

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ КОЛОМЕНСКОГО ЗАВОДА

*В.А. Рыжов, к.т.н., главный конструктор,  
заслуженный конструктор России;  
ОАО «Коломенский завод»*

Коломенский завод расширяет области применения двигателя Д49. Совершенствование конструкции и технологии изготовления позволило добиться серьезных достижений в тендерных испытаниях с лучшими зарубежными образцами. Создание дизелей 3-го и 4-го поколений — этапы на пути создания еще более серьезного совершенствования Коломенских двигателей.

Анализ состояния и развития всех известных на сегодня типов двигателей, проведенный на основе материалов международных симпозиумов и периодических изданий, позволяет сделать вывод о том, что поршневые комбинированные дизельные двигатели средней быстроходности, по крайней мере, еще 10–15 лет будут вне конкуренции на железнодорожном и морском транспорте. По эффективности поршневой комбинированный двигатель превосходит другие тепловые машины, обеспечивает самый низкий эксплуатационный расход топлива, и благодаря применению новых материалов и способов организации рабочего процесса далеко еще не исчерпал своих потенциальных возможностей.

В таблице приведены основные параметры современных среднеоборотных тепловозных дизелей наиболее известных производителей, из которой видно, что двигатели Коломенского завода, поставляемые для ремоторизации устаревшего тепловозного парка Российских железных дорог (РЖД) (2ТЭ10, 1ТЭ116, 4МЭ3, М62), предназначенные для новых тепловозов (ТЭП150, 2ТЭ70, ТЭП70БС, 2ТЭ25 и 2ТЭ25А), не уступают двигателям зарубежных компаний ни по экономическим, ни по экологическим, ни по ресурсным показателям.

В представленном материале в основном рассматриваются среднеоборотные двигатели с частотой вращения 900–1100 об/мин, поскольку, на наш взгляд, тенденция создания легких локомотивов с быстроходными дизелями в Европе не соответствует требованиям и условиям работы на дорогах России. Вождение тяжелых составов, особенно на путях сложного профиля, требует от локомотива большой силы тяги и мощности, что не может обеспечить легкий тепловоз, рассчитанный для скоростного

движения. Кроме того, высокооборотный двигатель не может обеспечить таких экономических и ресурсных показателей, как среднеоборотный.

Именно этим можно объяснить, что в США, Канаде, Англии, Китае практически все современные магистральные и многие маневровые тепловозы созданы на базе среднеоборотных дизелей.

Создание современного форсированного надежного дизеля, являющегося сложнейшей тепловой машиной импульсного действия, занимает 8–10 лет напряженной работы при негарантированном успехе. Примером этому могут служить дизели 7HDL фирмы «General Electric» и дизели серии 265H фирмы «General Motors». Кроме того, создание нового типоразмерного ряда требует огромных капитальных вложений для создания новой инфраструктуры обслуживания и ремонта. Поэтому фирмы GE и GM постоянно совершенствуют свои базовые модели 7FDL и V710G3 и до сих пор успешно их продают. По этому же пути пошел Коломенский завод — постоянно расширяя области применения дизелей ряда Д49 и совершенствуя их с учетом результатов эксплуатации, достижений дизелестроительной науки и результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР).

Общая принципиальная компоновка и размерность дизелей не изменилась, однако в конструкцию базовых узлов и технологию их изготовления были внесены существенные изменения, позволившие обеспечить ресурсные, экономические и экологические показатели на уровне лучших мировых образцов.

Например, двигатель 12Д49М (12ЧН26/26) с трехфазной подачей топлива выиграл тендерные испытания в Германии у двигателей Caterpillar и MAK, двигатель 1А-9ДГ (16ЧН26/26) выиграл сравнительные эксплуатационные и стендовые испытания у двигателя 7FDL фирмы GE, несмотря на то что последний был оборудован электронной системой топливopодачи. Двигатель 36ДГ-01 (8ЧН26/26) в Якутии на самосвалах большой грузоподъемности (200 т) показал эксплуатационную экономичность на 10 % лучше, чем двигатель Cummins QSK-60. На рис. показан двигатель 16Д49 (16ЧН26/26) самой последней модификации мощностью 6000 л. с. при 1000 об/мин. Двигатель имеет двойное на-

