

УДК 66.069.832.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ФАКЕЛА РАСПЫЛА ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ РАСПЫЛИТЕЛЯМИ ЖИДКОСТИ

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

Наибольшая эффективность тепло- и массообменных аппаратов (ТМА) достигается при равномерном распределении жидкости по поперечному сечению колонны. При течении по контактной зоне аппарата жидкость не сохраняет первоначального распределения. Однако для достижения хорошего распределения жидкости по всей высоте контактной зоны исходное орошение должно быть равномерным. Все используемые для равномерной подачи жидкости устройства можно разделить на две группы: 1) струйные оросители; 2) распылительные оросители. Оросители первой группы подают жидкость в контактную зону в виде отдельных струй. Весьма важным вопросом для них является определение количества точек и места их установки над контактной зоной. Заметим, что оросители струйного типа отличаются сложностью конструкции и громоздкостью, по этой причине они мало пригодны для использования в современных интенсифицированных ТМА. Распылительные оросители представляют собой устройства, в которых подаваемая на насадку жидкость дробится на капли. Подробно устройство и основы расчета разбрызгивающих оросителей приведены в монографиях [1,2], в которых отмечено, что необходимым условием эффективной работы противоточных насадочных и тарельчатых колонных аппаратов является равномерная подача орошающей жидкости в рабочую зону аппарата. Однако первоначальная равномерность в распределении жидкости может быть достаточной, если насадка и тарелки обладают в должной степени перераспределяющей способностью. Это в полной мере относится к колонным аппаратам с противоточными тарелками. Следует отметить, что наличие стабилизатора газожидкостного слоя ячеистого типа также может привести к снижению поперечного перемешивания жидкости в аппарате со всеми вытекающими последствиями.

Установлено [3], что для аппаратов интенсивного типа предпочтительнее оросители распыливающего типа, работающие при низком давлении, например, центробежные низконапорные оросители (ЦБРЖ). Наблюдаемая тенденция объясняется малым расходом энергии на распыление жидкости, простой конструкцией, возможностью регулировки формы факела распыла, простотой эксплуатации и бесшумностью работы, и, самое главное, забываемостью

отверстий и щелей твердыми примесями при орошении суспензией. Данные по теории и методике расчета ЦБРЖ приведены в работах [1,2]. Совокупность задач, возникающих при разработке теории и методики расчета ЦБРЖ, можно свести в две группы: 1) определение производительности (коэффициента расхода) в зависимости от геометрических параметров конструктивных элементов распылителя, свойств жидкости и давления; 2) определение структурных параметров факела распыла, таких, как распределение плотности орошения, концентрация и размер капель, корневой угол факела распыла.

Такой подход может быть оправдан только для начального участка формирования факела распыла. В целом его структура может быть установлена только на основании анализа гидродинамики дисперсного двухфазного потока. Вместе с тем, получаемые на этом этапе анализа данные являются необходимым элементом рассмотрения двухфазной системы в сформированном факеле распыла.

Решение задачи по определению коэффициента расхода ЦБРЖ реализуется на основе теоретического анализа закономерностей истечения жидкости из ЦБРЖ.

Основными аспектами анализа течения жидкости в зоне распада струи на выходе из центробежного распылителя жидкости (ЦБРЖ) является изучение геометрии и внутренней структуры факела распыла вблизи распылителя, а также определение дисперсности распыла в зависимости от конструктивных параметров распылителя, свойств жидкости и давления в распылителе.

Наиболее признанные концепции диспергирования жидкости ЦБРЖ разработаны Г.Н. Абрамовичем [4]. Сущность их можно охарактеризовать следующим образом. При тангенциальном вращении жидкости в сопловом канале тангенциальная составляющая скорости жидкости возрастает в направлении оси вращения. В результате этого, на выходе из распылителя взаимодействие внутренних и внешних слоев истекающей жидкости приводит по мере удаления от выходного отверстия к уменьшению последней до некоторого минимального значения, при котором проявляется волновая неустойчивость струи и происходит ее распад на капли. Изложенные выше представления о механизме диспергирования жидкости центробежными распылителями используются для получения полуэмпирических соотношений, которые не дают возможности для теоретического анализа функций распределения концентрации жидкости и плотности орошения на начальном участке факела распыла, определяющих геометрию и внутреннюю структуру последнего.

