

# ВОДОТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ЗАО "НПО "Аркон":  
**Николай Николаевич Коленко**, генеральный директор  
**Юрий Иванович Духанин**, ведущий научный сотрудник

*Исследования в области усовершенствования производства и применения углеводородных топлив давно и интенсивно проводятся во всем мире. Среди множества вариантов решения этой задачи, включая разработку новых типов двигателей и перехода на альтернативные виды топлива, одним из перспективных направлений является использование водосодержащих топлив в виде топливных эмульсий (ВТЭ).*

Идея использовать воду для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) возникла более 100 лет назад, если вести отсчет от первого патента на применение воды в двигателях, полученного Н. Отто, создателем цикла поршневого двигателя с принудительным воспламенением. В 20-е годы прошлого века воду в поршневые двигатели вводил знаменитый инженер Гарри Рикардо, в 30-х тракторы с карбюраторными двигателями прекрасно работали на водокеросиновых смесях, при этом в карбюраторах были выполнены две камеры: одна - для подачи топлива, другая - для подачи воды. В 40-50-х годах известный советский конструктор академик А.А. Микулин исследовал впрыск воды в авиационные моторы, а д.т.н. И.Л. Варшавский создал уникальную по тем временам методику, в которой показал, что антидетонационный эффект водной добавки связан не только со снижением температуры рабочего процесса, но и с непосредственным участием воды в процессе горения в цилиндре двигателя. Начиная с середины 70-х годов на высоком научном уровне проводятся работы по способам получения и применения ВТЭ, комплексной стендовой отработке применения ВТЭ для различных типов двигателей и практического внедрения полученных результатов в Днепропетровском национальном университете, Тамбовском государственном техническом университете, Новосибирской государственной академии водного транспорта и в Санкт-Петербургском государственном технологическом институте в содружестве с Военной академией тыла и транспорта (ВАТТ) и Балтийским морским пароходством.

В результате проведения большого объема многолетних научных разработок, экспериментальных исследований и анализа материалов практической эксплуатации установлено, что вода в качестве добавки к топливу позволяет:

- увеличить детонационную стойкость, особенно низкооктановых моторных топлив;
- уменьшить до 10 % удельный расход топлива на отдельных режимах работы двигателя;
- повысить долговечность работы и продлить срок службы двигателей, прошедших немалый срок эксплуатации;
- снизить концентрацию токсичных составляющих в выхлопных газах и обеспечить выполнение действующих норм (Федеральный закон РФ "Об охране атмосферного воздуха №96-ФЗ от 04.05.1999г. в редакции закона № 331-ФЗ от 21.11.2011г. и Правила ЕЭК ООН №49) не только двигателей, поставленных на производство начиная с 2000 года, но и двигателей, находящихся в эксплуатации, без оснащения их систем газораспределения каталитическими нейтрализаторами.

Для иллюстрации сказанного можно привести два примера. Так, испытания двигателя Камаз-740, выполненные в Санкт-Петербурге в Военной академии тыла и транспорта, показали, что оптимальная концентрация воды в ВТЭ, обеспечивающая наименьший выброс вредных продуктов с отработавшими газами и лучшие топливно-мощностные показатели, находится в пределах 10...20 %. Так, содержание токсичных веществ в отработавших газах уменьшилось: по СО на 17...18 %, по NO<sub>x</sub> на 40...70 %, а дымность снизилась в 3...4 раза.

Схожие результаты получены при комплексных стендовых испытаниях двигателя ЯМЗ-238 на эмульсии состава: дизельное топливо Л-0,2-40 ГОСТ 305-82 - 79 %, вода - 20 %, ПАВ-АМДМ-0,8.. - 1 %. Стендовые испытания проводились на скоростном и нагрузочном режимах работы двигателя и были организованы на базе Государственного технологического института в Санкт-Петербурге. Все перечисленные выше преимущества объясняются тем, что водотопливная эмульсия является особым видом топлива, качественно и количественно изменяющего процесс горения. Содержащиеся в топливе высокодисперсные частицы водной фазы при прогреве в цилиндре превращаются в паровые пузырьки, мгновенно дробящие топливные капли на мельчайшие частицы, которые быстрее прогреваются и интенсивнее взаимодействуют вначале с кислородом, образующимся в результате диссоциации воды, воспламеняются и, перемешиваясь с кислородом воздушного заряда, ускоренно сгорают.

Благодаря более полному и ускоренному сгоранию топлива, постоянной газификации отложений углерода детали цилиндропоршневой группы и газораспределительного тракта не загрязняются продуктами сгорания, меньше подвержены абразивному износу.

