

УДК 539.3: 621

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЕЙ

**А. К. Олейник**

Кандидат технических наук, ведущий инженер-технолог  
Центральная заводская лаборатория  
Государственное предприятие «Завод им. В.А. Малышева»  
ул. Плехановская, 126, г. Харьков, Украина, 61000

**В. Г. Гончаров**

Кандидат технических наук, директор  
Частная научно-исследовательская  
коммерческая фирма «ТАВИ»  
ул. 50-летия СССР, 34, кв.3, г. Харьков, Украина, 61060  
E-mail: v.g.goncharov@yandex.ua

**Э. К. Посвятенко**

Доктор технических наук, профессор,  
Кафедра «Изготовление, ремонт и материаловедение»,  
Национальный транспортный университет,  
ул. Суворова, 1, г. Киев, Украина, 01010  
E-mail: Natali1963@ukr.net

*Завдання – визначення технічних, технологічних, екологічних та економічних аспектів розвитку форсованих дизелів, у першу чергу, для тепловозів. Визначені напрями розвитку дизелів – термодинамічне і екологічне удосконалення, використання електронних систем управління, теплозахисні покриття, застосування добавок до вуглецеводневих палив, альтернативні палива*

*Ключові слова: форсований дизель, поршень, спирти, водень*

*Задача – определение технических, технологических, экологических и экономических аспектов развития форсированных дизелей, в первую очередь, для тепловозов. Определены направления развития дизелей – термодинамическое и экологическое совершенствование, использование электронных систем управления, теплозащитные покрытия, применение добавок к углеводородным топливам, альтернативные топлива*

*Ключевые слова: форсированный дизель, поршень, спирты, водород*

## 1. Введение. Состояние вопроса. Постановка задачи

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) являются одними из самых распространенных и освоенных тепловых двигателей, причем они составляют основу мобильной энергетики – от мотопеда, автомобиля, трактора до тепловоза, корабля и самолета. За время развития ДВС его экономичность возросла более чем в 2 раза, однако эффективный КПД, несмотря на достижения последних лет, составляет не более 32...35% для двигателей с искровым зажиганием и 40...42% для дизелей.

Украина является второй по площади территории европейской державой с развитой сетью железных дорог. При этом, несмотря на электрификацию последних, тепловозы остаются и останутся в ближайшем будущем важным средством тяги. В настоящее время на железных дорогах Украины широко используется пассажирские, магистральные, маневровые, а также ведомственные (внутризаводские) тепловозы. Основным двигателем отечественных тепловозов является мощный (форсированный) дизель – поршневой ДВС. Дизель потребляет, как известно, жидкое топливо – продукт переработки ископаемых углеводородов, нехватка которого ощущается уже сейчас.

Поэтому целью настоящего аналитического исследования является развитие форсированных дизелей в направлении повышения их ресурса и экологичности, эффективности использования топлива, поиска альтернативных топлив. Исследование построено на

изучении открытых источников отечественной, в том числе и авторов, и зарубежной научной и научно-технической литературы [1–3].

## 2. Результаты исследования

Установлено, что в настоящее время следует выделить три основных направления развития форсированного дизеля:

- термодинамическое совершенствование двигателя в части повышения эффективности систем воздухооборудования, смесеобразования, сгорания, выхлопа, рациональной конструкции и долговечности поршней, колец, гильз цилиндров, газораспределительного и клапанного механизмов, шатунов и коленчатых валов;
- разработка и внедрение мероприятий по снижению выбросов вредных веществ в окружающую среду;
- электризация ДВС – от электронного управления двигателем до использования электрофизикохимических технологий.

По первому направлению основные мероприятия следующие: применение турбокомпрессоров с КПД 0,6...0,7 со спиральными лопатками компрессоров, как свободных, так и с активным подводом энергии; для улучшения смесеобразования применение 8-ми и 16-ти клапанных головок цилиндров; увеличение давления впрыска топлива до 150...200 МПа с управлением подачей в зависимости от нагрузки; обеспечение оптимальных форм камеры сгорания; под-

держание оптимального температурного состояния двигателя; поддержание оптимальной температуры надвучного воздуха; реализация цикла Мюллера и регенеративного цикла, обеспечивающего увеличение КПД на 8...10%; применение водотопливных эмульсий и парогазовых процессов; применение адиабатизации, турбокомпаундирования и систем утилизации теплоты, обеспечивающих снижение расхода топлива на 26...35%; снижение механических потерь за счет повышения точности изготовления; применение поршневых колец с напылением и подшипников скольжения с эффективными антифрикционными материалами, а также распределов с упрочненными кулачками и коленчатых валов с упрочненными шейками; применение масляных систем двигателей по типу «Бол-Кирх» (Германия), обеспечивающих непрерывную очистку масла с удалением грязи и контролем показателей масла, что обеспечивает увеличение ресурса и повышение экономичности на 1...2%.

