

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНОЙ СТРУИ ПРИ ДВУХФАЗНОМ ВПРЫСКЕ

В.Ю. Рудаков, инж.

Коломенский институт (филиал) Московского государственного открытого университета

Представлены результаты исследования влияния давления топлива на развитие топливной струи в холодной бомбе для двухфазного впрыска, полученные оптическими методами и скоростной киносъемкой. Кинограммы показывают, что движение 1-й струи особенностей не имеет и торможение фронта происходит быстро. В неравномерности движения 2-й струи отражены изменения давления топлива. При малых $p_{впр}$ 2-я струя догоняет 1-ю на малых удалениях от сопла, при больших $p_{впр}$ эта дистанция растет. Полученные материалы применялись при разработке метода расчета развития топливной струи.

В [1] сообщалось о некоторых результатах исследования двойного впрыска. Однако работы, проведенные на установке ДПО [2], этим ограничены не были. Изучалось влияние давления топлива на развитие струи при двойном впрыске.

Условия впрыска. Система топливоподдачи аккумуляторная, электрогидравлическая, форсунка однодырчатая, $d_c = 0,4$ мм. В режиме холодной статической бомбы задавались следующие значения давления впрыска: 51; 45; 36,5; 28,5; 20; 13 МПа. Плотность и температура воздуха в камере имели значения $\rho_v = 29$ кг/м³, $t_v = 20$ °С. Длительность 1-го гидроимпульса давления впрыска задавалась равной 1 мс, паузы — 0,5 мс, 2-го гидроимпульса — 4 мс. Их величины при смене давления впрыска отклонялись от заданных и принимали значения 1,35–0,89 и 0,22–0,61 мс соответственно.

Давление впрыска регистрировалось перед сопловым отверстием одновременно с киносъем-



Рис. 1. Давление топлива при двухфазном впрыске

кой. На рис. 1 приведена осциллограмма давления впрыска $p_{впр} = f(t)$ для давления в аккумуляторе $p_{ак} = 65,73$ МПа. Передние фронты обоих гидроимпульсов давления на $2/3 p_{впр \max}$ линейны. Скорость киносъемки 4200–4800 кадр/с.

Развитие струи. Из $S(t)$ диаграмм (рис. 2, 3) видно, что движение 1-й струи (ряд 1) особенностей не имеет, за исключением того, что кратковременность 1-го гидроимпульса определяет ее невысокую энергию, вследствие чего торможение фронта при малых $p_{впр}$ происходит относительно быстро. После окончания впрыска струя переходит в инерционное движение, спустя 0,5–0,7 мс начинает терять свои очертания и становится все более рыхлой и бесформенной. При изменении $p_{впр}$ от 51 до 36,5 МПа дистанцию 105 мм до стенки камеры первая струя проходит за 2,30; 2,64; 3,20 мс. Вторые струи (ряд 2) при тех же $p_{впр}$ достигают стенку камеры в 1,6–1,8 раз

