

УДК.629.123

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ СТРУЙНЫХ ПОТОКОВ

*Р.Г. Гудилко, А.В. Малахов, О.В. Стрельцов, Ф.А. Бендеберя, А.Н. Палагин*

*Одесская национальная морская академия  
ул. Дидрихсона, 8, г. Одеса, 65029, Украина, [info@onma.edu.ua](mailto:info@onma.edu.ua)*

В настоящее время можно констатировать, что все суда водного транспорта используют при работе судовых энергетических установок не чистое топливо, а топливные эмульсии с присутствием водной компоненты.

Аналитический обзор известных результатов теоретических и экспериментальных исследований указал на неоднозначное негативное влияние воды в топливе на качественные и количественные показатели процесса горения [1]. Известно, что в ходе сгорания топлива за счет появления таких промежуточных химических соединений как спирты небольшие добавки воды приводят к улучшению качества процесса горения [2]. В этом случае возрастает диспергирование факела и могут снижаться степень концентрации вредных компонент (сажа, токсичные оксиды азота и серы и т.п.) в уходящих газах, температура дымовых газов и т.д.

В ходе математического моделирования был смоделировано движение осесимметричной струи факела горячей топливной эмульсии. Текущий радиус струи по мере удаления от сопла задавался по закону

$$r = k\sqrt[3]{x} \quad (1)$$

где  $k$  – эмпирический коэффициент, характеризующий нарастание толщины пограничного слоя и лежащий в диапазоне 0,61-0,82;  $x$  – текущее расстояние до источника струи, м.

Величина провала скорости на оси осесимметричного следа и изменение скорости вдоль оси осесимметричного следа рассчитывались как

$$V_{Xooc} = 1.4\sqrt{4rVx}^{\frac{2}{3}} \quad (2) \quad \frac{V_{Xooc}}{V} = \frac{1.92}{k^2} \left( \frac{r}{x^{\frac{1}{3}}} \right)^2 \quad (3)$$

На основе систематизации опытных данных был сделан универсальный вывод о совпадении профилей концентрации примеси в турбулентной струе с профилями температуры в аналогичных сечениях. Также было установлено, что интенсивность турбулентного переноса тепла в два раза превышает величину переноса количество движения.

При разработке математической модели уравнение сохранения количества движения в струе для продольной составляющей скорости записано в виде

$$\frac{\partial V_x^2}{\partial x} + \frac{\partial V_x V_y}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

В уравнении (4) первое слагаемое соответствует изменению количества движения в продольном направлении движения струи, а второе в поперечном

направлении. Величина поперечной составляющей скорости  $V_y$  в струе определялась по величине продольной составляющей  $V_x$  как

$$V_y = -\int \frac{\partial V_x}{\partial x} dy \quad (5)$$

Уравнение теплообмена в струе и двумерное уравнение теплового баланса струи были записаны в виде

$$V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} = -l^2 \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (6) \quad \Delta T V_y + \frac{\partial}{\partial x} \int_0^y \Delta T V_x dy + c^2 x^2 \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} \quad (7)$$

где  $c$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>К).

В уравнении (7) первое слагаемое соответствует изменению избыточной температуры вдоль оси струи, второе переносу тепловой энергии через поверхность струи, а третье изменению теплового содержания внутри струи.

При моделировании водная компонента в топливе считалась примесью на основании чего ее диффузия при движении струи распыляемого топлива рассматривалась полностью идентичной распространению тепла в струе.

Струя топлива на выходе из сопла рассматривалась как неизотермическая струя в спутном потоке малой скорости. В этом случае профили скорости и температуры разделялись на две области – начального и основного участка струи и рассчитывались как

$$V_x = \left( 1 - \left( \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} \right)^{\frac{3}{2}} \right)^2 \quad (8) \quad T = 1 - \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} \quad (9)$$

$$V_x = \left( 1 - \left( \frac{y}{r} \right)^{\frac{3}{2}} \right)^2 \quad (10) \quad V_x = 1 - \left( \frac{y}{r} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (11)$$

где  $y_1$  и  $y_2$  – ординаты внутренней и внешней границ турбулентного пограничного слоя в начальном участке струи;  $y$  и  $r$  – ординаты точек, соответствующих произвольному значению безразмерной скорости и границе струи.

При нахождении температуры использовалось условие постоянства теплосодержания факела топливной струи внутри рабочей камеры сгорания

$$\int_0^m \Delta T dm = \int_0^s \rho V \Delta T dS = const \quad (12)$$

где  $\Delta T$  – отличие температур в данной точке струи и в окружающем пространстве, °С;  $dm$  – масса струи топлива, протекающая через элемент поперечного сечения струи в единицу времени, кг;  $V$  – скорость в произвольной точке струи, м/с;  $dS$  – площадь элемента сечения струи, м<sup>2</sup>.

### Літературні джерела

- 1 Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. -М.:Физматгиз, 1960.–715с.
- 2 Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. М., Мир, 1990. в 2 т.