УДК 621.432.3

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

М. А. Никулин, В. И. Посметьев, В. О. Никонов
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова»
E-mail: imrkrot@gmail.com

С 1984 г. годовой объем мировой нефтедобычи превышает объем разведываемых запасов нефти. Доказанные запасы нефти (на 2015 г.) составляют примерно 290 млрд. т (1657,4 млрд. баррелей), предполагаемые – в 52-260 млрд. т (300 – 1500 млрд. баррелей). При современных темпах потребления доказанных и предполагаемых запасов нефти хватит ещё на 60-100 лет [1].

По данным OICA, Международной организации производителей автомобилей), за 2015 г. в мире продано более 66 миллионов новых легковых автомобилей. По сведениям консалтинговой компании "LMC Automotive", с учетом легкового коммерческого транспорта, продано около 90 миллионов автомобилей, что на 2 % больше, чем за предыдущий год.

Из вышеприведенных данных следует необходимость рационализации потребления нефти и нефтепродуктов. Одним из основных направлений по праву считается увеличение КПД двигателей внутреннего сгорания.

Цель данной работы – провести обзор и анализ путей повышения топливной экономичности поршневых ДВС, выявить их преимущества и основные недостатки, оценить их перспективность.

Обзор литературы

Как известно, топливная экономичность двигателя определяется величиной удельного эффективного расхода топлива, и наиболее экономичными являются дизельные двигатели с турбокомпрессором и электронной системой управления впрыском топлива Common Rail [2].

Основные направления совершенствования поршневых ДВС обозначены на рисунке 1. В общем виде все способы повышения экономичности автомобилей и ДВС в частности можно разделить на две категории: снижение потерь и совершенствование рабочих процессов. Наиболее популярным направлением развития поршневых двигателей внутреннего сгорания на текущий момент является «downsizing» – уменьшение массы и габаритов ДВС при повышении литровой мощности.

