

УДК 621.431.74

Половинка Э.М., Ткач Ю.И.
НУ «ОМА»

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВНО- ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ СИСТЕМОЙ ТОПЛИВОПОДАЧИ СУДОВОГО СРЕДНЕОБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ

Постановка проблемы в общем виде. Одним из направлений исследований по развитию методов и средств топливоподачи в судовых дизелях, проводимых на кафедре СЭУ НУ «ОМА», является поиск возможностей нетрадиционного управления характеристикой впрыскивания путем воздействия на свойства подаваемого топлива. В этой области достаточный интерес представляет использование двухфазных рабочих тел, которыми могут быть, в первую очередь, топливно-воздушные смеси (ТВС).

Существенно уменьшить неоднородность в распределении топлива по окислителю можно за счет впрыскивания предварительно подготовленной газотопливной смеси в оптимальной пропорции. Преимуществом такого впрыскивания является дополнительное диспергирование топлива и более равномерное распределение его по окислителю. Тем самым уменьшается вероятность образования зон, переобогащенных топливом.

Применение газов как присадки к топливу представляет большой интерес является перспективным направлением в области развития процессов топливоподачи и привлекает в последнее время интерес исследователей. Так, в работе [1] рассмотрена насос-форсунка типа РТД фирмы Cummins, которая получила название эмульсионной из-за того, что в ее открытый распылитель после окончания впрыскивания неизбежно попадают горячие газы из цилиндра двигателя. Присутствие подогретых газов в смеси с топливом под плунжером следует считать одним из факторов, обеспечивающих в широком диапазоне режимов работы высококачественное распыливание первой порции топлива благодаря расширению пузырьков воздуха на выходе из сопловых отверстий.

Свистула А.Е. и Дудкин В.И. представили в своих работах [2, 3] результаты исследования топливной аппаратуры дизеля с использованием воздуха в качестве присадки к топливу. Воздух подводился непосредственно в подигольную полость распылителя форсунки. В

ряде работ [4, 5, 6] подготовка топливно-воздушной смеси осуществлялась перед топливным насосом высокого давления (ТНВД). Во всех случаях авторы отмечают положительное влияние на экономические (снижение расхода топлива на 3 - 8 %) и экологические показатели работы дизеля.

Отдельные работы кафедры по данному вопросу [7, 8] рассматривают ограниченный круг условий и носят характер предварительных оценок влияния добавок воздуха на параметры впрыскивания ТВС.

Целью исследования статьи стало экспериментальное исследование влияния режимных параметров на впрыскивание ТВС. Экспериментальная установка представлена на рис. 1, состоит из безмоторного стенда и системы подвода воздуха в канал форсунки.

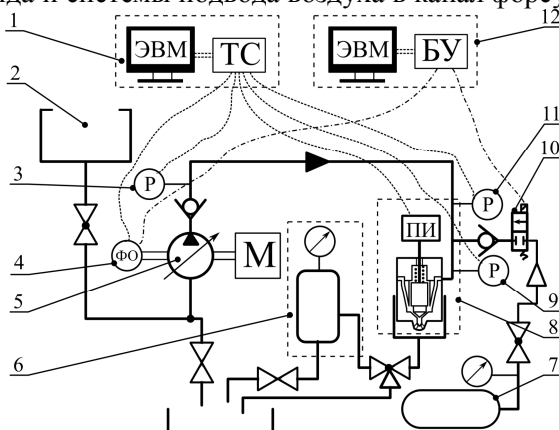


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

1 - система сбора данных; 2 - бак с дизельным топливом; 3, 9, 11 - тензодатчики давления; 4 - фазовый отметчик и датчик поворота вала насоса; 5 - ТНВД и мотор; 6 - система контроля состава смеси; 7 - баллон со сжатым воздухом; 8 - форсунка; 10 - электромагнитный клапан; 12 - система управления.

В канал форсунки воздух проходит через электромагнитный клапан (рис. 2 и 3), который управляется при помощи блока управления (БУ) и ЭВМ. БУ подачей воздуха предусматривает задание двух параметров: момента подачи сигнала открытия клапана и продолжительность его действия — углов смещения и удержания: φ_c и φ_u . Алгоритм ориентирован на использование в качестве начального значения φ_c контрольной метки датчика угла поворота. Оба параметра могут задаваться как в угловых, так и временных единицах.

