

Качественное исследование модели образования эмульсионного слоя

М.Н. Романова¹, А.Е. Лебедев¹, А.А. Мурашов², А.И. Холодкова²

¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль

²Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны имени Маршала Советского Союза Л.А.Говорова, Ярославль

Аннотация: В статье рассматривается качественное влияние на образование эмульсии. Произведено исследование базовой модели образования эмульсионного слоя. Определено влияние «внутренних» и «внешних» параметров на внутренние характеристики процесса образования эмульсии. Исследование, проведённое в статье, поможет учитывать полученные зависимости при расчетах режимных и конструктивных параметров устройств.

Ключевые слова: эмульсионный слой, вязкость, плотность, эмульсия, вращающийся цилиндр, жидкость, состав эмульсии.

В настоящее время довольно широко применяются аппараты, в основе которых используется вращающийся цилиндрический барабан, частично погруженный в жидкость [1]. В силу своей универсальности данная конструкция нашла свое применения в химической, пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности.

Основным требованием к границам применимости вращающегося цилиндра является его скорость вращения, так как в зависимости от неё конструкция может быть использована как для разбрызгивания жидкости, увлекаемой цилиндром, так и в качестве дозатора, когда увлекаемая жидкости снимается скребком или другими устройствами [2-4].

Зная принцип действия подобных агрегатов, необходимо исследовать влияния «внешних» и «внутренних» факторов на процесс образования эмульсионного слоя на вращающемся цилиндре.

Базовая модель образования эмульсии [5] может быть использована для качественного исследования модели образования эмульсионного слоя. В работе [6-7] рассматривается условие для слоя смешения жидкостей, имеющих как разные вязкости, так и разные плотности.

Одно из условий базовой модели образования эмульсии может быть получено из вариационного принципа максимума диссипации энергии в слое смешения [8-9]. Так же при расчетах использовались фундаментальные характеристики эмульсии [10].

Рассматривая слой смешения необходимо определить некоторые параметры, используемые в формулах: μ_p - вязкость верхнего слоя эмульсии (большая вязкость) захватываемого вращающимся цилиндром; $\tilde{\mu}_w$ - вязкость эмульсии на границе раздела жидкостей (меньшая вязкость); \tilde{V}_θ^p , \tilde{V}_θ^w - эпюры скоростей в эмульсионном слое; x - удаление от вращающегося цилиндра.

Воспользуемся функцией диссипации для слоя смешения [5]:

$$\tilde{\Phi}_n = \mu_p \int_0^{t_1} \left[\left(\frac{d\tilde{V}_\theta^p}{dx} \right)^2 + \left(\frac{d\tilde{V}_\theta^w}{dx} \right)^2 \right] dt \quad (1)$$

В выражении (1) можно осуществить переход к переменной x , полагая справедливым соотношение (2):

$$dt = \frac{dx}{\tilde{V}_\theta^p(x)} \quad (2)$$

Воспользуемся выражениями (3), (4), (5), (6), (7), (8) [6]:

$$x_{10} = \frac{b_{p1}}{b_{p0}} \quad (3)$$

$$y = \frac{x_{10}}{2} \left(\frac{\tilde{\mu}_w}{\mu_p} \right)^{1/2} \left(\sqrt{1 + \frac{4\mu_p^{3/2}}{\tilde{\mu}_w^{1/2} x_{10}^2}} - 1 \right) \quad (4)$$

$$\tilde{a}_1 = \frac{\tilde{a}}{\mu_p} \cdot y \quad (5)$$

$$\tilde{\Phi}_n(x_{10}) = \frac{\mu_p^2 \cdot \tilde{a}_1(x_{10})}{\tilde{\mu}_w(x_{10})} \left| \ln[1 - \tilde{a}_1(x_{10}) \cdot x_{10}] \right| \quad (6)$$

$$c = c_0 \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_w} \right)^{1/2} \quad (7)$$

$$\tilde{a} = k_a \frac{6\rho_p \cdot g \cdot b_{po}^2 \cdot \sigma_\varepsilon}{\sigma_p X_a \cdot \omega_0 \cdot \left(1 - \frac{2X_a}{R_0} \right)^4} \quad (8)$$