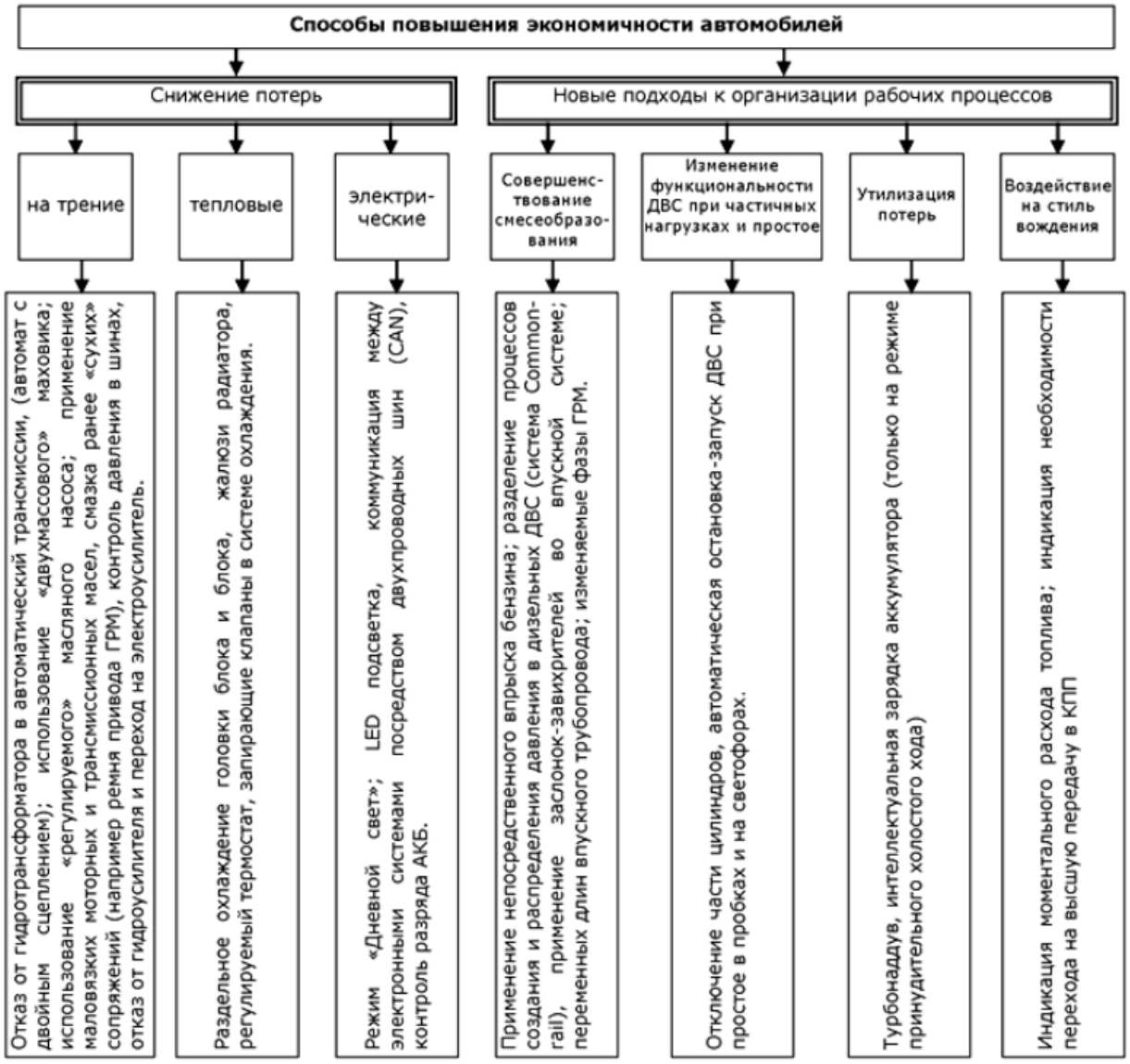


Рисунок 1 – Классификация способов снижения расхода топлива на современных автомобилях

Турбонаддув – неотъемлемая часть концепции уменьшения рабочего объема при повышении эксплуатационных характеристик. Применение классической одноступенчатой системы турбонаддува увеличило мощность двигателя ВАЗ-21124 на 40 %, крутящий момент вырос на 32 %, расход топлива снизился в среднем на 8 % [4].

Демпфирующий («двухмассовый») маховик. «Downsizing» и «down speeding», (расширение диапазона крутящего момента двигателя с возможностью работы на низких оборотах), потребовали повышения уровня гашения колебаний. С 2008 г. на серийных ДВС начали применять двухмассовый маховик с маятниковым гасителем колебаний.

Для устранения неравномерностей вращения коленчатого вала при малом количестве оборотов на маховике помимо дуговой пружины устанавливается центробежный маятник. Он создает колебания, которые гасят протекающие в противофазе сглаженные после дуговой пружины колебания.

Центробежный маятник – система грузов, расположенных по окружности маховика. При низких оборотах двигателя грузы маятника раскачиваются сильнее, т. к. действующие на них центробежные силы малые. При увеличении оборотов амплитуда колебаний грузов уменьшается и их роль в гашении колебаний нивелируется [5].

Регулируемый масляный насос. С увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя увеличивается потребность в масле, происходит снижение давления в системе. С падением давления регулировочная пружина смещает статор, который в свою очередь изменяет положение ведомого ротора. За счет увеличения объема всасывающей полости повышается производительность насоса.

При уменьшении частоты вращения коленчатого вала двигателя, уменьшается расход масла и нарастает давление в системе. При повышении давления сжимается регулировочная пружина, которая смещает статор и изменяет положение ведомого ротора. Это приводит к уменьшению объема всасывающей полости и, как следствие, уменьшению отбора мощности от ДВС за счет снижения производительности насоса [6].

Топливная система Common Rail – система подачи дизельного топлива. В данной системе ТНВД нагнетает дизельное топливо под высоким давлением (до 300 МПа, в зависимости от нагрузки на ДВС) в аккумулятор – общую топливную магистраль, так называемую «топливную рампу».

Управляемые электрогидравлические форсунки с пьезоэлектрическим или электромагнитным приводом управляющих клапанов впрыскивают дизельное топливо под высоким давлением в цилиндры.

Одной из наиболее важных особенностей систем Common Rail является независимость момента впрыска топлива от угла поворота коленчатого вала и от режима работы двигателя. Это позволяет достичь высокого давления впрыскивания на частичных режимах, и, как следствие, высокой эффективности [7].

Турбулизация заряда. Различают несколько видов распространения пламени в цилиндре ДВС: гетерогенное, вихревое, турбулентное, ламинарное, го-

могенное, диффузионное и т. д.

Каждый из указанных видов горения обусловлен конструкцией и видом камеры сгорания, что в итоге формируют показатели рабочего цикла ДВС. Так, клинообразная форма камеры сгорания обеспечивает распределение значения коэффициента избытка воздуха λ, т. е. смесь у свечи зажигания является близкой к идеальной, а на удалении от очага к стенкам цилиндра значительно обедняется, что обеспечивает равномерное радиальное распределение пламени. Кроме того, при такой реализации камеры сгорания снижается ступенчатость нарастания давления и пульсационный характер расширения газов [8].