Подача воды в двигатель может быть осуществлена тремя способами:

- в виде жидкости непосредственно в цилиндр или карбюратор;
- в виде паровоздушной смеси во впускной коллектор отдельно от топлива;
- в виде водотопливной эмульсии.

Впрыск воды в цилиндр реализовать непросто, хотя первые эксперименты в 20-х годах с водой проделали именно с впрыском воды в зону выпускного клапана.

Подача паровоздушной смеси в зону впускного коллектора может быть реализована, например, путем предварительного испарения воды теплом выхлопных газов. Первые два способа не получили практического развития из-за необходимости создания двойной системы питания со специальным оборудованием, а также значительной неравномерностью распределения воды по цилиндрам.

Поэтому третий способ представляется наиболее простым и перспективным, так как применение заранее подготовленной эмульсии позволяло бы эти трудности обойти. Известно, что водотопливные эмульсии - это метастабильные жидкости, состоящие из воды и топлива, при этом длительность их метастабильного состояния зависит от третьего вещества - эмульгатора. Но подбор именно этого вещества оказался с технической точки зрения намного сложнее инженерных проблем, возникающих при использовании обычной воды.

В последнее время широкое применение в качестве эмульгаторов нашли поверхностно-активные вещества (ПАВ) на основе олеиновой кислоты и ее солей, позволяющие получить относительно устойчивые эмульсии. Трудности, возникающие при создании устойчивых водотопливных эмульсий, связаны не только с подбором эмульгаторов. Необходимо также выполнить целый набор требований, предъявляемых к моторному топливу. Во-первых, эмульгатор в эмульсии должен быть как можно меньше. Так, например, наличие 0,5 % ПАВ может вызвать усиленное образование нагара в камере

сгорания, перебой в работе двигателя. Во-вторых, эмульгаторы и продукты их распада не должны быть токсичными и коррозионноактивными, не должны снижать детонационную стойкость топлива. Все эти дополнительные требования усложняют задачу создания водотопливных эмульсий, устойчивых достаточно долгое время.

В последнее время появилось сообщение о разработке японскими исследователями из университета Канагавы нового суперэмульгированного топлива. Японские исследователи разработали процесс эмульгирования топлива при помощи гидрофильных наночастиц. Проведенные испытания суперэмульгированного дизельного топлива на 30-тонном грузовике показали сокращение выбросов вредных веществ и снижение расхода топлива на 10...15 %. При этом испытывались два типа водно-дизельной смеси: с содержанием воды 30 и 35 %. Следует отметить, что снижение стоимости такого эмульгатора не менее сложная задача, чем его получение. Поэтому сейчас делаются попытки изготовления водотопливных эмульсий непосредственно как на стационарных, так и транспортных дизельных силовых установках с разработкой в последних случаях бортовых диспергаторов. Но и в этих случаях для устойчивости эмульсии продолжают вводить эмульгаторы, хотя и в меньшем количестве.

Проведя широкий поиск и анализ патентной и технической информации специалисты научно-производственного предприятия "Аркон" разработали водотопливную систему для стационарных и транспортных дизельных энергетических установок мощностью от 50 до 500 л.с. с получением эмульсии без использования эмульгатора непосредственно на самой установке. При этом конструктивные изменения в штатную топливную систему не вносились. Выбор двигателя, работающего по циклу Дизеля, основывается на:

- мировом росте производства дизельных двигателей для судов, тепловозов, тракторов и автомобилей;

- возможности применения в установке получения ВТЭ идентичных топливных насосов, применяемых в дизельных топливных системах;

- использовании для улучшения качества (дисперсности) ВТЭ ударных волновых процессов, возникающих в трубопроводе от насосной секции к форсунке при подаче топлива под давлением.

Для реализации этого направления в НПО "Аркон" была разработана программа, состоящая из трех этапов:

- на первом этапе предусматривалось создание специализированного стенда для проверки и отработки схемно-технологических и конструктивных разработок;

- на втором этапе - создание первого образца установки получения ВТЭ для грузового автомобиля (МАЗ 54329-20 мощностью 240 л.с. и проведение комплексных стендовых испытаний;

- на третьем этапе - дорожные пробеговые испытания на борту автомобиля.

В 2008 - 2009 гг. на предприятии "Аркон" была организована проблемная лаборатория и создан стенд для испытания оборудования получения ВТЭ, проведения режимных испытаний установки совместно с дизельным двигателем. На рис. 1 отражена схема стендовой системы получения и разделения ВТЭ, а ниже приводится состав стенда.