## Характеристики современных и перспективных тепловозных дизелей

Тепловозы	2ТЭ25 2ТЭ25А	ТЭП70БС 2ТЭ70 ТЭП150УА	Тепловозы ТЭ+ 2ТЭ70МК 2ТЭ35А (проект)	Тепловозы серии Dash8 (США, производство с 1985 г.)	АС6000 (США, опытные образцы с 1997- 98 гг.) (EVOLUTION)	SD90MAC (проект, США, опытные образцы с 1997-98 гг.)	SD60, GD60 (США, с 1985 г.	Модернизи- рованные тепловозы SD45 (США),	DE1024 (Германия 1989 г.)
Обозначение дизеля (дизель-генератора)	21-26ДГ-01	2А-9ДГ-02	Д500К	7FDL	GEVO	V265H	710G3	3600	M282
Фирма, страна	ОАО КЗ Россия	ОАО КЗ Россия	Проект ОАО КЗ Россия	General Electric/Deutz МWM США, Германия	General Motors, США (EMD)	General Motors, США (EMD)	General Motors, США (EMD)	Caterpillar, США	Крупп МаК, Германия
Обозначение по ГОСТу 4393-82	12ЧН26/26	16ЧН26/26	12ЧН26,5/31	16ЧН22,9/26,7	12ЧН25/32	16ЧН26,5/30	16ДН23/27,8	16ЧН28/30	12ЧН24/28
Мощность дизеля в исполнении, кВт	2500	3100	3100-4410	3015	3440/4474	4600	3100	4828	2650
Рабочий объем цилиндра, л	13,8	13,8	17	10,99	15,7	16,54	11,64	18,46	12,66
Частота вращения, номин., об/мин	1000	1000	1000	1050	1050	1000	900	1000	1000
Частота вращения минимальная, об/мин	350	350	300	385	350	Нет данных	300	300	Нет данных
Средняя скорость поршня, м/с	8,7	8,7	10,5	9,3	11,2	10	8,4	10	9,3
Среднее эффективное давление, кг/см <sup>2</sup>	18,5	19,6	27	20	20,8/27,4	21,2	11,3/16,5	19,5	21,4
Степень сжатия	14,5	12,4	15,5	12,7	15,5	15,4	16	13	11,8
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	195	195	190	196	200	Нет данных	198	194	195
Удельный расход масла, г/кВт·ч	0,4-0,8	1,23	0,5	0,7	Нет данных	Нет данных	0,9	0,55	1,4-2,0
Масса, т	18,0	17,46	19,5	19,7	19,5	Нет данных	17,96	29,5	12
Габариты, м (длина × ширина × высота)	4,10×2,0×2,91	4,9×2,02×3,07	4,9×2,0×2,7	4,9×1,74×2,29	4,98×1,70×2,61	5,23×1,74×2,63	5,57×1,73×2,61	5,48×1,71×3,23	4,0×1,84×2,47
Экологические показатели	Европейские нормы UIC 6242 UIC 6241			Нормы США			Европейские нормы		
			Директива 2003/26/ЕС нормы 2009 г.	Tir 1	Tir2	Tir 2	Tir 2	Tir 2	UICG 42,1

значение (для гражданского транспорта и ВМФ). Его отличительной особенностью является система наддува регистрового типа с электронным управлением отключения одной из турбин на режимах неполной мощности. Для достижения необходимого уровня среднего эффективного давления, равного 23 бара, на двигателе применены новые камеры сгорания и крышки цилиндров, обеспечивающие интенсивное вихревое вращение воздушного заряда. Существенные изменения внесены в топливную аппаратуру. Необходимые показатели надежности достигаются повышением прочности крышек цилиндров, поршней, втулок цилиндров, блока и коленвала.

Изменения конструкции дизелей позволили создать дизели Д49 третьего поколения [1].

На дизеле нового (четвертого) поколения (заводская марка 21-26ДГ-01) внедрены электронные системы управления топливоподачей и перепуском части воздуха из компрессора на вход в турбину. Этот двигатель успешно прошел испытания и был установлен на тепловозе нового поколения 2ТЭ25А. Мощность двигателя в 12-цилиндровом исполнении 3400 л. с., экологические и экономические параметры соответствуют Европейским требованиям UIC 624.2. Специальная модификация этого двигателя по уровню выбросов вредных веществ соответствует нормам 2009 года, вводимых Европейской директивой 2004/26 EG.

