

УДК: 662.612.3:504

Братуга Э.Г., Сизоненко А.В.

### ПРОИЗВОДСТВО ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

**Введение.** Эмульгированные гомогенные жидкости (ЭГМ) используются во многих технологических процессах в различных отраслях промышленности. Поэтому и методики аппаратного исполнения технологий гомогенизации достаточно хорошо исследованы. Если к структуре данных составов предъявляются более строгие требования по дисперсности и устойчивости, то как правило прибегают к математическому моделированию основных рабочих процессов с целью последующей оптимизации конструкции аппаратов. Примером ЭГМ могут быть гомогенизированные мазуты. Формирование заданной структуры может происходить в вихревом аппарате, который устанавливается непосредственно перед сжигательными устройствами. Разогретый мазут поступает в вихревую смесительную камеру, туда же подается насыщенный водяной пар. В вихревом слое на начальной стадии контакта формируются две среды – сплошная (мазут) и паровые трубки, которые в процессе движения конденсируются и дробятся.

**Цель работы** – разработать методику количественной оценки гидродинамических характеристик вихревого гомогенизатора.

**Материалы и результаты исследований.** В [1] анализируются параметры вихревого аппарата с целью определения их оптимального соотношения. В основу исследований следует заложить модель течения жидкости в вихревой камере, предложенную в работе [1].

В работе [2] установлено существование наиболее выгодного для потока в камере закручивания отношения  $r_c/R_k$  ( $r_c$  – радиус сопла). Наличие экстремума на графике зависимости угла факела от геометрической характеристики, если последнюю изменять посредством увеличения  $R_k$ , было отмечено в работе [3].

Поиск оптимальных размеров камеры закручивания являлся одной из важных задач экспериментальных исследований аэродинамики вихревого испарителя.

В работе [4] автор считает, что по уровню гидравлического сопротивления не приемлемы камеры с  $r_c/R_k < 0.33$ , а по уровню относительных скоростей и крутке потока не приемлемы камеры с  $r_c/R_k > 0.6$ . Оптимальное значение  $r_c/R_k$  лежит в пределах 0.35...0.5. Исследования аэродинамического сопротивления камер в диапазоне  $r_c/R_k=0.2...1$  показали, что минимальные потери достигаются в камере открытого типа с  $r_c/R_k=0.8...1$ . Анализ опубликованных работ показал, что до настоящего времени вопрос об оптимальном  $r_c/R_k$  для камер закручивания остается открытым. Анализ формул для  $k$  и газодинамической характеристики камеры показывает, что при увеличении  $R_k$  имеет место рост  $Ar$  – гидродинамическая характеристика устройства, а затем его уменьшение вследствие снижения  $k$ .

Таким образом при реализуемом  $k$  имеет место только одно значение  $r_c/R_k$  с максимальным значением  $Ar$  (рисунок 1). С целью определения зависимости ( $r_c/R_k$ ) от  $k$  исследуем на экстремум соотношение для газодинамической характеристики гомогенизатора [1], переписанное так:

$$Ar = \frac{\pi r_c^2}{f_k} \eta \left( \frac{r_c}{R_k} \right)^{1-0.961g} \left[ \frac{Q}{2\pi H v R_k^2} \frac{f_k}{R_k} \right] \quad (1)$$

с условием  $dAr/dR_k=0$ .

$$\begin{aligned} \ln Ar &= \ln \frac{\pi r_c^2}{f_k} \eta \left( 1 - 0.961g \frac{Q}{2\pi H v R_k^2} \frac{f_k}{R_k} \right) \ln \frac{r_c}{R_k} \\ \frac{1}{Ar} \frac{dAr}{dR_k} &= dT \frac{\pi r_c^2}{f_k} \eta \left( \frac{1.92}{R_k} \right) \ln \frac{r_c}{R_k} + \ln \frac{\pi r_c^2}{f_k} \eta \left( 1 - 0.961g \frac{Q}{2\pi H v R_k^2} \frac{f_k}{R_k} \right) \left( -\frac{1}{R_k} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Решая уравнение (2), получим трансцендентное уравнение, из которого можно определить соотношение ( $r_c/R_k$ ):

$$\frac{1}{R_k} \left[ 1,92 \ln \left( \frac{\pi r_c^2}{f_k} \right) \ln \frac{r_c}{R_k} - \left( 1 - 0,961g \frac{Q}{2\pi H v} \frac{f_k}{R_k^2} \right) \ln \left( \frac{\pi r_c^2 \eta}{f_k} \right) \right] = 0. \quad (3)$$

Решение уравнений (1) и (3) представлены на рисунке 1.