Электромагнитный клапан (рис. 3) построен на базе электрогидравлической форсунки фирмы Bosch высокооборотного дизеля Multijet 2.8. Оригинальная гайка форсунки была заменена на модифицированную, установлен не возвратный клапан для предотвращения попадания топлива в воздушную систему.

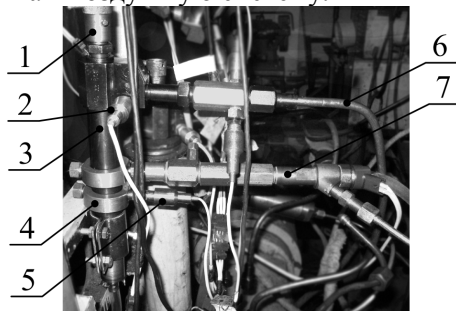


Рис. 2. Форсунка с дополнительным оборудованием:

1 - датчик подъема иглы форсунки, 2 - датчик давления на входе в форсунку, 3 - корпус форсунки, 4 - монтажное кольцо, 5 - датчик давления в канале форсунки, 6 - линия высокого давления (ЛВД), 7 — электромагнитный клапан для подвода воздуха.

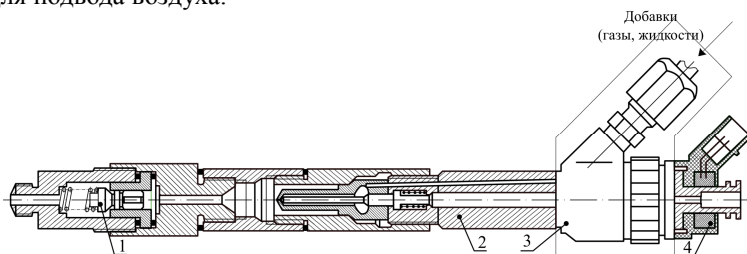


Рис. 3. Электромагнитный клапан для подвода воздуха

1- не возвратный клапан, 2 - корпус форсунки, 3 - управляющий клапан, 4 - катушка электромагнита.

Система сбора данных состоит из ЭВМ и тензометрической станции, построенной на базе модуля АЦП LTR11 фирмы L-Card. В качестве датчиков давления в штуцере насоса Рн, на входе в форсунку Рфвх, в канале форсунки (после места подвода воздуха) Рфк используются тензометрические датчики, величина подъема иглы (ПИ) Z регистрируется фото датчиком, фазовый отметчик представляет собой индуктивный датчик и делает отметку каждые 60 °п.р.в. Все эти сигналы, а также сигнал на управление подводом воздуха подаются на тензометрическую станцию и выводятся на ЭВМ. Про-

граммное обеспечение LGraph2 позволяет просматривать графика изменения параметров в режиме реального времени, а также сохранять в память ЭВМ.

Изложение основного материала исследования. Для анализа процесса впрыскивания ТВС был проведен эксперимент с варьированием давления подъема иглы форсунки рО на следующих уровнях: 0, 30, 50, 70, 90 бар, на двух режимах скоростной характеристики системы: при номинальной частоте вращения распределительного вала $n_r = 250$ об/мин и минимальной $n_r = 50$ об/мин. Положение рейки ТНВД выбрано: $M = 15$ мм. Давление воздуха в баллоне во время эксперимента составляло $p_{возд} \approx 132...128$ бар. Настройки управления подачи воздуха: смещение $\varphi_c = 150^\circ$ п.р.в., удержание $\varphi_u = 10^\circ$ п.р.в.

Стоит отметить, что в для рО = 90 бар характер протекания процесса топливоподачи не изменился, из этого можно заключить что воздух в систему не поступал.

