

большим преимуществом знать, существует ли перечень отказов, на котором конструктор мог сконцентрироваться и мог гарантировать безопасность конструкции и одновременно сэкономить ресурсы и уменьшить время разработки.

Сформулируем гипотезу: расширение перечня предотвращенных при проектировании отказов не приводит к существенному снижению риска причинения вреда или ущерба в эксплуатации. Для данных условий эксплуатации может существовать ограниченный перечень отказов, на предотвращении которых необходимо сконцентрироваться при проектировании АТС.

Для проверки этой гипотезы использовалась обширная база результатов испытаний по оценке надежности АТС в эксплуатации. Выводы делались на основании анализа матриц, построенных по результатам испытаний, и включающих в различных сочетаниях функции, системы, отказы, которые рассматривались как элемент функционального подхода.

Проведенное экспериментальное исследование обеспечивает нас надежными базовыми знаниями, основываясь на которых можно предложить новый статистический подход по созданию безопасных конструкций.

### Литература

1. ГОСТ Р 51814.2-2001 Системы качества в автомобилестроении. Методы анализа видов и последствий потенциальных дефектов
2. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем – СПб.: Политехника, 2000.-248 с.
3. Соложенцев Е.Д., Карасев В.В. Идентификация логико-вероятностных моделей риска структурно-сложных систем с группами несовместных событий // Автоматика и телемеханика, 2002. № 3. С. 97-113.
4. Краснов О.В. Безопасность эксплуатации сложных технических систем. СПб.: ВКУ им. А.Ф. Можайского, 2002 .
5. Неймарк М.С., Цесарский Л.Г. «Метод приведения» – метод определения полного перечня функциональных отказов технической системы. // Проблемы безопасности полетов, №2, 1994.

### ***Перспективные экономически целесообразные направления комплексного совершенствования ДВС в современных условиях технологического прогресса и топливно-энергетического кризиса.***

д.т.н., проф. Кутенёв В.Ф., д.т.н., проф. Каменев В.Ф., к.т.н., проф. Макаров А.Р.,  
д.т.н., проф. Фомин В.М., к.т.н., доц. Хрипач Н.А.  
МГТУ «МАМИ», ФГУП ГНЦ НАМИ

*В статье приведен анализ перспективных направлений совершенствования ДВС и определены основные пути повышения их топливной экономичности и экологичности в будущем.*

Снижение расхода топлива и выброса вредных веществ в последние 10-20 лет стало одной из актуальных проблем для ведущих мировых производителей и потребителей автотранспортных средств. Постоянное ужесточение экологических требований в связи с глобальным загрязнением планеты и «парниковым» эффектом, а также обострение общемирового энергетического кризиса активизировали в последние годы 20-го столетия поиск новых решений.

К настоящему времени успехи в развитии ДВС были достигнуты в упорной конкурентной борьбе с другими видами энергоустановок. В 1970-е годы ведущие зарубежные фирмы, особенно американские (см. табл. 1), вели интенсивные исследования по возможной замене традиционных ДВС другими силовыми установками такими как: двигатели на аккумуляторах, автомобильные газотурбинные двигатели, двигатели Стирлинга, двигатели Ренкина и силовые установки других конструкций, а также и на топливных элементах.

