

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПЫЛИВАНИЯ ТОПЛИВА В ПОРШНЕВЫХ ДВС

*Л.В. Плотников, к.т.н., доц.
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)
Н.А. Мажейко, к.ф.-м.н., с.н.с., Бусов К.А., асп.
Институт теплофизики УрО РАН*

Представлены результаты экспериментальных исследований процесса распыливания вскипающих жидкостей при истечении через короткое сопло. Предлагается способ впрыска топлива в цилиндр поршневых ДВС на основе эффекта взрывного вскипания. Установлено, что при распылиании струи с эффектом взрывного вскипания возможна корректировка формы струи распыла за счет степени перегрева. Показано, что изменение степени перегрева и длины канала распылителя форсунки позволяет существенно менять форму струи распыленного топлива для оптимального ее соответствия форме камеры сгорания двигателя.

Организация процесса впрыска топлива, обеспечивающего высокое качество распыливания струи в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов, во многом определяет эффективность работы поршневых двигателей внутреннего сгорания. При этом качество распыливания топлива форсункой характеризуется мелкокостью и однородностью дисперсии капель в струе, а также равномерностью распределения топлива по объему камеры сгорания ДВС [1–3]. Улучшить качество распыливания топлива можно за счет использования эффекта взрывного вскипания струи перегретого топлива. В статье рассматриваются также влияние геометрических размеров сопла распылителя на форму и угол раскрытия топливного факела.

Можно выделить следующие направления улучшения рабочих характеристик топливоподающей аппаратуры поршневых ДВС:

- совершенствование существующих технологий распыливания топлива за счет оптимизации параметров процесса и профилирования сопловых каналов распылителя;
- электронное управление процессом топливоподачи по специальным алгоритмам;
- разработка новых физических принципов (способов) распыливания топлива.

В последнее десятилетие совершенствование известных способов топливоподачи происходит за счет повышения давления впрыскивания. В настоящее время давление впрыска топлива в дизельных двигателях достигает величины в 200 МПа. При этом продолжаются поиски новых конструктивных исполнений топливной аппаратуры для дальнейшего повышения давления впрыска топлива до значений в 250–300 МПа. Необходимость повышения давления впрыска и качества распыливания топлива вызвана увеличением степени форсировки двигателей и, как следствие, увеличением объема цикловых подач. При этом потенциальная энергия давления топлива превращается в кинетическую энергию струи, что приводит к возрастанию скорости истечения топлива из сопла распылителя. Процесс распада струи происходит вследствие импульсного взаимодействия турбулентной струи топлива с воздухом в камере сгорания. Следовательно, чем выше скорость истечения струи топлива и плотность воздуха в камере сгорания, тем тоньше распыливается топливо [4]. Существенным недостатком рассматриваемого способа совершенствования процесса распыливания топлива является то, что затраты энергии на топливоподачу растут практически пропорционально увеличению давления впрыска, что увеличивает мощность привода топливного насоса высокого давления (ТНВД) и соответственно снижает эффективную мощность двигателя. Другой существенный недостаток таких топливоподающих систем — высокие механические напряжения, возникающие в самом ТНВД, его приводе и топливном тракте.

На рис. 1 показаны формы струй распыливаемого топлива [5], полученные при истечении из сопловых отверстий форсунок традиционных конструкций. Подобные изображения струй распыла были получены и отечественными авторами [6, 7].

Анализ результатов исследований в этой области показывает, что развитие традиционных технологий распыливания малоперспективно,