Изменение фаз газораспределения. Так как мощность в наибольшей степени зависит от максимально возможного разового количества горючей смеси, поданного в цилиндр, для получения максимальной мощности при высокой частоте вращения коленчатого вала, необходимо обеспечить существенное перекрытие клапанов в районе верхней мертвой точки, но с возрастанием частоты вращения коленчатого вала, отводимое на это время сокращается. С другой стороны, при малых оборотах и на режиме частичных нагрузок, когда не требуется максимальная мощность, лучше, если угол перекрытия стремится к нулю. Чем меньше угол перекрытия на низких частотах вращения кривошипно-шатунного механизма, тем быстрее отклик ДВС на нажатие педали акселератора [9].

В начале 2000-х компания Cargine, партнер Koenigsegg, начала работу над принципиально новым мотором. Целью стало создание экономичного и экологически чистого мотора нового поколения. Прототипом послужила концепция двигателя внутреннего сгорания Кармело Скудери, в котором цилиндры делятся на рабочие и вспомогательные: первые отвечают за сжигание смеси и выпуск отработавших газов, а вторые за впуск и сжатие топливовоздушного заряда. Однако, было принято решение выполнить данную схему в рамках одного цилиндра, для чего потребовался быстрый и точный актуатор клапанов.

Первый прототип двигателя внутреннего сгорания без распределительных валов был установлен на Saab 9-5, и показал повышение мощности на 30 % и снижение расхода топлива на 25-33 %, однако технология еще требовала доработки и адаптации под серийное производство.

В двигателе без распределительных валов управление клапанами возложено на электромагнитные актуаторы, в которых используются пневматические пружины для изменения жесткости в режиме реального времени и датчики кон-

троля положения клапана. Мониторинг положения клапана происходит с частотой сто тысяч раз в секунду и имеет точность до десятой доли миллиметра.

Разработанная конструкция позволяет изменять фазы газораспределения в режиме реального времени в зависимости от режима работы ДВС, а так же управлять отключением и подключением любого количества цилиндров. Такой двигатель позволяет реализовать работу по термодинамическим циклам Отто, Аткинсона, Миллера и Хедмана для каждой отдельной ситуации.

На текущий момент компания Freevalve, (так стала называться компания Cargine после присоединения к Koenigsegg), разработала конструкцию, способную потреблять на 20-50 % топлива меньше во всём диапазоне режимов работы. При этом данный ДВС является многотопливным, т. е. позволяет использовать в качестве энергоносителя и дизельное топливо, и бензин, а при классической доработке еще и компримированный природный или сжиженный нефтяной газы.

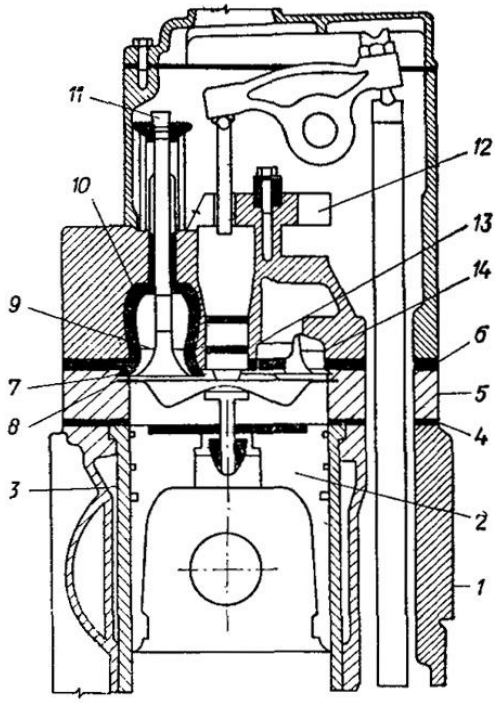
Кристиан фон Кёнигсегг считает, что новые агрегаты позволят также повысить безопасность автомобиля за счет снижения массы, понижения центра тяжести и увеличения свободного подкапотного пространства [10].

Повышение термического КПД двигателя внутреннего сгорания и создание «адиабатного» ДВС. Первые результаты в данном направлении стали появляться после публикации в 1972 г. статьи, которая значительно повысила интерес научного сообщества к керамическим материалам. Статья начиналась со слов: «Если и есть магическое слово в области турбостроения, то это слово – «керамика» [11].

