов, только одна из зарубежных фирм в настоящее время производит такие дизели — Niigata Power Systems Co., Ltd. Это дизели в 6-цилиндровом исполнении, имеющие достаточно высокую степень форсировки по среднему эффективному давлению — от 1,7 до 2,3 МПа.

Для дизелей последнего поколения ведущие фирмы декларируют низкий приведенный удельный расход топлива (170–180 + 5 % г/кВт · ч.) и удельный расход смазочного масла (до 0,6 г/кВт · ч).

Все зарубежные фирмы, оценивая свои дизели, приводят только данные стендовых испытаний (т. е. отдельного двигателя) и никогда не дают характеристик дизеля и его показателей в составе судовой энергетической установки. Это вполне логично, поскольку от состояния судовых систем и установки в целом существенно зависят расходы топлива и масла, ресурсные, экологические и другие показатели. Аналогично поступают и отечественные производители судовых дизелей.

В связи с действующими требованиями Приложения VI к Конвенции MARPOL 73/78, ограничивающими выброс в окружающую среду окислов азота NO_x и серы SO_x , ведущие фирмы усиленно работают над выполнением этих требований, чтобы получить на свои судовые дизели сертификат EIAPP (Engine International Air Pollution Prevention) и комплект документов, необходимых для получения судового сертификата IAPP (International Air Pollution Prevention). Дизели отдельных фирм (например, Wärtsilä) уже сейчас могут отвечать более жестким нормам ограничения выбросов окислов азота NO_x и серы SO_x (IMO Tier 2), которые введены с 1 января 2011 г.

Зарубежные фирмы-лидеры активно применяют электронные системы управления процессами топливоподачи в цилиндры и газообмена. Наибольшее распространение получила система Common Rail с программным управлением подачей топлива. В частности, такие системы позволяют существенно улучшить эмиссионные характеристики дизеля, что особенно важно при работе судов в особых районах контроля выбросов.

Анализ конструкции базовых узлов, материалов деталей, термических и химикотермических обработок, методов контроля параметров и конструирования, применения методов упрочнения и т. п. показывает, что в конструкциях западных дизелей нет технических решений, которые не используются в лучших моделях отечественных дизелей.

В последнее время дизелестроители обращают все больше внимания на обеспечение безопасности установки в связи с возможными отказами отдельных ее компонентов, а также на снижение эксплуатационных расходов на техническое обслуживание. Для этого предлагаются развитые системы контрольно-предупредительной сигнализации и защиты, включая автоматический мониторинг основных рабочих параметров. Также предлагаются программные средства для диагностирования технического состояния дизеля и для планирования и учета его технического обслуживания и ремонта. Последние обеспечивают, помимо прочего, снижение расходов на проведение ежегодных и очередных освидетельствований судна инспекторами классификационных обществ, которые в таких случаях допускают отказ от контрольных разборок механизмов.



В настоящее время расчетные методы при создании отечественных и зарубежных дизелей практически идентичны, причем в основе зарубежных методик часто лежат теоретические разработки российских ученых. Применяемые программные комплексы в составе САПР, такие как UNIGRAPHICS NX, Solid Edge, NASTRAN, PATRAN, ADAMS и др., с успехом используются за рубежом и у нас.

Одной из важнейших эксплуатационных характеристик судового дизеля является его надежность. Параметры безотказности и ремонтпригодности зависят от конструкции и технологии изготовления дизеля и отрабатываются на стадии его конструирования и доводки в заводских условиях, тогда как долговечность проверяется, как правило, в эксплуатации. В общедоступных источниках практически отсутствуют данные по фактической долговечности конкретных моделей дизелей, однако, по отзывам эксплуатационников, дизели известных зарубежных производителей, представленные в табл. 3–5, обладают хорошими характеристиками долговечности.

Также наблюдаются следующие тенденции:

- ведущие фирмы имеют, как правило, лицензиатов во многих странах мира; например, по лицензиям фирмы MAN выпускают продукцию в 12 странах мира на 42 предприятиях (из них только в КНР — 19);

- в связи с глобализацией экономики и жесткой конкуренцией в последнее время происходит объединение под общее руководство крупнейших дизелестроительных фирм: MAN и Burmeister & Wain, Wärtsilä и Sulzer, Caterpillar и MaK; в ряде случаев мелкие фирмы поглощаются крупными; это ведет к сокращению числа аналогичных типоразмерных рядов дизелей, вымы-

ванию малоперспективных моделей и появлению возможности выделения больших ресурсов на разработку и производство перспективных моделей;

- за рубежом достаточно широко развита кооперация между производителями дизелей и предприятиями, специализирующимися на производстве отдельных компонентов дизеля: топливной аппаратуры, регуляторов, поршневых колец, фильтров, турбокомпрессоров и др.; такой подход разгружает основное производство от необходимости приобретения часто дорогостоящего оборудования.

Сравнение технико-эксплуатационных характеристик зарубежных дизелей различных фирм (табл. 3–5) с судowymi дизелями отечественного производства (табл. 1, 2) показывает, что по основным технико-эксплуатационным показателям, определяющим конкурентоспособность дизельных двигателей (форсировке, экономичности, ресурсным показателям и др.), зарубежные двигатели превосходят дизели отечественного производства.

При производстве дизелей в настоящее время мы уступаем западным аналогам в отдельных конструктивных решениях, культуре производства, точности технологического оборудования, технико-эксплуатационных параметрах, уровне технического обслуживания и др. Современное состояние отечественного судового дизелестроения — это следствие невнимания к его проблемам, в числе которых — старые суда и дизели, контрафактные запчасти, низкое качество технического обслуживания и ремонта, отсутствие средств на разработку и производство новых современных моделей дизелей и замену технологического производственного оборудования, низкое качество комплектующих деталей и уз-

лов, отсутствие инвестиций в отрасль, обновления производства и освоения технологий и др. В настоящее время новое проектирование и попытки производства новых моделей инициируются разработчиком, а не определяются государственными программами. Рыночная экономика не в состоянии решать заявленные проблемы дизелестроения и вопросы государственного и регионального масштаба.

В Транспортной стратегии России на период до 2030 г. вопросы развития дизелестроения не затрагиваются, что является сдерживающим фактором для всей отрасли. При этом чрезвычайно актуальными остаются вопросы модернизации производства и разработки новых моделей перспективных дизелей. В обозримой перспективе развития энергетики судовые дизели по-прежнему будут стратегически значимым продуктом, обеспечивающим важнейшие отрасли государственного назначения (промышленного и транспортного). ■

Литература

1. Российский морской регистр судоходства. Научно-технический сборник. Вып. 34. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2011. С. 111–131.
2. Дизельные и газовые двигатели. Каталог. СПб: ООО «ЦНИДИ», 2009. 200 с.
3. Камкин С. В., Возницкий И. В., Шмелев В. П. Эксплуатация судовых дизелей. М.: Транспорт, 1990. 344 с.
4. Конкс Г. А., Лашко В. А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. М.: Машиностроение, 2005. 512 с.
5. Сорокин В. А. Современные условия эксплуатации судовых дизелей // Перспективные транспортные средства Арктики: сб. науч. тр. ЦНИИМФ. СПб., 2002. С. 196–211.