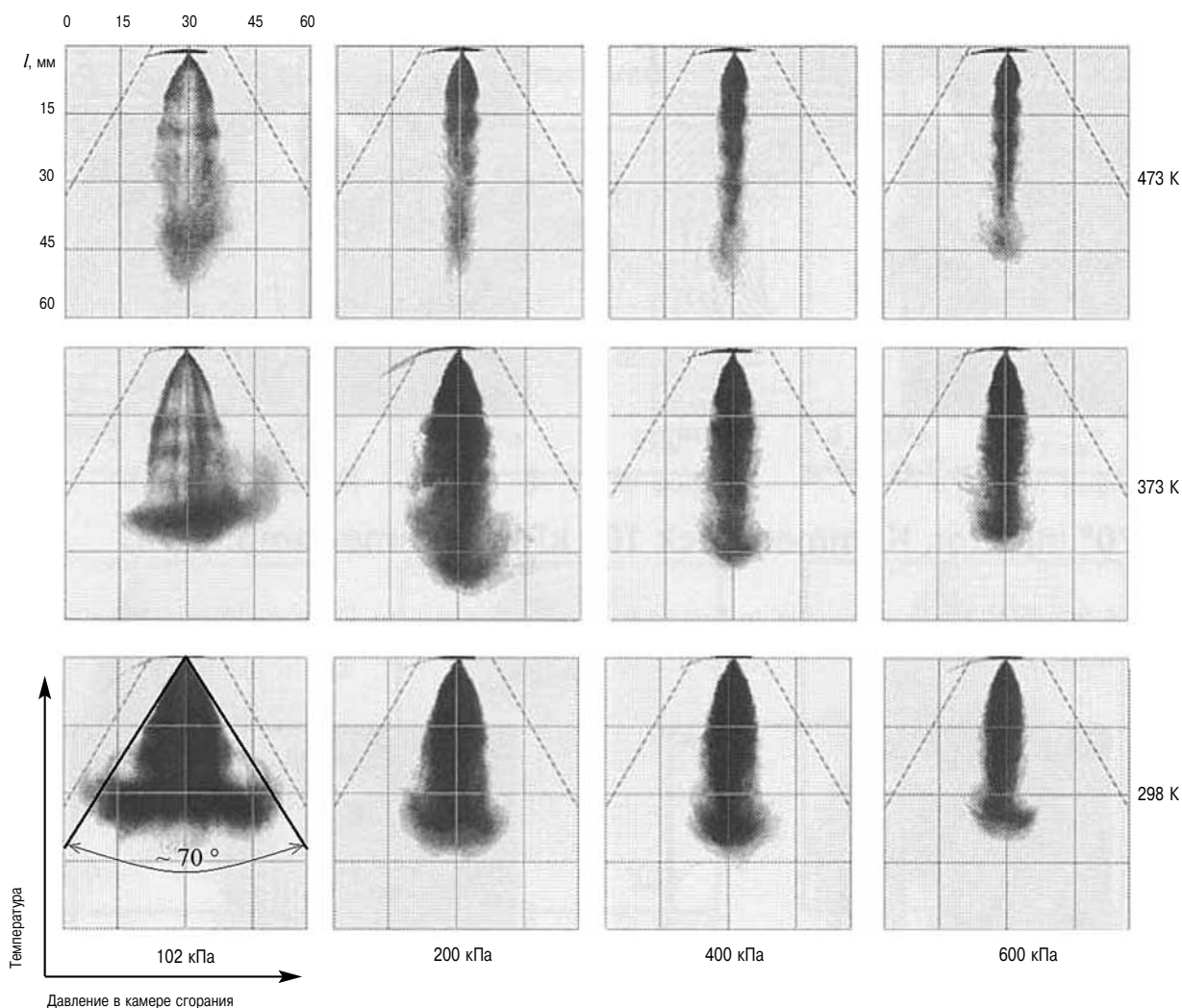


Рис. 1. Изменение формы струи топливного факела в зависимости от температуры и давления воздушной среды (вихревой распылитель) [4]. Изображения получены для времени 2 мс после начала впрыска, давление в топливной рампе составляло 7 МПа

поскольку основные резервы в этом направлении практически исчерпаны. Актуальным остается развитие электронно-управляемых топливных систем в связи с бурным развитием программирования и элементной базы. Но стратегически важным направлением является разработка новых принципов распыливания топлива.

Авторами выполнено пилотное исследование применения эффекта взрывного вскипания при впрыске топлива в поршневых ДВС. Физический принцип этой технологии заключается в том, что до подачи жидкости в форсунку осуществляется ее подогрев в условиях постоянного объема до температуры выше критической для самой тяжелой фракции, содержащейся в топливе, но ниже температуры термического разложения самой легкой фракции. При впрыске разогретого топлива в камеру сгорания происходит его взрывное вскипание, которое вызывает эффективное распыливание топлива, создает более

равномерное его распределение по объему камеры сгорания, что обеспечивает качественное смесеобразование и более полное сгорание. В результате достигается снижение удельного расхода топлива двигателем. Эффект взрывного вскипания при впрыске технологических жидкостей описан в работе [8].