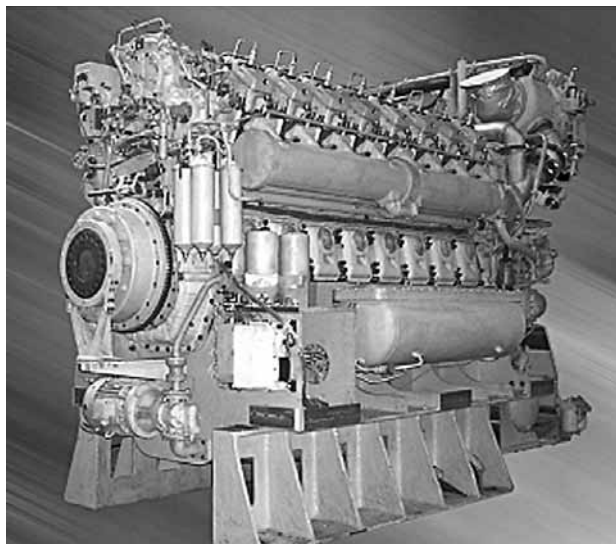
Анализ современных направлений развития среднеоборотных двигателей позволяет предположить, что в ближайшие годы необходимо снизить расход топлива (по ISO 3046-1) до 190–195 г/кВт·ч, масла до 0,35 г/кВт·ч и увеличить срок службы до 30–35 тыс. ч. Уровень выбросов вредных веществ должен быть понижен по  $\text{NO}_x$  до 6–8 г/кВт·ч; по CO — до 0,5–1,5 г/кВт·ч, по CH до 0,5 г/кВт·ч, твердых частиц — до 0,20 г/кВт.

С учетом этих тенденций основные направления совершенствования двигателей Коломенского завода представляются следующими.

- совершенствование рабочего процесса для снижения расходов топлива, выбросов вредных веществ с отработавшими газами;
- улучшение тяговых характеристик;
- создание возможности использования альтернативных видов топлив.

Наиболее сложная задача при этом — одновременное снижение расхода топлива и выбросов  $\text{NO}_x$ , поскольку эти факторы часто оказываются взаимоисключающими.

К мероприятиям по снижению расхода топлива следует отнести оптимизацию использования воздушного заряда в камере сгорания путем его турбулизации с одновременной корректировкой



**Рис. Новый высокофорсированный дизель 16Д49 мощностью 6000 л. с.**

формы камеры, увеличение максимального давления цикла до 180–200 бар, организацию процесса при  $P_z = \text{const}$ , оптимизацию процесса смесеобразования путем гибкого управления параметрами топливоподачи и воздухообеспечения. Решение последней задачи возможно только с внедрением электронных систем топливоподачи одновременно с использованием прогрессивных схем систем воздухообеспечения (например, электрического инверторного привода ротора турбокомпрессора). Эти направления представляют особый интерес, поскольку с ростом среднего эффективного давления двигателя они обеспечат улучшение характеристик практически во всем спектре работы тепловоза. Причем инверторный привод ТК одновременно улучшает тяговые характеристики двигателя.

Весьма эффективными мероприятиями, снижающими расход топлива, являются снижение механических потерь в двигателе за счет оптимизации выпускных и впускных трактов (снижение насосных потерь), снижение потерь на трение за счет уменьшения числа поршневых колец (что требует оптимизации формы и расположения колец при высочайшем уровне технологии их изготовления), снижение потерь на привод вспомогательных агрегатов (например, использование комбинированных тяговых агрегатов с инверторным управлением без внешних вспомогательных электрических машин), использование специальных энергосберегающих масел.

В связи с существенным ужесточением норм выбросов вредных веществ особый интерес представляют специальные мероприятия, такие как использование водотопливных эмульсий, многофазный впрыск топлива, цикл Миллера в со-

четании с повышением давления наддува и управляемыми фазами газораспределения (возможно с силовой турбиной), а также использование газообразных топлив и диметилового эфира. Использование водорода маловероятно из-за больших технических трудностей его хранения, а также опасности насыщения водородом высоконагруженных деталей КС. Эффективным является перепуск газов на всасывание либо организация так называемой внутренней рециркуляции за счет специальной настройки фаз газораспределения. Для снижения выбросов углеводородов, дымности и твердых частиц следует максимально ограничить расход картерных газов, использовать масляные ловушки в системах вентиляции картера, либо применять автономные системы вентиляции. Исследования показали, что на уровень выброса твердых частиц большое влияние оказывают качество моторного масла и топлива. Необходимы топлива с низким содержанием серы и моторного масла с малым содержанием сульфатной золы при высоком уровне щелочного числа.

