

3. Мамаев А.Н., Вирабов Р.В., Португальский В.М., Чепурной С.И. Определение силовых и кинематических характеристик эластичного колеса при качении по жесткому барабану. - Сб. трудов международной н/т конференции, посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ».- М., МГТУ «МАМИ».
4. Мамаев А.Н. Сопротивление качению ведомого колеса по жесткому барабану. - Сб. трудов международной н/т конференции, посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ».- М., МГТУ «МАМИ», 2010.
5. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н., Маринкин А.П. Влияние режима качения эластичного колеса на величину боковой силы при боковом уводе. Вестник машиностроения, 1986. - № 1. - с.33-35.
6. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н. Определение мощности потерь на трение в контакте фрикционной пары - колесо с пневматической шиной-жесткое основание. - Межвуз. сб. научных трудов «Бесступенчато-регулируемые передачи», Ярославль, 1978, с.61-67.
7. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н. Анализ кинематических и силовых соотношений при качении колеса по жесткому основанию. - Механика машин, М., Наука, 1980, вып.57, с.101-105.
8. Евграфов В.Н. Исследование влияния рабочих качеств колесного движителя на некоторые технические показатели автопоезда. - Автореферат диссертации на соискание уч.ст. к.т.н., М., МАМИ, 1979.
9. Евграфов В.Н., Московкин В.В., Петрушов В.А., Стригин И.А. Геометрические и кинематические параметры колеса и его сопротивление качению. - Автомоб. промыш., 1982, №8, с.16-17.
10. Мамаев А.Н. Влияние конструктивных параметров эластичных колес на величину их прогиба и размеры площадки контакта с жестким основанием. - Межвуз. сб. научных трудов «Безопасность и надежность автомобиля». - М., МАМИ, 1982, с.203-211.
11. Мамаев А.Н., Алепин Е.А. Определение размеров площадки контакта и прогиба колеса с резиновой шиной при статическом прижатии колеса к жесткому основанию. - Сб. научных трудов «Машиноведение», Челябинск, 1980, №251, с.82-85.
12. Никитин В.С. Влияние нагрузочных режимов колес на тяговые показатели и износ шин трактора колеса. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н., М., МГМИ, 1989.
13. Мамаев А.Н. Об определении коэффициента гистерезисных потерь высокоэластичных тел качения. - М., НИИНавтопром, 1982, №779, ап-Д82.
14. Алешина М.О., Вуколова Г.С., Мамаев А.Н. Влияние вида принимаемого распределения нормальных давлений в контакте колеса с жестким основанием на расчетные силовые параметры колеса. Депон. в НИИЭИавтопром, №36-ап00 от 03.04.2000 г.
15. Мамаев А.Н. Определение коэффициента тангенциальной эластичности колеса с тороидальной формой беговой дорожки. - Изв. ВУЗов, Машиностроение, 1982, № 10.

Совершенствование экологических качеств транспортного дизеля применением средств физико-химического воздействия на процессы рабочего цикла

д.т.н. проф. Фомин В.М., Хергеледжи М.В., Атраш Р.

Университет машиностроения
mixelichDM@mail.ru, hergheledji@mail.ru

Предложен метод совершенствования экологических характеристик дизеля на основе применения биологического и водородосодержащего соединений в качестве средств физико-химической активации процессов рабочего цикла.

Ключевые слова: дизель, выбросы вредных веществ, водород, физико-химический реагент.

Проблема экологической безопасности неуклонно растущего транспортного комплекса обуславливает необходимость внедрения новых методов и перспективных технологий,

обеспечивающих выполнение все более ужесточающихся нормативных требований по выбросам вредных веществ (ВВ) с отработавшими газами (ОГ) транспортными двигателями внутреннего сгорания (ДВС). К наиболее перспективным направлениям повсеместно относят развитие методов дальнейшего совершенствования процессов рабочего цикла ДВС. В связи с тем, что реализация традиционных методов часто сопряжена с повышенными финансовыми и технологическими затратами, основной удельный вес перемещается в область поиска альтернативных решений, в частности, основанных на использовании средств реакционно-химического управления этими процессами. При этом предполагается, что экологическая чистота рабочего процесса двигателя должна быть обеспечена при одновременном улучшении его топливной экономичности, что трудно осуществимо при использовании других методов.

