

Сеначин Павел Кондратьевич, д.т.н., профессор, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, senachinpk@mail.ru

Сеначин Андрей Павлович, к.т.н., Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

Самарин Александр Викторович, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

ДИНАМИКА РАСПЫЛЕННОЙ ТОПЛИВНОЙ СТРУИ ДИЗЕЛЯ С СИСТЕМОЙ COMMON RAIL ПРИ ДВУХФАЗНОМ ВПРЫСКЕ

Для обеспечения эффективной организации рабочего процесса дизеля необходимо обеспечить согласование параметров впрыснутой под давлением распыленной топливной струи (РТС) с характерными размерами камеры сгорания открытого типа. Для дизелей с открытой камерой сгорания, работающих с системами впрыска высокого давления типа Common Rail, имеющиеся в настоящее время эмпирические формулы, описывающие динамику нестационарной РТС, дают недостаточную точность или практически непригодны [1-3].

В данной работе предлагается упрощенная неэмпирическая **математическая модель** нестационарной РТС при реализации двухфазного впрыска топлива. В этой модели, основанной на динамике материальной точки переменной массы, предполагается раздельное описание РТС (или двух РТС) на различных этапах динамики их продвижения до момента отрыва от сопла форсунки ($t \leq \tau$) и после отрыва ($t > \tau$) [4, 5].

Геометрически РТС представляется в виде усеченного конуса с неизменным углом раскрытия 2β . Вершина конуса располагается внутри соплового канала на глубине $h = (d_0/2)/\text{tg}\beta$, а начало координат – на оси РТС на срезе сопла (рис. 1).

РТС, впрыснутая в рабочий объем, представляется **изотермическим телом переменной массы** - материальной точкой с текущей координатой центра масс Z (находящейся на оси факела), движущейся с переменной скоростью W в результате импульса I_f , получаемого с впрыснутым форсункой топливом $I_f = m_f w_0 = \rho_f S_0 w_0^2 t$, где m_f, ρ_f - масса и плотность жидкого топлива, $w_0 = \sqrt{2(p_f - p)/\rho_f}$ - скорость топлива на выходе из сопла, p_f, p - давление в сопле и наружное давление в камере сгорания, $S_0 = \pi d_0^2/4$ - сечение сопла, d_0 - диаметр сопла, t - время. Координата центра масс РТС Z , при заданной геометрии (рис. 1), определяются уравнением

$$m_{st}Z = m_f Z_f + m_{air} Z_{air}, \quad m_{st} = m_f + m_{air},$$

где Z_f, Z_{air} - координаты центра масс капель жидкого топлива и вовлеченного

в движение воздуха соответственно; m_{st} - масса РТС; m_{air} - масса воздуха вовлеченного в движение.

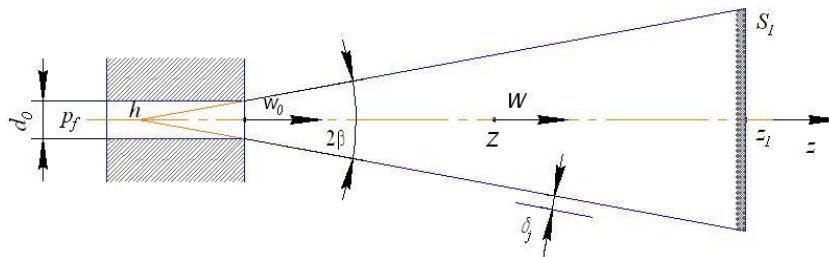


Рисунок 1 – Геометрическая модель нестационарной РТС дизеля

2. Система уравнений динамики РТС-1

Примем следующие обозначения: Z, z_1, z_2 - координаты центра масс струи, передней и задней границы; W, w_1, w_2 - скорость центра масс струи, передней и задней границы; $R_f = \rho_f / (K_{air} \rho_{air})$ - реальное отношение плотностей; ρ_{air} - плотность воздуха; K_{air} - массовая доля вовлеченного в движение воздуха от всего воздуха в струе.

Таким образом, для одиночной РТС-1 имеем систему уравнений до отрыва струи от сопла ($0 < t \leq \tau_1$) при параметре распределения топлива по длине струи $n = 1$ (учитывается неравномерность распределения):

- скорости фронта струи;
- ускорения центра масс;
- координаты центра масс;
- координаты фронта струи.

После отрыва от сопла для РТС-1 ($\tau_1 < t \leq t_2$) система дополняется уравнением скорости задней границы. На рисунке 2 приведена динамика РТС-1.

