

УДК 621.43.004.18

ВОДА КАК АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

Гуйва С.Д., ст. преп.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-04-42

Аннотация – в статье проанализированы особенности работы поршневых двигателей на воднотопливных смесях.

Ключевые слова – топливо, экономичность, топливно-воздушная смесь, воднотопливная эмульсия.

Постановка проблемы, анализ последних исследований. Идея создания альтернативного моторного топлива возникла в конце XIX века, когда «отец» двигателя внутреннего сгорания (ДВС) Н.Отто получил первый патент на применение воды в качестве компонента горючего. Во время второй мировой войны водная инъекция применялась как на истребителях, так и на бомбардировщиках производства СССР, Германии, США. Например, впрыск воды применялся на радиальном двигателе V12 бомбардировщика В-29. Первые исследования в этом направлении были сделаны в НАСА. Позже, на основании проведенных исследований фирмой Rolls Royce был разработан авиационный двигатель с использованием впрыска воды.

В настоящее время водная инъекция используется в судовых двигателях компании Wärtsilä для уменьшения потребления топлива.

Фирма Renault внедрила впрыск воды в 1977 г. на гоночных автомобилях. В 1983 г. на них устанавливались баки вместимостью 12 л воды, электрический насос и регулятор давления, что дало мощность около 440 кВт (в 1986 г. мощность была повышена до 640 кВт). Позже водную инъекцию перестали использовать, так как качество топлива значительно улучшилось. Этот способ форсирования двигателя использовался также фирмами Ferrari и Porsche. С начала 1980-х г. на гоночных мотоциклах фирмы Harley-Davidson, Suzuki, BMW, Honda, Kawasaki применялась водная инъекция для уменьшения тепловых нагрузок. Они были настолько высоки, что мотоциклам без водной инъекции приходилось периодически «остывать».

В тот период в системах водной инъекции не использовались насосы. Вода поступала в двигатель через небольшой жиклёр при незначительном давлении (это необходимо для двигателей с турбонад-

дувом). Такие системы были ненадёжными и громоздкими: иногда ёмкость с водой устанавливали под задним номерным знаком мотоцикла.

Идея использовать обычную воду для улучшения работы двигателей внутреннего сгорания весьма привлекательна. Вода не может заменить в ДВС бензин, керосин, дизельное топливо, но позволяет уменьшить теплонпряженность двигателей, повысить надёжность и эффективность их работы, экономить топливо, увеличить детонационную стойкость низкооктановых бензинов, снизить концентрацию окислов азота и углерода в отработавших газах. Вода может быть использована для охлаждения заряда в двигателях с наддувом, а также при работе двигателей в высокогорных условиях. Наконец, она дает возможность использовать водорастворимые антидетонаторы.

В 1920—1921 г., например, многие английские автобусы были оборудованы карбюраторами с двумя поплавковыми камерами. Одна — для подачи бензина, другая — для подачи воды. В тридцатые годы водой заинтересовались и создатели авиационной техники. В некоторых исследованиях ее использовали не только для подавления детонации, но и для существенного уменьшения тепловой напряженности авиационных двигателей. В СССР были проведены стендовые и дорожные испытания, связанные со впрыском воды во впускную систему двигателей автомобилей ЗИС-150 и ЗИС-151, а также автобусов ЗИС-155, причем вместо этилированного бензина (с октановым числом 66) применяли неэтилированное топливо с октановым числом 56.

Любопытно в этой связи свидетельство заведующего кафедрой МАДИ, доктора физико-математических наук, профессора Л. Сапогина. Его учитель, ныне покойный профессор Г. Дудко, рассказывал о том, как он в 1951 г. участвовал в испытаниях ДВС, представлявшего собой гибрид дизеля и обычного карбюраторного двигателя. Запуск его производился на бензине, потом зажигание отключалось, и в цилиндры через форсунки обычным топливным насосом подавалась нагретая и сильно сжатая вода со специальными добавками, в чем и был главный секрет. Двигатель установили на лодке, плававшей два дня в Азовском море. Г. Дудко сам ведром зачерпывал воду и заливал в бак — несколько ведер в день. В выхлопе опытного двигателя была только вода.