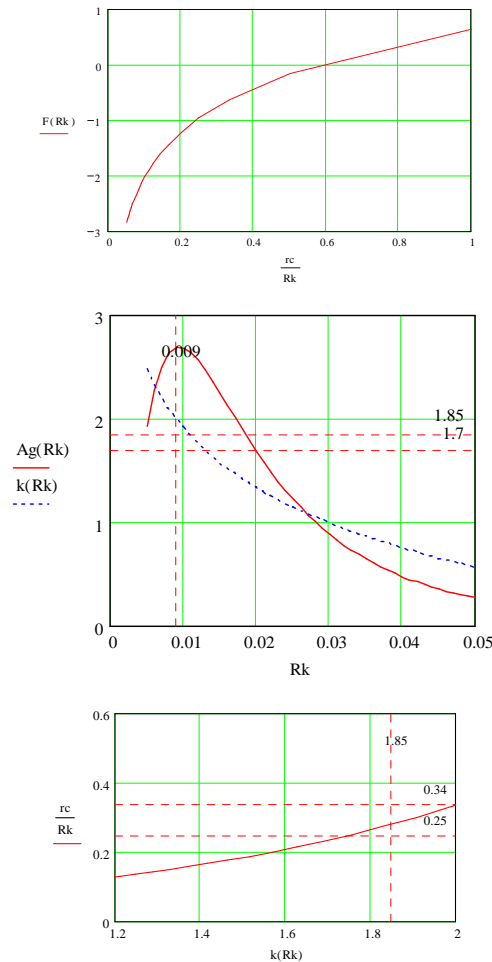


Рисунок 1 – Решение уравнений (1) и (3)

$$Q=0.043 \text{ м}^3/\text{с}; v=1000 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; f_k=2,826 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2; \\ r_c=3 \cdot 10^{-3} \text{ м}; R_k=5 \cdot 10^{-3}, 6 \cdot 10^{-3} \dots 50 \cdot 10^{-3} \text{ м}; m=1 \text{ Н}=20 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Для

$$k(R_k) = 0,96 \log \left[ \frac{Q}{2H \cdot 3,14 v} m \frac{f_k}{r_c^2} \left( \frac{r_c}{R_k} \right)^2 \right]; \\ Ag(R_k) = 3,14 \frac{r_c^2 \cdot 0,9 \left( \frac{r_c}{R_k} \right)^{1-k(R_k)}}{m f_k}.$$

$$\eta=0.9; Q=0.05 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}; W=12 \text{ м}/\text{с}; f=Q/W, \text{ м}^2; f=4.167 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; r_c=0.0015 \text{ м}; \\ v=1.12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; H=0.03 \text{ м}; R_k=0.0015, 0.003 \dots 0.03 \text{ м}.$$

$$k(R_k) = 0,96 \log \left( \frac{Q \frac{f}{R_k^2}}{2 \cdot 3,14 \cdot H \cdot v} \right).$$

Уравнение (3) представлено в виде

$$F(R_k) = 2 \cdot 0,96 \cdot \ln \left( 3,14 \frac{r_c^2}{f} \eta \right) \cdot \ln \left( \frac{r_c}{R_k} \right) - \left( 1 - 0,96 \cdot \log \left( \frac{Q \frac{f}{R_k^2}}{2 \cdot 3,14 \cdot H \cdot v} \right) \right) \cdot \ln \left( 3,14 \frac{r_c^2}{f} \eta \right).$$

Рассмотрим вихревое течение среды с целью определения оптимальных гидродинамических параметров. В общей постановке задача может быть представлена в следующем виде:

$$V|_{r=1} = -1, \quad (4)$$

для уравнения

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (prV) = -\gamma(r), \quad (5)$$

где  $\gamma(r)$  – функция изменения массы вихревого потока (в случае конденсации пара).