В которых: X_A - координата точки перегиба в области смешения; x_{10} , \tilde{a}_1 , c , \tilde{a} - рассчитываемые параметры (3), (5), (7), (8); σ_ε , σ_p - коэффициенты поверхностного натяжения (ε - эмульсии, p - масляной пленки); b_{po} - начальная толщина масляной пленки; b_{p1} - толщина пленки на выходе из начальной области образования эмульсии; ω_0 - угловая скорость цилиндра; R_0 - радиус вращающегося цилиндра; ρ_p - плотность; k_a , c_0 - опытные параметры.

В таблице 1 приведены значения параметров образования эмульсии погруженным вращающимся цилиндром (ширина лотка съема эмульсии l) для случая: $l = 0,1$ м, $b_{po} = 8 \cdot 10^{-4}$ м, $\omega_0 = 14$ рад/с, $R_0 = 0,009$ м, $\sigma_\varepsilon \approx \sigma_p \approx 0,07$ н/м, $\rho_p \approx \rho_\varepsilon \approx 10^3$ кг/м³, $k_v = 1$, $k_a = 0,05$, $X_A = 4 \cdot 10^{-3}$ м, $\mu_w = 10^{-3}$ кг/м·с.

Таблица 1 - Качественное влияние на образование эмульсии

№ П/П	μ_p / μ_w	x_{10}^{\max}	\tilde{B}	$\tilde{\mu}_w / \mu_w$	ω_{01} / ω_0	Y_{wp}	$Q_v \cdot 10^6 \text{ м}^3 / \text{с}$
1	140	0,622	2,13	16,3	0,885	1,18	28,7
2	40	0,742	1,82	23,147	0,656	0,576	21,8

Определение опытных параметров (k_a , k_v , c_0) проводилось обработкой экспериментальных данных и сопоставлением их с теоретическими зависимостями по двум независимым опытам: представленным в таблице 1.

Тогда решение экстремальной задачи

$$\tilde{\Phi}_n(x_{10}^{\max}) = \tilde{\Phi}_{n10}^{\max} \quad (9)$$

с учетом представлений (4), (5), (6), (7) позволяет определить «внутренние» параметры базовой модели образования эмульсии.

Используя формулу (1), решая задачу (9) и с учетом выражений (4), (5), (6), (7) определим влияние «внутреннего» параметра μ_p на образование эмульсии (рис. 1).

