

УДК 532.529

А.Р. ПЕРЕСЕЛКОВ, канд. техн. наук.

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,  
г. Харьков, Украина*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА КАПЕЛЬ ПРИ РАСПЫЛИВАНИИ ЖИДКОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ ФОРСУНКАМИ

Виконані локальні вимірювання дисперсного складу крапель за допомогою лічильно-імпульсного методу та значення питомої витрати рідини в крапельному потоці при використанні відцентрових форсунок. Винайдені та узагальнені в безрозмірній критеріальній залежності значення параметра приведеної однопараметричної функції розподілення крапель по діаметру.

Local measurements of drops disperse structure has been lead by means of a calculating-impulse method and values of the specific charge of a liquid in a drop stream at use of centrifugal spray nozzle.

Parameter of the resulted one-parametrical function of distribution of drops volume at the diameters has been defined and generalized in dimensionless criterial dependences.

При разработке математической модели гидродинамики и теплообмена в газожидкостном капельном потоке в рабочем пространстве безнасадочного контактного аппарата необходимы данные о дисперсном составе капель распыленной жидкости. Также в инженерных методах расчета контактных безнасадочных теплообменных аппаратов [1, 2], таких как скрубберы, камеры орошения кондиционеров, контактные экономайзеры и т.д., в эмпирические формулы входит значение среднего диаметра капель, который в какой-то мере характеризует всю генеральную совокупность капель в рабочем пространстве аппарата.

В безнасадочных аппаратах для диспергирования жидкости часто используются центробежные форсунки разных конструкций. Некоторые из них использовались в настоящей работе.

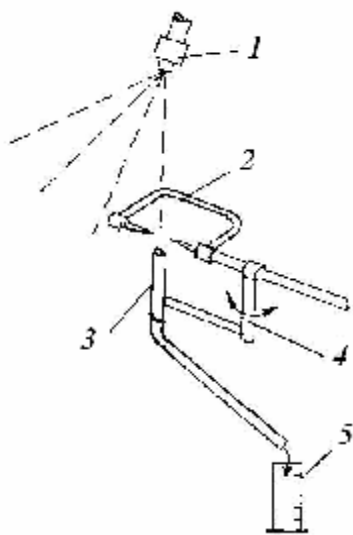
Каждая исследуемая форсунка устанавливалась так, чтобы движение капельного потока в зоне измерения было направлено вертикально вниз, как показано на рис. 1.

Дисперсный состав капель измерялся с помощью счетно-импульсного метода, основанного на определении частоты замыканий каплями концов электродов в зависимости от расстояния между ними [3, 4]. Также в каждой исследуемой точке факела форсунки измерялась величина удельного расхода капельной жидкости  $g = V_{от}/(f_{от} \cdot \tau)$ , мм<sup>3</sup>/(мм<sup>2</sup>·с). С этой целью в эту же точку факела на поворотном кронштейне подводится отборник, с помощью которого капельная жидкость объемом  $V_{от}$ , мм<sup>3</sup> отводится в мерную ёмкость за время  $\tau$ , с. Площадь приёмного отверстия отборника –  $f$ , мм<sup>2</sup>. Игольчатые электроды датчика при этом выводились из зоны измерения.

Исследовались десять центробежных форсунок, схема которых показана на рис. 2.

Их геометрические параметры были следующие. Радиус камеры закручивания  $R = 9$  мм. Число подводящих каналов  $n = 2$  или 4. При этом обеспечивалось равномерное распределение диспергированной жидкости по окружности факела. Подводящие каналы в поперечном сечении были квадратными с размерами сторон  $a$  от 2,3 до 5,5 мм. Соответственно площадь поперечного сечения каналов

$f = 5,29 \div 30,25 \text{ мм}^2$ . Высота камеры закручивания равна размеру подводящих каналов  $a$ . Диаметр выходного сопла форсунки  $d_c$  выполняется от 3 до 6 мм. Перепад давления на форсунке изменялся в диапазоне  $\Delta P = (0,5 \div 5) \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Значение безразмерной геометрической характеристики исследуемых центробежных форсунок  $A = Rdc/2nf$  [5] изменялось от 0,485 до 0,77.



