

В. А. Рожанский, Г. М. Кухаренок

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНО-ВОДЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В БЫСТРОХОДНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Физико-химические свойства дизельного топлива зависят от многих факторов, и в частности от наличия в нем различных групп углеводородов и присадок. Оказывает влияние на свойства дизельного топлива и присутствие в нем воды.

Наличие в дизельном топливе воды ухудшает низкотемпературные свойства топлива, снижает его теплотворность, вызывает неустойчивую работу двигателя и даже его остановку.

Однако многие исследователи [1, 3] отмечали положительное влияние на процесс горения воды, равномерно распределенной в топливе.

Так, акад. Е. А. Чудаков установил, что вода участвует не только в процессах теплообмена, но и частично в процессах окисления углеводородов. В дизельных двигателях вода в топливе оказывает влияние и на качество смесеобразования.

Смеси дизельного топлива и воды, равномерно распределенной в топливе, являются эмульсиями типа вода — масло. Они обеспечивают надежное воспламенение и сгорание, а также хорошее распыливание топлива. В образующихся каплях вода находится внутри, а топливо — снаружи. Вследствие разницы в температурах кипения дизельного топлива (200—300°C) и воды (100°C) вода превращается в парообразное состояние, в то время как топливо находится еще в жидкой фазе. При этом происходит разрыв капли топлива на более мелкие части, что увеличивает поверхность испарения топлива и улучшает смешивание топлива с воздухом.

Кроме того, при сжигании топливно-водяных эмульсий сгорание будет более полным вследствие газификации сажистых осадков топлива. В результате реакции газификации выделяется свободный водород, который принимает участие в процессе горения.

Известную трудность представляет создание мелкодисперсных и стабильных эмульсий. В настоящее время существует ряд спосо-

бов приготовления эмульсий непосредственно в двигателе [2]. Однако эмульсии, полученные этими способами, нестабильны.

Для оценки эффективности использования топливно-водяных эмульсий в дизельных двигателях исследовалась работа дизеля Д-50 на эмульсиях. Изучалось также влияние на свойства эмульсии способа ее приготовления.

При проведении экспериментов эмульсии готовились заблаговременно, вне двигателя. Эмульсии готовились различными методами: путем перемешивания топлива и воды с помощью шестеренчатого насоса, с помощью ультразвукового жидкостного свистка СЖ-2 и ультразвукового генератора УЗГ-10у с магнитострикционным излучателем ПМС-6.

Для получения стабильной топливно-водяной эмульсии из дизельного топлива оказалось необходимым добавлять в нее эмульгатор — вещество, препятствующее слиянию капель воды и выпаданию их из топлива. При приготовлении эмульсий в качестве эмульгаторов использовались мазут, эмульсол Э-2, поливиниловый спирт, концентрат ОП-7, резиновый клей по ГОСТ 2199—43. Стабильность эмульсии зависела от вида эмульгатора и способа приготовления.

Эмульсии, полученные с помощью шестеренчатого насоса, были грубодисперсными и малостабильными. Распад эмульсии после ее приготовления начинался через 0,5—3 мин в зависимости от применяемого эмульгатора.

Относительно стабильные и мелкодисперсные эмульсии были получены при помощи ультразвука. Источниками ультразвуковых колебаний служили ультразвуковой жидкостный свисток и магнитострикционный преобразователь. Качество эмульсий, полученных на магнитострикционном преобразователе, было выше качества эмульсий, приготовленных с помощью свистка.

Магнитострикционный преобразователь питался от ультразвукового генератора типа УЗГ-10у.

При приготовлении эмульсии частота ультразвукового генератора настраивалась на резонансную частоту преобразователя ПМС-6, которая находилась в пределах 18—24 кгц.

Эмульсии готовили в ванне, дном которой являлась излучающая поверхность магнитостриктора ПМС-6. В ванну помещали дизельное топливо, воду и эмульгатор, после чего включали ультразвуковую установку. Продолжительность перемешивания зависела от содержания воды и в среднем составляла 2—3 мин на 1 л эмульсии.

Стабильность эмульсии зависела от содержания в ней воды и вида добавляемого эмульгатора. При добавлении в качестве эмульгатора поливинилового спирта или концентрата ОП-7 результаты получались неудовлетворительными. Хорошие результаты были получены при добавлении 10% мазута, наилучшие — при применении в качестве эмульгатора резинового клея (1%).