Наконец, в семидесятые годы появились работы по водорастворимым антидетонаторам, были разработаны способы получения воднотопливных эмульсий непосредственно на автомобиле. Недавно появилось, например, сообщение о том, что на японских автозаправочных станциях в ближайшее время начнут продавать новое топливо — смесь воды (30%) и бензина (70%). Так же появляются различные предложения по системам впрыска воды в двигатель.

Однако, несмотря на обилие исследований по воздействию воды на рабочий процесс ДВС, до сих пор нет достоверного анализа проведенных экспериментов.

Цель статьи – проанализировать особенности влияния воды на рабочий процесс ДВС.

Основная часть. Внутреннее охлаждение позволяет форсировать мощность двигателя и повысить его экономичность. А эффективность охлаждения зависит от теплоты парообразования и условий испарения топлива. Теплота парообразования воды 2260 кДж/кг, в то время как у этилового спирта 860 кДж/кг, а у бензина лишь 315...350 кДж/кг. Поэтому применение чистого спирта или спиртово-бензиновых смесей, то есть топлив с более высокой теплотой испарения, чем у бензина, и требующих к тому же для сгорания меньше кислорода, повышает эффективность охлаждения. Вода резко снижает не только температуру деталей двигателя, но и температуру топливовоздушной смеси.

Скорость горения в цилиндрах падает, и не возникают условия для «детонации» (ненормально быстрого горения). Снижение температуры сгорания топлива при впрыске воды влияет на химические реакции горения. В результате уменьшается концентрация образующихся окислов азота и углерода.

Работа на воднотопливных смесях связана и с некоторыми неприятностями. В отработавших газах незначительно увеличивается концентрация углеводородов. Нередко в эксплуатационных условиях двигателя работают не вполне устойчиво, особенно при полностью открытой дроссельной заслонке, при движении автомобиля на малой скорости. Все это связано с неравномерным распределением воды по цилиндрам двигателя.

Горение рабочей смеси с водой. Наряду с накоплением экспериментальных фактов, связанных с использованием воды в двигателях, проведена масса исследований, которые позволили выяснить роль водяных паров в процессе горения. Присутствие воды не только влияет на скорость распространения пламени, но и ускоряет превращение СО в СО₂. Особенно это заметно при концентрации воды 7...9%. Дальнейший рост её концентрации уменьшает скорость процесса, из-за снижения температуры горения.

Особенно интересны работы, в которых определялась истинная антидетонационная эффективность топливовоздушной смеси при различном содержании воды. Непосредственные опыты с углеводородами на стандартных исследовательских установках практически невозможны, так как вода не растворяется в углеводородах и не смешивается с ними. Поэтому определялась антидетонационная эффективность смесей тетрагидрофурана с водой. Оказалось, что водные добавки по-

вышают детонационную стойкость тетрагидрофурана на 3 единицы октанового числа. Разумеется, для практики значительно интереснее оценить эффект на товарных бензинах. Такие исследования проводились на стабилизированных воднотопливных эмульсиях. Данные о детонационной стойкости бензинов с различными добавками воды — в таблице 1.

Таблица 1

Влияние воды на детонационную стойкость (по моторному методу) товарных бензинов и их смесей с водой

Топливо	без воды	5% воды	10% воды	20% воды
А-66	66	66,5	67,5	72
А-72	72	72,5	74	76
А-76	76	77	78	81
АИ-93	85	85,5	96	98

Столь значительное повышение октановых чисел топлива объясняют снижением температуры горения топливовоздушной смеси. Это подтверждается расчетами процесса, выполненными на ЭВМ: добавление 10% воды к изооктану снижает максимальную температуру цикла с 2978 до 2951 К (т.е. незначительно).

Казалось бы, с ростом концентрации воды в топливной смеси условия работы двигателя должны только улучшаться. Эксперименты и расчеты равновесного состава продуктов сгорания для изооктана и изооктана с 10% водной добавкой показывают, что при таком содержании воды в смеси количество СО в отработавших газах падает на 6%, а NO_x — на 8%. Дальнейшее увеличение водной добавки еще больше снижает концентрацию токсичных компонентов. Безусловно, это связано с падением температуры цикла, но, к сожалению, и с падением мощности двигателя. Поэтому, очевидно, у концентрации воды в смеси есть рациональный предел - около 10%.