В состав стенда входят:

1 - установка получения ВТЭ;

2 - дизель-генератор "Хонда"  $N = 3$  кВт с щитом контроля и тепловой нагрузкой;

3 - мерный участок с обратным электромагнитным клапаном, управляемым от реле времени;

4 - сепаратор  $E2$   $V = 20$  л с коллектором;

5 - мензурка  $V = 2$  л с водой;

6 - мензурки  $V = 0,25...2$  л для замера расхода дизельного топлива и замера расхода и концентрации воды в составе ВТЭ.

Непосредственно в состав установки получения ВТЭ входят:

- емкость  $E1$   $V = 20$  л для дизельного топлива;

- топливный насос высокого давления  $H1$  с подкачивающим насосом;

- диспергатор  $D1$  эжекторного типа.

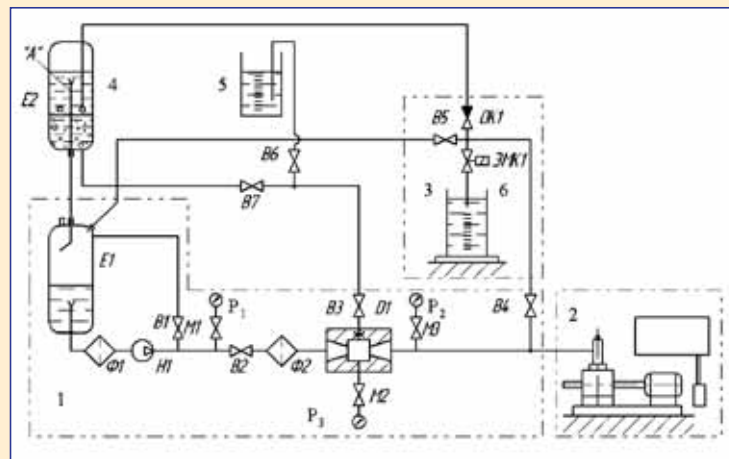


Рис. 1. Схема стендовой системы получения и разделения ВТЭ

Кроме того в состав установки входит запорная и манометровая арматура и приборы контроля давления.

Основные результаты режимных испытаний стендовой установки отражены на рис. 2.

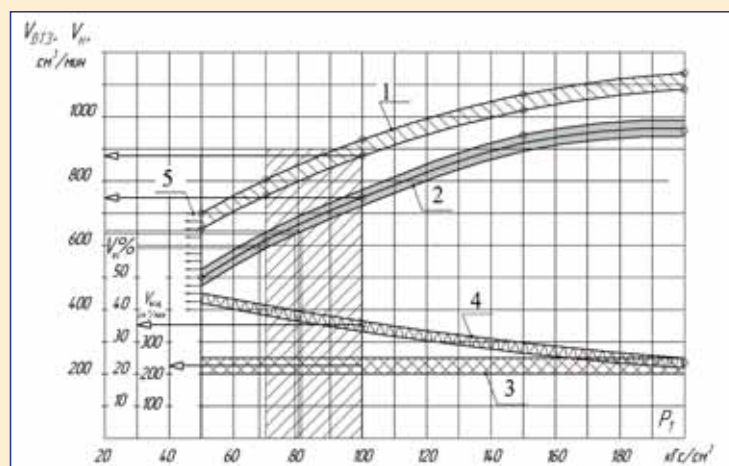


Рис. 2. Зависимость изменения  $V_{ВТЭ}$ ,  $V_H$ ,  $V_{oc}$  от давления  $P_1$  при геометрических параметрах диспергатора:  $d_{AT} = 0,3$  мм,  $d_{с.вод} = 0,7$  мм,  $d_{с.к} = 0,8...1,0$  и расход воды  $V_{вод}$  при стабильном давлении в рабочей камере диспергатора  $P_b = 0,1...0,05$  кгс/см<sup>2</sup>

На представленных графиках показаны:

1 - расход ВТЭ ( $V_{ВТЭ}$ ) через диспергатор в зависимости от давления  $P_1$  на входе в диспергатор;

2 - расход ( $V_H$ ) дизельного топлива через диспергатор в зависимости от давления  $P_1$  на входе в диспергатор;

3 - расход воды ( $V_{вод}$ ), подаваемой в диспергатор при стабильном давлении в рабочей камере  $P_b = 0,1...0,05$  кгс/см<sup>2</sup> (абс.);

4 - объемная концентрация воды в составе ВТЭ ( $V_{oc}$ ) в %;

5 - критическое давление на входе в диспергатор, уменьшение которого приводит к нарушению устойчивого режима работы диспергатора.

