

УДК 621.175.57

Э.Г. БРАТУТА, д-р техн. наук, Р.Г. АКМЕН, канд. техн. наук, С.В. БОРОВОК

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CAD/CAE СИСТЕМ ДЛЯ РАСЧЁТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАРТОВЫХ СКОРОСТЕЙ ЖИДКОСТИ НА ВЫХОДЕ ИЗ ФОРСУНКИ**

За допомогою системи SolidWorks та COSMOS FloWorks розв'язана задача що до розподілу локальних швидкостей рідини на виході з однозаходної відцентрової форсунки. Показано, що розповсюджене припущення про однакову стартову швидкість утворених при диспергуванні краплин не відповідає дійсності.

К настоящему времени процессу распыливания жидкости посвящено большое количество не только статей, но и монографий, среди которых наиболее известные [1–3]. Интерес к этому процессу очевиден, так как процессы горения распыленного топлива, процессы распылительной сушки, контактного тепло– и массопереноса в самых разнообразных теплотехнических объектах по практической значимости и количеству передаваемой энергии, возможно даже превышают эти характеристики для рекуперативных теплообменных устройств.

Вместе с тем, в силу многофакторности и сложности формирования дисперсной поверхности обмена подавляющее большинство методик расчёта контактных аппаратов носит сугубо эмпирический характер. Это существенно ограничивает возможности перспективного проектирования аппаратов нового типа и их оптимизацию. В тоже время дальнейшее развитие аналитических методов расчёта базирующихся на рассмотрении “элементарных” актов взаимодействия “капля–газовая фаза” возможно лишь при наличии надёжной информации не только о функции распределения капель по размерам, но и о начальной (стартовой) скорости капель на выходе из форсунки.

Наиболее распространённым и как бы общепринятым допущением при выполнении траекторных расчётов движения капель и строящихся на основании их расчётах процессов тепло и массопереноса является допущение о том, что все капли, образовавшиеся при распаде жидкости, имеют одинаковые стартовые скорости. Вместе с тем, это допущение требует определённого подтверждения, так как заведомо неравномерное распределение скоростей жидкости по радиусу выходного сечения сопла форсунки любого типа должно порождать и неравномерность распределения стартовых скоростей капель. Настоящая статья посвящена оценке степени правомочности указанного допущения.

Для решения поставленной задачи используется комплекс CAD/CAE программ SolidWorks и COSMOS FloWorks. С помощью CAD программы SolidWorks создается геометрия рассматриваемой конструкции. COSMOS FloWorks является дополнительным модулем-надстройкой над системой твердотельного моделирования Solid Works. COSMOS FloWorks позволяет инженеру моделировать течение жидкости или газа в конструкции любой сложности. В этом CFD пакете для численного решения задач используется метод конечных объемов и нестационарные уравнения Навье-Стокса. Дискретизация уравнений осуществляется в консервативной форме, частные производные аппроксимируются со вторым порядком точности, производные по

времени – по неявной схеме Эйлера первого порядка. Стационарные решения рассматриваются как предельный случай нестационарных, то есть получаются в результате установления при многократном повторении процесса решения задачи во времени. Расчет параметров потока при переходе на временной  $(n+1)$  слой осуществляется по их известным значениям на слое  $n$  с помощью системы дискретных уравнений, приближающих исходную систему Навье-Стокса и уравнения неразрывности потока:

$$\frac{\vec{U}^* - \vec{U}^n}{\Delta t} + A_h(\vec{U}^n, p^n)\vec{U}^* = S^n; \quad (1)$$

$$L_h \delta p = \frac{\text{div}_h(\rho \vec{u}^*)}{\Delta t}; \quad (2)$$

$$\rho u^{n+1} = \rho \vec{u}^* - \Delta t \cdot \text{grad}_h \delta p; \quad (3)$$

$$p^{n+1} = p^n + \delta p; \quad (4)$$

$$\rho k^{n+1} = \rho k^*; \rho \varepsilon^{n+1} = \rho \varepsilon^*. \quad (5)$$

Здесь индекс \* присвоен промежуточным значениям параметров;  $\vec{U} = (\rho \vec{u}, \rho k, \rho \varepsilon)$  – полный набор базовых переменных, исключая давление  $p$ ;  $\vec{u} = (u_1, u_2, u_3)$  – вектор скорости;  $\delta p = (p^{n+1} - p^n)$  – дополнительная переменная которую называют невязкой давления (pressure correction). Все указанные параметры являются дискретными функциями, которые определяются в центрах расчётных ячеек с помощью приведенной выше системы уравнений. Дискретные операторы  $A_h$ ,  $\text{div}_h$ ,  $\text{grad}_h$ ,  $L_h = \text{div}_h \text{grad}_h$  приближают со вторым порядком точности соответствующие дифференциальные операторы исходных уравнений.

Исследуемым объектом является центробежная однозаходная форсунка, получившая широкое применение в камерах орошения центральных кондиционеров. Её схема показана на рис. 1

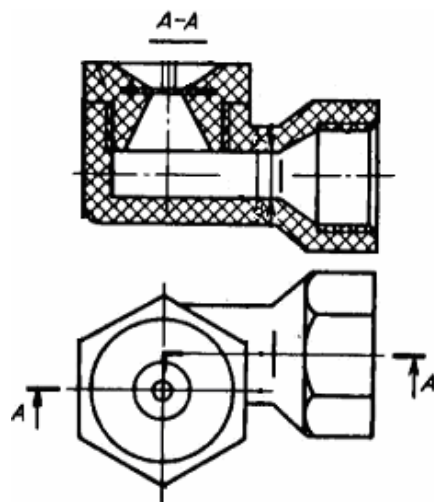


Рис. 1 – Схема форсунки

Цель исследования состояла в расчёте распределения локальных скоростей течения несжимаемой жидкости в улитке форсунки и на выходе из неё, при заданной скорости жидкости на входе.