Чем меньше в эмульсии воды, тем более стабильна эмульсия. Так, при содержании в эмульсии воды до 20% и применении в качестве эмульгатора резинового клея (1%) ее распад начинался через 10—12 ч. При более длительном хранении эмульсии наблюдается ее расслаивание, однако после взбалтывания она возвращается в первоначальное состояние.

По своему внешнему виду и свойствам эмульсия существенно отличается от чистого дизельного топлива. Цвет водно-дизельной эмульсии белый с желтоватым оттенком. Вязкость и плотность эмульсии с увеличением содержания воды растут. Значения вязкости и плотности эмульсии, полученной на установке УЗГ-10у с добавкой 1% резинового клея, в зависимости от содержания воды представлены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание воды, %	0	5	10	15	20
Вязкость при 20°C, <i>сст</i>	3,85	4,60	5,25	6,00	6,70
Плотность при 20°C, <i>г/см³</i>	0,830	0,838	0,847	0,855	0,864

Как видно из полученных данных, вязкость эмульсии, содержащей 20% воды, возросла относительно дизельного топлива на 2,85 *сст*, или на 74%, а плотность увеличилась на 0,034 *г/см³*, или на 4,1%.

Температура вспышки эмульсии выше, чем дизельного топлива; причем с увеличением содержания воды она возрастает. Дизельное топливо марки Л (ГОСТ 305—62) имело температуру вспышки, определенную закрытым способом, равную 63°C, а 20%-ная эмульсия — 91°C.

Воспламеняемость эмульсии по сравнению с дизельным топливом также ухудшается. Период задержки воспламенения дизельного топлива, определенный на установке ИТ9-3, составил 7,3° угла поворота коленчатого вала (п. к. в.), для эмульсии, содержащей 10% воды, — 9,1° угла п. к. в.

Процесс сгорания топливно-водяных эмульсий исследовался на вихрекамерном тракторном дизеле Д-50 и одноцилиндровой установке ИТ9-3м.

Установка ИТ9-3м предназначена для определения цетанового числа дизельных топлив методом совпадения вспышек (ГОСТ 3122—52) и состоит из одноцилиндрового двигателя, асинхронного электродвигателя, пульта управления, аппаратуры, фиксирующей впрыск и воспламенение топлива в цилиндре двигателя.

Двигатель установки ИТ9-3м имеет следующие основные технические характеристики: тип двигателя — четырехтактный дизель с вихревой камерой; число цилиндров — 1; диаметр цилиндра — 85 мм; ход поршня — 115 мм; рабочий объем цилиндра — 0,652 л;

число оборотов — 900 ± 10 об/мин; степень сжатия переменная — от 7 до 23.

Торможение двигателя Д-50 осуществлялось балансирующей динамо-машиной типа МПБ 32,7/28 с весовым устройством ВКМ-57. Расход топлива замерялся на весах типа ВНЦ-2. Время замера фиксировалось прибором ПСИД-6. Число оборотов двигателя определялось импульсным счетчиком, имеющимся на приборе ПСИД-6. Индицирование двигателя производилось пьезокварцевым датчиком, сообщавшимся с вихревой камерой четвертого цилиндра. Индикаторная диаграмма записывалась при помощи девятишлейфового осциллографа.

На каждом режиме для контроля равномерности протекания рабочего процесса в цилиндре снималось 8—12 индикаторных диаграмм.

На осциллограмме при помощи контактного датчика записывалась отметка верхней мертвой точки, а при помощи индуктивного датчика — кривая подъема иглы форсунки. Для контроля за равномерной работой цилиндров замерялась температура отработавших газов t_f в непосредственной близости от выхлопного клапана каждого цилиндра. Замеры производились хромель-алюмелевыми термопарами. При помощи хромель-алюмелевой термопары определялась также температура вставки вихревой камеры $t_{вст}$.

Во время испытаний снимались нагрузочные характеристики при 1600 об/мин и скоростные характеристики при полной подаче топлива. Работа двигателя исследовалась на дизельном топливе марки Л (ГОСТ 305—62) и эмульсиях, которые составлялись путем обводнения этого же топлива. Испытания проводились на эмульсиях, содержащих 5, 10, 15 и 20% воды.

Опыты показали, что некоторая экономия топлива наблюдалась при работе двигателя на эмульсии, содержащей 10% воды, и на режиме максимальной мощности составляла 2 г/л. с.-ч.

