

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

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

Широко известные водотопливные системы для дизельных установок [1], использующие для получения водотопливных эмульсий (ВТЭ) гидродинамический способ, обладают рядом существенных недостатков:

- необходимость создания автономной системы, включающей: насос высокого давления, диспергатор эжекторного типа, крупногабаритные сепараторы, арматуру, а также систему контроля и управления;
- трудность встраивания оборудования в штатную топливную систему дизельного двигателя;
- сложность эксплуатации, особенно в зимних условиях;
- относительно высокие энергетические затраты на получение ВТЭ и высокая стоимость системы.

Перечисленные недостатки серьезно препятствуют практическому внедрению и эксплуатации таких систем. Поэтому потребовалось найти новые нетрадиционные технические решения, которые бы позволили создать простую, надежную, дешевую систему получения ВТЭ, легко встраиваемую в любую систему впрыска дизельного двигателя и работающую в автоматическом режиме.

В 2011 - 2012 годах в проблемной лаборатории ЗАО "НПО АРКОН" были разработаны и прошли стендовые испытания две установки:

- установка получения ВТЭ с системой контроля топлива и автоматическим регулированием подачи воды;
- установка с саморегулируемой системой подачи воды.

Принципиальное отличие разработанных установок заключается в том, что для получения ВТЭ используется штатное оборудование топливной системы и физические процессы в системе впрыска [2]. Эмульсию получают в два этапа. На первом - механическое смешение и диспергирование воды и топлива в подкачивающем насосе, на втором - диспергирование смеси за счет энергии ударных волн в топливопроводе после насоса высокого давления.

Основные технические данные разработанных установок получения ВТЭ:

- содержание воды в ВТЭ - 5...30 %;
- дисперсность ВТЭ - 5...10 мкм;
- потребляемая мощность - не более 100 Вт;
- потребляемая мощность в рабочем режиме - 50 Вт;
- режим работы - автоматический;
- диапазон температуры окружающей среды от -30 до +50 °С;
- максимальный габарит определяется размерами бака для воды объемом 20...40 л;
- максимальная масса (без воды) - 10 кг;

На рис. 1 дана принципиальная схема установки получения ВТЭ с системой контроля топлива и автоматическим регулированием подачи воды. Установка состоит из:

- системы подачи топлива, куда входят топливный бак 1, датчик расхода топлива 2, подкачивающий насос 3, магистраль 4 подачи топлива с регулятором 5 поддержания постоянного давления к системе впрыска и магистраль 6 возврата топлива на вход подкачивающего насоса 3;
- системы впрыска, состоящей из насоса высокого давления 7 и магистрали высокого давления 8 к форсунке 9;
- системы подачи воды на вход подкачивающего насоса 3, включающей бак 10, насос 11 с устройством 12 регулирования производительности насоса, датчик давления 13, калиброванную дюзу 14, электромагнитный клапан 15 и магистраль 16 возврата воды в бак 10 после насоса 11 с калиброванной дюзой 17. Система подачи воды выполнена с термоизоляцией 18 и подогревом, например, посредством электронагревателя 19, установленного в баке 10 вместе с датчиками уровня 20 и температуры 21.

Для осуществления автоматической работы на всех режимах

двигателя установка снабжена управляющим контроллером 22, который подключен к датчику расхода топлива 2, устройству 12 регулирования производительности насоса 12, датчику давления 13, электромагнитному клапану 15, датчикам уровня 20 и температуры 21.

В зависимости от режима работы двигателя расход ВТЭ может изменяться в широком диапазоне при сохранении оптимального состава ВТЭ.

В предлагаемой установке режим работы двигателя, зависящий от нагрузки, контролируется по расходу топлива, постоянно измеряемому с помощью датчика 2. Регулирование количества воды в зависимости от расхода топлива для получения оптимального состава ВТЭ осуществляется за счет изменения давления воды перед калиброванными дюзами 14 и 17. Давление контролируется с помощью датчика 13. Величина давления определяется числом оборотов насоса 11, которое изменяется с помощью специального устройства 12, например, регулятора напряжения. Таким образом, каждому значению расхода топлива будет соответствовать конкретное значение давления воды после насоса 11.