Таблица 1

Д В И Г А Т Е Л И													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Параметры	Бензиновый двигатель	Дизель	Дизель усоверш.	Газотурбо-двигатель.	Усоверш. газотурбо-двигатель.	Двигатель на аккумуля-ляторах.	Усоверш. двигатель на аккумуля-торах	Двигатель Ренкина	Усоверш. двигатель Ренкина	Двигатель Стирлинга	Усоверш. двигатель Стирлинга	Усоверш. двигатель другой кон-струкции	Двигатель на топливных элементах
Удовлетвор. нормам токсичности		1975	1976	1975	1976	ТЭЦ	ТЭЦ	1976	1976	1976	1976	1976	1976
Многотопливность	Х-О	У	Х	О	О	ТЭЦ	ТЭЦ	О	О	О	О	О	О
Расход топлива	100	66,6	75	150	75-150	75-150	75-150	150-200	125	66,6	50-75	75	50-75
Шумность	Х	У-Х	Х	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О
Безопасность	О	О	О	О	О	У	Х	Х	Х	О	О	О	Х
Стоимость	100	200	100	250	100	500	275	300	275	150-200	100	150-200	1000
Пуск	Х	ОЗ	ОЗ	ОЗ	ОЗ	О		ОЗ О	ОЗ	ОЗ	ОЗ	ОЗ	ОЗ
Устойчивость работы	О	О	О	О	О	У		У-Х	У-Х	П	О	О	О
Транспорта-бельность	О	Х	Х	Х-О	О	П-У	О	Х	Х	Х	О	Х-О	О
Удобство обслужи-вания	О	О	О	О	О	Х	Х	П-О	О	П-О	О	О	Х
Регулирование	О	У	О	У	У	У	О	У-Х	Х	О	О	О	О
Легкость управления	О	О	О	У	У	О(Д)	О(Д)	П	П	Х	О	У-О	Х
Технологичность	О	Х	Х	У	Х	Х	Х	П	Х	Х	О	Х-О	О
Габариты	100	225	75	100	100	-	150	150	100	75 - 100	75	100	300
Вес	100	200	75	75 - 100	50-75	-	150	176-250	150	125	66,6	100-150	
Суммарная оценка	О	У	О	О	О	П	О	П	П	Х	Х	Х	О
Настоящее положе-ние	массовое пр-во	огран. пр-во	-4 года	проект	-4 года	огран. пр-во	-4 года	-2 года	-4/6 лет	-2/3 года	-5/10 лет	-5/10 лет	-15 лет
Начало производства опытных образцов	есть	есть	1980	1978	1982	есть	1980	1979	1981	1981	1981	1981	1992
Начало массового производства	есть	1976	1983	1984	1984	1976	1984	1983	1985	1983	1984	1984	1996

П – плохое; У – удовлетворительное; Х – хорошее, О – отличное; ОЗ – отличное, но с задержкой; О(Д) – отличное, но с дорогом.

Основными показателями поршневых ДВС, которые обеспечили им преимущество перед другими типами силовых установок, к настоящему времени являются:

- топливная экономичность и удовлетворение международным требованиям по экологии;
- низкая удельная стоимость (цена/кВт энергии);
- высокая объёмная (массовая) энергоёмкость (кВт/кг, кВт/м<sup>3</sup>);
- неиспользованные резервы дальнейшего развития и совершенствования конструкции.

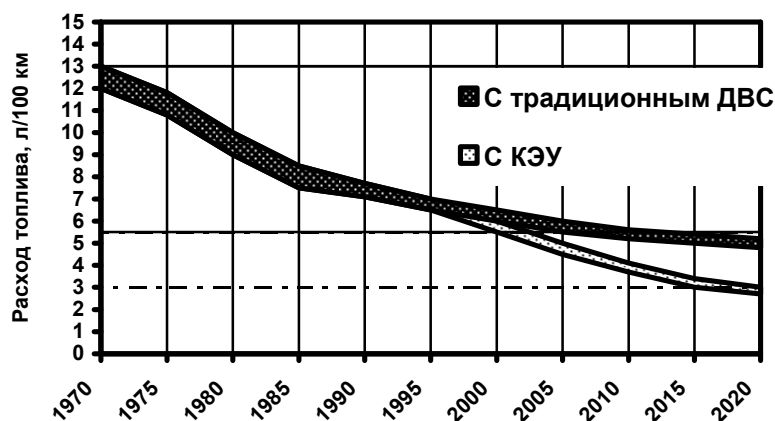
Именно эти эколого-экономические показатели поршневых ДВС пока и позволяют рассматривать их на ближайшую перспективу как основной вид источников энергии для автомобильных транспортных средств. Ежегодное мировое производство ДВС сегодня превышает 50 млн. единиц, а парк мировой автотранспортных средств уже превышает 600 млн. штук.

Существенный рост КПД бензиновых двигателей и приближение их показателей к дизельным двигателям по экономичности было достигнуто благодаря:

- переходу на впрыск топлива во впускной трубопровод или непосредственно в цилиндр с поэтапным повышением давления впрыска;
- эффективности использования наддува, в том числе двухступенчатого и комбинированного;
- переходу на четырёхклапанное газораспределение;
- повышению степени сжатия до 11-13;
- расширению пределов эффективного обеднения смеси за счёт повышения турбулентности заряда в цилиндре.