По 2-му направлению основные мероприятия такие: обеспечение по всей зоне эксплуатационных нагрузок коэффициента избытка воздуха 1,9...2,2, что обеспечивает снижение  $\text{NO}_x$ ; применение гибридных силовых установок с накопителями энергии при движении в городских условиях и на маневровой работе, обеспечивающих снижение расхода топлива и выброс вредных веществ на 15...40%; применение нейтрализаторов выхлопных газов, что снижает выбросы вредных веществ до 8...10%; применение присадок к топливу, обеспечивающих снижение выбросов вредных веществ на 5...6%; снижение расхода топлива и масла; применение безуглеродных топлив на основе азотных соединений, а также водорода, что исключает выброс парниковых газов (в основном  $\text{CO}_2$ ) и снижение выбросов окислов азота.

По 3-му направлению основные мероприятия следующие: применение электронных регуляторов и информационно-диагностических систем мониторинга работы двигателей, что обеспечивает новые возможности по экономичности и экологии – снижение расхода топлива на 2...5% и выброс ВВ на 10...15%; применение электронного управления подачей топлива в зависимости от нагрузки и соотношения «топливо-воздух» и аккумуляторов давления («Комэн Рейл») с регулируемыми форсунками с пьезоэлементами («Бош»), обеспечивающими фазный впрыск, обеспечивает снижение расхода топлива до 7% и выбросов ВВ; применение регулируемого фазогазообмена совместно с электронным управлением подачей топлива и информационно-диагностической системой обеспечивает оптимальные параметры цикла, воздухообмена, смесеобразования и сгорания в цилиндре – снижение расхода топлива до 8% и образование ВВ до 15%; электронные модификаторы и структуризаторы топлива, воздуха на базе редкоземельных металлов и электромагнитных активаторов, ультратонких структур обеспечивает активацию топлив и воздуха, что снижает расход топлива до 20% и выбросы ВВ до 10...15%; нанесение теплозащитных покрытий увеличивает срабатывание располагаемого тепла в полезную работу до 5%, улучшает теплосбаланс двигателя и уменьшает потери на охлаждение до 10%; электрофизическое

упрочнение нагруженных деталей силовых механизмов двигателя (ЦПГ, КШМ, ГРМ, топливной аппаратуры) обеспечивает увеличение их долговечности в 1,5...2 раза.

Развитие двигателестроения идет также по линии внедрения параметрических и унифицированных рядов двигателей.

Параметрические ряды состоят из двигателей с тем же числом и расположением цилиндров, но с другим диаметром и ходом поршня. Унифицированные ряды состоят из двигателей с одинаковыми размерностями поршня и хода, но с различными числами и расположением цилиндров. Смешанные ряды сочетают то и другое, т.е. каждый член параметрического ряда имеет свой унифицированный ряд.

Заводы ГП «Завод им. Малышева» и ОАО «Коломенский тепловозостроительный завод» приняли в практику работ направление унифицированных мощностных рядов Д80 и Д49, на фирмах Пильстик такой же подход. Фирма MAN, MTU разработали смешанные ряды.

Большинство унифицированных мощностных рядов (УМР) имеют 4, 6, 8, 9-ти цилиндровые рядные модификации 8, 12, 16 и 18-ти цилиндровые V-образные модификации (табл. 1).

Дизели, находящиеся в серийном производстве, как правило, многоцелевые – тепловозные, судовые, стационарные. Для судовых двигателей по сравнению с тепловозными модификациями мощность и частоту вращения снижают на 10-25%. Для стационарных двигателей при непрерывной работе 24 часа в сутки мощность снижают также до 75-90% от номинальной, но вводится режим перегрузки на 10% не более 1 часа за 10 часов.