Основным фактором, влияющим на давление насыщения является начальное давление и температура. Начальное давление формирует определенный потенциальный барьер состояния жидкости, при прохождении которого происходит парообразование или конденсация. Условия существования метастабильного равновесия формируются независимо от условий термодинамического равновесия фаз и обуславливается содержанием растворенного газа, концентрацией глобул дисперсной фазы и микропузырьков в жидкости и др. [1].

Используя [1], а также диаграммное представление процесса конденсация, можно определить критическую скорость  $\gamma$  [кг/(м<sup>2</sup>с)], учитывая равенство  $\frac{d\gamma}{dP} = 0$ .

Опустив выполненные вычисления, приведем расчетные данные в виде графиков (рисунок 2). Расчетные данные, полученные по диаграммному методу соответствуют данным работы [1]. На рисунке 2а) показана максимально возможная массовая скорость с 1 м<sup>2</sup> площади. При учете площади газового вихря в гомогенизаторе получим значения  $\gamma$  [кг/(м<sup>2</sup>с)], показанные на графиках. Из рисунков следует, что расчетные и экспериментальные данные согласуются с небольшой погрешностью. Характер зависимостей можно считать общим. Из графиков также следует, что функция  $\gamma$  [кг/(м<sup>2</sup>с)] имеет степенной вид, поэтому представление массовой скорости в математической модели степенным рядом вполне оправдано.

Наилучшее приближение аппроксимирующей функции можно представить в степенном виде. Показатель степени и коэффициенты определялись по следующим уравнениям:

– показатель степени

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N \ln r_i(T) \sum_{i=1}^N \ln G_i - N \sum_{i=1}^N \ln r_i(T) \ln G_i}{\left( \sum_{i=1}^N \ln r_i(T) \right)^2 - N \sum_{i=1}^N (\ln r_i(T))^2};$$

– коэффициент

$$A = \exp \left\{ \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \ln G_i - \alpha \sum_{i=1}^N \ln r_i(T) \right) \right\},$$

где N – количество опытов.

В результате расчетов получена зависимость

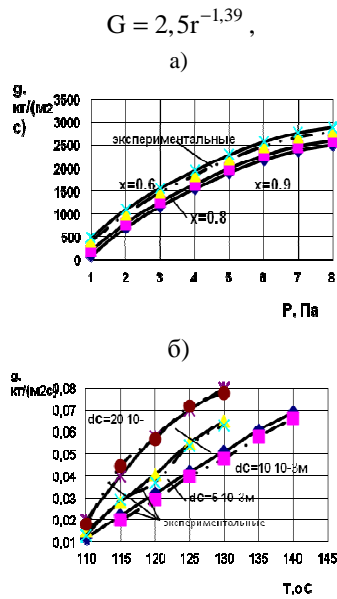


Рисунок 2 – Расчетная массовая скорость с 1 м<sup>2</sup> площади

Из графиков следует, что при конденсации пара в жидкости составляющие скорости жидкой фазы находятся ниже однофазного потока, а в паровом вихре скорость увеличивается.

Рассмотрим далее

$$W|_{r=1} = 1, \tag{6}$$

$$rW|_{r=0} = 0 \tag{7}$$

для уравнения

$$\rho V \frac{d}{dr}(rW) = \frac{1}{k} \frac{d}{dr} \frac{d}{dr}(rW) + \gamma W. \tag{8}$$

Решение можно представить в виде:

$$\rho r V = - \int_1^r \gamma(x) x dx - 1.$$

Коэффициент при интегрировании уравнения (8) можно найти из граничного условия

$$\lim_{r \rightarrow 0} C_1 = C_1 = \lim_{r \rightarrow 0} (rW)' + \lim_{r \rightarrow 0} \left( k - 2 + k \int_1^r \gamma(x) x dx \right) (rW) = 0; \tag{9}$$

$$W(r) = r^{1-k} \exp \left[ -k \int_1^r \frac{1}{Z} \int_1^Z x \gamma(x) dx dZ \right]. \tag{10}$$