Рассмотрим вопросы, связанные с формированием факела распыла на выходе из ЦБРЖ, на основе теоретических моделей истечения жидкостей из ЦБРЖ, рассмотренных нами [5,6]. При разработке этих моделей принято, что вращение жидкости в сопловом канале осуществляется с постоянной скоростью, так что тангенциальная составляющая скорости возрастает с увеличением радиуса вращения. На выходе из распылителя действующая на частицы центростремительная сила, обусловленная воздействием стенки соплового канала, и связанное с ней избыточное статическое давление в жидкости скачкообразно изменяются до нуля. В результате этого, полая или сплошная струя жидкости расширяется с образованием внутри ее полостей разрывов в виде кавитационных пузырьков и каверн, образующих неустойчивую газожидкостную структуру, которая затем разрушается с формированием капель в полости факела.

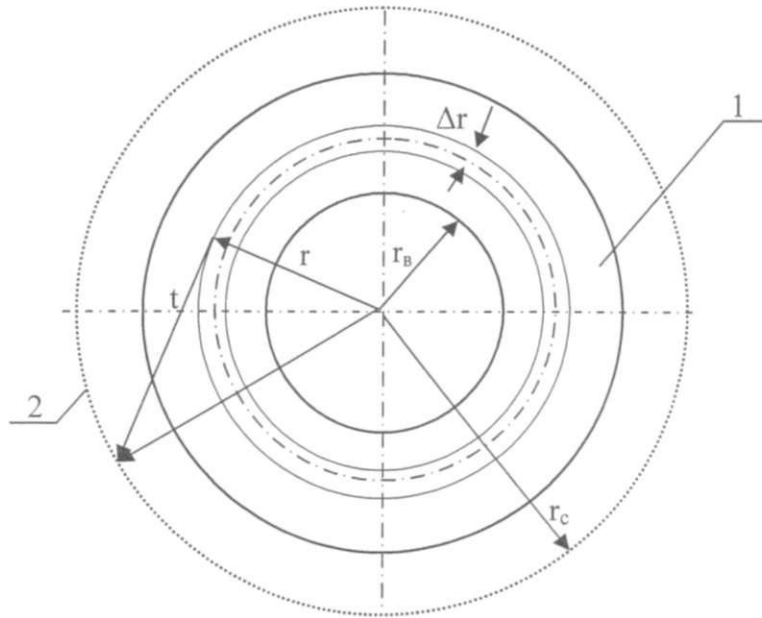
Рассмотрим расширение струи, вытекающей из центробежного распылителя на начальном участке факела распыла, с введением следующих упрощающих допущений:

1. Работа против сил поверхностного натяжения и давления при образовании в полости струи на выходе из распылителя каверн и пузырьков совершается за счет запаса объемной потенциальной энергии жидкости, обусловленной избыточным центробежным давлением в сопловом канале.

2. Взаимодействием жидкости и газа, инжектированного в полость факела на начальном участке, пренебрегаем.

С учетом принятых допущений, кинетическую энергию жидкости и, соответственно, аксиальные U_x , радиальные U_ϕ компоненты скоростей капель на начальном участке факела можно считать постоянными. Из этого следует, что капли жидкости на начальном участке факела движутся по прямолинейным траекториям и зависимость текущего значения радиальной ком-

поненты "R" каждой частицы в полости факела от ее аксиальной координаты "X" оказывается практически прямолинейной.



1 - выходное сечение соплового канала, 2 - полость факела распыла

Рисунок 1 – Расчетная схема расширения струи на начальном участке факела распыла

Как показано на рисунке 1, между величинами R и r существует зависимость

$$R^2 = r^2 + t^2, \quad (1)$$

в которой при $u_\varphi = \text{Const}$ справедливо соотношение $T = U_\varphi \cdot \tau$, кроме того, при $u_\varphi = \text{Const}$ можно записать $\tau = X/U_x$, так что из (1) для текущего значения радиальной координаты капли жидкости на начальном участке факела распыла получаем соотношение:

$$R = r \left[1 + \left(\frac{x \cdot u_\varphi}{r \cdot u_x} \right)^2 \right]^{0.5}. \quad (2)$$