На рис. 4. представлены осциллограммы впрыскивания топлива при давлении затяжки иглы форсунки рО = 50 бар при работе ТА на чистом топливе (ЧТ) и ТВС на двух скоростных режимах — 50 и 250 об/мин. Сигнал открытия воздушного клапана поступает при -60 и -66 оп.р.в. условной шкалы рис. 4(б) и 4(г). Подъем давление в системе на участке, прилегающем к датчику рфк начинается практически мгновенно, в штуцере форсунки давление рН изменяется незначительно на режиме $n_r = 250$ об/мин, однако четко видно на режиме $n_r = 50$ об/мин. С запаздыванием 4...6 оп.р.в. происходит подъем иглы форсунки на обоих скоростных режимах. Характерным отличием является снижения максимальных давлений в системе, а также наличие колебательного процесса после отсечки насоса, как видно из рисунка амплитуда колебаний в штуцере форсунки значительно больше, чем в канале форсунки.

В сравнении с работой на ЧТ, угол начала подачи форсунки фНПФ смещается в сторону верхней мертвой точки (ВМТ) на 1..2 оп.р.в. Это происходит из-за того, что часть энергии прямой волны расходуется на сжатие воздуха в системе, так как газ имеет значительно большую сжимаемость, как следствие скорость распространения возмущений (скорость звука) снижается. Стоит отметить, что изменения скорость звука по длине ЛВД неравномерно. Так на участке от штуцера ТНВД до штуцера форсунки скорость звука практически не изменилась и составляла от 1200 до 1300 м/с, а на участке от штуцера форсунки до места установки датчика давления в канале форсунки при работе на ТВС снизилась до 330 - 150 м/с.

