

УДК 532.529

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ФОРСУНОК

*Кандидат техн. наук, доц. Э. Г. БРАТУТА,
инженер А. Р. ПЕРЕСЕЛКОВ*

Харьковский политехнический институт имени В. И. Ленина

Инженер И. Ф. ЮХНО

ВНИИконвентмаш (г. Харьков)

В настоящее время во многих отраслях техники получили широкое распространение контактные тепломассообменные аппараты, в которых рабочей средой служит распыленная жидкость (камеры орошения центральных кондиционеров, скрубберы, градирни, распылительные сушилки, камеры сгорания и т. д.).

В качестве распылителей в аппаратах указанного типа широко используются центробежные форсунки, работающие при малых перепадах давления ($\Delta p = 0,05 - 0,4$ МПа) и имеющие достаточно большие проходные отверстия (3—6 мм).

Применительно к таким условиям распыливания в литературе практически отсутствуют данные по дисперсному составу образующихся капель, а имеющиеся сведения такого рода для высоконапорных форсунок тонкого распыла [1—3, 5] не могут быть распространены на другие условия диспергирования.

С практической точки зрения наряду с обобщением экспериментальных данных по характерному среднему диаметру спектра капель [1, 3—5] целесообразно также получить обобщенные эмпирические зависимости, по которым для определенных условий диспергирования можно находить параметры уравнения, описывающего дисперсный состав капель [2, 6].

На наш взгляд, использование функций распределения объема капель по диаметру с двумя и более параметрами (Розина — Рамлера [2], логарифмически-нормальной [6] и др.) создает неоправданные осложнения при формировании математической модели процесса тепломассообмена. Так, простой анализ результатов аппроксимации двухпараметри-

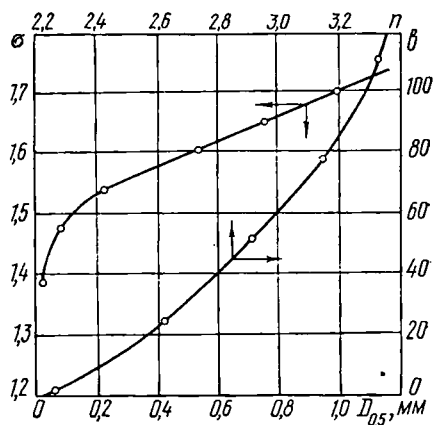


Рис. 1. Связь между параметрами в уравнениях (2) и (3)

ческими уравнениями экспериментальных данных, полученных нами, а также заимствованных из работ Фукса, Дунского, Коркина, показал, что между параметрами распределения b и n в уравнения Розина — Рамлера [2], $D_{0,5}$ и σ в уравнении логарифмически-нормального распределения [6] существует однозначная связь (рис. 1). Это обстоятельство, в частности, позволяет рассматривать указанные уравнения как однопараметрические применительно к процессам диспергирования жидкости.

В результате корректировки математической части используемого нами счетно-импульсного метода измерения размеров капель была получена однопараметрическая зависимость для функции распределения объема капель по диаметру в виде [7]

$$v(D) = \frac{2\alpha^4}{3\pi} D^3 K_1(\alpha D), \quad (1)$$

где D — диаметр капли, мм;
 α — параметр, однозначно характеризующий дисперсный состав капель, мм^{-1} ;
 $K_1(\alpha D)$ — функция Бесселя.

В соответствии с этим для функции $v(D)$ модальный D_m , медианный $D_{0,5}$ и условный максимальный $D_{0,95}$ [2] диаметры соответственно равны

$$D_m = \frac{2,387}{\alpha}; \quad D_{0,5} = \frac{3,05}{\alpha}; \quad D_{0,95} = \frac{7}{\alpha}, \quad (2)$$

а поверхность 1 кг капельной жидкости можно представить в виде

$$e = \frac{6 \cdot 10^3}{\rho_{\text{ж}}} \int_0^{\infty} \frac{v(D)}{D} dD = 2,53 \cdot 10^3 \frac{\alpha}{\rho}, \quad (3)$$

где e — удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$;
 $\rho_{\text{ж}}$ — плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Как было установлено путем сравнения найденных значений удельной поверхности капель, по точности аппроксимации экспериментальных данных по фракционному составу капель двух- и однопараметрические зависимости примерно равнозначны. Между тем использование однопараметрической функции не только упрощает обработку экспериментальных данных, но и позволяет характеризовать весь спектр размеров капель по любому из параметров (α ; D_m , $D_{0,5}$; $D_{0,95}$), по которому будет производиться обобщение опытных данных.