Изложенный алгоритм автоматической работы реализуется с помощью управляющего контроллера 22, в котором происходит обработка сигналов, поступающих от датчиков расхода топлива 2,

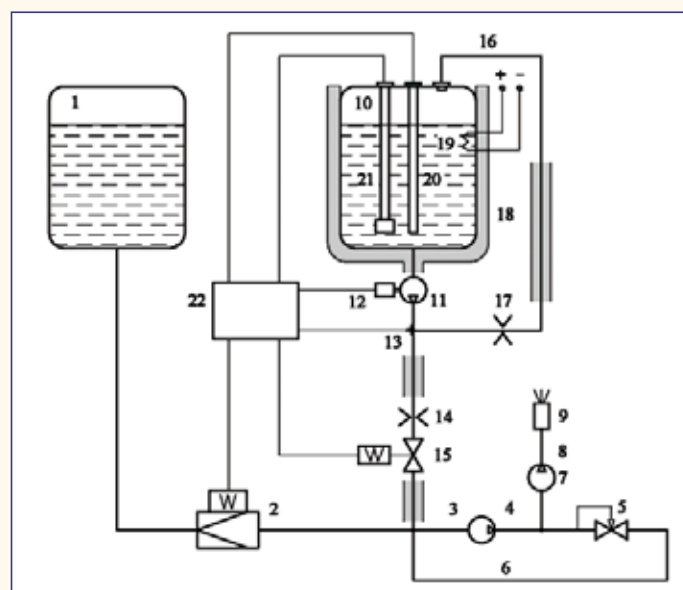


Рис. 1. Принципиальная схема установки получения ВТЭ

давления воды 13, уровня 20 и температуры 21, с выдачей соответствующих исполнительных команд на устройство 12 регулирования производительности насоса 11 и электромагнитный клапан 15.

Пуск и прогрев двигателя проводятся на топливе без подачи воды. Переход на ВТЭ осуществляется оператором и происходит в автоматическом режиме в следующей последовательности. Если сигнал от датчиков уровня 20 и температуры воды 21, установленных в баке 10 соответствуют норме, то производится пуск насоса 11. После пуска по сигналу от датчика 2 насос 11 переводится в такой режим, при котором за ним устанавливается давление, обеспечивающее требуемый расход воды через дюзю 14 для получения ВТЭ. При этом часть расхода возвращается в бак 10 через дюзю 17 по магистрали 16. За счет этого обеспечивается устойчивый режим работы насоса 11 и его охлаждение. Как отмечено выше, регулирование насоса производится по сигналу, поступающему из контроллера 22 на устройство 12 регулирования производительности насоса 11. Воздействие на регулятор 12 продолжается до тех пор, пока не установится требуемое давление воды за насосом 11, контролируемое с помощью датчика давления 13. Когда величина сигнала, поступающего от датчика 13 в контроллер 22, достигнет необходимого значения, контроллер 22 выдаст команду на прекращение работы регулятора 12. При достижении стабильного режима работы от контроллера 22 поступает команда на открытие электромагнитного клапана 15. В этом случае вода поступает на вход подкачивающего насоса 3, который выполняет функцию механического диспергатора по первоначальному смешиванию воды и топлива. После насоса 3 поток ВТЭ направляется по магистрали 4 к системе впрыска, где часть его отбирается насосом высокого давления 7, а другая часть по магистрали 6 возвращается на вход подкачивающего насоса 3 через регулятор 5 поддержания постоянного давления. По магистрали 8 ВТЭ под давлением подается на форсунку 9. В момент открытия форсунки 9 в магистрали 8 возникают ударные волны, под действием которых ВТЭ превращается в мелкодисперсную смесь и впрыскивается в цилиндр двигателя, что обеспечивает в конечном итоге полноту сгорания топлива.

Стабильный режим работы установки будет продолжаться до тех пор, пока сохранится неизменной нагрузка на двигатель. Изменение нагрузки сопровождается изменением режима работы двигателя и вызывает перестройку режима работы установки получения ВТЭ. Рост нагрузки на двигатель будет сопровождаться увеличением отбора расхода ВТЭ из магистрали 4 и снижением расхода ВТЭ по магистрали 6, на которой устанавливается регулятор 5, поддерживающий постоянное давление. Это автоматически приведет к увеличению расхода топлива к форсунке 9. При этом сигнал от датчика 2 расхода топлива поступает в управляющий контроллер 22, который выдаст команду на устройство 12 регулирования производительности, что приведет к росту производительности насоса и, следовательно, повышению давления перед калиброванными дюзами 14 и 17 и расходу воды. В тот момент, когда давление воды достигнет требуемого значения, обеспечивающего расход воды через дюзю 14 для получения оптимального состава ВТЭ, сигнал, постоянно поступающий в контроллер 22 от датчика давления 12, достигает требуемого значения и контроллер 22 выдает команду в устройство 12 на остановку процесса регулирования производительности насоса 11. Достигнутое состояние режима установки будет сохраняться до следующего момента изменения нагрузки на двигатель.