Для радиальной компоненты скорости капли на начальном участке факела распыла с учетом очевидного соотношения $u_r = t \cdot u_\varphi / R$ и выражений, использованных при выводе уравнения (2), можно записать:

$$u_r = x \cdot u_\varphi^2 / r \cdot u_x. \quad (3)$$

Учитывая нелинейность зависимости R (x) для корневого угла факела распыла на начальном участке при $r = r_c$, получаем уравнение:

$$\operatorname{tg} \beta / 2 = \frac{dR}{dx} = \frac{u_\varphi^2}{u_x^2} \left[1 + \left(\frac{x \cdot u_\varphi}{r_c \cdot u_x} \right)^2 \right]^{-0.5} \cdot \frac{x}{r_c},$$

из которого следует:

$$\beta = 2 \operatorname{arctg} \left\{ \frac{x \cdot u_\varphi^2}{r_c \cdot u_x^2} \cdot \left[1 + \left(\frac{x \cdot u_\varphi}{r_c \cdot u_x} \right)^2 \right]^{-0.5} \right\}. \quad (4)$$

Таким образом, корневой угол факела распыла является переменной величиной, стремящейся при $x \rightarrow \infty$ к асимптотическому значению

$$\beta_B = 2 \arctg(u_{\text{фс}}/u_{\text{xc}}) \quad (5)$$

Зависимость β/β_B в функции безразмерной координаты x/r_c представлена на рисунке 2 для различных значений β_B .

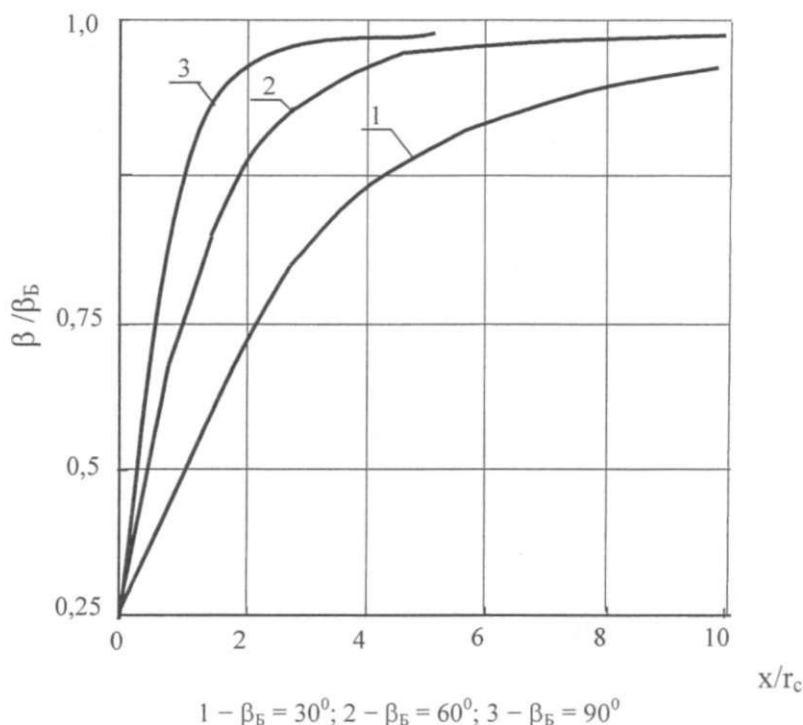


Рисунок 2 – Изменение корневого угла факела по длине начального участка

На практике корневой угол факела обычно определяют фотосъемкой факела или измерением его теневого отпечатка. При такой методике возможны субъективные ошибки измерений, обусловленные существенным изменением светорассеивающей способности факела распыла по его радиусу. Вместе с тем, как показывают данные, приведенные на рисунке 2, удовлетворительные результаты можно получить при фотосъемке начального участка с длиной порядка $(5 \div 10)r_c$.