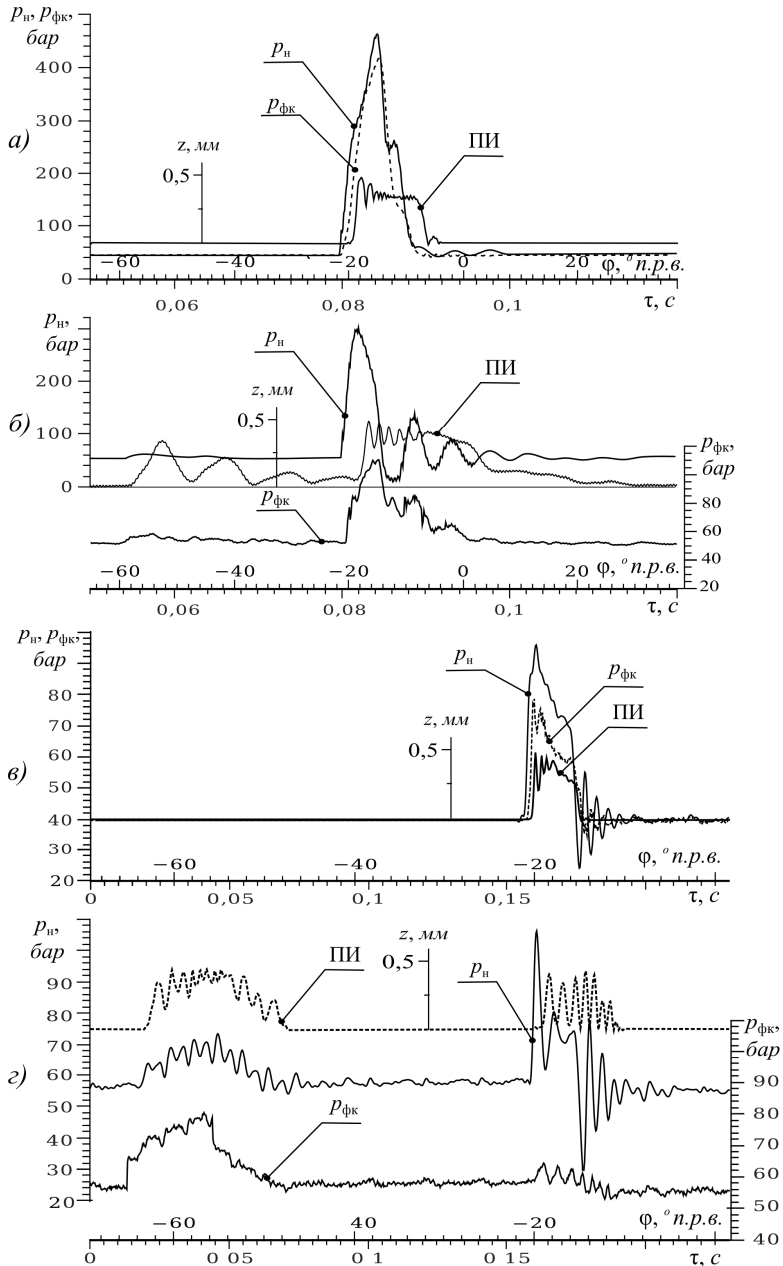


Рис. 4. Осциллограммы впрыскивания топлива: а — работа на ДТ, $n_p = 250$ об/мин, б — работа на ТВС, $n_p = 250$ об/мин, в — работа на ДТ, $n_p = 50$ об/мин, з — работа на ТВС, $n_p = 50$ об/мин,

Общий угол впрыскивания при подаче ТНВД $\varphi_{\text{в}}$ режиме $n_p = 50$ об/мин при различных значениях затяжки иглы форсунки изменился незначительно, а на режиме $n_p = 250$ об/мин наблюдалось увеличение $\varphi_{\text{в}}$ во всех случаях в 2 и более раза.

Рассмотрим совмещенные осциллограммы процесса Атопливо-поддачи при различных значения p_0 — рис. 5 и 6. Из кривых давления в штуцере насоса и в канале форсунки видно, что с увеличением давления затяжки иглы форсунки максимальное давление в системе растет. Длительность колебательного процесса в штуцере насоса не зависит от p_0 , скорость затухания не меняется, однако амплитуда снижается с уменьшением давления затяжки иглы.

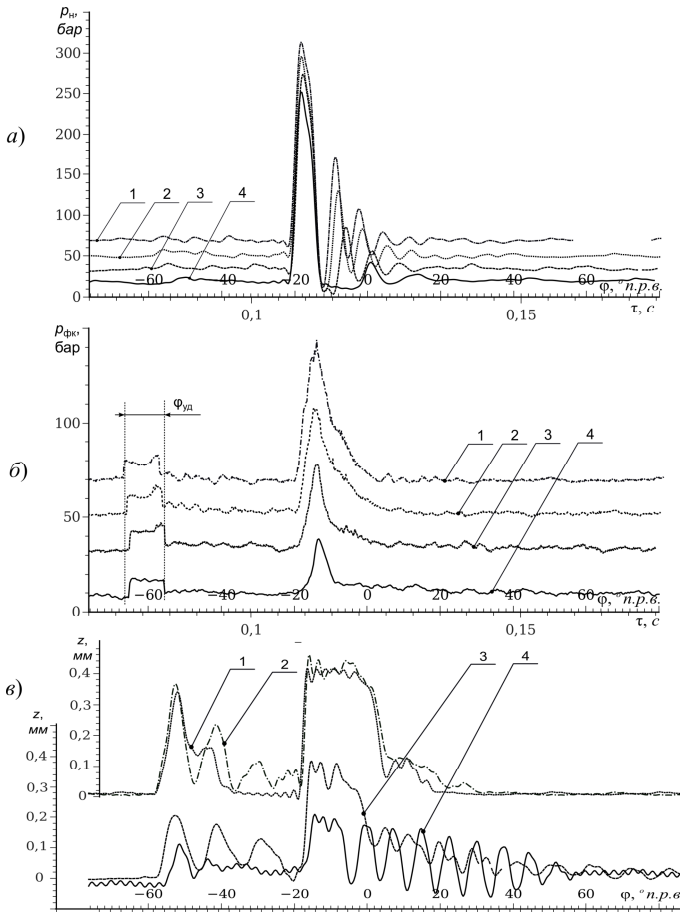


Рис. 5. Совмещенные осциллограммы впрыскивания топлива при различных

значениях p_0 на режиме $n_p=250$ об/мин : 1 - 70 бар; 2 - 50 бар; 3 - 30 бар; 4 - 0 бар.