В качестве одного из таких эффективных средств являются биологические соединения, производимые из растительных масел, которые в настоящее время находят широкое распространение в транспортной энергетике как заменители традиционных моторных топлив. При этом, учитывая сложный характер влияния доли добавленного к базовому топливу биологического средства на эколого-экономические показатели дизеля, задача выбора оптимальной его добавки для конкретного двигателя должна ставиться как оптимизационная.

Другим эффективным средством, улучшающим кинетические и экологические качества процесса сгорания углеводородного топлива, является водород, высокая эффективность водорода как химического активатора горения (реагента) подтверждена данными многочисленных экспериментов [1]. Однако, массовое использование водорода в дизелях в качестве химического активатора сдерживается отсутствием инфраструктуры его производства и распределения, высокой стоимостью, низким уровнем эксплуатационной безопасности. Экономически оправданный и безопасный способ, предложенный в данной работе, предусматривает аккумулярование (хранение) водорода на борту транспортного средства в химически связанном состоянии в виде жидкого соединения (метанола) [1]. Для синтеза водородосодержащего продукта (с содержанием H_2 65% об.) используется бортовая система с термокаталитическим реактором конверсии метанола. Необходимые температурные условия для организации конверсионного процесса в реакторе обеспечиваются за счет использования тепловой энергии ОГ [1].

Априори предполагается, что удачно скоординированное воздействие на параметры процессов рабочего цикла дизеля одновременно двух физико-химических факторов, один из которых привнесен применением оптимизированной добавкой к дизельному топливу биологического средства, а другой – применением синтезированного водородосодержащего газа, предопределяет возможность совокупного решения проблемы совершенствования экологических качеств ДВС. Ниже излагается вариант метода для такого решения.

Так как указанные выше средства активации по своим реакционным свойствам способны обеспечить необходимую индивидуальную направленность (избирательную способность) и эффективность воздействия на процессы рабочего цикла двигателя, они могут рассматриваться как химические реагенты.

Смысловое понятие «*водородный физико-химический реагент*» следует интерпретировать с учетом функциональных свойств, которые он проявляет в процессах, лежащих в основе организации рабочего цикла двигателя. Если добавка водорода значительная и по энергетическому эквиваленту соизмерима с основным топливом, то водород как *энергоноситель* выступает в роли самостоятельного (энергетически равноправного) компонента смесового топлива. Однако в этом случае приходится учитывать, что повышаются уровни температуры и максимального давления сгорания, скорость его изменения в рабочем цикле двигателя, возрастает эмиссия оксидов азота NO_x .

Другой характер приобретает процесс сгорания, если строго дозированная незначительная по массе присадка к рабочему телу водорода как *химического реагента* оптимизирована и согласована по условию предельно возможного снижения эмиссии ВВ.

Заметим, что здесь речь идет не как о физическом понимании *добавка* к топливу, а как

о химическом определении *присадки* (обладающей реакционным свойством) к реагирующей среде. В этом случае влияние водородного реагента, как источника активных центров, проявляется главным образом в механизме химической кинетики образования ВВ. В итоге эмиссия ВВ уменьшается практически без повышения исходных максимальных уровней температуры и давления в рабочем цикле двигателя. Количественная доля дозированной присадки водорода к рабочему телу двигателя, обуславливающая его свойства как химического реагента, установлена результатами исследования, приведенными ниже.

Термин «*биологический физико-химический реагент*» определяет биологическую добавку к рабочему телу дизеля, обладающую совокупной способностью проявлять свои свойства в физических и химических актах реагирования углеводородной среды. В нашем случае добавка биологического компонента достаточно большая и по энергетическому эквиваленту соизмерима с базовым топливом. При этом биологическая добавка к топливу как *энергосиловик* выступает в роли самостоятельного (энергетически равноправного) компонента топлива, которое в данном случае можно рассматривать как бинарное или двухкомпонентное.

