

ОКОЛОСОПЛОВЫЕ ДВУХФАЗНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

Проводится исследование внутренних двухфазных течений в околосопловом пространстве. Рассматриваются предсопловые объемы с утопленным во внутреннюю полость входом в сопло. Отличительной чертой данной работы является детальное описание всех особенностей геометрии расчетной области, учет реального распределения частиц по размерам и их представительства в потоке, учет турбулентности внутреннего течения, а также реальные схемы подвода газа в систему от массоподводящих поверхностей, моделирующих горение.

1. ВВЕДЕНИЕ

Особенностью задач класса внутренних двухфазных течений в проточных трактах энергоустановок является сложная структура потока и наличие нежелательного выброса частиц конденсированной фазы на ограничивающие поверхности, что приводит к проблемам обеспечения теплозащиты. Построение систем средств математического моделирования таких течений представляет интерес для задач параметрической оптимизации геометрических характеристик таких конструкций.

В работе проводится исследование внутренних течений в околосопловом пространстве. Не рассматриваются переходные периоды работы. Исследуемые процессы в околосопловой области рассматриваются с позиции возможности их описания в рамках квазистационарной постановки.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Приведем здесь наиболее общую формулировку основных соотношений модели. Уравнения для функции тока и для вихря скорости в криволинейной системе координат в консервативной форме:

$$g_{22} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \xi^2} - 2g_{12} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \xi \partial \eta} + g_{11} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \eta^2} + \frac{J}{r} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} - \frac{\partial \psi}{\partial \eta} \frac{\partial x}{\partial \xi} \right) = -J^2 r \omega,$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + U \frac{\partial \omega}{\partial \xi} + V \frac{\partial \omega}{\partial \eta} = \frac{v \omega}{r} + \frac{v}{J^2} \times \left[\begin{array}{l} g_{22} \frac{\partial^2 \omega}{\partial \xi^2} - 2g_{12} \frac{\partial^2 \omega}{\partial \xi \partial \eta} + g_{11} \frac{\partial^2 \omega}{\partial \eta^2} - \\ - \frac{J}{r} \left(\frac{\partial \omega}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} - \frac{\partial \omega}{\partial \eta} \frac{\partial x}{\partial \xi} \right) - \frac{J^2 \omega}{r^2} \end{array} \right].$$

В основу расчета движения среды с конденсированными включениями в данной работе положен так называемый лагранжев подход. Из сил, действующих на частицу, учитываются лишь сила сопротивления и массовая сила, определяемая действием гравитационного поля и следствием ускоренного движения изделия в целом. В криволинейной системе координат кинематические соотношения движения частицы имеют вид:

$$\frac{d\xi_p}{dt} = \frac{1}{J} (y_{\eta} u_p - x_{\eta} v_p), \quad \frac{d\eta_p}{dt} = \frac{1}{J} (y_{\xi} u_p - x_{\xi} v_p).$$

3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

3.1. Газовое поле

Рассматривается утопленное в полость заряда сопло. Представляется только дозвуковой участок контура (до горла сопла). Положения контрольных точек, отвечающие любому интересующему моменту времени, получаются из системы данных геометрии области интерполяцией.

Газовое поле строится на последовательности расчетов, в которой фрагменты с тонкой газодинамической структурой уточняются на вводимых сеточных блоках с более подробной структурой.

Алгоритм решения задачи о течении в области сложной конфигурации состоит из следующих этапов.

1. На поверхности вдува вычисляются проекции вектора скорости.
 2. Находятся граничные условия для функции тока.
 3. Итерационно до полной сходимости решается уравнение для функции тока (на первом шаге в предположении равенства нулю вихря скорости).
 4. Корректируются значения вихря скорости на поверхности вдува.
- Далее процесс повторяется с шага 3 до выполнения условия по сходимости. В качестве критерия сходимости решения бралась невязка вихря на поверхности вдува.
5. Уточняется поле течения в области сопловой поверхности, используя ранее полученные результаты.

3.2. Расчет движения конденсированной фазы

Предлагаемый вариант подхода расчета движения среды с конденсированными включениями основан на следующих положениях:

- конденсированная фракция представляется набором частиц-представительниц. Каждая частица-представительница представляет частицы, лежащие в некотором заданном диапазоне функции распределения частиц по размерам, и индивидуализирует те частицы, которые на входе в расчетную область расположены в заданной трубке тока;

- выпадение частицы на стенку сопла означает вынос в эту область сопла всего массового расхода, который приписан данной частице;

- полагается, что отсутствует обратное влияние частиц на газовое поле;

- траектория движения каждой частицы находится из интегрирования ее уравнения движения.