Переход двигателя на топливо без подачи воды может быть выполнен по команде оператора или автоматически, например, по команде от датчика уровня 20 при достижении его минимального значения. В этом случае производится автоматическое закрытие электромагнитного клапана 15.

Описанный алгоритм работы установки позволяет осуществить автоматическую работу установки получения ВТЭ в широком диапазоне изменения режима работы двигателя с получением и поддержанием оптимального состава ВТЭ, обеспечить работу установки в условиях низких температур. Кроме того, установка получения ВТЭ по принципу, схеме и алгоритму автоматической работы может быть встроена в любую систему впрыска современного дизельного

двигателя как с рядным топливным насосом высокого давления, так и в системах, использующих насос-форсунки либо в аккумуляторных системах впрыска.

Разработанная технология и установка могут быть использованы на моторных заводах, автотранспортных и других предприятиях, использующих дизельное топливо. Практический пример встраиваемости установки в штатную топливную систему дизельного двигателя МАЗ приведен на рис. 2.

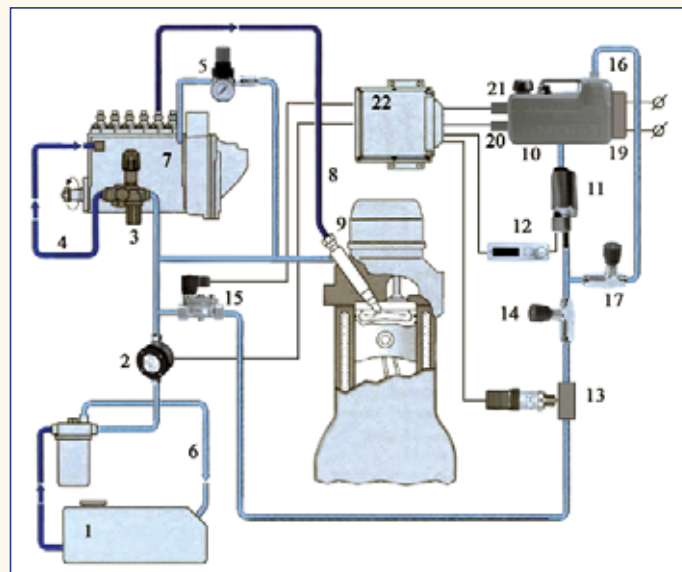


Рис. 2. Модернизированная топливная система дизельного двигателя МАЗ с автоматизированной установкой получения ВТЭ.

Штатное оборудование топливной системы дизеля: 1 - топливный бак; 2 - датчик расхода топлива; 3 - подкачивающий насос; 4 - магистраль подачи топлива к системе впрыска; 5 - регулятор давления; 6 - магистраль возврата топлива; 7 - насос высокого давления; 8 - магистраль высокого давления; 9 - форсунка.

Оборудование системы подачи воды для получения ВТЭ:

10 - водяной бак; 11 - водяной насос; 12 - регулятор производительности насоса; 13 - датчик давления воды; 14, 17 - дюзы; 15 - электромагнитный клапан; 16 - магистраль возврата воды в бак; 18 - термоизоляция; 19 - электрический водонагреватель; 20 - датчик уровня воды; 21 - датчик температуры воды; 22 - управляющий контроллер

Весьма перспективной водотопливной системой для дизельных двигателей являются системы с саморегулируемой подачей воды. На рис. 3 показана принципиальная схема такой системы, ее состав и раскрыта сущность технического решения получения ВТЭ.

Установка получения ВТЭ состоит из насоса-диспергатора 1, например, центробежного или роторного типа, трубопровода 2 подачи ВТЭ к топливоподающей системе 3 ДВС, трубопровода 4 возврата ВТЭ в насос-диспергатор 1 с установленной дюзой 5, бака 6 с топливом, подсоединенного трубопроводом 7 к насосу-диспергатору 1, бака 8 с водой, также подсоединенного к насосу-диспергатору с помощью трубопровода 9, на котором последовательно установлены запорный вентиль 10 и регулятор 11 расхода воды. При этом регулятор 11 подключен к трубопроводу 2 подачи ВТЭ к топливоподающей системе 3 посредством трубопровода 12.