Необходимо отметить, что методика идентификации корневого угла факела распыла фотографированием или измерением теневых отпечатков пригодна только для цельнофакельных распылителей. В случае, когда цельнофакельный ЦБРЖ формирует полый факел распыла, внешняя граница последнего размывается, становится неопределенной. В этом случае величина плотности орошения на периферии факела не принимает конечного значения, а асимптотически стремится к нулю при возрастании радиальной координаты [1]. Из-за затруднений с непосредственным экспериментальным измерением корневого угла полого факела распыла, авторы [1] рекомендовали в качестве условной границы факела центробежных распылителей такую поверхность, внутри которой расход жидкости составляет 99% от общего расхода жидкости через распылитель.

В этом случае расход жидкости в части выходного соплового канала, ограниченный с одной стороны радиусом воздушного вихря r_b , а с другой – текущим радиусом r , определится из выражения:

$$V = 2\pi \int_{r_c}^r u_x \cdot r \cdot dr = \frac{r^{1.5} k_\varphi^{0.5}}{3\mu} \left[\frac{(k_p - k_\varphi)^{1.5}}{k_\varphi^{1.5}} - \left(1 - \frac{r^2}{r_c^2}\right)^{1.5} \right] \cdot V_c, \quad (7)$$

из которого, после преобразований, получим уравнение:

$$r = r_c \left\{ 1 - \left[\frac{(k_p - k_\varphi)^{1.5}}{k_\varphi^{1.5}} - \frac{3\mu}{r^{1.5} \cdot k_\varphi^{0.5}} \cdot \frac{V}{V_c} \right]^{2/3} \right\}^{0.5}, \quad (8)$$

или, полагая, что при $r = r_{0.95}$ справедливо отношение $V/V_c = 0.95$, получим выражение:

$$r_{0.95} = r_c \left\{ 1 - k_\varphi^{-1.5} \left[(k_p - k_\varphi)^{1.5} - \mu \cdot k_\varphi \right]^{2/3} \right\}^{0.5}. \quad (9)$$

Подстановка значения $r_{0.95}$, рассчитанного по уравнению (9), в (7) совместно с соответствующими значениями u_φ и u_x , позволяет вычислить профиль условной внешней границы факела распыла ЦБРЖ. В тех случаях, когда представляется необходимым расчет профиля внутренней полости факела распыла центробежного распылителя, описанная выше методика может быть использована при подстановке в уравнение (7) значения $r = r_b$.

Последнее выражение позволяет вычислить профиль условной внешней границы факела распыла ЦБРЖ.

Основываясь на результатах проведенных исследований, считаем, что понятие "корневой угол факела распыла" применительно к центробежным распылителям с полым факелом лишено практического смысла. Сомнительная ценность этого понятия в данном случае усугубляется влиянием гидродинамических факторов, возникающих при течении двухфазного потока в факеле распыла центробежных распылителей в контактной зоне тепло- и массообменных аппаратов.

Литература

- 1 Пажі Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкости. – М.: Химия, 1984. – 254 с.
- 2 Чохонелидзе А.Н., Галустов В.С., Холпанов Л.П., Приходько В.П. Справочник по распылительным, оросительным и каплеулавливающим устройствам. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 608 с.
- 3 Рамм В.М. Абсорбция газов. 2 изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
- 4 Абрамович Г.Н. Теория центробежной форсунки. Промышленная аэродинамика. – М.: ЦАГИ, 1944. – С. 54 - 68.
- 5 Шарафиев А.Ш., Балабеков О.С. Закономерности течения идеальной жидкости в распылителях центробежного типа // Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2004. – № 2. – С. 34 - 38.
- 6 Шарафиев А.Ш., Балабеков О.С. Закономерности течения реальных жидкостей в центробежных распылителях // Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2004. – № 3. – С. 40 - 44.

Қорытынды

Мақалада сұйықтарды ортадан тепкіш бүріккіштер арқылы бүрку кезіндегі бүрку аймағының пайда болуына теориялық сараптама келтіріліп және бүрку тығыздығы мен тамшы түрлерінің аксиальдық және тангенциальдық құрылымдарының ара қатынастарының есептеулері алынды.

Summary

The theoretical analysis of process of formation of a torch on an output from centrifugal sprays is carried out and the settlement parities describing a structure of distribution of axial and tangential making speeds of a liquid, concentration of drops and density of irrigation in section of a torch on an initial site are received.