Задача ставится таким образом, что при известной скорости жидкости на входе в форсунку определяется распределение скоростей на выходе из форсунки вдоль диаметра выходного отверстия сопла на различном удалении от его среза.

На рис. 2 показаны результаты расчёта.

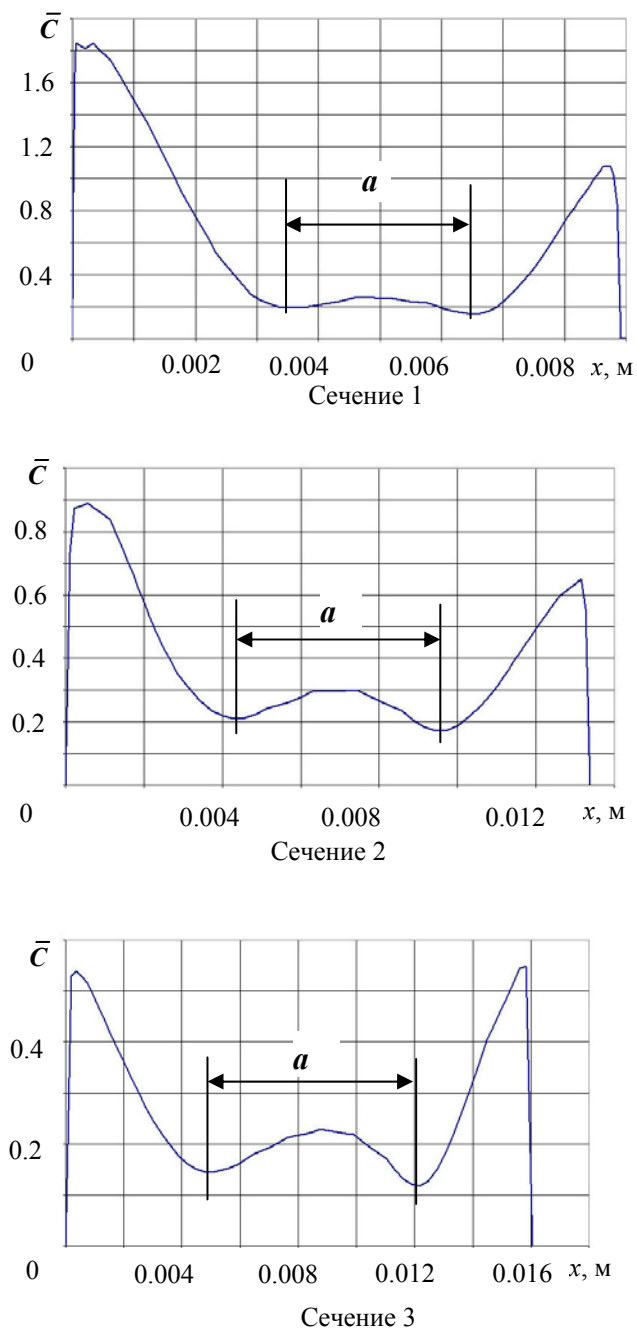


Рис. 2 – Поле скоростей жидкости на выходе из форсунки  
сечение 1 – на срезе отверстия сопла форсунки ( $h=0$ ), сечение 2 –  $h=10$  мм от среза,  
сечение 3 –  $h=20$  мм.

Здесь  $\bar{C}$  – относительная скорость жидкости, т.е. отношение локальной скорости жидкости в соответствующей точке вдоль диаметра сопла форсунки к скорости на входе жидкости в форсунку, принимаемой равной единице;  $x$  – координата вдоль диаметра сопла.

Как известно [2], распределение локальных расходов жидкости по радиусу сопла центробежной форсунки всегда таково, что некоторая часть выходного сечения сопла оказывается незаполненной. Имея в виду определенные погрешности численного решения системы (1–5), можно считать, что незаполненной части сечения соответствует часть области, эквивалентная отрезку диаметра  $a$ . С учетом этого замечания полученные зависимости  $\bar{C}(x)$  отражают характерное для центробежных форсунок распределение локальных расходов жидкости, полученное в эксперименте [4].

Рассмотрение кривых, представленных на рис. 2, позволяет сделать следующие выводы:

1. Степень неравномерности распределения скоростей жидкости, а, следовательно, и стартовых скоростей капель изменяется от 0,12 в ядре потока до 1,8 на периферии.

2. Указная степень неравномерности уменьшится по мере увеличения расстояния от среза форсунки.

3. Дальнейшее развитие методики аналогичных расчётов позволит получить пространственную картину распределения скоростей жидкости на выходе из сопла форсунки, а, следовательно, получить соответствующую картину распределения стартовых скоростей капель.

4. Использование данного программного комплекса даст возможность, включив дополнительно уравнение движения капель и функцию распределения их по размерам, определить как изменение температуры дисперсной фазы, так и трансформацию состояния газовой среды, взаимодействующей с каплей.

#### Литература

1. Пажи Д.Т. Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 25 с.
2. Бородин В.А. Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А. Распыление жидкостей. – М.: Машиностроение, 1967. – 265 с.
3. Раушенбах Б.В., Белый С.А., Волынский М.С. и др. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно–реактивных двигателей. – М.: Машиностроение, 1964. – 526 с.
4. Братута Э.Г. Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях. – Харьков: Выща школа, 1987. – 144 с.

© Братута Э.Г., Акмен Р.Г., Боровок С.В., 2005