Если функцию изменения массы потока представить в виде  $\gamma(r) = A_1 + A_2 r^\alpha$ ; получим решение

$$f_1(r) = \left[ -\frac{A_1}{2} r - A_2 \frac{r^{\alpha+1}}{\alpha+2} + \left( \frac{A_1-2}{2} + \frac{A_2}{\alpha+2} \right) \frac{1}{r} \right] \cdot \left[ -\frac{A_1}{2\rho} - A_2 \frac{(\alpha+1)}{(\alpha+2)\rho} r^\alpha - \left( \frac{A_1-2}{2} + \frac{A_2}{\alpha+2} \right) \frac{1}{\rho r^2} \right] +$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{4}{3k} A_2 \frac{\alpha r^{\alpha-1}}{\rho} - (A_1 + A_2 r^\alpha) \cdot \\
 & \cdot \left[ -\frac{A_1 r}{2\rho} - \frac{A_2 r^{\alpha+1}}{\rho(\alpha+2)} + \left( \frac{A_1 - 2}{2} + \frac{A_2}{\alpha+2} \right) \frac{1}{\rho} \right] \cdot \\
 f_2(r) = & A_1 \frac{r^2}{2} + A_2 \frac{r^{\alpha+2}}{(\alpha+2)^2} - \left( \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{\alpha+2} \right) \ln r - \frac{A_1}{4} - \\
 & - A_2 \frac{1}{(\alpha+2)^2} \cdot \\
 f_3(r) = & x \rho M_k^2 f_2^2(r) r^{1-2k} - x \left( \frac{M_k}{B} \right)^2 f_1(r).
 \end{aligned}$$

Распределение давления при оптимальном соотношении радиусов

$$P(r) = 1 - \int_r^1 f_3(r) dr. \quad (11).$$

Полученное решение соответствует оптимальным значениям скорости потока, давления и соотношению геометрических параметров вихревого испарителя. По уравнению (11) можно определить давление насыщения и координаты зарождения вторичной фазы. При этом энергетические затраты на реализацию процесса разделения ЭТС будут минимальными.

#### Литература

1. Павленко А.М. Стійкість емульсій при технологічних впливах. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2001. – 140 с.
2. Павленко А.М. Структурообразование и дезинтеграция емульсий в вихревых аппаратах / Павленко А.М., Басок Б.И. Днепропетровск: ДГТУ, 2009. – 205 с.
3. Бородин В.А., Дитякин Ю.Ф. Распыливание жидкостей / Бородин В.А., Дитякин Ю.Ф. М: Машиностроение, 1967. – 267 с.
4. Ляховский Д.Н. Вопросы аэродинамики и теплопередачи в котельно-топочных процессах. М: Госэнергоиздат, 1958. – 67 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Pavlenko A.M. Stlykist emulsiy pri tehnologichnih vplivah. – Dnipropetrovsk: Nauka i osvIta, 2001. – 140 p.
2. Pavlenko A.M. Strukturoobrazovanie i dezintegratsiya emulsiy v vihrevyih apparatah. Pavlenko A.M., Basok B.I. Dneprodzerzhinsk: DGTU, 2009. – 205 p.
3. Borodin V.A., Dityakin Yu.F. Raspyilivanie zhidkostey. Borodin V.A., Dityakin Yu.F. M: Mashinostroenie, 1967. – 267 p.
4. Lyahovskiy D.N. Voprosyi aerodinamiki i teploperedachi v kotelno-topochnyih protsessah. M: Gosenergoizdat, 1958. – 67 p.

УДК: 662.612.3:504

Братута Е.Г., Сизоненко О.В.

#### ВИРОБНИЦТВО ПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ

В статті запропонована методика оцінки основних конструктивних параметрів вихрових камер, в яких відбувається гомогенізація рідких палив шляхом комплексної гідродинамічної і термодинамічної дії на структуру первинних емульгованих середовищ.

Bratuta E.G., Syzonenko A.V.

**FUEL EMULSIONS PRODUCTION**

The estimation methods for vortex chambers design parameters are proposed. The process of gomogenization of liquid fuels by complex hydrodynamical and thermodynamical action on the mixture of emulsies is considered.