В последние годы активно ведутся работы по созданию надежных нейтрализаторов отработавших газов. Наиболее перспективной, по-видимому, можно считать технологию SCR, однако для мощных форсированных двигателей ее внедрение весьма проблематично из-за ограниченного места на тепловозе. В ближайшие годы нормы выбросов вредных веществ с отработавшими газами будут обеспечены за счет совершенствования рабочего процесса, однако в дальнейшем наличие нейтрализаторов станет обязательным.

Значительный экономический эффект можно получить не только от экономии топлива, но и за счет увеличения ресурсных показателей и снижения затрат на обслуживание. В перспективе использование средств диагностики позволит перейти от плановых ремонтов к ремонтам по фактическому состоянию, что также обеспечит снижение эксплуатационных расходов.

Ресурсные показатели двигателей Д49 третьего поколения могли бы быть существенно увеличены уже сегодня. Например, применение моторного масла группы *D* и присадок типа ИНКОРТ к воде могут удвоить пробег локомотива до ТР2, т. е. с 300 до 500–600 тыс. км. При этом срок службы масла достигает 100 тыс. км пробега локомотива. Самоочищающиеся фильтры масла, обеспечивающие его лучшую очистку и деаэрацию, также способствуют повышению ресурса.

Дальнейшее улучшение ресурсных показателей может быть достигнуто повышением несущей способности коренных и шатунных подшипников путем использования новых материалов, повы-

шением качества изготовления и оптимизацией конструкции базовых деталей, применением материалов с улучшенными характеристиками. Например, применение высокопрочного чугуна с азотированием для втулок цилиндров с одновременным специальным формированием микроструктуры рабочей поверхности, специальные покрытия поршневых колец, применение крышек цилиндров с охлаждаемыми седлами, использование принудительного проворота клапанов и т. д. Многие из этих мероприятий уже проверены на дизелях Д49 и внедрены в производство.

Мероприятия по повышению ресурса в большинстве случаев одновременно позволяют снизить расход масла. В качестве специальных мероприятий по снижению расхода масла следует отметить применение поршней повышенной газоплотности за счет сочетания тронков и головки поршня специальной конструкции с кольцами, имеющими заданную эпюру радиального давления.

Хотелось бы отметить, что ресурсные показатели могут быть существенно ухудшены в погоне за низкими расходами масла, поэтому мероприятия по снижению расхода масла и увеличению ресурсных показателей должны быть четко увязаны с сортом масла и со спектром режимов работы дизеля.

Ужесточение показателей эмиссии, дымности и твердых частиц осложнили решение задачи по обеспечению приемистости двигателя. Приемлемым темпом набора мощности, с точки зрения создателей тепловозов, следует считать набор мощности не менее чем в 100 кВт/с. Для обеспечения такого темпа, с учетом вышеупомянутых требований, необходимо жесткое согласование параметров топливоподачи и воздухообеспечения в процессе приема нагрузки. Очевидно, что для этого требуется, в первую очередь, малоинерционный агрегат наддува и многофункциональная электронная система управления двигателем, одна из функций которой должна обеспечивать согласованную с воздухом подачу топлива, в том числе за счет инверторного или регистрового привода ТК.

Уменьшение теплоотвода в системы двигателя может также повысить КПД установки и снизить вес вспомогательного оборудования. Приемлемой величиной удельного тепловыделения современного двигателя следует считать 0,65 кВт/кВт (на полной мощности), что может быть обеспечено введением высокотемпературного охлаждения в горячем контуре (по воде) и холодном контуре (по маслу). Если введение высокотемпературного охлаждения по воде проблем не вызывает, то по маслу оно весьма проблематично. Увеличение температуры масла выше

95 °С требует резкого повышения его качества и качества поверхностей трения. Из-за снижения толщины масляного клина в шатунных и коренных подшипниках уменьшается его несущая способность, поэтому увеличение температуры масла требует изменения конструкции несущего покрытия подшипников, т. е. перехода на подшипник типа Rilen Lager, либо применение несущего слоя с ионоплазмотронным напылением.

