

- Макаров А.Р., Сергиевский А.В. и др. Под ред. Райкова И.Я. – М.: МАМИ, 2001, 568 с.
2. Чумаков, Ю.А. Теория и расчет транспортных газотурбинных двигателей. Учебник – М.: ИНФРА-М; Форум, 2012, с. 20 – 171.
  3. Андреенков, А.А. Оптимизация элементной базы и схемы турбовентилятора, системы охлаждения турбопоршневого двигателя. Дис. ... канд. техн. наук. – М., 2009. – 239 с.
  4. Андреенков А.А., Костюков А.В. Результаты разработки и исследования турбовентилятора для системы охлаждения транспортного турбодизеля. «Двигатель», 2008, №5, с. 14 –16.

### **Конструктивные изменения в ДВС, необходимые при переходе на бензоэтанольные топлива**

Василевкин Е.В., Егоров В.Н., к.т.н. доц. Руновский К.С.  
*Университет машиностроения*  
*bioethanol\_tami@mail.ru*

*Аннотация.* В статье рассмотрены конструктивные изменения в различных системах двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием, выполнение которых необходимо при переводе ДВС на бензоэтанольные топлива с различной концентрацией этанола в них.

*Ключевые слова:* этанол, бензоэтанольная смесь, конструктивные изменения, ДВС.

В последние годы в связи с ростом цен на традиционное автомобильное углеводородное топливо, истощением запасов нефти и ухудшением экологической ситуации в мире все больше внимания уделяется поиску альтернативных источников энергии, способных достойно заменить нефтяное топливо. Одним из решений этой проблемы является использование в качестве топлива для ДВС бензоэтанольных смесей. Их применение позволяет сохранить нефтяные ресурсы на производство товарного бензина, понизить требования к октановым характеристикам традиционных углеводородных топлив, улучшить экологические характеристики автомобилей.

В настоящее время в некоторых странах введены в эксплуатацию бензоэтанольные смеси с различным соотношением концентраций биоэтанола и бензина. Так, например, в странах Европы в широкой эксплуатации находятся три вида бензоэтанольных топлив E5, E10, E85, в Бразилии и Аргентине доминируют смеси E25- E100, в США E10, E15 и E85. В России в соответствии со стандартами ГОСТ Р 51866-2002, ГОСТ Р 52201-2004, ГОСТ Р 54290-2010 разрешается выпускать бензоэтанольное топливо с содержанием этанола 5, 10 и 85% соответственно.

В целом можно выделить два направления по применению бензоэтанольных смесей как топлива для ДВС:

- в качестве добавки к автомобильному бензину в концентрации этанола 5 – 10% (топлива E5, E10) для использования в автомобилях с «традиционными» бензиновыми двигателями;
- в качестве смесей с содержанием этанола до 85% – 100% (этанольные топлива E20, E30, E85) для использования в автомобилях с системой универсального потребления топлива (Flexible-fuel vehicle).

Отличие этанола по физико-химическим свойствам, приведенным в таблице 1, от бензинов делает необходимым введение в конструкцию двигателя ряда изменений, объем которых зависит от концентрации этанола в топливе.

При концентрации этанола в бензоэтанольном топливе до 10% (топливо E5, E10) внесение изменений в конструкцию ДВС не требуется. Введение в автомобильные бензины 5-10% этанола (и/или других оксигенатов) повышает их детонационную стойкость, так как при увеличении концентрации кислорода в топливе снижается теплота сгорания топливовоздушной смеси, происходит более быстрый отвод теплоты из камеры сгорания и в результате понижается максимальная температура горения. Это дает возможность увеличить степень сжа-

тия топливовоздушной смеси с этанолом и тем самым повысить КПД автомобильного двигателя.

Таблица 1.