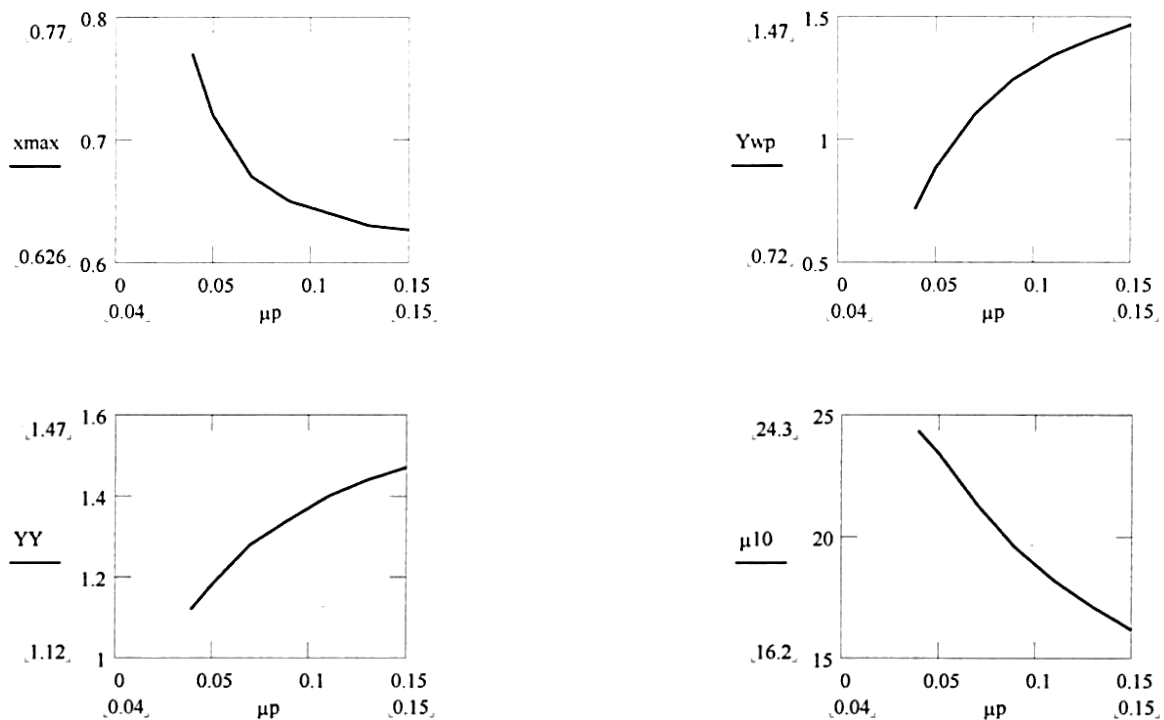


Рис. 1. – Качественное влияния параметра μ_p на внутренние характеристики процесса образования эмульсии.

Из анализа влияния основных факторов можно прийти к следующим выводам. 1. Увеличение вязкости μ_p приводит к уменьшению таких параметров как: - x^{\max} , определяющего границу области разрушения первоначального более вязкого слоя жидкости, прилегающего к поверхности вращающегося цилиндра; - μ_{10} - вязкости эмульсии в переходном слое. 2. Увеличение вязкости μ_p приводит к увеличению таких параметров как: -

Y_{wp} - состава эмульсии; YU - безразмерного расхода эмульсии. Таким образом, с увеличением μ_p основные внешние показатели Y_{wp} и YU увеличиваются.

Рассмотрим комплекс «внешних» параметров \tilde{a} на образование эмульсии (рис. 2), решая задачу (9) и с учетом выражений (4), (5), (6), (7). Однако, при определении «у» из (4) необходимо знать представление для параметра \tilde{a} , который следует из (8).