Свойства биологического компонента как физического реагента обусловлены такими его показателями как плотность, динамическая вязкость и поверхностное натяжение, которые в значительной мере определяют физические качества процесса смесеобразования, а, следовательно, рабочего цикла в целом.

В то же время добавление к базовому углеводородному топливу кислородосодержащего биологического компонента (как «поставщика» дополнительного кислорода) способствует изменению не только физических, но и химических свойств горючей смеси, что сказывается на ее кинетических характеристиках сгорания (повышении скоростей окислительных реакций углеводородов и продуктов их неполного сгорания в присутствии избыточного кислорода). В этом смысле биологический компонент можно рассматривать как средство изменения реакционной способности реагирующей среды, что очевидно является одним из характерных свойств, проявляемых химическими реагентами. Таким образом, сказанное выше позволяет интерпретировать биологическую добавку к топливу как средство, обладающее совокупной способностью физических и химических воздействий на процессы рабочего цикла двигателя.

Одним из важнейших целевых задач при обосновании предлагаемого метода является задача выбора оптимального количественного соотношения доз физико-химических реагентов, вводимых в рабочее тело дизеля, по условию предельно возможного улучшения его экологических качеств.

Общеизвестно [2], что применение биологических добавок к базовому топливу во многом решает задачи, связанные с удовлетворением современных нормативных требований к дизелям. Однако, учитывая сложный характер влияния этих добавок на процессы рабочего цикла основная задача оптимизации должна быть увязана с эффективностью рабочего цикла данного дизеля, а также с нормируемыми экологическими показателями ОГ двигателя.

Методы оптимизации компонентного состава биоуглеводородных бинарных топлив подробно рассмотрены в работе [2]. В данном исследовании разработка комплекса технических средств, реализующих предлагаемый метод, адаптируется к дизелям транспортных средств категории «Т». В данной работе в качестве объекта исследования выбран тракторный дизель 4Ч 10,5/12 (Д-144) транспортного средства категории «Т», и выбор оптимального содержания биологического компонента в составе бинарного топлива проводился именно для данного дизеля с учетом известных его эколого-экономических характеристик.

Ранее было установлено [2], что для данного дизеля оптимальному варианту отвечает содержание биологического компонента в составе бинарного топлива в диапазоне 35...45%. Исходя из этого, в процессе разработки предложенного метода было принято среднее значение этого диапазона, соответствующее 40% содержанию биологического компонента в смеси топлива.

Однако, как было установлено ранее [2], добавление оптимизированной биологической составляющей к дизельному топливу, хотя и решает проблему снижения выбросов ВВ по це-

лomu ряду нормируемых компонентов ОГ (CO , CH и ДЧ), однако не решает проблему в полном объеме, в частности, важную проблемную задачу, связанную с повышенной эмиссии оксидов азота. Отсюда становится очевидной целесообразность применения водородосодержащего реагента как высокоэффективного реакционного средства для комплексного решения всех целевых задач данного исследования.

Ранее проведенными исследованиями [1] установлено, что оптимальная присадка водорода как химического реагента к горючей смеси по условию максимального снижения эмиссии ВВ должна соответствовать (по энергетическому эквиваленту) 1,6...1,8% от химической энергии основного топлива (~0,6% по массовому показателю). Данные были получены при испытаниях двигателей, работающих на углеводородных топливах. Учитывая то, что в компонентном составе топлива при добавлении к нему биологического продукта доля углеводородной составляющей превалирует (60%), то в первом приближении можно допустить проявление реагентом подобного эффекта и в отношении ко всему смесевому топливу. Подтверждением этому может служить известное из теории катализа положение, что химическая реакция окисления (сгорания) *любого вида топлива* может быть инициирована с помощью средств химической активации. Таким образом, можно предположить, что подобное активирующее воздействие водородного реагента распространится и на биологическую составляющую бинарного топлива.