На базе модификаций УМР-дизелей целесообразно разработать газодизели и двигатели, приспособленные для работы на тяжелых сортах топлив с высокими показателями унификации.

В УМР-дизелей есть базовая модель двигателя, на которой достигнуты определенные показатели форсировки и выполнены доводочные работы, обеспечивающие показатели надежности, подтвержденные эксплуатационными испытаниями.

Для УМР-дизелей Д80 – базовой моделью является двигатель 1Д80 мощностью 4000 л.с. в 16 цилиндрах (250 л.с./цилиндре) при 1000  $\text{мин}^{-1}$  с  $\text{Pe}=1,57$  МПа и  $\text{PeC}_m=14,13$  ( $C_m=6,75$  м/с), для 750  $\text{мин}^{-1}$  –  $\text{Pe}$  может быть допустимо до 2,1 МПа.

Перспективным направлением в двигателестроении является применение альтернативных топлив, в основном газообразных. Наряду с природным газом, возможно использование шахтного газа, биогаза, генераторного газа, газа малодебитных скважин, сланцевого газа в когенерационном цикле с газовыми двигателями типа 11ГД100МЗ и 17ГД101А.

При конвертации двигателя на газ следует обеспечить высокий коэффициент унификации с базовым двигателем, достичь приемлемых его значений при минимальном изменении конструкции базового двигателя. Основные изменения систем двигателя связаны с изменением топливной системы и введением системы зажигания.

