

3. Dulikravich, G.S., Dennis, B.H., Martin, T.J. and Egorov, I.N., "Multi-Disciplinary Design Optimization", Evolution Methods for Design, Optimization and Control, (eds: K. Giannakoglou, D. Tsahalis, J. Periaux, K. Papailiou and T. Fogarty), CIMNE, Barcelona, 2001.

4. Egorov I.N., Kuzmenko M.L. Shmotin Yu. N. "Increasing of Fan Efficiency basing on Optimization Technology", 17th International Symposium on Airbreathing Engines – ISABE 2005, Munich, Germany, September 4-9, 2005.

УДК 621.454.2-181.4.022.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЖРДМТ ТЯГОЙ 10...15 Н

Бешенев Ю.А., Казанкин Ф.А., Салич В.Л., Семкин Е.В.

ФГУП «Научно-исследовательской институт машиностроения», г. Нижняя Салда

Принятые обозначения

ν , динамическая вязкость.
 φ_β , коэффициент полноты расходного комплекса.
 W , окружная составляющая скорости;
 ρ , плотность рабочего тела;
 V , составляющая скорости вдоль оси r (рис. 2)
 U , составляющая скорости вдоль оси x (рис. 2);
 r , координата в радиальном направлении (рис. 2)
 x , координата в осевом направлении (рис. 2).

Наиболее часто в конструкциях российских жидкостных ракетных двигателей (ЖРДМТ) для организации рабочего процесса используются соосные центробежные форсунки внешнего смешения. Выбор конструкции смесительных элементов форсуночных головок ЖРДМТ проводится по результатам проектных расчётов и экспериментальных исследований по поиску размеров втулок «О» и «Г», которые позволяют получать значения φ_β , близкие к предельным ($\varphi_\beta = 0,93...0,96$). Выбор конструкции смесительных элементов проводится по результатам 5...10 испытаний ЖРДМТ на натуральных компонентах топлива. Количество проводимых испытаний обусловлено неточностями методики проектного расчёта центробежных форсунок «О» и «Г». Для проектного расчёта центробежных форсунок используется методика, предложенная Г.Н. Абрамовичем [1]. Согласно данной методике производительность центробежной форсунки ставится в зависимость от геометрической характеристики форсунки A ,

$$A = \frac{r_c \cdot R \cdot \pi}{f_{BX}} \quad (1)$$

Основываясь на принципе максимального массового расхода через центробежную форсунку, по аналогии с течением жидкости по водосливам с широким порогом, связь между коэффициентом расхода μ через центробежную форсунку и геометрической характеристикой форсунки определяется как

$$A = \frac{(1 - \varepsilon) \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{\varepsilon^3}}, \quad (2)$$

$$\mu = \sqrt{\frac{\varepsilon^3}{2 - \varepsilon}}.$$

Здесь ε коэффициент заполнения сопла форсунки,

$$\varepsilon = 1 - \frac{r_B^2}{r_c^2}, \quad (3)$$

где r_B радиус воздушного вихря.

Обозначения в формулах 1-3 соответствуют принятым на рис. 1.

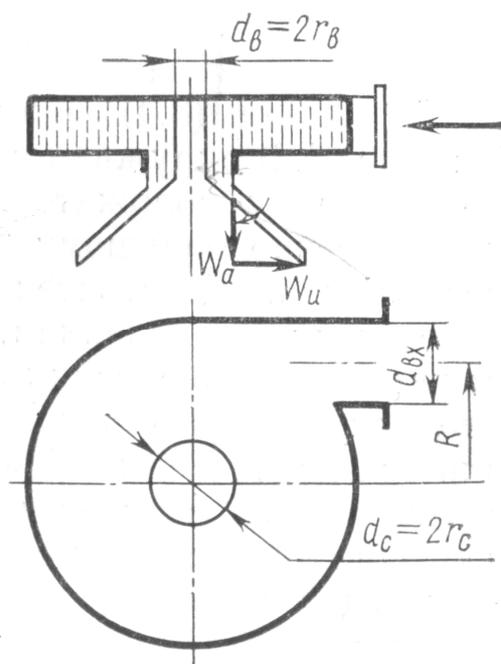


Рис. 1. Расчётная схема центробежной форсунки

Исследованиями показано [2], что принцип максимального массового расхода применим только для центробежных форсунок, в которых гидравлическими потерями можно пренебречь. Оценка точности определения коэффициента расхода центробежных форсунок по формулам 1-3, применяемым в ЖРДМТ тягой 10...15Н, показывает, что погрешность его определения может достигать 50%. С целью сокращения объёма экспериментальных работ необходимо использовать другие подходы к проведению проектного расчёта центробежных форсунок ЖРДМТ рассматриваемого диапазона тяги. В [2] дан обзор методов расчёта, которые позволяют учесть в той или иной степени различные виды гидравлических потерь в центробежной форсунке. В [3] рассмотрен метод расчёта центробежной форсунки, предложенный Л. А. Клячко. Этот метод является модификацией метода Г.Н. Абрамовича, который позволяет учесть потери на трение в камере закручивания в центробежной форсунке

В статье авторами рассматривается решение задачи расчёта течения в центробежной форсунке, основанное на численной модели течения. Модель построена на решении уравнений Навье-Стокса для осесимметричного течения вязкой несжимаемой жидкости, имеющей начальную закрутку потока.

$$\frac{\partial(rU)}{\partial x} + \frac{\partial(rV)}{\partial r} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial r} + U \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{W^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left(\nabla^2 V - \frac{V}{r^2} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + V \frac{\partial W}{\partial r} + U \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{VW}{r} = \nu \left(\nabla^2 W - \frac{W}{r^2} \right) \quad (6)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + V \frac{\partial U}{\partial r} + U \frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu (\nabla^2 U) \quad (7)$$

$$\nabla^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (8)$$

Решение находится в расчётной области, показанной на рис. 2.

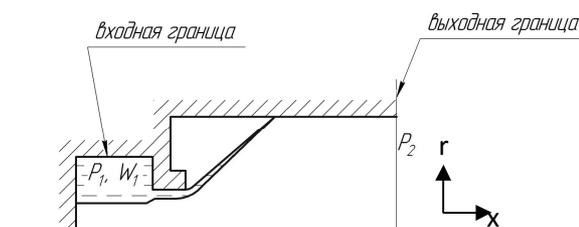


Рис. 2 Расчётная область и граничные условия на входной и выходной границах при численном моделировании

В качестве условий на входной границе задавалось полное давление P_1 и окружная составляющая скорости W_1 . На выходной границе задавалось давление окружающей среды P_2 , куда происходит истечение.

В докладе приведён сравнительный анализ возможности применения при проектировании методик расчёта течения в центробежной форсунке, описанных в [2, 3], и решения, предлагаемого авторами. Даны рекомендации по использованию рассмотренных методик для построения модели процесса смесеобразования применительно к ЖРДМТ тягой 10...15 Н.

Библиографический список

1. Васильев, А.П. Основы теории и расчёта жидкостных ракетных двигателей: Учебник / А.П. Васильев, В.М. Кудрявцев, В.А. Кузнецов [и др.]; под ред. В. М. Кудрявцева. - 3 е изд., испр. и доп. Высш. школа, 1983. - 703 с.
2. Хавкин, Ю.И. Центробежные форсунки./Ю.И. Хавкин. - Л., «Машиностроение», 1976. 168 с.
3. Дитяткин Ю.Ф., Клячко Л.А., Новиков Б.В., Ягодкин В.И. Распыливание жидкостей./М., «Машиностроение», 1977. 208 с.