

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ОРОШЕНИЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ ЖИДКОСТИ НА НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ФАКЕЛА РАСПЫЛА

А.Ш.Шарафиев  
ЮКГУ им. М.Ауезова, г. Шымкент

Известно, что качество распыла жидкости часто предопределяет интенсивность и эффективность процессов тепло- и массообмена (абсорбция, десорбция, экстракция, сушка, охлаждение газа или жидкости) и пылеулавливания орошаемой водой. В химических аппаратах и установках широкое распространение получили низконапорные центробежные распылители, которые используются и как основные технологические устройства, и как оросители или перераспределители жидкостных потоков. Широкое распространение центробежных распылителей обусловлено малым расходом энергии на распыление, простотой конструкции, возможностью выбора формы факела, надежностью в эксплуатации и отсутствием шума в работе. С каждым годом они все чаще используются в различных отраслях. Результаты их исследований [1 – 5], проведенных в мало связанных друг с другом областях науки и техники, дают противоречивые результаты. Это связано с тем, что теория высоконапорных центробежных распылителей используется для создания, расчета и проектирования центробежных распылителей жидкости (ЦБРЖ), широко применяемых практически на всех стадиях производств химической технологии. Однако изученность ЦБРЖ и, прежде всего, уровень теоретических основ их расчета и проектирования, не соответствуют современным требованиям. Так, известно, что в процессе работы ЦБРЖ могут формировать полый либо сплошной факел распыла. Сплошное заполнение факела распыла используется в тех случаях, когда необходимо равномерно распределять диспергированную жидкость по сечению тепло- и массообменных аппаратов (ТМА). В особенности это важно для насадочных ТМА. Конструктивным приемом, используемым для решения этой задачи, является включение в состав конструкции распылителя дополнительного аксиального входного канала. Практика показывает, что сплошной факел распыла наблюдается и при использовании распылителей без аксиального входного канала, например, в тех случаях, когда корневой угол факела не превышает  $30^\circ$ . Отметим дополнительно, что сплошной факел распыла формируется только при работе распылителей в режиме интенсивного распыливания.

Таким образом, особенности истечения жидкости из центробежных распылителей при формировании сплошного факела распыла обуславливаются, по-видимому, не столько наличием или отсутствием аксиального входного канала, сколько работой соплового канала с полным сечением, когда радиус вихря в выходном сечении соплового канала равен нулю. В связи с этим, выделение центробежно-струйных распылителей в отдельный класс, принятое в работе [5], является не вполне оправданным, а более обоснованным представляется традиционное разделение центробежных распылителей по эксплуатационному признаку [6], т.е. на распылители со сплошным факелом распыла или цельнофакельные и на распылители с полым факелом распыла [7].

Распределение плотности орошения во многом определяет эффективную работу контактных тепло- и массообменных аппаратов. Для отыскания функции распределения плотности орошения по радиусу на начальном участке факела распыла центробежного распылителя жидкости выделим в выходном сечении отверстий соплового канала кольцевой поток с максимальным радиусом  $r + 0,5\Delta_r$  и минимальным  $r - 0,5\Delta_r$ . При достаточно малом  $\Delta_r$  сечение такого потока можно принять равным:

$$\Delta S_c = 2\pi \cdot r \cdot \Delta r \quad (1)$$

Объемный расход жидкости в выделенном кольцевом потоке в этом случае можно определить по выражению:

$$\Delta U = 2\pi \cdot r \cdot \Delta r \cdot u_x \quad (2)$$

На расстоянии  $\chi$  от выходного отверстия соплового канала ЦБРЖ сплошность выделенного потока оказывается нарушенной, при этом кольцевое сечение потока на начальном участке факела распыла, где скорости газа и жидкости принимаем неизменными, имеет средний радиус  $R$ , определяемый уравнением (1). Величину этого сечения, через которое поток движется в виде двухфазной структуры, или, если ее распад завершился в виде совокупности капель, определяется соотношением:

$$\Delta S_{cp} = \pi (R_{r+0.5\Delta r, \chi}^2 - R_{r-0.5\Delta r, \chi}^2). \quad (3)$$

Воспользовавшись теоремой Лагранжа о среднем значении, с известным приближением можно записать:

$$\Delta S_{cp} = \pi \cdot \Delta_r \cdot \frac{d}{d_r} \cdot (R_{r, \chi}^2) = \pi \cdot \Delta_r \cdot \left[ x^2 \cdot \frac{d}{d_r} \cdot \left( \frac{u_\varphi}{u_x} \right)^2 + 2r \right] \quad (4)$$

где  $U_\varphi$  – тангенциальная составляющая скорости жидкости в выходном канале ЦБРЖ;

$U_x$  – аксиальная составляющая этой скорости.