Таблица 1

Тепловозные дизели и дизель-генераторы унифицированного мощностного ряда Д80

Наименование параметров	Ед.изм.	16 ЧН 26/27 – V-образные							12 ЧН 26/27 – V-образные					6 ЧН 26/27 – рядные				
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Заводское обозначение	–	1Д80А	1Д80Б	1Д80В	1Д80Д	2Д80А	3Д80А	3Д80Б	4Д80А	4Д80Б	4Д80В	4Д80Г	4Д80Д	10Д80А	10Д80Б	10Д80В	10Д80Г	
Агрегатная мощность	кВт	2940	2206	2940	2206	3500	4410	4410	2206	993	882	882	1470	1178	552	736	1472	
	л.с.	4000	3000	4000	3000	4760	6000	6000	3000	1350	1200	1200	2000	1600	750	1000	2000	
Цилиндровая мощность	кВт	184	138	184	138	219	275	255	184	83	74	74	122	196	92	122	245	
	л.с.	250	188	250	188	298	375	347	250	113	100	100	167	267	125	167	333	
Частота вращения	мин <sup>-1</sup>	1000	1000	1000	750	1000	1000	1000	1000	750	750	1000	750	1000	750	750	1000	
Среднее эффективное давление	МПа	1,57	1,17	1,57	1,57	1,87	2,35	2,18	1,57	0,94	0,84	0,63	1,39	1,67	1,05	1,39	2,09	
Удельный расход топлива дизелем	вуслов. объекта	г/кВтч	201 <sup>+10</sup>	204 <sup>+10</sup>	201 <sup>+10</sup>	204 <sup>+10</sup>	201 <sup>+10</sup>	197 <sup>+10</sup>	181 <sup>+10</sup>	201 <sup>+10</sup>	201 <sup>+10</sup>	204 <sup>+10</sup>	212 <sup>+10</sup>	197 <sup>+10</sup>	201 <sup>+10</sup>	200 <sup>+10</sup>	197 <sup>+10</sup>	197 <sup>+10</sup>
		г/л.с. ч	148 <sup>+7</sup>	150 <sup>+7</sup>	148 <sup>+7</sup>	150 <sup>+7</sup>	148 <sup>+7</sup>	145 <sup>+7</sup>	133 <sup>+7</sup>	148 <sup>+7</sup>	148 <sup>+7</sup>	150 <sup>+7</sup>	156 <sup>+7</sup>	145 <sup>+7</sup>	148 <sup>+7</sup>	147 <sup>+7</sup>	145 <sup>+7</sup>	145 <sup>+7</sup>
	по JSO	г/кВтч	190	193	190	193	190	187	177	190	195	198	201	190	190	193	190	187
		г/л.с. ч	140	142	140	142	140	138	130	140	143	145	148	138	140	142	139	138
Топливо	–	Дизельное топливо по ГОСТ 305-82 или топливо, согласованное с изготовителем дизеля																
Удельный расход масла на угар	г/кВтч	1,6 <sup>+0,4</sup>	1,6 <sup>+0,4</sup>	1,6 <sup>+0,4</sup>	1,6 <sup>+0,4</sup>	0,95 <sup>+0,4</sup>	0,95 <sup>+0,4</sup>	0,95 <sup>+0,4</sup>	1,6 <sup>+0,4</sup>	1,36 <sup>+0,4</sup>	1,36 <sup>+0,4</sup>	1,77 <sup>+0,4</sup>	1,36 <sup>+0,4</sup>	1,6 <sup>+0,4</sup>	1,36 <sup>+0,4</sup>	1,36 <sup>+0,4</sup>	0,95 <sup>+0,4</sup>	
	г/л.с. ч	1,2 <sup>+0,3</sup>	1,2 <sup>+0,3</sup>	1,2 <sup>+0,3</sup>	1,2 <sup>+0,3</sup>	0,7 <sup>+0,3</sup>	0,7 <sup>+0,3</sup>	0,7 <sup>+0,3</sup>	1,2 <sup>+0,3</sup>	1,0 <sup>+0,3</sup>	1,0 <sup>+0,3</sup>	1,3 <sup>+0,3</sup>	1,0 <sup>+0,3</sup>	1,2 <sup>+0,3</sup>	1,0 <sup>+0,3</sup>	1,0 <sup>+0,3</sup>	0,7 <sup>+0,3</sup>	
Масло	–	Моторное масло М14 В2 ГОСТ 12337-84 или масло, согласованное с изготовителем дизеля																
Габариты дизеля	длина	мм	5325	5325	5325	5325	5462	5462	5462	4635	3990	4635	4635	4635	3830	3830	3830	3830
	ширина	мм	1615	1615	1615	1615	1615	1615	1615	1615	1615	1615	1615	1615	1715	1715	1715	1715
	высота	мм	3193	3193	3193	3193	3193	3193	3193	3100	2840	3100	3100	3100	2330	2330	2330	2330
Масса дизеля (с поддизельной рамой)	кг	24655	23715	24655	23715	24941	25146	25146	18400	22500	18400	18000	18400	12800	12800	12800	12800	
Масса генератора и электромашин (ориентировочно)	кг	9400	9400	9400	9400	10500	10500	10500	9400	–	6500	–	6500	6100	6100	6100	6100	
Навешенное оборудование	–	Турбокомпрессор, холодильник надвучного воздуха, масляные и водяные насосы, тахометр, регулятор, фильтр тонкой очистки топлива, центробежный масляный фильтр, сетчатый МФ, др. оборудование – поставка комплекта с дизелем по согласованию																
Специальные системы	–	ТК+ПТК ТА	–	–	–	ТК+ПТК	ТК+ПТК	СУТ, ТА	ТК+ПТК ТА	–	–	–	–	ТА	–	–	ТК+ПТК ТА	
Обозначение тепловоза	–	новые теплов. грузов.	РЭН ТЭ116	РЭН ТЭ121 ТЭП70	РЭН ТЭП60	новый ПАС	перспект. образец	перспект. с СУТ	перспект. для нов. теплов.	РЭН ЧМЭ3	РЭН ТЭМ2	РЭН ТЭМ6	РЭН М62		РЭН ЧМЭ2	РЭН ТЭМ1	перспект. образец	

В газовых двигателях применяют внешнее и внутреннее смесеобразование. При внешнем смесеобразовании газ подается в воздушный ресивер или перед турбокомпрессором. В этом случае коэффициент наполнения в цилиндре падает, т.к. в свежий заряд входит и газ.

При внутреннем смесеобразовании газ под давлением 0,5...0,7 МПа подается непосредственно в цилиндр в момент, когда органы газораспределения почти закрыты и на такте сжатия. Этот метод применим для двухтактных дизелей и для четырехтактных с продувкой (фаза перекрытия клапанов до 125°), так как исключает попадание газа в выпускной коллектор и обеспечивает взрывобезопасность.

Как добавки к дизельному топливу следует использовать метанол и этанол, которые получают из углей (25% от веса) или из метана.