При обработке экспериментального материала ранее было установлено [4, 5], что процесс распыливания можно характеризовать с помощью критериев, в которые входят безразмерная геометрическая характеристика форсунки A , диаметр сопла d_c , скорость истечения жидкости u и ее физические свойства. Однако, как известно из теории центробежной форсунки [1], толщина пленки жидкости δ на выходе из сопла также однозначно определяется лишь соотношением геометрических размеров распылителя. Аналитическую связь между величинами δ , d_c и A удастся выразить простым соотношением вида

$$\frac{\delta}{d_c} = 0,127 A^{-0,73}. \quad (4)$$

Это позволяет использовать δ в качестве определяющего размера в обобщающих критериальных зависимостях и тем самым сократить число переменных [1—3]. Так как расчетное значение δ не является функцией процесса, то приближенный характер вычисления этой величины не

вносит дополнительных погрешностей при формировании критериальных зависимостей.

Применительно к условиям проведения эксперимента в настоящей работе, т. е. при неизменных физических свойствах жидкости и газа (распыливание воды производилось в неподвижном воздухе при атмосферном давлении и температуре воды и воздуха около 20° С), обобщающее уравнение можно представить в виде

$$\frac{D_m}{\delta} = f(Re_n) \quad (5)$$

либо записать в форме, удобной для вычисления параметра функции распределения $v(D)$,

$$\alpha\delta = f(Re_n), \quad (6)$$

где $Re_n = \frac{u\delta}{\nu_{ж}}$ — критерий Рейнольдса, полученный как комбинация двух критериев [3],

$$\frac{u\delta\rho_r}{\mu_{ж}} \cdot \frac{\rho_{ж}}{\rho_r} = \frac{u\delta}{\nu_{ж}},$$

здесь $\nu_{ж}$ — коэффициент кинематической вязкости жидкости.

В работе были исследованы дисперсные характеристики 10 центробежных форсунок (см. табл. 1), характерной особенностью которых было равномерное распределение жидкости вокруг оси факела, что обеспечивалось согласно известным рекомендациям [1].

Таблица 1

Геометрические параметры форсунок

Диаметр сопла, мм	Число подводящих каналов	Площадь подводящих каналов, мм ²	Радиус камеры закручивания, мм	Безразмерная геометрическая характеристика форсунки [1]	Толщина пленки жидкости, мм	Условное обозначение на рис. 2
3	2	3,2×3,2	5	0,77	0,469	●
4	2	3,3×3,3	6	1,2	0,462	○
4	2	2,8×2,8	6	1,8	0,343	△
5	2	3,7×3,7	7,5	1,56	0,460	▲
5	2	2,5×2,5	7,5	3,45	0,259	□
6	2	2,3×2,3	9	5,6	0,209	■
6	2	4×4	9	2,0	0,777	◇
6	4	4×4	9	1,0	0,470	+
6	2	5,5×5,5	9	0,97	0,797	▽
6	4	5,5×5,5	9	0,485	1,17	×

В результате исследования дисперсной структуры в разных точках факела форсунки нами было установлено, что наряду с неравномерностью потоков массы жидкости имеет место и существенное различие дисперсного состава локальных капельных потоков. Это свидетельствует о том, что информация, полученная в результате одного или нескольких

произвольных локальных измерений, не является представительной для генеральной совокупности капель, продуцируемых форсункой. Поэтому важным условием получения представительных результатов будет обоснованный выбор точек измерения и последующее вычисление приведенного дисперсного состава капель на основании локальных измерений [7].