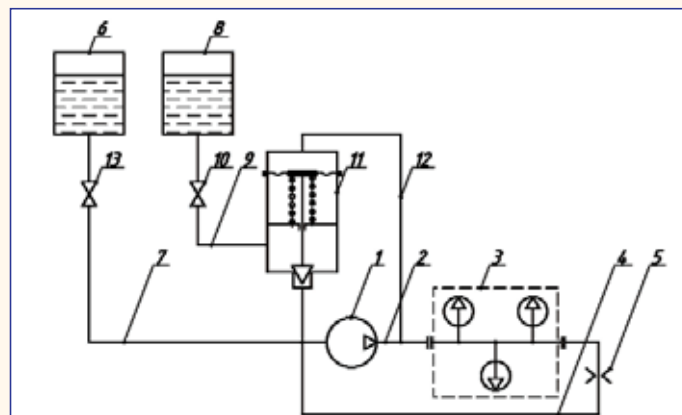
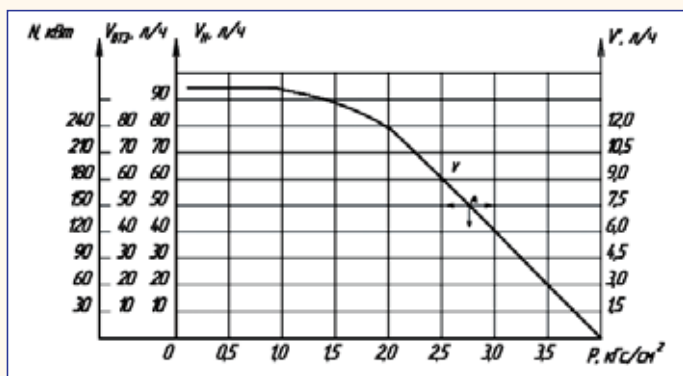


Рис. 3. Схема установки получения ВТЭ

На рис. 4 приведена кривая зависимости производительности насоса-диспергатора V_n от напора P . Здесь же дана шкала мощности двигателя N , совмещенная со шкалой расхода водотопливной эмульсии $V_{ВТЭ}$, необходимой для получения соответствующей мощности двигателя, а также шкала расход воды V , который необходим для образования ВТЭ с 15-процентным содержанием воды в составе эмульсии.



Работа установки получения ВТЭ происходит следующим образом. Эмульсия, образующаяся в насосе-диспергаторе 1 за счет механического перемешивания топлива и воды по трубопроводу 2 поступает в топливopодводящую систему 3 дизеля, где часть ВТЭ отбирается на получение требуемой мощности двигателя, а нереализованная часть ВТЭ через дюзy 5 по трубопроводу 4 возвращается на всас насоса 1. На всас насоса также поступает топливо из бака 6 по трубопроводу 7 и вода из емкости 8 по трубопроводу 9 через регулятор 11 в суммарном количестве, эквивалентном расходу ВТЭ, отобранном для работы двигателя. Все три потока интенсивно перемешиваются в насосе-диспергаторе 1, образуя ВТЭ определенного состава, который остается постоянным во всем диапазоне изменения мощностного режима двигателя.

Стабильность состава ВТЭ обеспечивается регулированием расхода воды с помощью регулятора 11, подключенного трубопроводом 12 к трубопроводу 2, при этом при расчете и отстройке регулятора 11 необходимо учитывать, что давление за насосом-диспергатором всегда будет ниже вследствие дополнительного циркуляционного расхода ВТЭ через дюзy 5. При работе двигателя на ВТЭ это необходимо для того, чтобы избежать осаждения дисперсной фазы (воды) из эмульсии при малых нагрузках, когда для поддержания работы двигателя необходим малый расход ВТЭ.