1 – центробежная форсунка; 2 – датчик для измерения дисперсного состава капель;  
3 – отборник капельной жидкости;  
4 – поворотный кронштейн; 5 – мерная емкость

Рис. 1. Схема установки для измерения дисперсного состава капель и удельного расхода жидкости в факеле форсунки

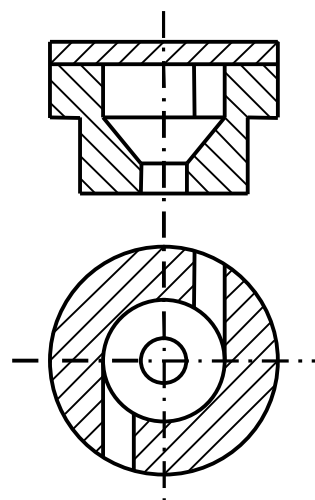


Рис. 2. Схема исследуемых центробежных форсунок

Определяющим размером при обработке результатов была принята толщина пленки жидкости  $\delta$ , которая согласно [5] вычислялась по формуле

$$\delta = d_c \left( 1 - \sqrt{1 - \mu \cdot \cos \frac{\Theta}{2}} / 2 \cos \frac{\Theta}{2} \right),$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода;  
 $\Theta$  – угол раскрытия факела.  
Скорость истечения пленки жидкости из форсунки

$$U = \varepsilon \sqrt{2\Delta P / \rho_{ж}},$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости;  
 $\varepsilon$  – коэффициент скорости.

Согласно [5]  $\varepsilon = \cos(\Theta/2)\mu/\varphi$ . Здесь  $\varphi$  – коэффициент заполнения сопла. Согласно теории центробежной форсунки [5] величины  $\mu$ ,  $\varphi$ ,  $\Theta$  однозначно зависят от безразмерной характеристики форсунки  $A$ . Используя эти зависимости для удобства обработки данных получены аппроксимирующие уравнения

$$\delta = 0,127 \cdot A^{-0,75} \quad \text{и} \quad \varphi = 0,54 \cdot A^{-0,36}.$$

В результате измерения дисперсного состава капель в характерных точках факела на разных расстояниях от устья форсунки было установлено, что после распада пленки продолжается дробление капель. Для исследуемых форсунок зона распада была от 50 до 200 мм от устья. Далее дисперсный состав капель стабилизируется и не изменяется. Поэтому в настоящих исследованиях измерения проводились в области установившегося дисперсного состава капель.

На основании локальных измерений дисперсного состава капель и локальных значений удельного расхода капельной жидкости определялись значения приведенной функции распределения объема капель по диаметру [7]. Для этого весь диапазон размеров капель от 0 до  $D_{max}$  разбивался на  $n$  интервалов по  $\Delta D$ . Условно из всего спектра размеров частиц выделялись капли, диаметры которых находятся в интервале  $D_j \div D_j + \Delta D$  и определяется объемный расход капель этой группы, проходящий через каждую из площадок  $\Delta F_i$ .

Тогда для диаметра  $D_j$  значение приведенной функции равно

$$\vartheta(D_j) = \frac{\sum_{i=1}^n \vartheta(x_i, y_i, D_j) \Delta D \cdot g(x_i, y_i) \Delta F_i}{\sum_{i=1}^n g(x_i, y_i) \Delta F_i}.$$

Для исследуемых форсунок распыленная жидкость по окружности факела распределялась равномерно, поэтому точки измерения располагались вдоль радиуса и значения функции  $\vartheta(D_j)$  определялись как

$$\vartheta(D_j) = \frac{\sum_{i=1}^n \vartheta(r_i, D_j) \Delta D \cdot g(r_i) \Delta r_i}{\sum_{i=1}^n g(r_i) \Delta r_i}.$$

