

Определение гидродинамических характеристик однородных и двух несмешиваемых жидкостей

М.Н. Романова, А.Е. Лебедев, А.А. Ватагин, Д. В. Лебедев

Ярославский государственный технический университет, Ярославль

Аннотация: В статье рассматривается процесс распыливания несмешиваемых жидких сред дисковым распылителем. Предложена математическая модель определения дисперсных характеристик распыливания.

Ключевые слова: жидкость, распыливание, расход, скорость, дозирование.

Процессы распыливания жидких сред нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Получение потоков капель осуществляется при помощи различных распыливающих устройств: форсунок, ротационных распылителей и пневматических приспособлений.

Процессы формирования потоков капель к настоящему времени изучен достаточно полно. Однако в некоторых процессах необходимо осуществлять одновременное диспергирование сразу нескольких жидких сред, в том числе несмешивающихся. Применение для этих целей нескольких устройств существенно усложняет конструкцию распыливающего узла и требует синхронизации дозирующих и направляющих устройств. Предложено осуществлять процесс диспергирования несмешивающихся жидкостей при помощи одного ротационного распылителя с осуществлением режима спутного тонкослойного течения.

Это позволяет существенно упростить дозирование и обеспечить практически одинаковую структуру сформированных дисперсных потоков [1 – 5]. Для расчета основных режимных и конструктивных параметров распылителя была разработана математическая модель данного процесса.

Для определения дисперсных характеристик распыливания эмульсий принята за основу математической модели была принята модель течения двух несмешивающихся жидкостей по поверхности гладкого вращающегося диска [6 – 10], в которой получены представления для средних, по толщине

слоев жидкостей на сходе с диска, скоростей – $V_{cp}^{(1)}, V_{cp}^{(2)}$ и соответствующих расходов – $Q^{(1)}, Q^{(2)}$.

$$V_{cp}^{(1)} = \frac{R\omega^2}{\nu_1} \left(\frac{\delta_1^2}{3} + \frac{\rho_2 \delta_1 \cdot \delta_2}{\rho_1 \cdot 2} \right) \quad (1.1)$$

$$V_{cp}^{(2)} = \frac{R\omega^2}{\nu_2} \left(\frac{\delta_2^2}{3} + \frac{\nu_2 \delta_1^2}{\nu_1 \cdot 2} + \frac{\mu_2}{\mu_1} \delta_1 \delta_2 \right) \quad (1.2)$$

$$Q^{(1)} = V_{cp} \cdot \delta_1 \cdot 2\pi R \quad (1.3)$$

$$Q^{(2)} = V_{cp} \cdot \delta_2 \cdot 2\pi R \quad (1.4)$$

Индексы «1» и «2» показывают, что параметр относится к нижнему и верхнему слою соответственно.

Вводя обозначения: «р» – масло, нефть; «w» – вода, систему уравнений (1.1) – (1.4) в случае, когда нижней жидкостью является масло, нефть, удобно представить в следующем виде:

$$\frac{\delta_w}{\delta_p} = x \quad (1.5)$$

$$a_p = \delta_p^3 \left(\frac{1}{3} + a_{wp} \cdot \frac{x}{2} \right) \quad (1.6)$$

$$a_w = \delta_w^3 \left(\frac{1}{3} + b_{wp} \frac{1}{2x^2} + b_{wp} \cdot a_{wp} \cdot \frac{1}{x} \right) \quad (1.7)$$

Тогда систему (1.5) – (1.7) можно разрешить относительно одной неизвестной – X:

$$\frac{a_w}{a_p} = \left(1 + \frac{3}{2} a_{wp} \cdot x \right) = x^3 + \frac{3}{2} b_{wp} \cdot x + 3b_{wp} a_{wp} \cdot x^2$$

или в стандартной форме: (1.8)

$$x^3 + 3b_{wp} a_{wp} \cdot x^2 + \frac{3}{2} \left(b_{wp} - \frac{a_w}{a_p} \cdot a_{wp} \right) x - \frac{a_w}{a_p} = 0$$

В уравнении (1.8) введены следующие обозначения:

$$\begin{aligned} a_p &= \frac{Q_p v_p}{2\pi R^2 \omega^2}, a_w = \frac{Q_w v_w}{2\pi R^2 \omega^2}, \\ a_{wp} &= \frac{\rho_w}{\rho_p}, b_{wp} = \frac{v_w}{v_p}, \end{aligned} \quad (1.9)$$