Уже в семидесятые-восьмидесятые годы была проведена серьезная работа по применению в двигателях внутреннего сгорания материалов с высоким полным термическим сопротивлением. Были разработаны и испытаны технологии производства деталей цилиндро-поршневой группы из керамики. Опыты показали не только высокую термостойкость керамических деталей, но и значительное (в 4-5 раз) снижение коэффициента трения в таких парах, как кулачок-толкатель [12].

Опытный образец адиабатного двигателя был создан на базе шестицилиндрового дизеля типа NH. Схематический поперечный разрез этого двигателя показан на рис. 2.

Данный двигатель развивает мощность 373 кВт и имеет удельный расход топлива 170 г. / (кВт·ч). Однако, слабым местом является чрезвычайно низкий ресурс – 250 ч.



1 – блок цилиндров; *2* – составной поршень; *3* – гильза цилиндра; *4* – теплоизолирующая прокладка блока цилиндров; *5* – вставка между головкой и блоком цилиндров; *6* – теплоизолирующая прокладка головки цилиндров; *7* – теплоизолирующая шайба камеры сгорания; *8* – нижнее уплотнение теплоизолирующей шайбы; *9* – седло выпускного клапана; *10* – керамическая изоляция выпускной трубы; *11* – выпускной клапан; *12* – насос-форсунка; *13* – теплоизолирующий стакан и насос-форсунка; *14* – седло впускного клапана

Рисунок 2 – Поперечный разрез адиабатного дизеля «Камминс»

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Перспективами дальнейших исследований в данной области является создание двигателя, который объединит в себе наиболее близкий к совершенному термодинамический цикл «адиабатного», ресурсоемкость традиционного и эластичность управления безраспредвального двигателей.

Для достижения этой цели современной науке предстоит решить ряд задач, основными из которых являются разработка высокопрочных материалов с высоким тепловым сопротивлением и проектирование новых систем управления, которые смогут в полной мере реализовать все достоинства управляемых клапанов.

Ключевым моментом является перспективность данной конструкции ДВС относительно применения в гибридных силовых установках. Использование чистой электрической тяги на грузовых автомобилях на сегодняшний день не представляется возможным, в то время как работа над гибридными грузовиками уже приносит результаты [13, 14].

Библиографический список

1 Ereport.RU – Запасы, производство и потребление нефти по странам мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ereport.ru. – Загл. с экрана.

2 Штайн, Г. В. Топливная экономичность дизелей с многофазным впрыском топлива [Текст] / Г. В. Штайн, А. А. Панфилов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. № 4 (179). – С. 144-147.

3 Гребенников, С. А. Повышение топливной экономичности легковых автомобилей [Текст] / С. А. Гребенников, С. А. Зеленков // Актуальные вопросы транспорта в современных условиях. – 2014. – С. 24-30.

4 Горшкова, Т. А. Повышение эксплуатационных характеристик двигателя внутреннего сгорания ВАЗ-21124 [Текст] / Т. А. Горшкова, С. М. Шевченко, Т. А. Барабашкин, Г. В. Пачургин, Н. А. Кузьмин // Научный журнал Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5-2. – С. 274-278;

5 Systemsauto.RU – Маховик двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://systemsauto.ru. – Загл. с экрана.

6 Systemsauto.RU – Масляный насос [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://systemsauto.ru. – Загл. с экрана.

7 Грехов Л. В., Иващенко Н. А., Марков В. А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей [Текст] : Учебник для вузов. – М. : Легион-Автодата, 2004. – 344 с.

8 Чудаков, Е. А. Транспортный газовый двигатель с внутренним смесеобразованием [Текст] / Е. А. Чудаков. М. : АН СССР, – 1954. – 223 с.

9 Wiki.zr.RU – Изменение фаз газораспределения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://wiki.zr.ru. – Загл. с экрана.

10 Motor.ru – Бескулачный бой. Как устроен двигатель без распредвала [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://motor.ru/articles/2016/01/18/koenigsegg. – Загл. с экрана.

11 Farmer, R. C. Where are the ceramic turbines? / R. C. Farmer // Gas Turbine International. – 1972. – № 7. – P. 22–27.

12 Бендовский, Е. Б. Керамические детали для двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Е. Б. Бендовский // Научные исследования и разработки. – 2013. – № 8. – С. 51-54.

13 Nami.RU. – Гибридный грузовой автомобиль [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://nami.ru. – Загл. с экрана.

14 Business-gazeta.RU – КамАЗ показал свой первый грузовик с «троллейбусным режимом» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.business-gazeta.ru. – Загл. с экрана.