Проделав подобную операцию для других диаметров  $D$  получим значения ординат точек приведенной функции  $\vartheta(D)$  по которым можно построить весь ее график. По графику приведенной функции определялся модальный диаметр  $D_m$  и параметр  $\alpha$  для однопараметрической функции распределения  $\vartheta(D)$ , характеризующей дисперсный состав генеральной совокупности капель, продуцируемых форсункой, т.е.

$$\vartheta(D) = 0,212 \alpha^4 D^3 K_1(\alpha D),$$

где  $K_1$  – функция Бесселя.

В соответствии с этим выражением для функции  $\vartheta(D)$  значения диаметров капель модального –  $D_m$ , медианного –  $D_{0,5}$  и условного максимального  $D_{0,95}$  (для которого интегральная функция  $V(D) = 0,95$ ) соответственно равны

$$D_m = 2,39/\alpha; \quad D_{0,5} = 3,05/\alpha; \quad D_{0,95} = 7/\alpha.$$

Применительно к условиям проведения эксперимента в настоящей работе, т.е. распыливание воды в воздух при атмосферном давлении и температуре воды и воздуха

около 20 °С, результаты измерений и определения приведенного дисперсного состава капель удалось обобщить безразмерным критериальным уравнением вида

$$D_M/\delta = 9,76 \cdot Re_n^{0,304}.$$

Здесь критерий Рейнольдса для пленки жидкости, выходящей из устья форсунки  $Re_n = U\delta/v_{ж}$  был использован, согласно рекомендации работы [8], как комбинация двух критериев, т.е.

$$\frac{U\delta\rho_r}{\mu_{ж}} \bigg/ \frac{\rho_r}{\rho_{ж}} = \frac{U\delta}{v_{ж}} = Re_n.$$

Здесь  $\mu_{ж}$  и  $v_{ж}$  – динамический и кинематический коэффициенты вязкости жидкости.

Соответственно выражение для вычисления параметра  $\alpha$  однопараметрической функции распределения имеет вид

$$\alpha\delta = 0,245 Re_n^{0,304}.$$

Ошибка аппроксимации не превышает 15 %.

Результаты работы могут быть использованы для описания дисперсного состава капель, продуцируемых центробежными форсунками геометрические и режимные параметры работы которых находятся в указанных диапазонах.

#### Литература

1. *Лыков М.В., Леончик Б.И.* Распылительные сушилки. – М.: Машиностроение, 1966.
2. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под общей ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1975.
3. *Викс И., Даклер А.* Новый метод измерения, распределения размеров капель электропроводной жидкости в двухфазном потоке // Сб. Достижения в области теплообмена. – М.: Мир, 1970. – С. 171-187.
4. *Братута Э.Г., Переселков А.Р.* Счетно-импульсный метод исследования распределения капель по размерам в дисперсных потоках // Энергетическое машиностроение. – 1973. – Вып. 16. – С. 72-78.
5. *Дитякин Ю.Ф.* Распыливание жидкостей / Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко, Б.В. Новиков и др. – М.: Машиностроение, 1977.
6. *Братута Э.Г., Переселков А.Р.* Расчет функции распределения капель по размерам при использовании счетно-импульсного метода // Инж. – физ. журнал. – 1974. – Т. 27, № 5. – С. 923-924.
7. *Братута Э.Г., Переселков А.Р.* Определение приведенного дисперсного состава капель по результатам локальных измерений // Известия ВУЗов: Энергетика. – 1975. – № 9. – С. 76-79.
8. *Витман Л.А.* Распыливание жидкости форсунками / Л.А. Витман, Б.Д. Кацнельсон, И.И. Палеев. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962.

© Переселков А.Р., 2008