**Физико-химические свойства этанола и бензина**

Показатель	Бензин	Этанол
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	710 - 770	794
Октановое число: - по моторному методу; - по исследовательскому методу.	72 - 85 75 - 95	93 108
Температура, °C: - кипения; - застывания.	30 - 215 -60...-80	78,4 -114,6
Температура воспламенения, °C, при концентрации паров топлива, %.	260 1...8	455 3...19
Теплота испарения, кДж/кг	180 - 306	913
Давление насыщенных паров при 38°C, кПа	65...92	17
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	41 - 44	23 - 25
Содержание кислорода, % (мас.)	-	34,7
Стехиометрический коэффициент воздух/топливо (по массе)	14,7	9

При повышении концентрации этанола в бензоэтанольном топливе свыше 10% до 100% (топлива E25, E85, E100) требуется введение ряда изменений в конструкцию ДВС. В первую очередь данные изменения связаны с повышением коррозионной активности бензоэтанольных топлив по отношению к металлам. Повышение коррозионной активности топлив (особенно при длительной эксплуатации) с кислородсодержащими соединениями, к которым относится этанол, обусловлено накоплением продуктов кислотного характера, образующихся в результате окислительных процессов, инициируемых оксигенатами. [1] Это приводит к коррозионному разрушению элементов топливной системы автомобиля и двигателя. Так, например, сталь с гальваническим покрытием из свинцово-оловянного сплава, которая обычно используется при изготовлении резервуаров для бензина, несовместима с топливом с высоким содержанием этанола. Также некоторые неметаллические материалы, например некоторые сорта каучука, полиуретан, пробковые материалы для прокладок, кожа, поливинилхлорид (ПВХ), полиамиды, пластмассы на основе метилметакрилата и некоторые терморезистивные пластмассы, при контакте с топливным этанолом разрушаются. [2]

Основными методами снижения коррозионного воздействия бензоэтанольных топлив являются:

- добавление в топливо антикоррозионных присадок (ингибиторов коррозии), обеспечивающих полную защиту металла от коррозии при концентрации в пределах 0,0016-0,0008% мас., в зависимости от объема этанола в топливе и вида ингибитора [1]. В качестве примера ингибитора коррозии можно привести присадку BioTech 9880, используемую в смесях с бензоэтанольными топливами E5, E10, E85;
- применение защитных антикоррозионных покрытий металлов (анодно-окисное, химическое окисное, пассивное покрытия и др.);
- замена подвергающихся воздействию этанола материалов на устойчивые (применение легированной, коррозионностойкой стали без гальванических покрытий; полимерных и эластомерных материалов; изделий из терморезистивных смол, армированных стекловолокном; резиновых смесей на основе каучуков СКН-40, СКН-18С+наирит [4, 5] и др.).

Этанол имеет более высокое октановое число по сравнению с бензином. В результате этого введение в автомобильные бензины этанола, как было отмечено ранее, повышает их детонационную стойкость. Это дает возможность увеличить степень сжатия топливовоздушной смеси с этанолом до  $\epsilon=12...14$  и тем самым повысить КПД двигателя и снизить удель-

ный расход топлива. Для увеличения степени сжатия на серийных и вновь разрабатываемых двигателях выполняют доработку формы камеры сгорания, например, как показано на рисунке 1, с помощью изменения формы головки поршня. Также с целью предупреждения детонационного сгорания топливовоздушной смеси при высоких степенях сжатия выполняют корректировку системы зажигания и внедряют активную систему контроля детонации, которая по акустическому состоянию двигателя осуществляет корректировку угла опережения зажигания. В дополнение к перечисленному выше с целью более эффективного отвода тепла от поршня и снижения вероятности возникновения детонации при высоких степенях сжатия выполняют доработку системы охлаждения: увеличивают длину рубашки охлаждения по высоте цилиндра и используют термостаты с более точным электронным управлением.



**Рисунок 1. Головка поршня с конструктивной доработкой в виде прилива для увеличения степени сжатия**

По причине меньшей теплотворной способности этанола необходима корректировка топливоподачи в плане увеличение давления впрыска, примерно на 30 %, и объема впрыска бензоэтанольного топлива и соответственно увеличение объема топливного бака, примерно в 1,25 раза, для сохранения бензозаправочного пробега.[3]