Сейчас считается, что вода в определенных концентрациях тормозит развитие цепных реакций предпламенного окисления углеводородов. Возможно, между перекисными радикалами и гидроксильной группой воды образуется водородная связь. Естественно, что при этом активность радикалов резко снижается, и это в свою очередь повышает детонационную стойкость топливных смесей.

Устойчивость воднотопливных эмульсий (ВТЭ). Впрыск воды в двигатель приносит пользу, но в то же время создает трудности: необходимость двойной системы питания со специальным оборудованием для впрыска топлива; неравномерность распределения воды по цилиндрам и т. д. Применение ВТЭ позволяет эти трудности обойти.

ВТЭ — метастабильные жидкости, состоящие из воды и топлива. Длительность их метастабильного состояния зависит от третьего вещества — эмульгатора. Но подбор этого вещества оказался с технической точки зрения сложнее инженерных проблем, возникающих при использовании обычной воды.

ВТЭ содержит две нерастворимые друг в друге жидкости. Одна из них — дисперсная фаза (вода) в виде мельчайших капель равномерно распределена в другой — дисперсионной среде (топливе). Время жизни эмульсии зависит от свойства диспергированных капель удерживаться во взвешенном состоянии вопреки силе тяжести и силам, возникающим в результате соударений при броуновском движении. Эмульгатор, который сосредоточен на поверхности раздела образующих эмульсию жидких фаз, препятствует слиянию капель.

Среди наиболее распространенных эмульгаторов — поверхностно-активные вещества: кальциевая, магниевая, алюминиевая соли высших жирных кислот, различные смолы, каучук, декстрин, синтетические полимеры. В последнее время широкое применение в качестве эмульгаторов нашли ПАВ на основе олеиновой кислоты и ее солей, продукты синтеза окиси этилена и сульфирования жирных спиртов. Для образования устойчивых воднотопливных эмульсий достаточно 1% такого эмульгатора. В качестве ПАВ применяются также высокодисперсные минеральные порошки. Они смачиваются на разных участках своей поверхности обеими фазами эмульсии и как бы прилипают к межфазной границе, закрепляя капли дисперсной фазы.

Трудности, возникающие при создании устойчивых ВТЭ, связаны не только с подбором эмульгаторов. Во-первых, эмульгатора в эмульсии должно быть как можно меньше: уже 0,5% ПАВ может вызвать усиленное образование нагара в камере сгорания, перебои в работе двигателя. Кроме того, эмульгаторы и продукты их распада не должны быть токсичными и коррозионно-активными, не должны снижать детонационную стойкость топлива без воды. Поэтому сейчас делаются попытки готовить эмульсии непосредственно на автомобиле: разрабатываются бортовые диспергирующие устройства, позволяющие при помощи гидрораспылителей или ультразвуковых генераторов получать в дисперсионной среде капли размером 0,1...8 мкм. Однако и в этих случаях для устойчивости эмульсий необходимо вводить эмульгаторы, хотя и в меньших количествах.

Горение ВТЭ несколько отличается от горения обычной системы вода — топливо. Эмульсионная вода замкнута в каплях, «стянута» силами поверхностного натяжения, закипает она при температуре 200—250°C. Часть внутренней энергии перегретой капли идет на испарение воды, часть — превращается в кинетическую энергию, которая передается оболочке. Эта порция кинетической энергии примерно

в 20 раз больше энергии поверхностного натяжения. Естественно, капля «взрывается» и разлетается на более мелкие осколки. При этом пары топлива, мельчайшие частицы воды и воздуха эффективно перемешиваются. Такая смесь сгорает полностью, в результате двигатель должен устойчиво работать на обедненных смесях, с пониженным расходом топлива.

Для повышения октанового числа бензина на 10 единиц необходима ВТЭ, содержащая 30...50% воды. Для ее стабильности требуется большое количество поверхностноактивного вещества. Между тем ПАВ во многих случаях снижают антидетонационные свойства бензина. И тогда применение воды или эмульсий не улучшает, а ухудшает работу двигателя, увеличивает его износ.