Таким образом, главным отличием комбинированного поршневого двигателя нового поколения является комплексное адаптивное управление системами двигателя, позволяющее реализовать резервы рабочего процесса в широком диапазоне частот вращения и нагрузок, включая переходные режимы. Прежде всего, это относится к системам топливоподачи, воздухообеспечения и

охлаждения, которые в традиционном исполнении не в состоянии обеспечить высокую эффективность рабочего процесса во всем поле режимов работы двигателя.

Задача создания грузового тепловоза для вождения тяжелых составов на участках со сложным профилем пути при условии выполнения экономических и экологических требований 2009–2012 годов может быть решена путем разработки и внедрения дизеля нового типоразмерного ряда (см. таблицу). Это одно из главных направлений, над которым работают конструкторы Коломенского завода.

#### Литература

1. Рыжов В.А. Новое поколение дизелей типоразмерного ряда Д49 // Двигателестроение. — № 3. — 2006. — С. 3–5.

## НА ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДАХ РОССИИ

### КВА И TUV NORD ПОДТВЕРДИЛИ СООТВЕТСТВИЕ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ Д49 ПЕРСПЕКТИВНЫМ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ СТАНДАРТАМ ЕВРОСОЮЗА

В первом номере нашего журнала за 2006 год мы информировали наших читателей о том, что ОАО «Коломенский завод», входящий в ЗАО «Трансмашхолдинг», начал работу по подготовке к сертификации семейства тепловозных дизелей Д49 на соответствие перспективным Европейским нормам выбросов вредных веществ с отработавшими газами, которые вступают в силу в 2009 году (директива ЕС 97/68EG с изменениями 2004/26/EG). Заявка на проведение этих испытаний обозначила серьезные намерения создателей Коломенских дизелей подтвердить соответствие технических характеристик их продукции современному международному уровню.

Подготовка дизелей Д49 к процедуре сертификации проводилась несколько месяцев с участием и под контролем уполномоченного Федерального ведомства транспорта Германии (Kraftfahrt-Bundesamt — КВА) и экспертов сертифицированного испытательного центра Германии — TUV NORD. К участию в испытаниях был привлечен аккредитованный в системе МАКО испытательный центр «ЦНИДИ-Экосервис».

В процессе подготовки к испытаниям была проведена проверка оборудования испытательного стенда, в том числе оборудования для контроля выбросов вредных веществ с отработавшими газами, по результатам которой эксперты КВА и TUV NORD установили соответствие технических характеристик всего измерительного оборудования требованиям международного стандарта ИСО 8178/1.

Сертификационные испытания базовой модели тепловозного дизеля 12Д49М-01, входящего в семейство дизелей Д49, состоялись на Коломенском заводе 20 декабря 2006 года (см. 1 стр. обложки). В ходе заключительного официального этапа испытаний были получены результаты, которые, во-первых, подтвердили соответствие дизеля перспективным техническим нормативам выбросов вредных веществ Евросоюза, и, во-вторых, продемонстрировали стабильность его экологических показателей. При этом необходимо особо отметить, что дизель 12Д49М-01 — это первый разработанный и серийно выпускаемый в России тепловозный дизель, получивший международный сертификат соответствия.

Ниже приведены официальные результаты сертификационных испытаний:

Удельные средневзвешенные выбросы	Результаты испытаний (цикл F ИСО 8178/4)	Норма по директивам ЕС 97/68EG, 2004/26/EG	Норма по требованиям TUV NORD
г/кВт·ч			
NO <sub>x</sub> (по NO <sub>2</sub> )	6,93	7,4	7,05
CO	0,87	3,5	3,18
CH (по CH <sub>1,85</sub> )	0,23	0,4	0,38
Частицы	0,178	0,2	0,18

Подтверждение соответствия первого российского двигателя требованиям европейских стандартов — это выдающееся достижение отечественного дизелестроения, которое определяет конкурентоспособность российских дизелей на международном уровне и дает Коломенскому заводу возможность экспорта своей продукции в страны ЕС.

Л.А. Новиков, к.т.н.;  
ООО «ЦНИДИ-Экосервис»