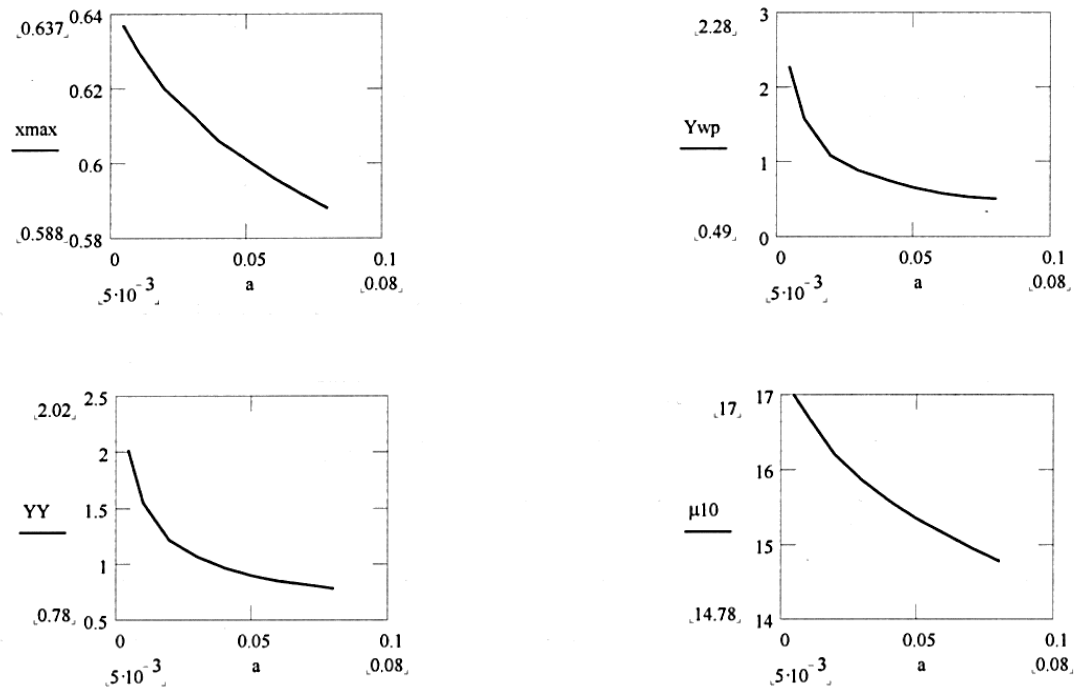


Рис. 2. – Качественное влияния комплекса \tilde{a} на внутренние характеристики процесса образования эмульсии.

Как показывают результаты, представленные на рисунке 2, к уменьшению значений всех внутренних параметров процесса образования эмульсии приводит увеличение комплекса \tilde{a} , который определяет интенсивность убывания касательных напряжений в переходном слое.

Таким образом установлено влияние «внутренних» и «внешних» параметров образования эмульсии на внутренние характеристики процесса, что позволяет разработать методику расчета аппаратов, работающих на принципе взаимодействия вращающихся цилиндров со слоем жидкости.

Литература

1. Романова М.Н., Лебедев А.Е., Лебедев Д.В., Гуданов И.С. Очистка водных поверхностей от тонких масляных пленок // Инженерный вестник Дона, 2019, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5938
2. Смирнов А.А., Генералов М.Б., Юрченко В.А. Исследование гидродинамических режимов работы и определение производительности барабанного дозатора // Гидродинамика, компрессоры и насосы химических производств. М.: Машиностроение, 1973. с. 156-161.
3. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, 1952. 670 с.
4. Романова М.Н., Лебедев А.Е., Лебедев Д.В. Моделирование процесса взаимодействия вращающегося цилиндра с несмешивающимися жидкостями // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/nly2019/5619
5. Романова М.Н., Лебедев А.Е., Лебедев Д.В. Моделирование начальной области образования эмульсии // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/nly2019/5638
6. Бетчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.: Мир, 1973. 758 с.
7. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969. 742 с.
8. Лойцанский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1973. 847 с.
9. Tharmalingam S., Wilkinson W.W. The coating of newtonion liquids onto a rotating voll // I.Chem. Eng. Sei. 1978. V.33. pp. 1481-1487.

10. Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology, edited by J. Sjöblom, 2001, New-York, Basel, Marcel Dekker, Inc., 729 p.

References

1. Romanova M.N., Lebedev A.E., Lebedev D.V., Gudanov I.S., Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5938
2. Smirnov A.A., Generalov M.B., Yurchenko V.A. Gidrodinamika, kompressory i nasosy khimicheskikh proizvodstv [Fluid dynamics, compressors and pumps for chemical production]. Mashinostroeniye. 1973. pp. 156-161.
3. Levich V.G. Fiziko-khimicheskaya gidrodinamika [Physico-chemical hydrodynamics]. Fizmatgiz. 1952. 670 p.
4. Romanova M.N., Lebedev A.E., Lebedev D.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5619
5. Romanova M.N., Lebedev A.E., D.V. Lebedev. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5638
6. Betchelor Dzh. Vvedeniye v dinamiku zhidkosti [Introduction to fluid dynamics]. Mir. 1973. 758 p.
7. SHlikhting G. Teoriya pogranichnogo sloya [The theory of the boundary layer]. Nauka. 1969. 742 p.
8. Loytsanskiy L.G. Mekhanika zhidkosti i gaza. [Mechanics of fluid and gas]. Nauka. 1973. 847 p.
9. Tharmalingam S., Wilkinson W.W. I.Chem. Eng. Sei. 1978. V.33. pp. 1481-1487.
10. Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology, edited by J. Sjöblom, 2001, New-York, Basel, Marcel Dekker, Inc., 729 p.

Дата поступления: 5.03.2025

Дата публикации: 25.04.2025