Однако при этом следует учитывать, что химическая энергия (теплота сгорания) используемого в нашем исследовании бинарного топлива ниже углеводородного (дизельного) топлива и составляет 40,4 МДж/кг. Поэтому количество присадки продуктов конверсии метанола (ПКМ) по водороду для бинарного топлива уменьшалось с учетом отличия в показателях его теплоты сгорания и дизельного топлива. В окончательном виде оптимальная доза присадки водородного реагента для бинарного топлива была уточнена опытным путем и соответствовала 0,65% масс. С учетом указанных выше соображений и известных экологических и топливно-экономических характеристик исследуемого дизеля установлен алгоритм управления расходом водородного компонента, содержащегося в ПКМ, через систему питания ДВС по условию максимального снижения эмиссии ВВ, а также функциональные параметры реактора конверсии метанола как генератора водородосодержащего химического реагента.

Как следует из рассмотренного выше, предлагаемый метод в своей основе направлен на поиск не требующего серьезных технологических затрат, но эффективного метода решения обозначенных целевых задач данного исследования. Метод базируется на двух основных положениях, которые в общем виде могут быть сформулированы следующим образом:

1. Добавка биологического компонента к базовому топливу является эффективным физико-химическим средством улучшения экологических качеств дизеля. Достижение предельно возможного улучшения этих качеств возможно при условии оптимального добавления биологического компонента к базовому топливу с учетом конкретного способа организации рабочего процесса дизеля.
2. Одной из сопутствующих проблемных задач, возникающей при использовании биологических продуктов в качестве средств физико-химического совершенствования рабочего цикла дизеля, является повышение эмиссии оксидов азота, без успешного решения которой эффективная реализация предлагаемой концепции представляется проблематичной. С целью снижения эмиссии с ОГ оксидов азота в состав рабочего тела дизеля дополнительно вводится строго дозированная порция водородосодержащего химического реагента. Благодаря применению этого реагента дополнительно прогнозируется также повышение эффективности использования энергии топлива.

Таким образом, концепция предлагаемого метода отображает скоординированное и совокупное воздействие на процессы рабочего цикла дизеля одновременно двух физико-химических факторов, один из которых привнесен оптимизированной биологической добавкой к базовому топливу, а другой – применением строго дозированной присадкой к горючей смеси водородосодержащего химического реагента.

Совместное с биологической добавкой использование высокоэффективного водородного реагента, следует рассматривать как один из вариантов решения ряда проблемных вопросов, приносимых этой добавкой. В данном случае водородный реагент выполняет функции активирующего средства, которое дополняет уровень повышения экологические качества дизеля, реализуемый применением биологического реагента, обеспечивая при этом возможность решения характерных проблемных задач, возникающих при этом.

В качестве биологического реагента используется метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ), а в качестве химического реагента - водородосодержащие продукты, генерируемые в бортовом реакторе на основе конверсии метанола.

При формировании системы технических средств, реализующих концепцию предлагаемого метода, были использованы хорошо зарекомендовавшие в исследовательской практике уже известные технологии изготовления бортовых генераторов водородосодержащего продукта. Эти технологии, разработанные в ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» и МГМУ (МАМИ), были усовершенствованы в последнее время с использованием результатов исследований, проведенных в рамках совместного сотрудничества в Институте катализа РАН и на Уральском химическом комбинате [1].

Для проверки эффективности предложенного метода проведена экспериментальная апробация на испытательном стенде с дизелем типа 4Ч 10,5/12,

Программа испытаний строилась в русле стандартного регламента 8-режимного испытательного цикла Правил ЕЭК ООН № 96 для дизелей транспортных средств категории «Т» [3].

Установлено, что средне интегральные за испытательный цикл удельные выбросы нормируемых компонентов ОГ (CO , CH и $ДЧ$) для дизеля 4Ч 10,5/12 при его переводе на работу на бинарном топливе с оптимизированным компонентным составом (60% дизельного топлива + 40% МЭРМ) были снижены (рисунок 1). Однако при этом выбросы оксидов азота, как и ожидалось, возрастали по отношению к исходному варианту (работа на дизельном топливе), который для наглядности на диаграмме рисунка 1 принят в качестве базового.