Данный способ был апробирован на экспериментальной установке, представляющей собой водяной бак, устройство предварительной подготовки (рабочую камеру) и форсунку дизельного двигателя (Ф210-2-04 ТУ24.06.2077-85 (0210.24.000.000-2.04) производства ОАО «Волгадизельаппарат»). Диаметр канала распылителя форсунки составлял 0,35 мм, а количество каналов — 8. Параметры в рабочей камере варьировались от начальной температуры 21 °С и давления 1,2 МПа (ненасыщенное состояние) до параметров состояния насыщения водяного пара при температуре 250 °С, давлении $p_{05} = 4,0$ МПа.

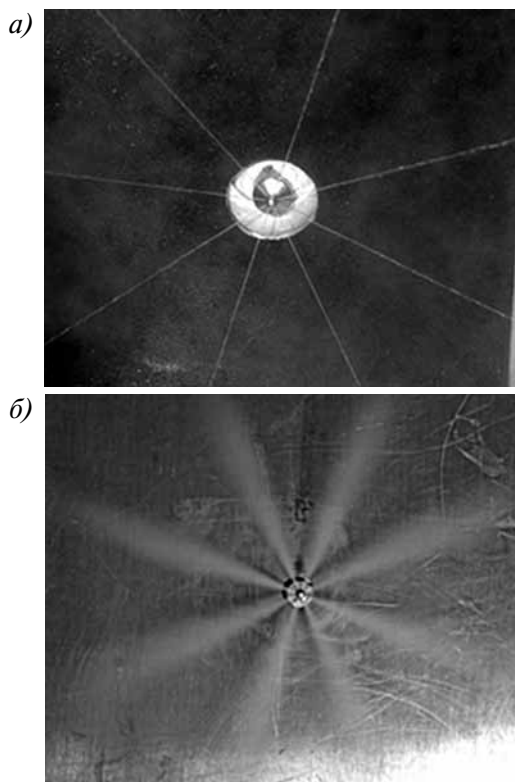


Рис. 2. Формы струи воды при истечении через распылитель форсунки при различных начальных параметрах:

a — начальная температура 21 °С и давление 1,2 МПа; *б* — начальная температура $T_c = 250$ °С и давление 4,0 МПа

При впрыске разогретой жидкости ее вскипание происходит вблизи выходного среза сопла, что приводит к постепенному расширению струи вниз по потоку. Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

Было установлено, что при повышении начальной температуры жидкости до значения выше $0,9T_{0s}$ процесс фазового перехода практически завершается внутри канала. В этом случае в окружающую среду поступает субстанция с высоким паросодержанием, близким к равновесному. Форма потока стремится к форме, характерной для газовых струй.

На продольную конфигурацию струи распыленной жидкости сильно влияют геометрические размеры выходной части сопла (рис. 3).

Изменение формы струи распыляемой жидкости было получено экспериментально на установке, обеспечивающей стационарное истечение воды в течение нескольких десятков секунд из сосуда высокого давления. Диаметр сопла форсунки (цилиндрического канала) составлял 0,5 мм, длина сопла (канала) изменялась от 0,7 до 3,0 мм, т. е. в коротком канале выходное отверстие было заглублено, а при длинном канале выступало из выходного фланца. Распыливание перегретой воды осуществлялось

в атмосферу при начальной температуре 250 °С и давлении 4 МПа.

На рис. 3, *б* показано, что при заданных условиях распыла достигается угол раскрытия струи около 140°, что недостижимо при обычных условиях распыливания. По данным [9], в механических форсунках наибольший угол раскрытия факела распыла составляет 120°. Впрыск топлива при взрывном вскипании со столь большим углом раскрытия факела может быть особенно эффективно использован при объемном способе смесеобразования.