При работе двигателя по скоростной характеристике его экономичность улучшалась по мере снижения числа оборотов (рис. 1). Температура выхлопных газов при работе двигателя на эмульсии с 10% воды изменялась незначительно; температура вихревой вставки снизилась на 10—20°C.

Анализ индикаторных диаграмм, снятых на различных режимах работы двигателя с использованием эмульсий, содержащих 5, 10 и 15% воды, позволяет сделать вывод о равномерном протекании рабочих циклов в цилиндре.

При сжигании эмульсии, содержащей 20% воды, на частичных нагрузках наблюдались пропуски воспламенения, поэтому данных по экономичности двигателя при работе на этой эмульсии получить не удалось.

На рис. 2 представлены индикаторные диаграммы, снятые на номинальном режиме при работе двигателя на дизельном топливе

(а) и эмульсиях, содержащих 10 (б) и 15% воды (в). При переюде двигателя с дизельного топлива на эмульсию изменяется максимальное давление цикла, период задержки воспламенения и скорость нарастания давления за период сгорания.

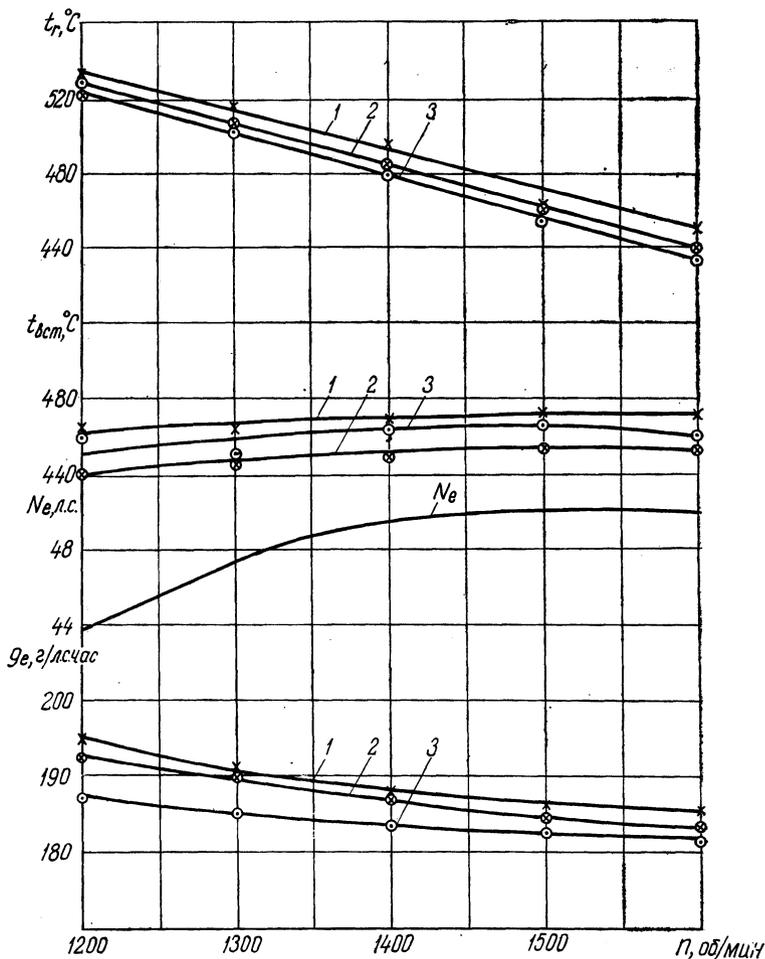


Рис. 1. Скоростная характеристика двигателя Д-50:

1 — дизельное топливо; 2 — эмульсия, содержащая 10% воды; 3 — эмульсия, содержащая 10% воды и 2% нитрата аммония.

Зависимость индикаторных показателей от содержания воды в эмульсии для двух скоростных режимов ($n = 1600$ об/мин и $n = 1200$ об/мин) представлена на рис. 3. Первый скоростной режим

соответствует номинальной мощности, второй — наибольшему крутящему моменту.