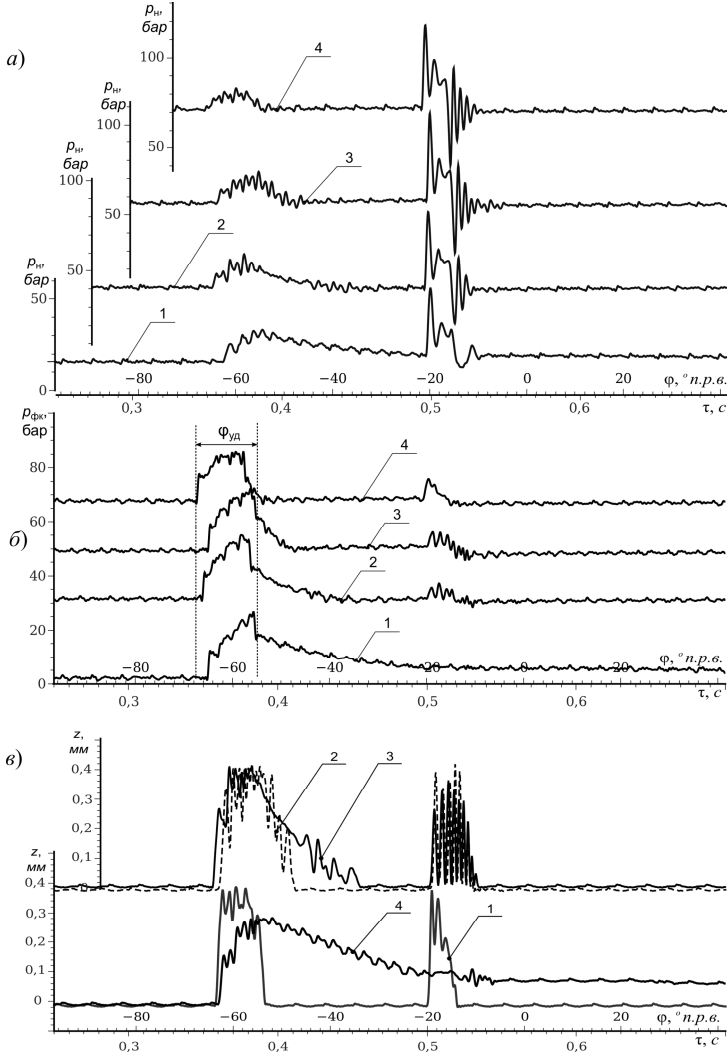


Рис. 6. Совмещенные осциллограммы впрыскивания топлива при различных значениях p_0 на режиме $n_p=50$ об/мин : 1 - 70 бар; 2 - 50 бар; 3 - 30 бар; 4 - 0 бар.

На кривых давления у форсунки (рис. 5(б) и 6(б)) виден момент подвода воздуха в канал форсунки. Несмотря на то, что давление воздуха составляло $p_{возд} \approx 132...128$ бар, при открытии клапана подвода воздуха давление в канале форсунки поднималось на 10 бар на режиме $n_p = 250$ об/мин и на 15...18 бар $n_p = 50$ об/мин. Такое явление

можно объяснить небольшим сечением (3 мм) и большой длиной (5 м) трубопровода подвода воздуха, кроме того воздух подводится в канал форсунки на небольшом расстоянии от распылителя, значит этот конечный участок трубопровода имеет небольшое сопротивление.

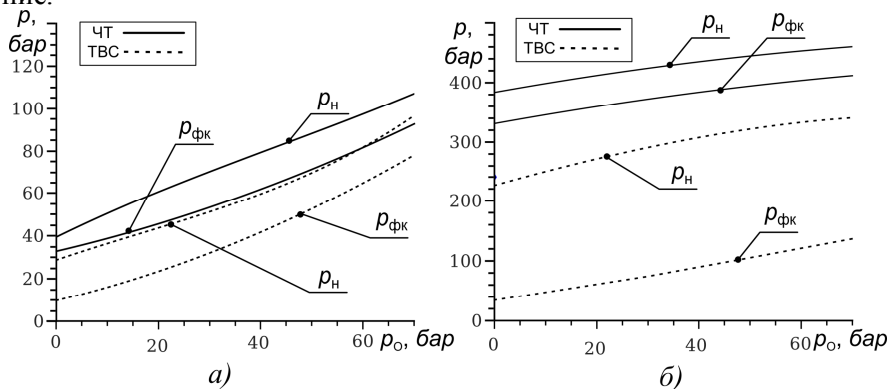


Рис. 7. Зависимость максимального давления у насоса p_n и максимального давления у форсунки $p_{фк}$ от величины давления затяжки иглы форсунки при работе ТА на ЧТ и ТВС: а) - $n_p=50$ об/мин; б) - $n_p=250$ об/мин.