Значительные резервы по дальнейшему повышению характеристик ДВС могут быть реализованы за счёт совершенствования электронного управления системами двигателей. Так в последние годы появились в производстве системы с управляемыми фазами газораспределения, и многие фирмы выпускают двигатели с достаточно эффективными механизмами и системами с электронным управлением.

Следует отметить, что за прошедшие 30 лет, с начала топливного кризиса в 1978 году расход топлива легковыми автомобилями был снижен примерно в 2 раза.



**Рис. 1. Достигнутые и прогнозируемые уровни топливной экономичности автомобилями условной массой 1000 кг.**

На рис. 1 в качестве подтверждающего примера результативности работ по снижению расхода топлива приведены величины путевых расходов приведённые к 1000 кг массы автомобиля. На графике приведены результаты всех мероприятий как по развитию конструкций систем двигателей, так и за счёт совершенствования трансмиссии, новых шин с пониженным коэффициентом сопротивления качению, и улучшенной аэродинамики автомобиля, и, безусловно, это связано с повышением КПД двигателя за счёт улучшения рабочих процессов.

Однако до настоящего времени не освоены наиболее эффективные методы повышения КПД, как существующих, так и других конструкций ДВС, т.к. не были созданы работоспособные конструкции регулирования степени сжатия и рабочего объёма. Теоретические и

экспериментальные исследования показывают, что за счёт регулирования степени сжатия и рабочего объёма, при оптимальном регулировании показателей (или параметров) рабочего процесса ДВС – может быть улучшена эксплуатационная топливная экономичность и обеспечено снижение вредных веществ и парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ) в условиях городского движения, соответственно на 20, 35 и 40%!

Экспериментальные данные по количественному снижению расхода топлива, а также снижению  $\text{CO}_2$  при изменении степени сжатия от 7 до 14 единиц на режиме холостого хода, и малых нагрузок, которые составляют более 30% в Европейском ездовом цикле, показывают возможность снижения расхода топлива на 25-40% на этих режимах.

Практическая реализация идеи - регулирование степени сжатия и рабочего объёма – чрезвычайно сложная научно-техническая задача. Появление систем регулируемых фаз газораспределения и регулируемого наддува на перспективных конструкциях двигателей с регулируемой степенью сжатия позволит в комплексе достичь ещё большей экономии топлива в городских условиях.

В настоящий период времени, то есть в начале XXI века дополнительно возникла необходимость решения проблем использования альтернативных видов топлив. В этот период от этапа совершенствования конструкции двигателя переходят к решению проблем энергетического кризиса, к созданию двухтопливных модификаций ДВС с конечной целью перехода на водородосодержащие топлива и на водород.

Многие видят в водороде, используемом в двигателях внутреннего сгорания или генерирующем электроэнергию в топливных элементах, долгосрочное решение проблемы. Однако на сегодня водород сложно и дорого получить в больших количествах, опасно перевозить и трудно, и сложно хранить. Хуже всего то, что раньше чем через 15-20 лет он, видимо, не найдёт широкого распространения в автомобильном транспорте.

В этой связи большой интерес представляет создание принципиально новой системы организации рабочего процесса за счёт активации рабочего заряда смеси в двигателях с принудительным зажиганием путем добавок в топливо водорода или синтез газа, получаемого из метанола на борту автомобиля в термохимических реакторах с использованием тепла отработавших газов. В этом случае обуславливается реальная возможность утилизации «бесплатной» тепловой энергии ОГ для организации конверсионного процесса, исключая необходимость в дополнительном источнике теплоты. Учитывая низкую энергоёмкость процесса конверсии метанола, высокое содержание в нем водорода и масштабы его промышленного производства, данное соединение является наиболее предпочтительным источником дешевого водородного топлива.

Данными математического моделирования, подтвержденными результатами экспериментальных исследований, установлено, что при применении опытной системы практически более 15% (теоретически в пределах 21,4%) энергии ОГ может быть регенерировано и возвращено в виде химической энергии конвертированных продуктов (водородсодержащего газа) в рабочее пространство двигателя для повторного участия в организации его рабочего цикла.