Приведенные данные показывают, что период задержки воспламенения при 1600 об/мин увеличивается с $8,5^\circ$ п. к. в. при отсутствии

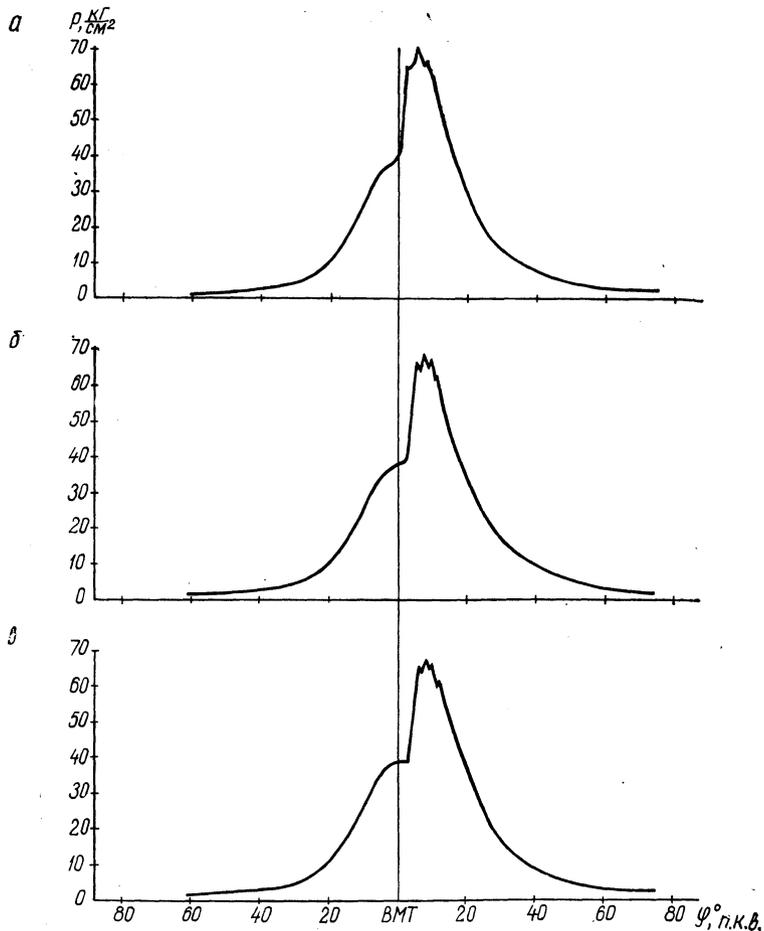


Рис. 2. Индикаторная диаграмма двигателя Д-50:

а — дизельное топливо; б — эмульсия, содержащая 10 % воды; в — эмульсия, содержащая 15 % воды.

воды в топливе до $11,3^\circ$ п. к. в. при 15% воды в топливе; при 1200 об/мин соответственно — с $6,8$ до $8,8^\circ$ п.к.в. Увеличение периода задержки воспламенения обуславливает соответствующие изменения остальных показателей рабочего цикла.

Для сокращения периода задержки воспламенения к топливо-водяным эмульсиям в качестве присадки добавлялся нитрат аммония NH_4NO_3 , хорошо растворяющийся в воде. Исследовалось влияние количества нитрата аммония на воспламеняемость эмульсии, содержащей 10% воды. Опыты проводились на установке ИТ9-3м. Зависимость задержки воспламенения от содержания ни-

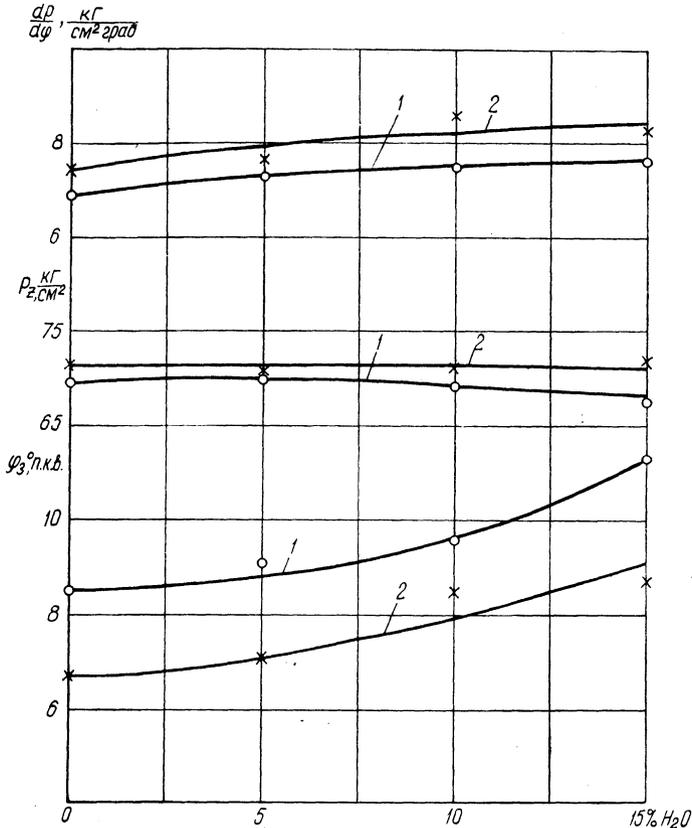


Рис. 3. Зависимость периода задержки воспламенения, максимального давления цикла и скорости нарастания давления от процентного содержания воды в эмульсии:

1 — при $n=1600$ об/мин; 2 — при $n=12000$ об/мин.

трата аммония представлена на рис. 4. Увеличение в эмульсии содержания нитрата аммония до 2% снижает период задержки воспламенения с 9,1 до 7,3° п. к. в., что соответствует периоду задержки воспламенения дизельного топлива.

Были проведены испытания двигателя Д-50 на топливно-водяной эмульсии, содержащей 10% воды и 2% нитрата аммония. При работе двигателя по нагрузочной характеристике ($n=1600$ об/мин) удельный эффективный расход топлива снизился в среднем на 3—4 г/э.л.с.-ч. При работе двигателя по скоростной характеристике удельный расход топлива также снижается (при 1200 об/мин на 6 г/э.л.с.-ч (см. рис. 1).

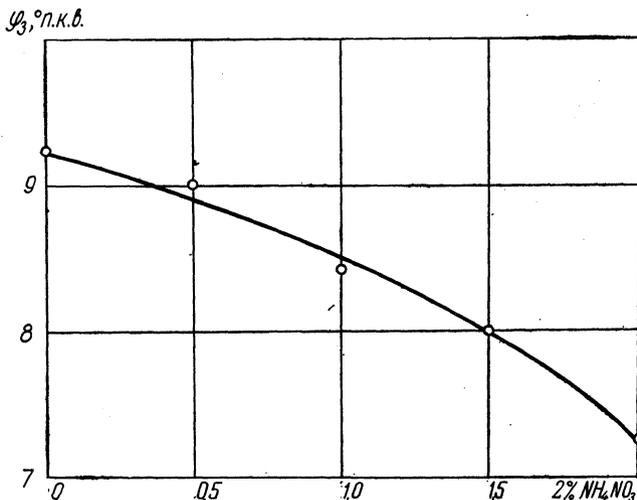


Рис. 4. Зависимость периода задержки воспламенения топливно-водяной эмульсии влажностью 10% от содержания в ней нитрата аммония.

Улучшение экономичности двигателя по мере снижения оборотов, по-видимому, обусловлено совершенствованием процесса смесеобразования и сгорания вследствие дополнительного раздробления капель топлива образующимися парами воды.

При работе двигателя на эмульсии, содержащей 10% воды и 2% нитрата аммония, отмечено снижение температуры вихревой вставки на 5—7°C. Следует, однако, отметить, что при длительном применении нитрата аммония, поскольку он обладает определенной агрессивностью, необходимо добавлять в топливо антикоррозийную присадку.

Выводы

1. Дизельный двигатель нормально работает на топливно-водяной эмульсии, содержащей воды (по объему) до 20%.
2. При работе двигателя на топливно-водяных эмульсиях несколько увеличивается период задержки воспламенения; для его

уменьшения целесообразно применять присадки, ускоряющие окислительные процессы, например нитрат аммония.

3. При работе двигателя на эмульсии, содержащей 10% воды, с использованием присадки нитрата аммония экономичность двигателя на режиме максимальной мощности улучшилась на 3 г/э. л. с.-ч, на режиме максимального крутящего момента — на 6 г/э. л. с.-ч.

4. Применение эмульсий дает возможность улучшать топливо, добавляя в него различные водорастворимые присадки.

5. Применение эмульсий позволяет несколько снижать температуру деталей цилиндра-поршневой группы.

Л и т е р а т у р а

1. Чудаков Е. А. Основные проблемы сгорания топлива в автотракторных двигателях. В сб.: «Сгорание в транспортных поршневых двигателях» М., 1951.
2. Иванов В. М. Топливные эмульсии М., 1962.
3. Иванов В. М., Сергеев Л. В. Применение топливо-водяных эмульсий в двигателях внутреннего сгорания. В сб.: «Новые методы сжигания топлив и вопросы теории горения». М., 1965.