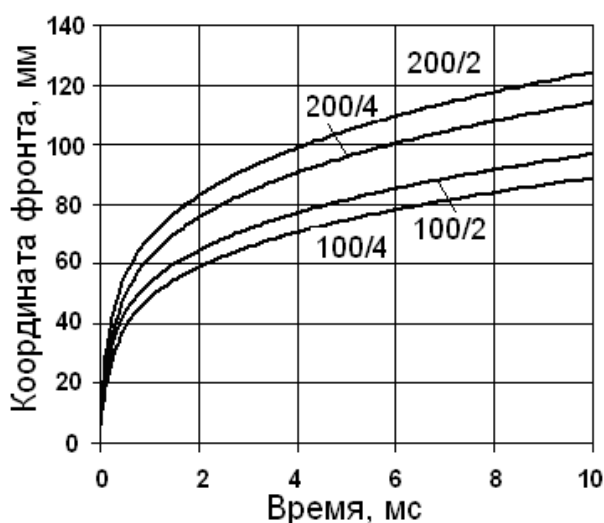


Рисунок 2 – Динамика координаты фронта РТС-1 при давлении впрыска топлива 100 и 200 МПа и противодавлении 2 и 4 МПа

1. Сценарий двухфазного впрыска топлива в дизеле

Будем рассматривать следующий сценарий двухфазного впрыска топлива в дизеле в виде последующих этапов: (рис. 3):

- 1) впрыск первой (запальной) порции топлива РТС-1 ($0 < t \leq \tau_1$);
- 2) движение РТС-1 в виде сформировавшегося усеченного конуса после окончания впрыска до момента начала впрыска РТС-2 ($\tau_1 < t \leq t_2$);
- 3) продолжение движения РТС-1, начавшийся основной впрыск и движение РТС-2 в шлейфе первой струи до момента слияния струй при продолжающемся впрыске топлива ($t_2 < t \leq t_{meet}$);
- 4) слияние РТС-1 и РТС-2 в единую струю РТС-12 и ее движение до момента окончания впрыска топлива ($t_{meet} < t \leq t_2 + \tau_2$);
- 5) движение объединенной струи РТС-12 после окончания впрыска топлива ($t_2 + \tau_2 < t \leq t_{min}$), которое ограничивается минимальной задаваемой скоростью струи ($t = t_{min}$).

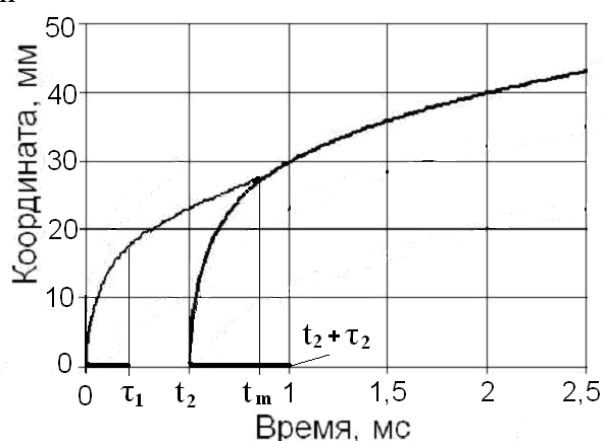


Рисунок 3 – Динамика двухфазного впрыска топлива в дизеле (координата фронта): τ_1, τ_2 - длительность впрыска топлива, t_2 - начало впрыска второй порции топлива, $t_m = t_{meet}$ - момент встречи и объединения струй

Литература

1. Кавтарадзе Р. З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: Учебник для вузов. - М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 720 с.
2. Крупский М. Г. Расчет геометрических параметров струи топлива при впрыске в камеру сгорания дизеля / М. Г. Крупский, В. Ю. Рудаков // Двигателестроение. – 2008. - № 1(231). – С. 24-25.
3. Рудаков В. Ю. Особенности развития топливной струи при двухфазном впрыске // Двигателестроение. – 2011. - № 1(243). – С. 9-11.
4. Динамика распыленной струи дизеля / А. В. Самарин, С. П. Кулманаков, С. В. Яковлев, П. К. Сеначин П.К. // Ползуновский альманах. – 2017. - № 3. Т. 1. – С. 18-23.
5. Моделирование динамики нестационарной распыленной струи в ограниченном объеме / А. В. Самарин, С. А. Ульрих, С. В. Яковлев, П. К. Сеначин // Ползуновский вестник. – 2016. - № 4. Т. 2. – С. 143-148.