Влияние турбулентности на движение частиц учитывается путем введения в расчет мгновенного значения скорости газа, пульсации которого моделируются исходя из местных характеристик турбулентности.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Линии тока, полученные после итерационного расчета вихря и включения завихренности в алгоритм расчета функции тока, представлены на рис.1. Далее происходит уточнение поля течения в области сопловой поверхности, строится местный сеточный блок с более подробной структурой и производится пересчет поля течения в этой области. Наглядно сеточный блок представлен на рис.2.

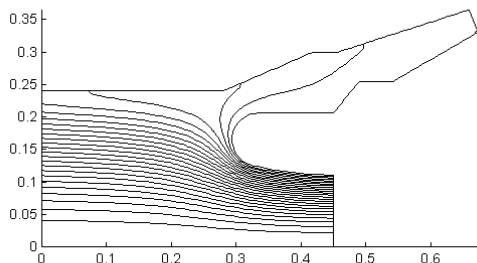


Рис. 1. Линии тока после итерационного расчета вихря

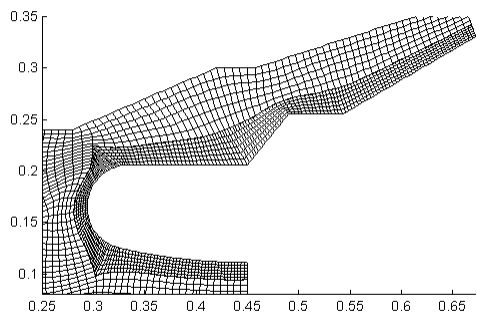


Рис. 2. Местный сеточный блок

Имея подготовленное газовое поле проводятся расчет серии траекторий частиц и определение потоков выпадения на поверхность сопла. Траектории частиц в околосопловом пространстве и массовый поток на стенку сопла показаны соответственно на рис.3 и 4, диаметр частиц 30 мкм, время от начала работы 1 секунда. Полученные результаты показывают, что область выпадения конденсированной фазы является лобовая часть сопла.

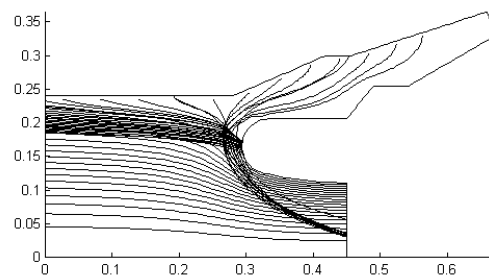


Рис. 3. Траектории частиц $d=30$ мкм

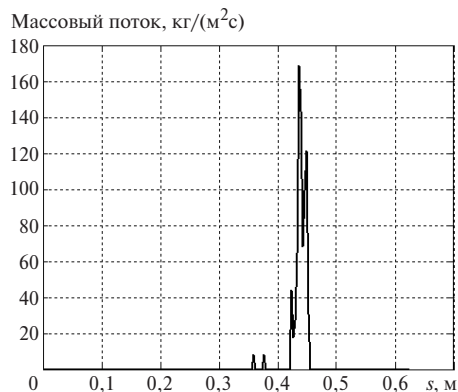


Рис. 4. Массовый поток на стенку сопла

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная совокупность модулей, представляющая систему математического моделирования течения газа в околосопловом пространстве двигателя осесимметричной компоновки и движения конденсированной фазы, позволяет исследовать особенности инерционного выпадения частиц на стенки сопла и влияние на массовые потоки выпадения геометрических и расходных факторов.

Созданы эффективные вычислительные схемы для массовых траекторных расчетов частиц в построенном газовом поле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Стернин Л.Е., Шрайбер А.А.** Многофазные течения газа с частицами. М.: Изд-во Машиностроение, 1994. 320 с.
2. **Емельянов В.Н.** Внутренние течения сложной структуры // Внутрикамерные процессы, горение и газовая динамика дисперсных систем. Санкт-Петербург: Изд-во БГТУ, 1998. С. 80-91.