К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЕЛЬ В КАНАЛАХ ПРИБОРОВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

канд. техн. наук, доц. Е.А. Глотов,
канд. физ.-мат. наук Д.В. Федорченко, А.А. Тарасенко
(представлено док. физ.-мат. наук В.П. Ольшанским)

Рассматривается метод исследования течения двухфазной смеси, позволяющий ограничиться интегрированием системы уравнений Навье-Стокса для совершенного газа при исследовании двухфазной смеси, в каналах приборов пожаротушения.

Исследование течения двухфазной смеси представляет собой весьма актуальную практическую задачу. Эффекты, возникающие при движении смеси газ-жидкость в каналах с различными геометрическими параметрами, находят своё применение при создании различных технических устройств [1].

Для разработки новых средств пожаротушения представляет особый интерес исследование режимов движения смеси газ-жидкость в каналах устройств пожаротушения.

В настоящей работе рассматривается математическая модель течения двухфазной смеси, при дроблении капель в сложных каналах пожарно-технических систем.

Предлагаемая математическая модель течения двухфазной смеси основывается на системе уравнений гидродинамики для жидкой смеси [1]. В настоящей работе мы ограничимся практически важным случаем движения смеси в каналах с цилиндрической симметрией, ввиду чего достаточно рассмотреть двумерную задачу.

Система уравнений гидродинамики, определяющая нестационарное течение двухфазной смеси, записанная в слабо консервативной форме, имеет вид [2]

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \frac{\left(\vec{E} - \vec{E}_V\right)}{\partial z} + \frac{\partial\left(\vec{F} - \vec{F}_V\right)}{\partial r} + \vec{H} = 0 \tag{1}$$

где $\vec{V}$, $\vec{E}$, $\vec{E}_V$, $\vec{F}$, $\vec{F}_V$, $\vec{H}$ – обобщённые вектора, компоненты которых содержат параметры, описывающие смесь: скорости, плотности, давления, коэффициенты динамической вязкости и т.д. Система (1) представляет собой совокупность восьми уравнений в частных производных первого порядка.

Интегрирование системы (1) в общем виде представляет собой чрезвычайно сложную задачу. В данной работе мы введём ряд дополнительных упрощающих предположений, которые позволят ограничиться интегрированием системы уравнений Навье-Стокса для совершенного газа.

Для описания дробления капли в газовом потоке введем число Вебера

$$We = \frac{2\bar{r}_j \rho \left|\Delta q_j\right|}{\Sigma} \qquad (2)$$

где Σ- поверхностное натяжение капель жидкости, $\bar{r}_j$- радиус частицы жидкости (скаляр), ρ- плотность газа, $\left|\Delta q_j\right|$- относительная скорость движения частиц жидкости, $\Delta q_j = \sqrt{(u-u_j)^2 + (v-v_j)^2}$, u, u_j и v, v_j– безразмерные составляющие скорости жидкости и частиц в направлениях z и r соответственно.

Известно [1], что из всех существующих режимов дробления капли можно грубо выделить три группы режимов: I-режим, при котором большая часть образующихся при дроблении капель имеет размер, сравнимый по порядку величины с размером исходной капли; II - режим "обдирки", когда в спектре начинают преобладать мелкие капли с диаметром $d \approx 0{,}1\,d_0$, где d_0- начальный диаметр капли; III-режим взрывоподобного разрушения, когда $d < 0{,}1\,d_0$.

В данной работе мы пренебрегаем дроблениями, соответствующими режиму I, а учитываем только режимы II и III, которые появляются при

$$We > We_{CII} \approx 60 \text{ и } We > We_{CIII} \approx 1000, \qquad (3)$$

где We_{CII}, We_{CIII} –числа Вебера для режимов II и III соответственно, при которых диаметры капель могут составлять 9-100 мкм.

Далее, не учитывается характерное время дробления, т.е. принимается, что дробление происходит мгновенно, как только величина We становится больше We_C.

Приведенная постановка, несмотря на довольно грубые предположения, все равно является чрезвычайно сложной в реализации. Для дальнейшего рассмотрения мы предположим, что объемная концентрация C_j дисперсной фазы мала ($C_j \ll 1$). В этом случае для моделирования течения смеси можно воспользоваться методом эффективного показателя адиабаты. В соответствии с этим методом исследование течения смеси сводится к исследованию течения совершенного газа, который описывается уравнением состояния

$$P = \rho R T, \qquad (4)$$

где P – давление, $R = x_j R_g$, x_j – массовая концентрация капель, R_g – универсальная газовая постоянная.

Показатель адиабаты модельного газа имеет вид

$$\gamma = \frac{C + R}{C}, \qquad (5)$$

где $C = x_g C_g + x_j C_j$, x_g – массовая концентрация газа ($x_g + x_j = 1$), C_g, C_j – удельные теплоёмкости газа и капель соответственно, C - удельная теплоемкость смеси.

Скорость звука для модельного газа определяется согласно

$$c = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} = c_g \sqrt{\frac{\gamma x_g}{\gamma_g}}, \qquad (6)$$

где c_g – скорость звука в газе, γ_g – показатель адиабаты для газа.

Использование метода эффективного показателя адиабаты позволяет существенно упростить интегрирование системы гидродинамических уравнений для двухфазной системы, поскольку в этом случае число уравнений системы уменьшается до четырёх.

Для того, чтобы получить систему уравнений Навье-Стокса для совершенного газа, следует в исходной системе уравнений (1), то есть в соответствующих компонентах векторов $\vec{V}$, $\vec{E}$, $\vec{E}_V$, $\vec{F}$, $\vec{F}_V$, $\vec{H}$ формально положить члены с индексом *j* равными нулю.

Для описания течения в конкретных системах, следует дополнить полученную систему уравнений граничными условиями.

ЛИТЕРАТУРА

1 Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2-х томах: Т.1: Пер. с англ. - Мир, 1991.-504 с. ил.

2 Теман Р. Уравнения Навье-Стокса. Теория и численный анализ. Пер. с англ.- М: Мир, 1981. - 408 с.