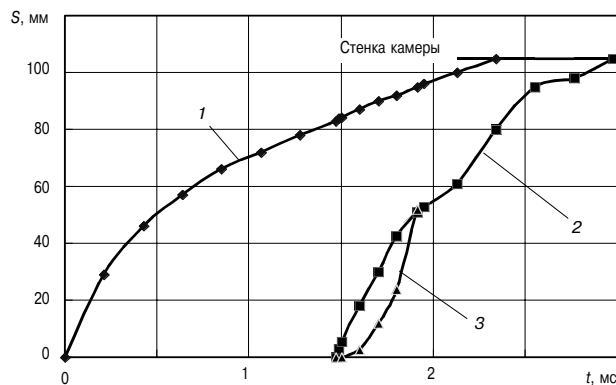


Рис. 2. Зависимость $S = f(t)$ $p_{впр} = 51$ МПа

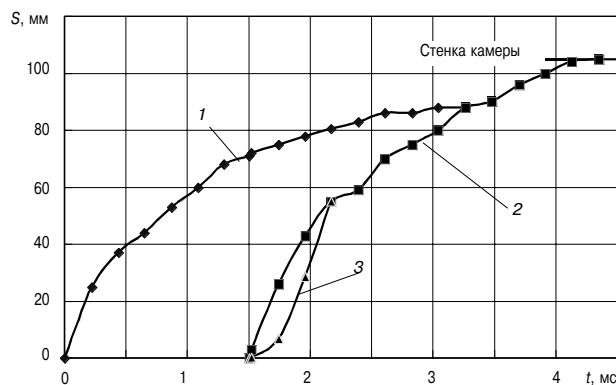


Рис. 3. Зависимость $S = f(t)$ $p_{впр} = 28,5$ МПа

быстрее, чем первые. При давлениях $p_{впр} = 28,5; 20; 13$ МПа вторые струи догоняют первые на расстоянии 84–90 мм от сопла в интервале времени 3,40–4,10 мс, сливаются с ними и далее движутся как одна струя (рис. 3), достигая стенки в моменты 4,16; 5,20; 5,90 мс. Вместе со снижением $p_{впр}$ снижается расстояние, на котором вторая струя догоняет первую, а время до слияния возрастает. Такое слияние должно быть и для трех первых режимов, но так как длина камеры ограничена, а дистанция слияния растет вместе с давлением, наблюдается лишь изменение моментов времени достижения стенки обеими струями. На рис. 4 приведена зависимость времени движения струи до стенки от давления впрыска. Первые струи — ряд 1, вторые — ряд 2. Собственное время движения второй струи — ряд 3.

Для всех $p_{впр}$ начальный участок движения 2-й струи S_n имеет высокую крутизну и линейность. В некоторых случаях заметна его вогнутость. С ростом $p_{впр}$ его протяженность тоже растет и может достигать 55 мм. Исходя из предположения, что этот участок соответствует участку линейного нарастания давления 2-го гидроимпульса, был проведен обсчет движения 2-й струи без учета сопротивления воздуха. Результаты показали, что движение вершины 2-й струи происходит по степенной зависимости (см. рис. 2 ряд 3; рис. 3). Различие рассчитанных и полученных экспериментально траекторий можно объяснить тем, что первая струя разгоняет попутный поток воздуха до скорости, близкой к скорости истечения при $p_{впр \max}$, причем за период короткой паузы он затухает незначительно. Распыленное топливо 2-й струи подхватывается попутным потоком и приобретает скорость, близкую к скорости его движения. При этом скорость движения вершины в начале впрыска может превышать скорость истечения. На некоторых кинограммах фронт 2-й струи выглядит размытым и удлинненным, что подтверждает данное явление.

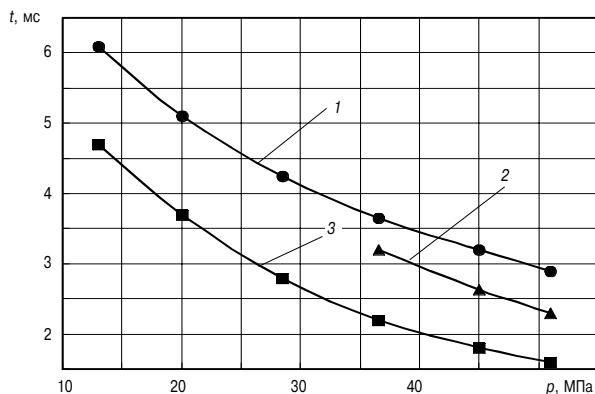


Рис. 4. Зависимость $t = f(p)$

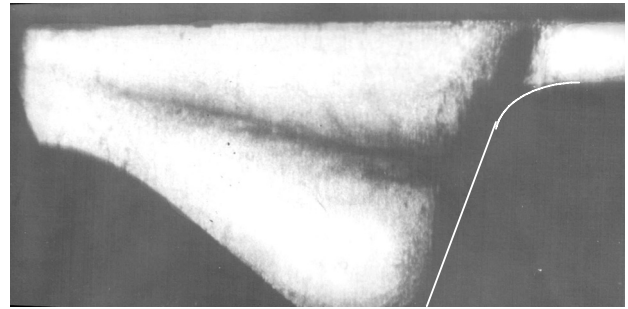


Рис. 5. Обтекание стенки камеры струей распыленного топлива

Такое движение распыленного топлива возможно не только для второй струи, но и для любых ниспадающих участков импульсов давления как двухфазного, так и непрерывного впрыска, т. е. там, где скорость попутного потока выше скорости истечения топлива. Другим косвенным подтверждением высокой скорости попутного потока являются кинограммы обтекания распыленным топливом стенки камеры после того, как струя столкнется с ней (рис. 5). Высокая скорость попутного потока способствует сохранению структуры струи, характерной для двухфазных потоков. В противном случае распыленное топливо растекалось бы по стенке тонкой пленкой и оседало на ней. В действительности струя растекается в виде объемного диска.

Неравномерности движения вершины 2-й струи после S_n вызваны неравномерностями изменения давления 2-го гидроимпульса, что обусловлено изменением скорости истечения и ослабленным сопротивлением воздуха на начальном участке движения. На движение струи они оказывают воздействие с задержкой t_k , в течение которой количество движения впрыснутого топлива передается вершине. Взаимосвязь t_k-S определяется уравнением

$$S_k = 41,807 \cdot d_c \cdot We^{0,161} \cdot \Theta^{0,2105} \cdot M^{0,175} \cdot \rho^{-0,291}.$$

Для 1-й струи неравномерное воздействие $p_{впр}$ на движение струи демпфируется встречным взаимодействием струя–воздух, отчего ее траектория выглядит более сглаженной в сравнении со 2-й. Угол конуса 2-й струи не выходит за пределы 1-й и при подлете к стенке составляет 12–24°.

