

## ОСОБЕННОСТИ СМЕСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА С ДВУХФАЗНЫМ РАБОЧИМ ТЕЛОМ

Лепешинский И.А., Кучеров Н.А., Зотикова П.В.  
МАИ, г. Москва, chekmenevarolina024@gmail.com

*Ключевые слова:* двухфазный газожидкостный поток, пузырьковая структура, форсунка, капли, дисперсность, диспергирование.

Задача повышения полноты сгорания в камерах сгорания ВРД привела к устройствам, которые формируют двухфазную топливно-воздушную смесь. Такая смесь создается предварительно в камере смешения, а затем распыляется через отверстие. Этот способ распыла, называемый пневматическим [1,2,3] позволяет заранее обеспечить необходимое соотношение между воздухом и топливом, а также получение мелкодисперсного распыла при небольших давлениях. На рис.1 показана экспериментальная зависимость дисперсности получаемых капель жидкости от разности скоростей фаз [2] в спутном и встречных потоках.

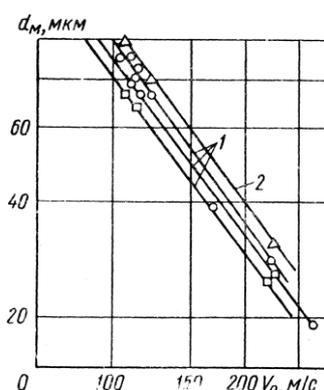


Рисунок 1 - Зависимость капель медианного диаметра от относительной скорости  $V_0$ . Скорости жидкой фазы воды  $\circ$ -1.22 м/с,  $\square$ -3.65 м/с,  $\Delta$  9.1 м/с,  $-$  10.65 м/с., 1-встречный, 2-спутный потоки

Цифрой 1 обозначен спутный поток фаз, цифрой 2 встречный поток фаз. График показывает существенное снижение дисперсности с увеличением разности скоростей. С целью получения аналогичных данных расчетным путем было проведено численное исследование истечения двухфазного газожидкостного потока через форсунку с отверстием  $d_{отв}=2$  мм. В качестве входных параметров форсунки задавались скорость воздуха  $w_{a_0} = 0.9$  м/с, скорость жидкости  $w_{ж_0} = 0.05$  м/с, и объёмная доля воздуха  $\alpha_{a_0} = 0.95$ , полная температура 300 К, размер капель жидкости 100 мкм, а в качестве выходных параметров форсунки статическое давление, равное атмосферному, т.е.  $P_0 = 101325$  Па. В качестве критериев

подобия использовались следующие  $\Pi_1 = \frac{G_{жс}}{G_2}$  (1),  $\Pi_2 = \frac{w_{жс}}{w_2}$  (2),  $\Pi_5 = \frac{\rho_{жс}}{\rho_2}$  (3).

Расчеты проводились по модели Эйлер-Эйлер. На рис.2, 3, и 4 представлены некоторые результаты расчета. В левой части рис. 2 и 3 показана камера смешения двухфазного потока, в правой части меридиональные проекции полей скорости жидкости и газа.

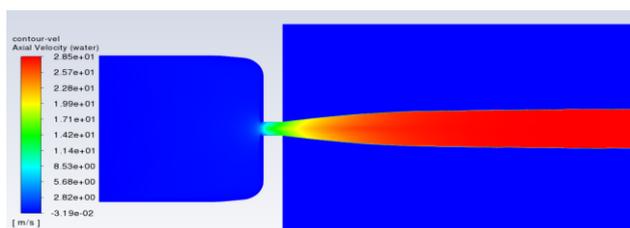


Рисунок 2 - Меридиональная проекция поля скорости жидкости

Были получены также значения расходов скорости жидкости  $w_{жс} = 15.3$  м/с и газа  $w_2 = 123.5$  м/с и критерия  $\Pi_1 = 2$  на срезе форсунки были получены путём осреднения профилей на срезе форсунки по расходу. На рис. 4 показано изменение скорости фаз при течении в канале форсунки. График показывает существенное увеличение скорости жидкой фазы воздухом.