Метанол применяется в смесях с бензином до 10...15%. Этот спирт разъедает некоторые сорта резины и прокладочных материалов, а также активно разъедает металлы. Утечки могут привести к потере сознания человека вследствие отравления. Применяется метанол с дизтопливом (до 15%), но при этом полная мощность без изменения регулировки топливного насоса не может быть достигнута, как это имеет место при применении 10%-ной добавки этанола в дизтопливо на двигателях Д100. Возможно использование метанола в двухтопливном питании дизеля с раздельной подачей разными форсунками в камеру сгорания: метанола 95% и зажигающей порции дизтоплива, расход которого на всех режимах остается практически постоянным, т.к. зависит от конструкции топливного насоса.

Поскольку этанол имеет плохие смазывающие свойства, применять его в плунжерах ТНВД без присадок невозможно. Разрабатываются и другие типы насосов, например, диафрагменные.

Водород – один из наиболее перспективных видов топлива, как для современных и перспективных силовых установок, так и для энергетики будущего. Водород может быть получен из воды методом термодиссоциации последней. Термоядерный реактор при мощности 10 млн. кВт может вырабатывать до 1 млн.т водорода в год. Плотность этого газа мала, а объемные энергетические характеристики на 15% ниже, чем у нефтяных топлив. Большие скорости сгорания при  $\alpha=1$  обуславливают высокую жесткость процесса сгорания, а при  $\alpha \geq 1,5$  скорость сгорания снижается. Наиболее сложная задача – хранение водорода. Сжижение

последнего требует затрат до 45% от его энергии, а также сложной и дорогой экранно-вакуумной изоляции при хранении. Альтернативной системой хранения водорода является использование энергоносителя на основе гидридов некоторых металлов (Mg, Fe, Ti, K и др.). При его пропускании через порошки металлов образуются гидриды и выделяется теплота, которую следует отводить. При подогреве гидридного порошка водород выделяется и подается в цилиндр. Гидридные аккумуляторы взрывобезопасны. Масса топлива на одинаковый пробег при этом в 4 раза больше, чем у дизельного топлива.

### 3. Выводы

Мировое развитие дизелестроения для тепловозов, судов и мощных стационарных установок, на которые должна ориентироваться и Украина, как держава с многолетним опытом в данном направлении, предполагает следующее развитие этих агрегатов. Что касается конструкции, то это термодинамическое совершенствование двигателя, экологические мероприятия, а также использование электротехнологий широкого спектра от электронных систем до теплозащитных PVD и CVD-покрытий детали. Развитие дизелестроения идет также по направлению создания параметрических (с тем же числом и расположением цилиндров, но с другими размерами поршня), унифицированных (с одинаковыми размерами поршня, но с различными числами и расположением цилиндров) и смешанных размерноподобных рядов.

Целесообразно также разрабатывать газодизели и двигатели, приспособленные для работы на тяжелых топливах. Как добавки к дизтопливу перспективны спирты – метанол и этанол. Наиболее приемлемым видом топлива для перспективных силовых установок и энергетики будущего в целом является водород, однако существуют проблемы с его хранением. На сегодня наилучшей системой хранения являются гидриды магния, железа, титана, калия.

Эффективность форсированных дизелей будет и в дальнейшем определяться экономичностью, экологичностью и долговечностью, а это новые наукоемкие энерготехнологии и новые материалы с высокими физико-химическими свойствами. Их применение обеспечит значительную экономию топлива и улучшение экологии.

### Литература

1. Пленочное охлаждение плоской поверхности двухрядной системой отверстий в сферических углублениях [Текст] / А.А. Халатов, И.И. Борисов, А.С. Коваленко и др. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2012, № 3/10 (57). – С. 4–8.
2. Суворов Н.П. Формирование оптимальных систем энергопреобразования на основе использования принципов гармонии и целостности [Текст] / Н.П. Суворов, И.Г. Суворова, О.В. Кравченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2011, № 3/10 (51). – С. 44–46.
3. Посвятенко Е.К. Поліпшення надійності важких транспортних машин технологічними методами [Текст] / Е.К. Посвятенко, С.О. Кравченко, Н.І. Посвятенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2010, № 3/3 (45). – С. 63–66.