Взаимодействие струя–воздух. Головная часть струи является своего рода интегрирующим звеном, где суммируется энергия ее элементов срабатывается на преодоление сопротивления воздуха. Вливаясь в нее, структурные элементы струи быстро теряют скорость движения, догоняющие элементы передают свою энергию передним. При этом структура струи сохраняется, а интервалы между элементами растут. Независимости

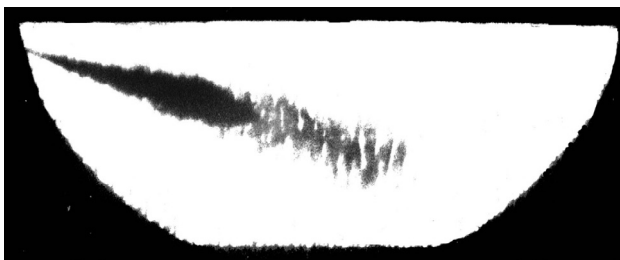


Рис. 6. Движение второй струи в остаточном шлейфе первой

мо от своей структуры головная часть движется как тело, имеющее общее количество движения для сосредоточенной в ней массы, непрерывно питаемое топливом, воздухом и энергией, т. е. как тело переменной массы.

Вторая струя, перемещаясь вслед за первой, поглощает ее разрыхленную массу и, догнав вершину, встречает невозмущенную воздушную среду, испытывая при этом некоторое торможение. Далее, получив очередной импульс вытекающего топлива, скорость ее возрастает. На рис. 3 видно, как почти исчерпавшая свою энергию 1-я струя при слиянии получает подпитку от 2-й струи. Вторая струя в этот момент незначительно тормозится. Торможение в момент слияния наблюдается не на всех кинограммах. До слияния, при равных S , энергия второй струи срабатывается на преодоление сопротивления воздуха значительно меньше чем первой. Поэтому на $S(t)$ диаграммах хорошо видна неравномерность движения 2-й струи, вызванная неравномерностью $P_{\text{впр}}$. На рис. 6 приведен фрагмент кинограммы двухфазного впрыска, где видно движение второй струи в разрыхленной массе первой. На скорость движения струи, ее затухание, кроме давления

впрыска, большое влияние оказывает крутизна переднего фронта гидроимпульса давления (скорость нарастания давления). Чем выше его крутизна, тем более крутой является траектория движения струи. Чем выше давление, тем медленнее срабатывается скорость на преодоление сопротивления воздуха. Сопротивление встречного потока воздуха по мере развития струи и изменения ее скорости, как показали данные обработки материала, неравномерно. Результаты исследований были использованы для разработки метода расчета геометрических параметров топливной струи.

Литература

1. Крупский М.Г., Рудаков В.Ю., Чугунов А.В. О двухфазном впрыскивании дизельной форсункой // Новые технологии. — 2000. — № 2. — С. 31–33.
2. Никитин Е.А., Никонов Г.В., Крупский М.Г., Куянов Ю.Ф. Установка для исследования процессов, протекающих в камере сгорания дизеля // Двигателестроение. — 1988. — № 1. — С. 8–9.
3. Крупский М.Г., Рудаков В.Ю., Чугунов А.В. Методика расчета геометрических параметров струи распыленного топлива в камерах сгорания дизелей // Новые технологии. — 2000. — № 2. — С. 31–33.
4. Крупский М.Г., Рудаков В.Ю. Методика расчета геометрических параметров и динамики струи распыленного топлива при впрыске дизельной форсункой // Вестник МГТУ им Баумана Н.Э. Сер. «Машиностроение» — 2007. — № 4. Всероссийский научно-технический семинар по автоматическому управлению и регулированию теплотехнических установок им. проф. Крутова В.И. 31 января 2007 г. — 116 с.
5. Крупский М.Г., Рудаков В.Ю. Расчет геометрических параметров струи топлива при впрыске в камеру сгорания дизеля // Двигателестроение. — 2008. — № 1. С. 24–25.

ПРЕДЛАГАЕМ РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ **Ориентировочные тарифы на 1 полугодие 2011 г.**

Первая страница обложки	Полноцветная	38 000 руб.
Вторая и третья страницы обложки	Полноцветная	34 000 руб.
Четвертая страница обложки	Полноцветная	36 000 руб.
Внутри журнала из расчета одна страница формата А4	Полноцветная	34 000 руб.
	Черно-белая	30 000 руб.