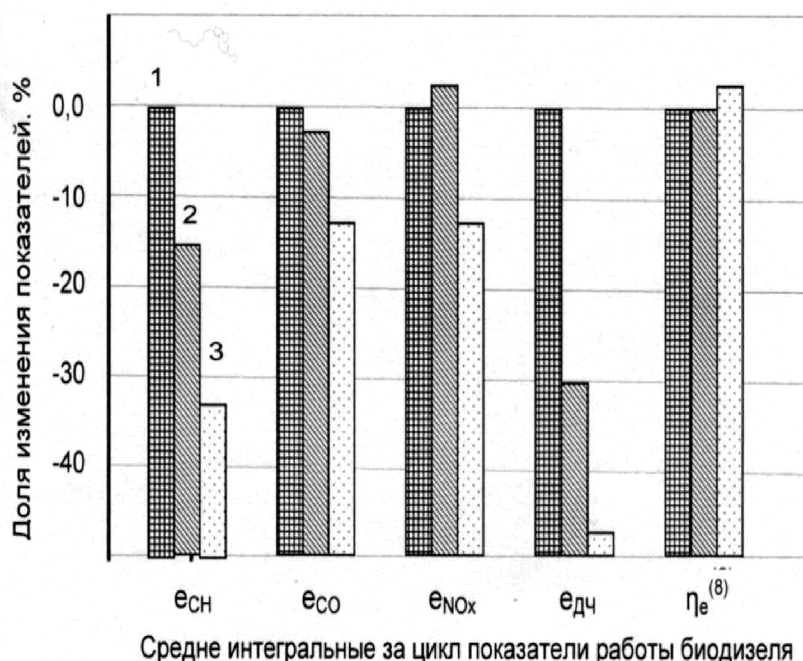


Рисунок 1 – Влияние оптимизированной добавки МЭРМ к дизельному топливу и присадки водородного реагента на средне интегральные за испытательный цикл удельные массовые выбросы нормируемых компонентов ОГ (CO , CH и $ДЧ$) и интегральный эффективный КПД дизеля при его работе по регламенту испытательного цикла Правил R96 ЕЭК ООН: 1 – дизельное топливо; 2 – смесевое топливо; 3 - смесевое топливо + H_2 -реагент

При работе дизеля на том же бинарном топливе с присадкой водородосодержащего реагента к рабочему телу средне интегральные за цикл удельные массовые выбросы по сравнению с исходным вариантом уменьшились: для монооксида углерода на 11,2%, для углеводородов на 32,8%, для дисперсных частиц на 48%, (рисунок 1). При этом выбросы NOx оказались ниже уровня выбросов этого компонента ОГ не только для дизеля, работающего на смесевом биоуглеводородном топливе, но и для его исходного варианта (на 11,9%).

Средне интегральный за цикл удельный эффективный расход топлива увеличился на 1,3% вследствие более низкой теплоты сгорания бинарного топлива по сравнению с углеводородным (дизельным) топливом. Однако эффективность использования энергии этого топлива возросла, о чем свидетельствует повышение результирующего за испытательный цикл эффективного КПД $\eta_e^{(8)}$ на 3,5%.

Таким образом, становится очевидной целесообразность скоординированного и совокупного воздействия на показатели работы дизеля одновременно двух факторов: оптимизация компонентного состава смесевого топлива и применение химического реагента, а, следовательно, эффективность предложенного метода в целом.

С учетом данных проведенного исследования можно утверждать, что предложенный метод совершенствования экологических качеств транспортного дизеля и комплекс физико-химических средств его реализующий может быть направлен на разработку новых типов рабочего процесса дизелей, а также модификацию уже существующих.

Литература

1. Фомин В.М. Системы химического воздействия на параметры рабочего процесса дизеля. // Тракторы и сельскохозяйственные машины.-2003. № 10. с. 11-15.
2. Фомин В.М., Атраш Р. Разработка бинарных топлив на основе биоуглеводородных композиций оптимизированного компонентного состава для энергетических установок транспортных средств. // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4(28).
3. ГОСТ Р 41.96 – 2005 (Правила ЕЭК ООН №96) Единообразные предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной техники, в отношении выброса вредных веществ этими двигателями. Введ. 2008.01.01. Издание офиц. М.: Стандарт информ,- 2005. 108 с.