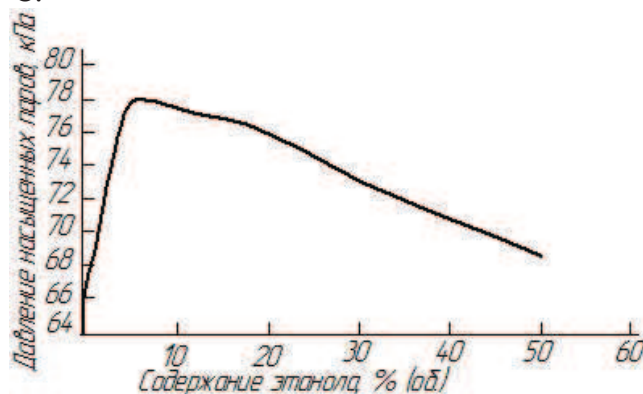
При использовании бензоэтанольных смесей с высоким содержанием этанола необходимо также уделить внимание доработке системы выпуска. Из-за меньшей теплоты сгорания бензоэтанольных смесей каталитический нейтрализатор отработавших газов необходимо разместить ближе к выпуску двигателя с целью его более быстрого прогрева и выхода на рабочий режим. Присутствие в отработавших газах альдегидов, кетонов и карбоновых кислот требует разработки каталитических нейтрализаторов, способных их окислять до воды и  $\text{CO}_2$ . Также из-за наличия в этаноле дополнительного кислорода требуется перенастройка лямбда-зонда на другой стехиометрический коэффициент избытка воздуха.

Обращаясь снова к таблице 1, стоит обратить внимание на такой показатель, как давление насыщенных паров. Давление насыщенных паров является одним из важнейших эксплуатационных свойств автомобильных топлив, отвечающим за его пусковые качества и склонность к образованию паровых пробок. Добавка этилового спирта к бензину изменяет давление насыщенных паров смесевое топлива. Несмотря на то что чистый спирт обладает давлением насыщенных паров ниже, чем средний бензин, при их компаундировании этот показатель увеличивается. Данные исследований представлены на рисунке 2. При добавлении спирта в количестве до 6 % (об.) давление насыщенных паров композиции резко возрастает, и с дальнейшим увеличением концентрации спирта в бензине этот показатель постепенно падает.

Такое anomальное поведение топлива связано с тем, что при компаундировании спирта с углеводородами образуется азеотроп, обладающий более высоким давлением насыщенных паров, чем оба компонента, его образующие. Поэтому смеси с небольшим количеством этанола (порядка 5—6%) имеют давление насыщенных паров, близкое к азеотропу. При дальнейшем увеличении концентрации этилового спирта в смеси давление насыщенных паров постепенно понижается, стремясь к значению этого показателя для чистого этанола [2].

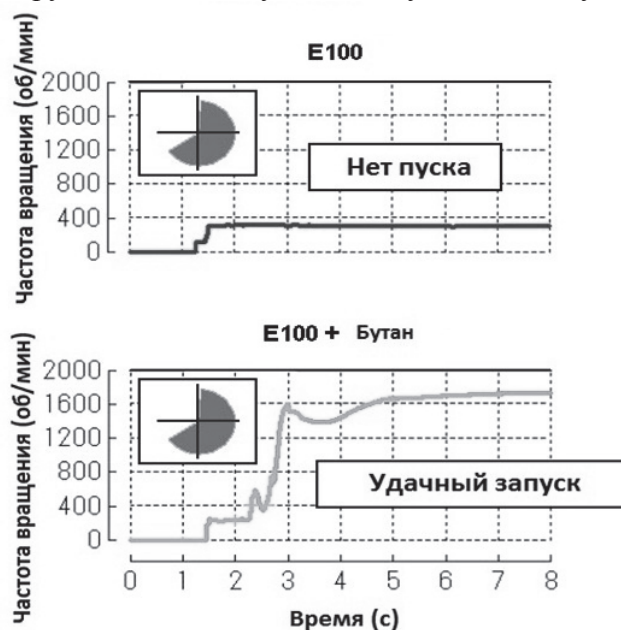
Низкое давление насыщенных паров и высокая теплота испарения бензоэтанольных

смесей с высоким содержанием этанола делают затруднительным запуск двигателей уже при температурах ниже 10 °С.



**Рисунок 2. Зависимость давления насыщенных паров от концентрации этанола в бензоэтанольной смеси**

Для преодоления проблемы холодного пуска существует ряд решений. Наиболее простым является добавление в этанолосодержащее топливо для улучшения пусковых качеств 4—6 % изопентана, 6—8 % диметилового эфира или бутана, что было подтверждено испытаниями (рисунок 3). Введение данных компонентов обеспечивает нормальный пуск двигателя при температурах окружающего воздуха от минус 20 до минус 25 °С.



**Рисунок 3. Холодный пуск двигателя на топливе E100 (100% этанола) с добавлением и без добавления бутана**

Еще одним решением является использование на автомобиле двухтопливной системы питания (использование отдельного небольшого бачка с бензином для холодного пуска и прогрева двигателя).

