

УДК: 662.612.3:504

Братута 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 оптимуме 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 $dAr/dR_k=0$.

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

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

$$\frac{1}{R_k} \left[1,92 \ln \left(\frac{\pi r_c^2}{f_k} \right) \ln \frac{r_c}{R_k} - \left(1 - 0,96 \lg \frac{Q}{2\pi H v} \frac{f_k}{R_k^2} \right) \ln \left(\frac{\pi r_c^2 \eta}{f_k} \right) \right] = 0. \quad (3)$$

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

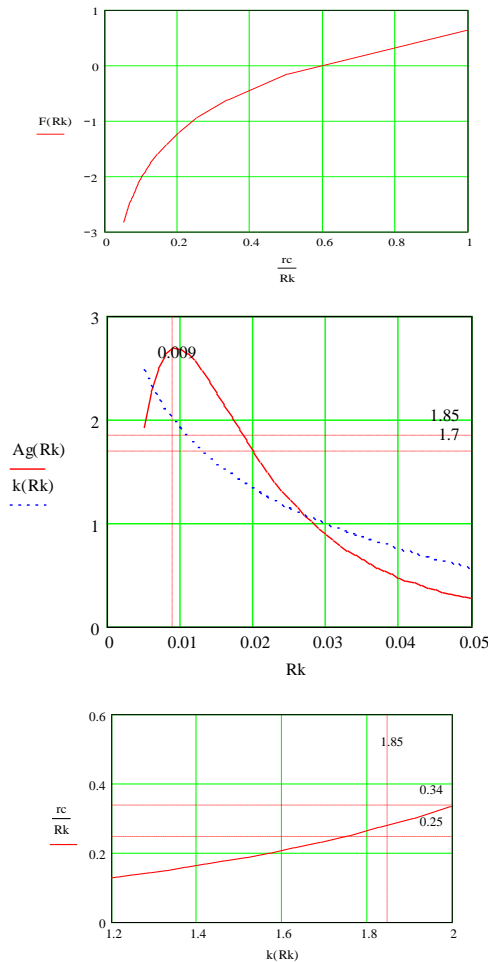


Рисунок 1 – Решение уравнений (1) и (3)

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

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:

$$V|_{r=1} = -1, \tag{4}$$

для уравнения

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (\rho r V) = -\gamma(r), \tag{5}$$

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 γ [кг/(м²с)], 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 м² площади. При учете площади газового вихря в гомогенизаторе получим значения γ [кг/(м²с)], 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 γ [кг/(м²с)] 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

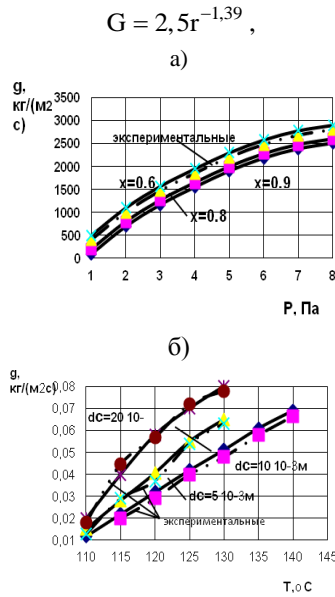


Рисунок 2 – Расчетная массовая скорость с 1 м² площади

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

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

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

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

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

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

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 эмульсий в вихревых аппаратах / Павленко А.М., Басок Б.И. Днепропетровский: 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.