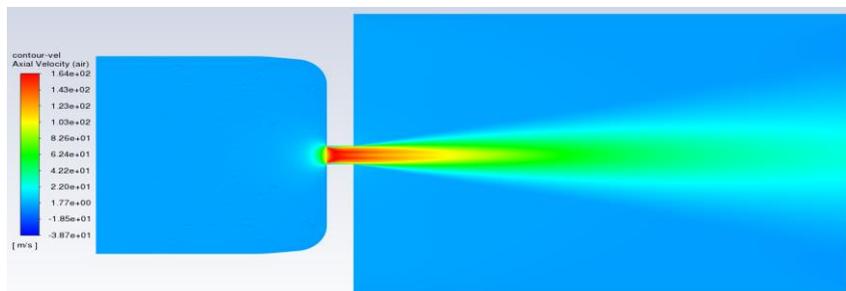


Рисунок 3 - Меридиональная проекция поля скорости газа

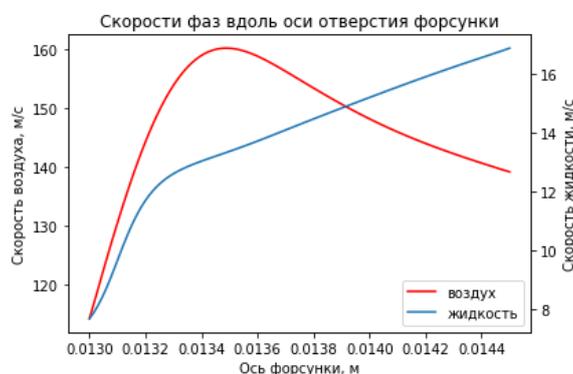


Рисунок 4 - Изменение скорости фаз вдоль оси отверстия форсунки

Затем были коэффициенты скорости газа  $\varphi_2 = \frac{w_2}{w_{жс}} = 0.3$  и жидкости  $\varphi_{жс} = \frac{w_{жс}}{w_{жс_1}} = 2.5$ ,

где  $w_{жс_1}$  расчетная скорость истечения жидкости при заданном перепаде давления определялась по формуле Альтшуля [4]. Проведенное численное исследование совместного истечения двухфазного потока газокapельной структуры из форсунки совпадает с результатами экспериментального исследования [2]. Кроме этого, в работе впервые показано, что при диспергировании рассматриваемого рабочего тела возможно получение коэффициента скорости больше единицы. Следует также отметить, что использование двухфазного потока газокapельной структуры позволяет улучшить диспергирование жидкости и уменьшить средний размер получаемых капель. В общем случае, дисперсность капель определяется формулой [2]:

$$\frac{d_k}{d_{отв}} = 1.1 \cdot 10^3 \cdot W^{-0.63} Lp^{-0.327} \Pi_5^{-0.5},$$

где  $W = \frac{\rho_2 d_k}{\sigma} (w_2 - w_{жс})^2$ ,  $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения жидкости,

$$Lp = \frac{\rho_{жс} d_k \sigma}{\mu_{жс}^2},$$

где  $\mu_{жс}$  - коэффициент вязкости жидкости,  $d_k$  - среднемедианный размер капель жидкости,  $d_{отв}$  - диаметр сопла форсунки. Поскольку все критерии в отрицательной степени, то увеличение разности скоростей будет уменьшать размер капель.

### Список литературы

1. Основы техники распыливания жидкости / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов // М.: Химия, 1984. – 254 с.
2. Распыливание жидкостей / Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко, Б.В. Новиков, В.И. Ягодкин – М.: Машиностроение, 1977. – 208 с.
3. Экспериментальное исследование смесительного устройства форсажной камеры газотурбинного двигателя / Е. Ю. Марчуков, А. Н. Мухин, И. А. Лепешинский [и др.] // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2022. – № 4. – С. 3-10.
4. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселев. – М.: Издательство литературы по строительству, 1965. – 274 с.

### Сведения об авторах

Лепешинский Игорь Александрович, д.т.н., профессор, профессор 201 кафедры МАИ, область научных интересов: механика гетерогенных сред, авиационные двигатели.

Кучеров Никита Александрович, старший преподаватель кафедры 201 МАИ, область научных интересов: механика гетерогенных сред, авиационные двигатели.

Зотикова Полина Викторовна, аспирант кафедры 201 МАИ, область научных интересов: механика гетерогенных сред, авиационные двигатели.

### FEATURES OF A MIXING DEVICE WITH A TWO-PHASE WORKING FLUID

Lepeshinsky I.A., Kucherov N.A., Zotikova P.V.  
MAI, Moscow, chekmenevapolina024@gmail.com

*Keywords: two-phase gas-liquid flow, bubble structure, nozzle, droplets, dispersion, dispersion.*

In this paper, the issue of the formation of a two-phase gas-drop fuel-air mixture to increase the completeness of combustion in the combustion chambers of an air-jet engine is touched upon. In particular, the problem of calculating the phase velocity coefficients at the expiration of such a mixture from a jet nozzle is solved. The calculation was carried out using a heterogeneous Euler-Euler model. As a result of the calculation, the velocity fields of the phases and the values of the desired coefficients were obtained.