Толщины пленок на сходе с диска определяются выражениями:

$$\delta_p = \left(\frac{3a_p}{1 + \frac{3}{2} a_{wp} \cdot x} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (1.10)$$

$$\delta_w = \delta_p \cdot x \quad (1.11)$$

а скорости пленок на кромке диска:

$$V_p^{cp} = \frac{Q_p}{2\pi R \delta_p}, \quad (1.12)$$

$$V_w^{cp} = \frac{Q_w}{2\pi R \delta_w} \quad (1.13)$$

В случае, когда нижней жидкостью является вода, индекс «w», систему уравнений (1.1) – (1.4) удобно представить следующим образом:

$$\frac{\delta_p}{\delta_w} = y \quad (1.14)$$

$$a_w = \delta_w^3 \left(\frac{1}{3} + a_{pw} \cdot \frac{y}{2} \right) \quad (1.15)$$

$$a_p = \delta_p^3 \left(\frac{1}{3} + b_{pw} \frac{1}{2y^2} + b_{pw} a_{pw} \frac{1}{y} \right) \quad (1.16)$$

Тогда систему уравнений (1.14) – (1.16) можно разрешить относительно одной неизвестной – Y:

$$\frac{a_p}{a_w} = \left(1 + \frac{3}{2} a_{pw} \cdot y\right) = y^3 + \frac{3}{2} b_{pw} \cdot y + 3b_{pw} a_{pw} \cdot y^2$$

или в стандартной форме: (1.17)

$$y^3 + 3b_{pw} a_{pw} \cdot y^2 + \frac{3}{2} \left(b_{pw} - \frac{a_p}{a_w} \cdot a_{pw}\right) y - \frac{a_p}{a_w} = 0$$

В уравнении (1.17) введены следующие обозначения:

$$\begin{aligned} a_p &= \frac{Q_p v_p}{2\pi R^2 \omega^2}, a_w = \frac{Q_w v_w}{2\pi R^2 \omega^2}, \\ a_{pw} &= \frac{\rho_p}{\rho_w}, b_{pw} = \frac{v_p}{v_w}, \end{aligned} \quad (1.18)$$

Толщины пленок и средние их скорости на кромке диска определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \delta_w &= \left(\frac{3a_w}{1 + \frac{3}{2} a_{pw} \cdot y}\right)^{\frac{1}{3}}, \delta_p = \delta_w \cdot y, \\ V_p^{cp} &= \frac{Q_p}{2\pi R \delta_p}, V_w^{cp} = \frac{Q_w}{2\pi R \delta_w}, \end{aligned} \quad (1.19)$$

Литература

1. Jeffbeys.Proc. Cambr. Phil. Soc,-1930, V. 26, 204 p.
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. - 670с.

4. Гельперин И. И., Носов Г.А., Макотин А.В. Определение толщины жидкой пленки, остающейся на поверхности твердого тела при его извлечении из жидкости // Теор. основы хим. Технологии - 1971, - т.5, № 3-с. 429-437.

5. Бронштейн И. Н., Семендяев К.А. Справочник по высшей математике. - М.: Наука, 1986.- 544 с.

6. Look R. C. // Quart. J. Mech. Appl. Math. 1951. V.4. - p.42.

7. Плановский А. Н., Рамм В.М., Качан С.Э. Процессы и аппараты химической технологии. - М.: Госхимиздат, 1962.- 847 с.

8. Лебедев А. Е., Романова М.Н. Математическое описание дисперсных потоков неоднородных жидкостей // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5160

9. Лебедев А. Е., Лебедев Д.В., Романова М.Н. К расчету стохастической энергии при моделировании структуры расширяющихся дисперсных потоков. // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4; URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5268

10. Tharmalingam S., Wilkinson W.W. The coating of newtonion liquids onto a rotating voll // I.Chem. Eng. Sei. 1978. V.33. - pp.1481 - 1487.

References

1. Jeffbeys.Proc. Cambr. Phil. Coe. 1930. V. 26, 204 p.

2. Smirnov A. A., Generalov M. B., YUrchenko V. A. Gidrodinamika, kompressory i nasosy khimicheskikh proizvodstv [Fluid dynamics, compressors and pumps for chemical production]. Mashinostroyeniye. 1973. pp. 156-161.

3. Levich V. G. Fiziko-khimicheskaya gidrodinamika [Physico-chemical hydrodynamics]. Fizmatgiz. 1952. 670 p.

4. Gel'perin I. I., Nosov G. A., Makotin A.V. Teor. osnovy khim. Tekhnologii. 1971. V.5. № 3. pp. 429-437.



5. Bronshteyn I. N., Semendyayev K. A. Spravochnik po vysshey matematike [Handbook of advanced mathematics]. Nauka, 1986. 544 p.
6. Look R. C. Quart. J. Mech. Appl. Math. 1951. V.4. p.42.
7. Planovskiy A. H., Ramm V. M., Kachan S.E. Protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Processes and devices of chemical technology]. Goskhimizdat. 1962. 847 p.
8. Lebedev A. E., Romanova M. N. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2018. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5160
9. Lebedev A. E., Romanova M. N. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2018. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5268
10. Tharmalingam S., Wilkinson W.W. The coating of newtonion liquids onto a rotating voll. I.Chem. Eng. Sei. 1978. V.33. pp.1481-1487.