Разрабатываемая система позволит улучшить параметры горения смеси и повысить КПД двигателя и топливную экономичность. Система также позволит снизить выброс двигателем оксида и диоксида углерода, углеводородов и, что особенно важно, оксидов азота в среднем на 30-60%. Эта система также позволит значительно уменьшить габариты и стоимость, а может быть даже и отказаться от дорогостоящей системы нейтрализации отработавших газов.

На рис. 2 представлены основные направления перспективного развития ДВС.

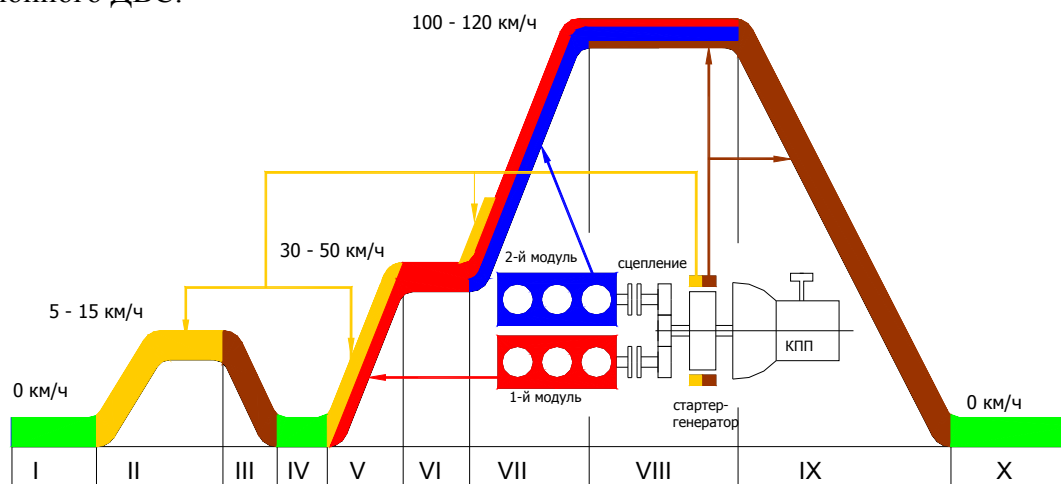
Вопрос, связанный с необходимостью значительного снижения расхода топлива будет существовать всегда и поэтому появившиеся комбинированные энергоустановки КЭУ следует рассматривать как одну из альтернативных конструкций силовых установок на базе ДВС.

Однако ещё одним перспективным направлением повышения экономичности силовых установок транспортных средств является создание модульных схем.



**Рис. 2. Стратегия и технологии развития автомобильных двигателей традиционной конструкции и силовых установок нового поколения.**

С точки зрения энергетических затрат модульная схема силовой установки (МСУ), приведённая на рис. 3, безусловно усложняется за счёт автоматизированного сцепления, но она базируется на существующем хорошо отлаженном массовом производстве традиционного поршневого двигателя. Если сравнивать экономически, то модульная установка существенно дешевле для существующего производства, чем организация нового производства КЭУ. С электроприводом значительно удорожается стоимость автомобилей, так как в этом случае, добавляется 250 килограмм к общему весу силовой установки автомобиля, а экономия топлива составляет те же 30-35%, что и в первом случае с модульной схемой на базе традиционного ДВС.



**Рис. 3. Схема МСУ и типичные режимы движения автомобиля в городских и магистральных условиях.**

В мировой практике изобретений рассматриваются различные возможные варианты компоновки МСУ, и они доказывают необходимость активизации проведения этих работ одновременно с разработкой механизма автоматического изменения степени сжатия. Подтверждением продолжающейся последние годы активной работы в этом направлении является последнее объявление фирмы Мерседес-Бенц о создании совершенно нового бензинового двигателя. Двигатель Мерседес-Бенц DiesOtto представляет собой усовершенствованную