Водорастворимые антидетонаторы. Среди требований, которые издавна предъявлялись к антидетонаторам, важна достаточная растворимость их в топливе. В связи с тем, что добавка воды к топливу в целом положительно влияет на рабочий процесс, оказалось возможным это ограничение ослабить.

Достоверно доказано, что при добавлении в топливо известных металлоорганических антидетонаторов, например, тетраэтилсвинца, происходит деактивация перекисей, которые накапливаются в процессе предпламенного окисления углеводородов. Уменьшение детонации как раз и связывают со снижением концентрации этих перекисных соединений. При распаде перекисей, вызванном ингибиторами окисления, в достаточно большом количестве образуются стабильные радикалы, которые также препятствуют детонационному горению.

Большая группа органических соединений, например ароматические амины, имеют готовые стабильные радикалы, способные затормозить детонацию. Другая группа органических веществ, среди которых могут оказаться достаточно эффективные антидетонаторы, хорошо растворимые в воде,— это фенолы. Их ароматический остаток, как и у ароматических аминов, усиливает кислотные свойства гидроксильной группы. Фенолы активно вступают в химические реакции и под действием перекисей образуют стабильные феноксильные радикалы. Поэтому они широко используются как ингибиторы цепных реакций. Самые активные ингибиторы из их числа — пирокатехин, пирогаллол, гидрохинон. Эти вещества применяются в качестве фотопроявителей, и для усиления проявляющего эффекта в них добавляют едкие щелочи. Подобным же образом активировали фенолы, приготовляя водорастворимые антидетонаторы. Ионы металлов ощутимо увеличивали антидетонационный эффект. Достаточно сказать, что добавка в топливо 3% пирокатехина повышает октановое число на 9 единиц, а 0,2% пирокатехинового фенолята калия — на 11 единиц.

Выводы. Применение ВТЭ и водорастворимых антидетонаторов позволяет снизить расход токсичных алкилсвинцовых соединений.

Литература

1. *Ефремов П. К.* К вопросу о дополнительном питании тепловых двигателей водой. / *П. К. Ефремов* // Труды Всесоюзной научной конференции «Защита воздушного бассейна от загрязнения токсичными выбросами транспортных средств». – Харьков: Институт проблем машиностроения, 1977. - Ч. 1. - С. 221.
2. *Лернер М. О.* Химические регуляторы горения моторных топлив / *М. О. Лернер*. - М.: Химия, 1979. – С.28.
3. *Лернер М. О.* Водорастворимые антидетонаторы / *М. О. Лернер*. - М., 1979. - Вып. 6.- С. 31.- (Экспресс-инф. / НИИТЭХИМ. Сер. «Элементоорганические соединения»).
4. *Смаль Ф.В.* Перспективные топлива для автомобилей / *Ф.В. Смаль, Е.Е. Арсенов*. - М.: Транспорт, 1979. – С. 22.
5. Автомобильные и тракторные двигатели (теория, системы питания, конструкции и расчет) / Под ред. *И.М. Ленина*. - М.: Высшая школа, 1969. - С. 62.
6. *Звонов В.А.* Экология: альтернативные топлива с учетом их полного жизненного цикла/ *В.А. Звонов, А.В. Козлов, А.С. Теренченко* // Автомобильная промышленность. - 2001. - №4. - С. 35-38.
7. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. *А.С. Орлина, М.Г. Круглова*. - М.: Машиностроение, 1983. – С. 12-22
8. *Лиханов В.А.* Снижение токсичности автотракторных дизелей / *В.А. Лиханов, А.М. Сайкин*. - М.: Агропромиздат, 1991. - С. 18-23.

ВОДА, ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО

Гуйва С.Д.

Анотація – у статті проаналізовано особливості роботи поршневих двигунів на воднотопливній суміші.

WATER LIKE AN ALTERNATIVE FUEL

S. Ghyuva

Summary

A paper considers peculiarities of the operation of piston engines burning water-fuel emulsions.