Выводы

Основное изменение параметров впрыскивания при переходе на ТВС — снижение максимальных давлений (на режиме $n_p = 50$ об/мин давление у насоса снизилось на 20-25%, у форсунки — на 20-38%, на режиме $n_p = 250$ об/мин p_n снилось на 34%, а $p_{фк}$ — на 68-79%) и, как следствие, уменьшение нагруженности деталей системы и привода ТНВД.

Наряду с уменьшением максимальных давлений в системе другим качественным отличием является существенная разница в параметрах колебательного процесса у насоса и форсунки после отсечки. Так в штуцере насоса видны значительных по амплитуде колебания, которые просматриваются слабо на входе в форсунку эти колебания, а в канале форсунки не регистрировались. Можно предположить существование границы раздела сред ЧТ и ТВС.

Подвод воздуха сильно влияет на характеристики среды в ЛВД. Скорость звука по длине трубопровода неравномерна — на участке от штуцера форсунки до места установки датчика давления в канале форсунки составила 330 - 150 м/с. Вследствие увеличения сжимаемости смеси угол начала подачи форсунки смещается в сторону ВМТ на 1-2 $^{\circ}$ п.в.

Повышение давления затяжки иглы форсунки при работе на ТВС приводит к повышению максимальных давлений в системе — от 29 до 95 *бар* и от 240 до 320 *бар* в штуцере насоса насоса, от 10 до 74 *бар* и от 35 до 138 *бар* в канале форсунки на режимах $n_p = 50$ об/мин и $n_p = 250$ об/мин соответственно. Амплитуда колебаний в штуцере насоса после отсечки на режиме $n_p = 250$ об/мин возросла от 30 до 160 *бар*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вихерт М. М., Мазинг М. В. Топливная аппаратура автомобильных дизелей: Конструкция и параметры. — М.: Машиностроение, 1978.— 176 с.
2. Матиевский Д.Д. Свистула А.Е. Повышение экономичности и снижение вредных выбросов дизеля воздействием на рабочий процесс присадки газа к топливу / Ползуновский альманах №2/2000 Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000.
3. Дудкин В.И. Диагностика альтернативной системы питания дизеля / Известия Алтайского государственного университета, 2011, No. 1-2(69).
4. Yasuhito N., Takashi W., Toshihiko E. Experimental investigation on diesel engine performance using nano air-bubbles mixed into gas oil / Journal of energy and power engineering, 2013, No. 7, 827 — 833.
5. Yasuhito N., Shintaro K., Kenta S., Toshihiko E., Takashi W. Effect of nano air-bubbles mixed into gas oil on common-rail diesel engine / Energy, 2013, No. 59, 233-239.
6. Kanji Ohashi, Yoshitada Uchiyama, Kazuo Kontani. Reduction of Diesel Exhaust Smoke by Air – Mixed Fuel Injection. //Mechanical Engineering Laboratory MITI, Japan. 1990, pr. 900638, 9 p.
7. Половинка Э. М., Ткач Ю. И. Гидродинамические характеристики двухфазных сред в системах впрыскивания дизелей / Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 30. - Одесса: НУ «ОМА», 2012. - 214с.
8. Половинка Э. М., Ткач Ю. И. Математическое моделирование рабочих процессов в системах впрыскивания дизелей при двухфазном состоянии топлива / Материалы научно-технической конференции «Энергетика судна: эксплуатация и ремонт», 26.03.2014 — 28.03.2014. Часть I. - Одесса: НУ «ОМА», 2014. - 176с.