Тогда для цельнофакельного распылителя можно записать:

$$\frac{u_\varphi^2}{u_x^2} = \frac{r^2 \cdot k_\varphi}{r_c^2 (k_p - 2k_\varphi r^2/r_c^2)} \quad (5)$$

и, соответственно,

$$\Delta S_{cp} = 2\pi \cdot r \cdot \Delta_r \cdot \left[ 1 + \frac{k_p \cdot k_\varphi \cdot x^2}{r_c^2 (k_p - 2k_\varphi r^2/r_c^2)^2} \right] \quad (6)$$

В уравнениях (5) и (6)  $k_\varphi$  – коэффициент, характеризующий потери напора в центробежном распылителе;  $k_p$  – коэффициент, учитывающий потери энергии и момента импульса.

Аналогично, для распылителя с полым факелом распыла получим:

$$\frac{u_\varphi^2}{u_x^2} = \frac{r^2}{2 \cdot r_c^2 (1 - r^2/r_c^2)} \quad (7)$$

$$\Delta S_{cp} = 2\pi \cdot r \cdot \Delta_r \cdot \left[ 1 + x^2 / 2r_{cp}^2 (1 - r^2/r_{cp}^2) \right] \quad (8)$$

Объемный расход жидкости через кольцевые сечения, выделенные в выходном отверстии соплового канала и в полости факела, одинаковы, так что локальное значение плотности орошения  $q$  в факеле распыла цельнофакельного ЦБРЖ определится по формуле:

$$q = \frac{\Delta V}{\Delta S_{cp}} = u_x \left[ 1 + \frac{k_p \cdot k_\varphi \cdot x^2}{r_c^2 \cdot (k_p - 2k_\varphi r^2/r_c^2)^2} \right]^{-1} \quad (9)$$

Подобным образом для полого факела распыла ЦБРЖ получим:

$$q = u_x \left[ 1 + \frac{x^2}{2r_c^2 \cdot (1 - r^2/r_c^2)^2} \right]^{-1} \quad (10)$$

Сопоставление опытных и рассчитанных по уравнению (10) данных показывает удовлетворительное их соответствие. Особо отметим, что методика расчета, строго говоря, пригодна для выходного сечения распылителя, а проведено сопоставление с данными, полученными на достаточно большом удалении от выходного сечения сопла. Получение экспериментальных данных в сечении, находящемся на меньшем удалении от выходного сечения сопла, является очень сложной экспериментальной задачей.

Важной характеристикой двухфазного дисперсного потока в факеле распыла ЦБРЖ является распределение локальной объемной концентрации жидкой фазы в полости факела. Используя известное [3] соотношение:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\Delta V}{\Delta S_{cp} \cdot u_x}, \quad (11)$$

с учетом выражений (9) и (11) получим уравнение:

$$C_o = 1 - \varepsilon = \left[ 1 + \frac{k_p \cdot k_\varphi \cdot x^2}{r_c^2 \cdot (k_p - 2k_\varphi \cdot r^2/r_c^2)^2} \right]^{-1}. \quad (12)$$

Далее, с учетом выражений (10) и (11), для распылителя с полым факелом распыла получим уравнение:

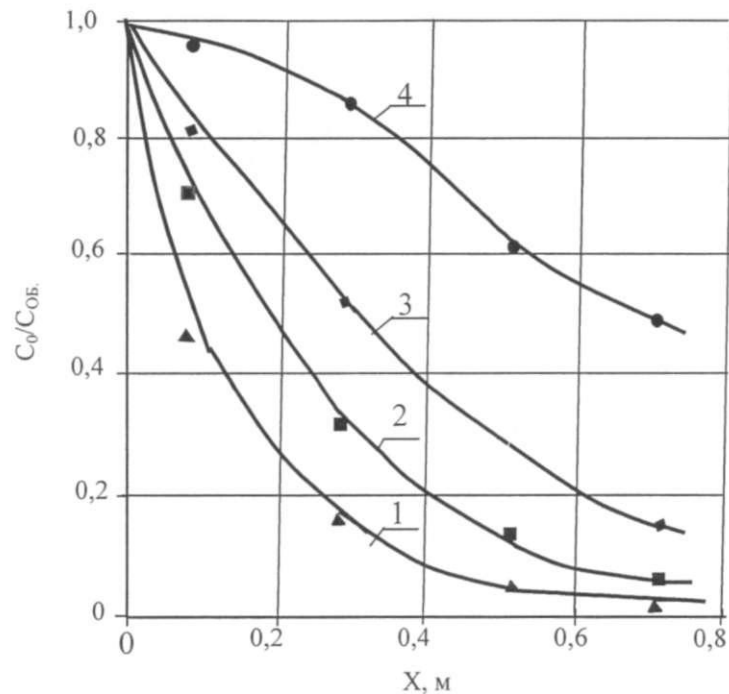
$$C_o = \left[ 1 + \frac{x^2}{2r_c^2 \cdot (1 - r^2/r_c^2)^2} \right]^{-1}. \quad (13)$$

Полученные уравнения позволяют рассчитать профиль изменения концентрации жидкости по радиусу сечения, находящемуся на заданном расстоянии от ЦБРЖ.