Рассмотрим на конкретном примере работу установки с двигателем номинальной мощности 180 кВт. Пусть, например, мощность двигателя в установившемся режиме составляет 150 кВт. Необходимый расход ВТЭ (в соответствии с рис. 2) будет равняться 50 л/ч. В том случае, если бы отсутствовал циркуляционный расход ВТЭ через дюзy 5, то на кривой производительности насоса-диспергатора такому расходу соответствовала бы точка А, где производительность насоса равнялась 50 л/ч, а напор, создаваемый насосом, - 2,75 кгс/см². При этом для получения ВТЭ с содержанием воды 15 %, необходимый расход воды, который должен поддерживать регулятор 11 должен составлять 7,5 л/ч. В тоже время стендовые испытания показали, что для исключения возможности выпадения воды из эмульсии циркуляционный расход ВТЭ через дюзy 5 должен быть не менее 15 % от текущего рабочего расхода, требуемого для работы двигателя. Если принять циркуляционный расход 20 % от текущего значения, то производительность насоса составит 60 л/ч, а фактический напор после насоса - 1...2,5 кгс/см², т.е. это то давление, под действием которого регулятор 11 должен поддерживать расход воды 7,5 л/ч для получения 15 % ВТЭ.

В случае снижения мощности двигателя уменьшится расход ВТЭ, отбираемый топливopодводящей системой 3. Это автоматически приведет к изменению режима работы насоса-диспергатора 1, который будет сопровождаться снижением производительности и повышением напора. Регулирующий орган регулятора 11 переместится в поло-

жение, обеспечивающее необходимое снижение подачи воды для сохранения стабильным состава эмульсии. При увеличении мощности система увеличит расход воды и автоматически установится устойчивое состояние, соответствующее новому режиму работы двигателя. Пуск, прогрев и остановка двигателя производятся на чистом топливе, при этом подача воды перекрывается вентилем 10.

Таким образом, в широком диапазоне изменения режимов работы двигателя установка получения ВТЭ позволяет получить и автоматически поддерживать заданный состав эмульсии с гарантией, исключающей ее расслоение в процессе циркуляции. Следует заметить, за счет профилирования регулирующего органа регулятора расхода воды можно получать эмульсию как разной концентрации, так и оптимального состава при работе двигателя в широком диапазоне изменения режима работы двигателя.

Рассмотренный вариант установки с прямым автоматическим регулированием расхода воды очень перспективен для двигателей мощностью более 150 кВт, где для образования ВТЭ требуется большой расход воды. Конструктивная схема поршневого регулятора расхода воды приведена на рис. 5.

Установки могут быть применены для автомобилей класса КАМАЗ, МАЗ, БЕЛАЗ, тепловых и судовых дизелей мощностью от 100 до 1000 л.с., при этом в эксплуатации обеспечиваются следующие преимущества:

- снижение до 10 % удельного расхода топлива;
- сокращение сажевыделения в цилиндрах двигателя, снижение дымности и концентрации токсичных составляющих в выхлопных газах без оснащения системы газораспуска дорогостоящими каталитическими нейтрализаторами и обеспечение действующих экологических норм;
- раскоксование отверстий форсунок, увеличение срока службы выпускных клапанов;
- высокая надежность и простота эксплуатации.

На принципиальную схему установки получения ВТЭ подана заявка в ФГУ ФИПС РФ № 20111117907.

На модернизированную топливную систему дизельного двигателя МАЗ с автоматизированной установкой получения ВТЭ получен патент № 2472028.

Литература

1. Коленко Н.Н., Духанин Ю.И. Водотопливные системы для дизельных энергетических установок. //Двигатель. - № 5. - 2012. С. 25-27.
2. Автомобильные двигатели. Под ред. М.С. Ховаха. М. Машиностроение, 1977, стр. 278-282.

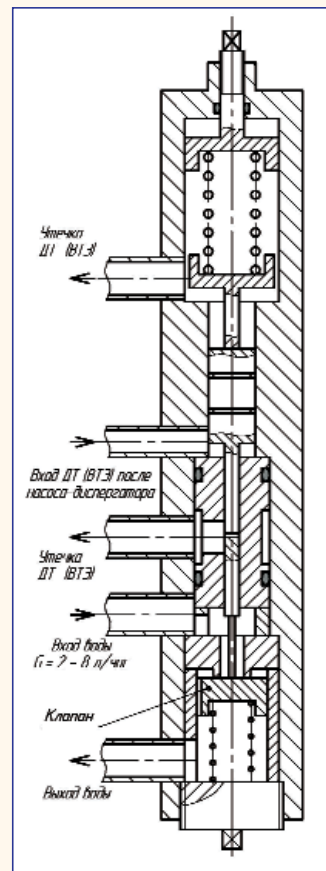


Рис. 5. Схема регулятора расхода воды