Большой объем проведенных экспериментов подтвердил правильность технических принципов, заложенных в технологический процесс получения ВТЭ без эмульгатора, а сконструированное оборудование обеспечило устойчивую работу дизель-генератора "Хонда" в нагрузочном режиме при концентрации воды в диапазоне от 5 до 30 %. Сбой в работе дизель-генератора происходил при повышении концентрации воды в составе ВТЭ с 35 до 40 %.

В процессе стендовых испытаний была решена противоречивая задача. С одной стороны необходимо было получить мелкодисперсную эмульсию, время жизни которой достаточно, чтобы произошел ее впрыск в цилиндр двигателя и возгорание, но с другой стороны - минимизировать время расслоения на воду и топливо той части ВТЭ, которая возвращается в установку из циркуляционного контура после отбора из него расхода на дизель, зависящего от его режима работы. Первое качество было достигнуто благодаря

разработки в конструкции диспергатора камеры смешения с волновым внутренним профилем на определенной длине, что обеспечило существование эмульсии в мелкодисперсной форме в интервале от 40 до 60 с. Эффективное расслоение возвращаемой ВТЭ было найдено после испытания ряда конструкций одно-, двух- и трехступенчатых сепараторов и порядка десятка конструкций коллекторов. В результате испытаний была доведена конструкция одноступенчатого сепаратора, из которой при поступлении ВТЭ с концентрацией воды 20% удается отвести топливо из сепаратора с концентрацией воды 0,3...0,5%.

Накопленный в процессе испытаний исследовательский и конструкторский опыт позволили сформулировать главные технические требования, которые легли в основу разработки опытной водотопливной системы для стационарных и транспортных силовых энергетических дизельных установок мощностью от 50 до 500 л.с., а именно:

- водотопливная система должна быть автономной и встроена в штатную топливную систему с сохранением ее полной работоспособности при отключении первой;
- работа водотопливной системы может быть осуществлена как в ручном, так и в автоматическом режимах, при этом при отказе системы или по команде оператора или водителя должен быть произведен автоматический переход работы дизельной установки от штатной системы питания;
- в штатный бак с дизельным топливом не должна попадать ВТЭ;
- время работы водотопливной системы - 12 часов в смену;
- система должна обеспечить возможность изменения настройки получения концентрации воды в составе ВТЭ в диапазоне от 5 до 35% без постоянного контроля состава ВТЭ;
- потребляемая мощность не должна быть более 500 Вт. Питание оборудования системы для стационарного варианта от источника 220/380 В,  $f = 50$  Гц, для транспортного варианта от источника  $V = 24$  В;
- оборудование системы должно быть выполнено в виде агрегатов, удобных для монтажа и эксплуатации;
- первая опытная водотопливная система должна работать только при положительных температурах.

Принципиальная схема опытного образца водотопливной системы представлена на рис. 3.

Топливная система включает установку получения водотопливной эмульсии в составе: бака для подачи воды 1, бака для топлива 2, последовательно сообщенные и образующие циркуляционный контур плунжерный насос высокого давления 3, эжектор 4 с приемной камерой и камерой смешения, подключенной непосредственно к коллектору 5 насоса двигателя (на схеме насос двигателя не показан), и сепаратора инерционного типа 6 с регулятором уровня топлива 7, регулятором уровня воды 8 и коллектором 9, установленным в зоне разделения воды и топлива, а также тремя входами, один из которых трубопроводом связан с баком для воды 1, второй - с топливным баком 2, а третий

- с коллектором 9 и линией возврата эмульсии от коллектора 5 насоса двигателя, при этом на линии возврата эмульсии установлен сигнализатор давления 10 и регулятор давления 11, а из двух выходов сепаратора 6 один трубопроводом подключен ко всасу плунжерного насоса 3, а второй - к приемной камере эжектора 4 с помощью трубопровода, на котором установлен электромагнитный клапан 12 и дюза 13. Дополнительно система снабжена контуром циркуляции топлива в составе: топливного насоса низкого давления 14, подключенного трубопроводом к баку для топлива 2 и напорным трубопроводом с электромагнитным клапаном 15 к коллектору 5 насоса двигателя, и трубопровода возврата топлива из коллектора 5 насоса двигателя в бак для топлива 2, при этом на трубопроводе возврата топлива установлены регулятор давления 16 и электромагнитный клапан 17, а также байпасным трубопроводом с регулятором давления 18, подключенным к баку для топлива 2 и напорному трубопроводу, и трубопроводом подпитки топливом 19, соединенным с напорным трубопроводом и вторым входом сепаратора 6.