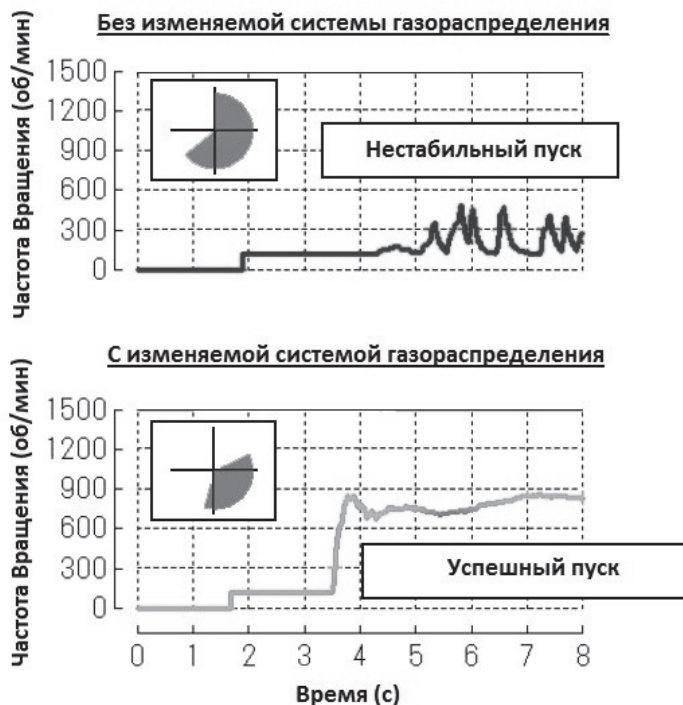
Среди более сложных решений стоит выделить использование предпусковых подогревателей различных конструкций и принципов работы, а также применение механизма изменения фаз газораспределения.

Смысл использования предпусковых подогревателей заключается в тепловой подготовке компонентов топливной смеси или элементов конструкции двигателя. В качестве примеров предпусковых подогревателей, используемых в конструкции современных ДВС, работающих на бензоэтанольных смесях с высоким содержанием этанола, можно привести предпусковые подогреватели Defa, представляющие из себя электрическую спираль, монтируемую в рубашку охлаждения двигателя. Также широкое распространение получили встраи-



ваемые в рубашку охлаждения узлы-подогреватели Vebasto, отличающиеся независимостью от электрического источника энергии и использующие тепловую энергию от сжигания топлива для прогрева охлаждающей жидкости ДВС.

Использование механизма изменения фаз газораспределения позволяет увеличить давления и температуры сжатия топливовоздушной смеси при запуске двигателя при отрицательных температурах и тем самым обеспечить стабильный холодный пуск (рисунок 4).



**Рисунок 4. Холодный пуск двигателя на топливе E85 (85% этанола) с регулированием и без регулирования фаз газораспределения**

По результатам исследования можно сделать выводы, что применению в серийных и вновь разрабатываемых бензиновых двигателях в качестве топлива бензоэтанольных смесей с высокими концентрациями этанола предшествует серьезная конструктивная доработка систем ДВС с комплексным использованием решений, описанных выше. Стоит отметить, что большое влияние на сложность решений также оказывает климатические особенности эксплуатации транспортного средства. Рассмотренные пути изменения конструкции систем ДВС с искровым зажиганием при переходе на бензоэтанольные топлива следует рассматривать как одни из альтернативных вариантов решения ряда проблем, возникающих при переходе на бензоэтанольное топливо.

#### Литература

1. Клокова И.В., Климова Т.А., Болдырев А.В. Исследование ингибиторов коррозии к оксигенатным топливам. Журнал ГСМ №7 2005.
2. Карпов С.А., Капустин В.М., Старков А.К. Автомобильные топлива с биоэтанолом. М., «КолосС», 2007.
3. Mauro Berti Giroldo, Edward Werninghaus, Eugenio Coelho «Development of 1.6L Flex Fuel Engine for Brazilian Market», SAE TECHNICAL PAPER SERIES № 2005-01-4130, 2005.
4. ТУ 38.0051166-98 Смеси резиновые для деталей авиационной техники, не вулканизованные.
5. ТУ 38.005924-84 Смеси резиновые специальные.