Для оценки точности определения концентрации жидкости в факеле распыла по изложенной методике использовали результаты экспериментальных исследований локальных объемных концентраций в полости факела ЦБРЖ типа ВТИ, выполненных методом лазерного зондирования [4]. Разрешающая способность метода не позволяла определить опытные значения объемных концентраций на достаточно малых расстояниях от выходного сопла распылителя. Однако, имеется возможность, по данным работы [5], интерполировать графики функций изменения безразмерных концентраций жидкости по безразмерным радиусам сечений в полости факела в области между значениями  $\chi = 0$ , где для всех  $R/R_{cp}$  безразмерная концентрация  $C_o/C_{об} = 1,0$ , и экспериментальными данными, полученными в сечениях  $X = 300, 500$  и  $700$  мм.

На рисунке 1 представлены результаты расчетов, выполненных для факела распыла распылителя типа ВТИ в сечении, удаленном от выходного отверстия соплового канала на расстояние  $X = 100$  мм. Соответствие экспериментальных и расчетных данных, приведенных на рисунке 1, можно считать удовлетворительным для рассмотренного случая.

Получение достоверных данных путем расчета по уравнениям (10) и (11) для сечений, расположенных на значительном расстоянии от распылителя, невозможно вследствие существенного влияния инжекционного эффекта на движение капель жидкости в газовой среде. Решение этой задачи возможно методами механики неоднородных сред. Вместе с тем, необходимо отметить, что приведенные выше результаты могут быть использованы для идентификации начальных условий в математических моделях гидродинамики двухфазных дисперсных потоков в факеле распыла ЦБРЖ.



1 –  $R/R_{\phi} = 0,8$ ; 2 –  $R/R_{\phi} = 0,6$ ; 3 –  $R/R_{\phi} = 0,4$ ; 4 –  $R/R_{\phi} = 0,2$ .  
Точки - экспериментальные данные работы [4]; кривые – расчет по уравнению (13)

Рисунок 1 – Изменение безразмерных концентраций жидкости по безразмерным радиусам сечений в полости факела

Полученные нами результаты свидетельствуют о достоверности вывода, сделанного авторами работы [8], об отсутствии влияния конструктивных параметров распылителя на дисперсность распыла. Действительно, при различных диаметрах соплового канала, поверхностного натяжения жидкости и давления ее на входе в распылитель, одинаковые значения  $k_p$  и  $k_{\phi}$  могут быть получены при произвольно большом количестве вариантов конструктивных параметров распылителя. Из этого следует, что выбор конструктивных параметров центробежных распылителей с целью изменения размеров образующихся капель является приемом, обеспечивающим эффективную работу распылителя жидкости в конкретных производственных условиях.

Таким образом, нами проведен теоретический анализ процесса формирования факела распыла на выходе из центробежных распылителей и получены расчетные соотношения, описывающие профиль распределения аксиальной и тангенциальной составляющих скоростей жидкости, концентрации капель и плотности орошения в сечении факела на начальном участке. Отмечено, что понятие "корневой угол факела" применительно к распылителям с полым факелом является неопределенным, а потому его использование в качестве важной эксплуатационной характеристики оправдано для распылителей со сплошным факелом распыла.

#### Литература

- 1 Шарафиев А.Ш., Балабеков О.С. Закономерности течения реальных жидкостей в центробежных распылителях // Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан. -2004.- №3.-С. 40-44.
- 2 Шарафиев А.Ш., Балабеков О.С. Моделирование центробежных распылителей с учетом расходных и геометрических параметров // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. -2004. - №2.-С. 3-8.
- 3 Чохонелидзе А.Н., Галустов В.С., Холпанов Л.П., Приходько В.П. Справочник по распылительным, оросительным и каплеулавливающим устройствам. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 608 с.

- 4 Звездин О.Г., Симаков Н.Н., Селивестров С.В. и др. Пространственное распределение диспергированной фазы в полости факела механической форсунки //Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 1987. – Т.30, вып. 5. – С. 110-114.
- 5 Паж Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкости. – М.: Химия, 1984. – 254 с.
- 6 Перри Джон Г. Справочник инженера–химика. Т. 1. – Л.: Химия, Ленингр. отделение, 1969. – 639 с.
- 7 Головачевский Я.А. Оросители и форсунки скрубберов химической промышленности. – М.: Машиностроение, 1974. – 270 с.
- 8 Dombrowski W., Wolfsohn D. The atomization of water by swirl spray nozzles //Trans. Inst. Chem. Eng. – 1972. – V. 50, №3. – P. 294 – 319.

### Қорытынды

Ортадан тепкіш су бүріккішінің бүрку аймағының бастапқы кезеңіндегі бүрку тығыздығы мен сұйықтық құрамының ара қатынасын теориялық және экспериментальдық зерттеулерінің нәтижелері келтірілген.

### Summary

Brought results theoretical and experimentally researches on distribution of density of an irrigation and concentration of a liquid to an initial site of a torch centrifugal spray of a liquid are given.