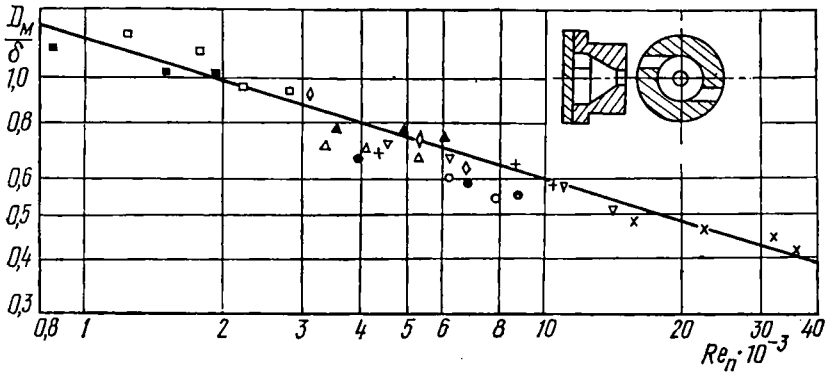


Рис. 2. Зависимость $\frac{D_M}{\delta}$ от критерия Re_n

Путем определения дисперсного состава капель в факеле на разных расстояниях от устья форсунки (в характерных вдоль радиуса точках, соответствующих максимальному удельному расходу жидкости) было установлено, что после распада сплошной пленки, выходящей из устья форсунки, еще на некотором расстоянии продолжается дробление капель, а затем их размеры стабилизируются. Для исследуемых форсунок зона формирования размеров капель при распыливании в неподвижном воздухе распространялась на 50—150 мм. В соответствии с этим мерное сечение факела выбиралось за зоной формирования, т. е. в области стабильного дисперсного состава капель.

Применительно к случаю осесимметричного капельного потока измерения производились в нескольких точках по радиусу факела в мерном его сечении, а затем вычислялась приведенная функция

$$\bar{v}(D) = \frac{\int_{r_1}^{r_2} v(r, D) g(r) r dr}{\int_{r_1}^{r_2} g(r) r dr}, \quad (7)$$

где r_1 и r_2 — наружный и внутренний радиусы в рассматриваемом кольцевом сечении факела, определяемые по результатам локальных измерений удельного расхода жидкой компоненты g [9].

В результате выполненных измерений и обработки данных обобщенное уравнение (5) удалось получить в виде (рис. 2)

$$\frac{D_M}{\delta} = 9,76 Re_n^{-0,304}, \quad (8)$$

которое с учетом (2) трансформируется в следующее выражение:

$$\alpha\delta = 0,245 Re_n^{0,304}. \quad (9)$$

Ошибка аппроксимации при этом не превышает 15%.

Значения величин δ и u определялись по методике, изложенной в работе [1].

Учитывая широкий диапазон геометрических характеристик распылителей, исследованных в настоящей работе, есть основания полагать, что применительно к оговоренным выше условиям распыливания уравнение (9) приемлемо и для других типоразмеров центробежных форсунок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородин В. А. и др. Распыливание жидкостей. М., «Машиностроение», 1967.
2. Раушенбах Б. В. и др. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей. М., «Машиностроение», 1964.
3. Витман Л. А. и др. Распыливание жидкости форсунками. М.—Л., Госэнергоиздат, 1962.
4. Turner G. M., Moulton R. W. Chem. Eng. Progress. 1953, 49, № 4.
5. Блох А. Г., Кичкина Е. С. Распыливание жидкого топлива механическими форсунками центробежного типа. В сб.: «Вопросы аэродинамики и теплопередачи в котельно-топочных процессах». М., Госэнергоиздат, 1958.
6. Стефанов Е. В., Гольденберг З. Е., Коркин В. Д. Исследование дисперсного состава капель в форсуночных камерах установок искусственного климата. «Изв. вузов СССР — Строительство и архитектура», 1975, № 2.
7. Братута Э. Г., Переселков А. Р. К вопросу о новом методе измерения размеров капель. В сб.: «Энергетическое машиностроение», вып. 18. Харьков, изд. Харьковского ун-та, 1974.
8. Братута Э. Г., Переселков А. Р. Определение приведенного дисперсного состава капель по результатам локальных измерений. «Изв. вузов СССР — Энергетика», 1975, № 9.
9. Братута Э. Г., Переселков А. Р. Определение удельного расхода дисперсной среды в газожидкостном потоке с помощью счетно-импульсного метода. «Теплоэнергетика», 1975, № 5.