Предлагаемая топливная система двигателя внутреннего сгорания работает следующим образом.

Пуск и первоначальная работа двигателя производится путем отбора необходимой части топлива, осуществляемого насосом двигателя из коллектора 5 циркуляционного контура топлива. В этом случае топливо из бака для топлива 2 по трубопроводу поступает на всас топливного насоса 14, после которого под давлением 0,15...0,2 МПа через открытый электроклапан 15 по напорному трубопроводу поступает в коллектор 5 насоса двигателя, из которого часть топлива отбирается на насос двигателя и далее распределяется по форсункам, а остальная часть через регулятор топлива 16 и открытый электроклапан 17 по трубопроводу возвращается в бак для топлива 2.

Переход работы двигателя от установки получения водотопливной эмульсии производится по команде водителя автоматически, причем переход на альтернативное топливо совершается в три этапа. На первом этапе топливо из сепаратора 6 по трубопроводу поступает на всас плунжерного насоса 3, после которого оно под давлением 7,0...10,0 МПа направляется в эжектор 4, камера смешения которого непосредственно соединена с коллектором 5 насоса двигателя. В коллекторе 5 потоки топлива после насоса 14 и эжектора 4 соединяются. Далее суммарный поток топлива за вычетом топлива, отбираемого для работы двигателя, возвращается в бак для топлива 2, при этом расход топлива, поступающего на всас плунжерного насоса 3 из сепаратора 6 компенсируется отбором топлива после насоса 14, поступающего по трубопроводу на вход сепаратора 6 и далее через регулятор уровня топлива 7.

На втором этапе через 20 - 30 с после включения в работу плунжерного насоса 3 выдается команда на закрытие электромагнитных клапанов 15 и 17, в результате чего вступает в работу регуляторы давления 11 и 18, настроенные на несколько большее давление срабатывания, чем регулятор давления 16. Таким образом, на этом этапе еще продолжается работа двигателя на топливе, циркулирующем по контуру: сепаратор 6, плунжерный насос 3, эжектор 4, коллектор 5 насоса двигателя, регулятор давления 11 линии возврата, коллектора 9 сепаратора 6.

На третьем этапе работы через 20 - 40 с после закрытия электромагнитных клапанов 15 и 17 и достижения необходимого давления в коллекторе 5, фиксируемого с помощью сигнализатора давления 10, выдается команда на открытие электромагнитного клапана 12, в результате чего вода из нижней части сепаратора 6 по трубопроводу поступает в рабочую камеру эжектора 4 с необходимым для получения концентрации водотопливной эмульсии расходом, который определяется отверстием дюзы 13 и перепадом давления между сепаратором и рабочей камерой эжектора. Образующаяся в камере смешения эжектора 4 мелкодисперсная водотопливная эмульсия поступает в коллектор 5 насоса двигателя, где в зависимости от режима работы двигателя необходимая часть отбирается насосом двигателя и подается на форсунки, а избыток через

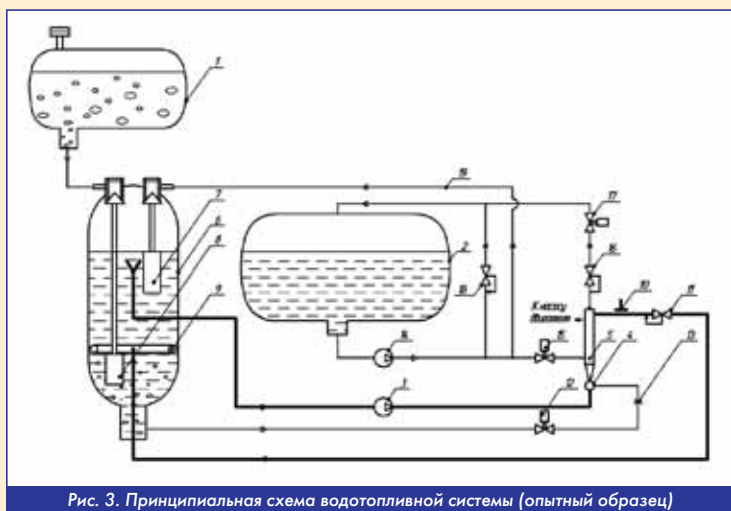


Рис. 3. Принципиальная схема водотопливной системы (опытный образец)