Проведенные исследования показали, что в зависимости от геометрических размеров (калибра) распыливающего сопла существенно изменяется форма распыленной жидкости, что указывает на возможность управления формой струи, для достижения более качественного смесеобразования и сгорания топлива в дизелях. К недостатку большинства топливных форсунок ДВС (как бензиновых, так и дизельных), посредством которых реализуется механическое распыливание, относится то, что они генерируют струю распыляемого топлива постоянной формы на всех режимах работы двигателя. Соответ-

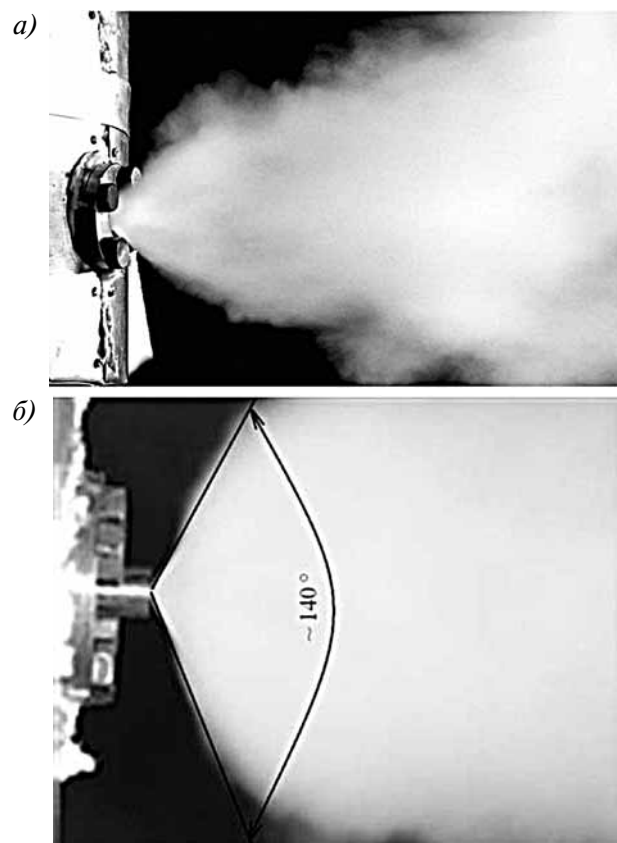


Рис. 3. Форма струи воды, истекающей в атмосферу при разной длине сопла. Начальная температура 250 °С и давление 4 МПа:

a — длина сопла 3,0 мм; *б* — длина сопла 0,7 мм

ственно для каждой конфигурации и размеров камеры сгорания необходимо изменять конструкцию (геометрические размеры) распыляющего сопла форсунки и создавать распылитель, формирующий новую оптимальную форму струи распыла для улучшения распределения топлива по всему объему камеры сгорания. Кроме того, на разных эксплуатационных режимах работы двигателя форма струи распыливаемого топлива должна быть различной — оптимальной для конкретных условий [1], чего механические форсунки в принципе не обеспечивают. Это приводит к неполноте сгорания топлива на отдельных режимах и соответственно к увеличению дымности при одновременном снижении топливной экономичности двигателя. Результаты выполненного эксперимента показывают, что оперативным изменением степени перегрева топлива и геометрических размеров сопла (калибра) форсунки можно существенно менять форму струи распыленного топлива, и тем самым создавать такую ее конфигурацию, которая соответствовала бы оптимальным условиям сгорания для данного режима двигателя. Кроме того, при распыливании топлива на основе эффекта взрывного вскипания за счет надлежащего подбора степени перегрева имеется возможность обеспечить необходимую корректировку формы струи. Предложенная технология впрыска топлива в дизелях направлена на повышение мощности поршневого двигателя, уменьшение удельного

расхода топлива, снижение дымности и выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

Исследование проведено при финансовой поддержке молодых ученых УрФУ в рамках реализации программы развития УрФУ.

Литература

1. Свиридов Ю.В. Смесеобразование и сгорание в дизелях. — Л., Машиностроение, 1972. — 234 с.
2. Крутовой В.А. Впрыск топлива в дизелях. — М.: Машиностроение, 1981. — 119 с.
3. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов. — М.: Легион-Автодата, 2004. — 344 с.
4. Системы управления дизельными двигателями; пер. с нем. — М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. — 480 с.
5. Gindele J. Untersuchung zur Ladungsbewegung und Gemischbildung im Ottomotor mit Direkteinspritzung. Ph.D. Thesis, University of Karlsruhe, Germany, Logos-Verlag, Berlin, 2001.
6. Крутовой В.А. Впрыск топлива в дизелях. — М.: Машиностроение, 1981. — 119 с.
7. Лышевский А.С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками. — М., 1963. — 181 с.
8. Скрипов В.П. Метастабильная жидкость: монография. — Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1972.
9. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник / под общей ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 560 с.