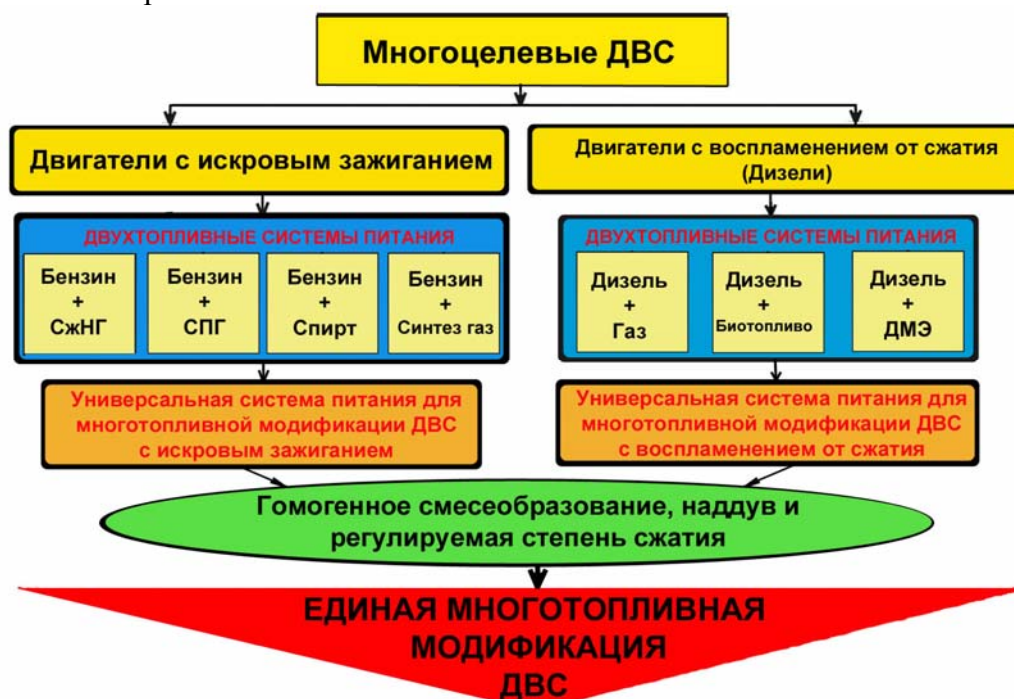


конструкцию двигателя с искровым зажиганием, которая включает в себя непосредственный впрыск топлива, турбонаддув, регулирование времени открытия и закрытия клапанов, переменную степень сжатия и может работать вместе с гибридным интегрированным модулем стартер/генератором. Как и дизель, новый двигатель отличается весьма эффективным процессом сгорания. Так 4-х цилиндровый двигатель с рабочим объёмом 1800 см<sup>3</sup> развивает мощность 238 л.с. ( 175 кВт) при крутящем моменте 400нм, а автомобиль класса S-массой примерно 1500 кг имеет расход топлива 6л/100 км. Таким образом, на автомобиле массой 1000 кг расход топлива может составить около 4-4,5л/100 км.

Хотим мы, или не хотим, воспринимать старые идеи в новом качестве, но сегодня уже вновь считается основным и важным направлением развитие работ по обеспечению гомогенного смесеобразования и сгорания, что позволяет достичь минимальные выбросы вредных веществ за счёт полного сгорания углеводородов. Исследованиями в этом направлении в настоящее время активно занимаются практически все ведущие моторостроительные фирмы. Успешное решение вышеназванных проблем приводит нас к вопросу связанному с выбросами оксидов азота, которые достаточно успешно решаются новыми процессами гомогенизации с повышением коэффициента избытка воздуха, что обеспечивает значительное снижение температуры процесса сгорания, т.е. NO<sub>x</sub>.

Происходящее в настоящее время существенное сближение конструкций и рабочих процессов бензиновых и дизельных технологий обеспечивает создание на их базе двухтопливных модификаций и открывает возможность проведения новых исследовательских работ по созданию универсальных систем питания ДВС и их многотопливных модификаций.

На рис. 4 приведена схема и последовательность этапов перспективных научно-исследовательских работ.



**Рис. 4. Схема разработки и создания модификаций ДВС работающих на различных видах топлива.**

#### Выводы

Анализ путей повышения экономических и экологических показателей ДВС в условиях технологического прогресса и топливно-энергетического кризиса позволит выявить наиболее экономически целесообразные направления их развития: применение двигателей с переменной степенью сжатия, использование модульных схем силовых установок транспортных средств, а также переход на альтернативные виды топлива не нефтяного происхождения, в частности, метанол и получение из него на борту автомобиля водородсодержащего газа для питания ДВС.