

Оптимизация режимных характеристик процесса дробления дисперсной фазы

КЛИМОВ Р.А.

Днепродзержинский государственный технический университет

В статье проведена оптимизация режимных характеристик процесса дробления дисперсной фазы эмульсии при ее закипании в результате резкого сброса давления.

Ключевые слова: эмульсия, оптимизация, кипение, дробление, частица, давление.

У статті проведена оптимізація режимних характеристик процесу подрібнення дисперсної фази емульсії при її закипанні в результаті миттєвого скидання тиску.

Ключові слова: емульсія, оптимізація, кипіння, подрібнення, частка, тиск.

In the article optimization of regime descriptions of process crushing of dispersion phase of emulsion is conducted at its effervescence as a result of sharp bleed off.

Keywords: emulsion, optimization, boiling, crushing, particle, pressure.

Введение. Процессы эмульгирования, диспергирования и гомогенизации являются одними из самых энергоемких процессов в промышленности, что связано со значительным перерасходом теплоты и энергии, необходимых для дробления дисперсной фазы. Для создания дисперсных систем наибольшее распространение получил метод механического дробления. Основным направлением снижения затрат энергии является использование принципа дискретно-импульсного ввода энергии [1]. Возможным является использование динамических эффектов при закипании капель малых размеров для дробления более крупных капель.

Постановка задачи. Проведенные исследования процессов разрушения границы раздела фаз (масло-пар) и последующего измельчения дисперсной фазы эмульсии при силовом взаимодействии двух закипающих капель, при различных начальных радиусах, расстояниях между поверхностями капель, начальных температурах (соответствующих давлениях) и различных значениях коэффициента межфазного натяжения проведены в [1]. В результате данных исследований было определено, что в процессах дробления дисперсной фазы эмульсии основным фактором, определяющим дробление дисперсных капель эмульсии, является температура, которая в наибольшей степени определяет затраты энергии на процессы дробления. Вторым фактором является коэффициент межфазного натяжения, значение которого можно варьировать, добавляя соответствующие поверхностно-активные вещества (ПАВ). Регулирование свойств с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ) позволяет в достаточно широких пределах варьировать силами взаимодействия между рассматриваемыми частицами. Также оказывают значительное влияние начальный радиус капель и относительный размер соседних частиц. Начальный радиус капель для эмульсии может быть определен из графиков распределения частиц по размерам, при этом в каждом конкретном случае данный радиус будет принимать различные значения. Размеры частиц дисперсной фазы после производственной зоны имеют определенное значение, поэтому основными параметрами регулирования процесса дробления частиц являются начальная температура системы и соответствующее ей давление насыщения легкокипящей фазы до момента сброса давления до атмосферного, а также коэффициент межфазного натяжения.

Управление начальной температурой системы совместно с коэффициентом межфазного натяжения позволит снизить затраты энергии на процесс дробления, а определение оптимальных значений температуры и коэффициента межфазного натяжения позволит рационально использовать энергию в процессах диспергирования и гомогенизации эмульсий.

Материалы и результаты исследований. Для построения регрессионных уравнений были применены ортогональные композиционные планы второго порядка с ядром 2^4 [1-3]. Так как проверка по критерию Фишера всех регрессионных зависимостей показала их адекватность, то это позволяет использовать их для нахождения оптимальных режимов процесса дробления дисперсной фазы. В качестве функции цели возьмем критическое значение расстояния между каплями дисперсной фазы ϱ_{cr} , показатель τ_{cr} [1] внесем в ограничения. В результате получим следующую оптимизационную модель процесса дробления

$$\begin{cases} \max \varrho_{cr} = 1.973 - 0.047x_1 + 0.563x_2 + \\ + 2.156x_3 - 0.921x_4 - 0.18x_1^2 + 0.018x_2^2 + \\ + 0.884x_3^2 + 0.657x_4^2 - 0.147x_1x_2 - \\ - 0.677x_1x_3 - 0.261x_1x_4 + 0.639x_2x_3 - \\ - 0.219x_2x_4 - 0.416x_3x_4; \\ \tau_{cr} = (14.05 - 5.9x_1 + 10.63x_2 + 18.27x_3 - \\ - 0.344x_4 - 6.97x_1^2 + 8.52x_2^2 + 10.37x_3^2 - \\ - 7.1x_4^2 + 0.45x_1x_2 - 7.49x_1x_3 - 1.003x_1x_4 + \\ + 7.54x_2x_3 - 0.866x_2x_4 - \\ - 0.906x_3x_4) \cdot 10^{-5} \leq 1.79 \cdot 10^{-4}. \end{cases} \quad (1)$$

Численное значение ограничения принято после суммирования средних величин с интервалами их разбросов.

Учитывая принятые допущения, функция Лагранжа [2, 3] примет следующий вид

$$L = \varrho_{cr} + \lambda(\tau_{cr} + x_5 - 1.79 \cdot 10^{-4}). \quad (2)$$

Для определения оптимальных значений x_i на основе [1] получена система уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_1} &= -0.047 - 0.36x_1 - 0.147x_2 - 0.677x_3 - \\ &- 0.261x_4 + \lambda \cdot 10^{-5}(-5.9 - 13.93x_1 + 0.45x_2 - \\ &- 7.49x_3 - 1.003x_4) = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial x_2} &= 0.563 + 0.036x_2 - 0.147x_1 + 0.639x_3 - \\ &- 0.219x_4 + \lambda \cdot 10^{-5}(10.63 + 17.04x_2 + \\ &+ 0.45x_1 + 7.54x_3 - 0.866x_4) = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial x_3} &= 2.156 + 1.768x_3 - 0.677x_1 + 0.639x_2 - \\ &- 0.416x_4 + \lambda \cdot 10^{-5}(18.27 + 20.74x_3 - \\ &- 7.49x_1 + 7.54x_2 - 0.906x_4) = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial x_4} &= -0.921 + 1.314x_4 - 0.261x_1 - 0.219x_2 - \\ &- 0.416x_3 + \lambda \cdot 10^{-5}(-0.344 - 14.2x_4 - \\ &- 1.003x_1 - 0.866x_2 - 0.906x_3) = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial x_5} &= \lambda = 0. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

В результате решения данной системы уравнений получена стационарная точка функции Лагранжа

$$\left\{ \begin{aligned} x_1 &= 0.742; \\ x_2 &= -0.929; \\ x_3 &= -0.472; \\ x_4 &= 0.544. \end{aligned} \right. \quad (4)$$

Данному значению предположительно соответствует максимальное межпузырьковое расстояние, на котором возможно дробление дисперсной фазы эмульсии. В размерном виде факторы x_1, x_2, x_3, x_4 принимают соответствующие значения: радиус более крупной частицы $R_1 = 448.3$ мкм, соотношение между радиусами мелкой и крупной частиц $\delta = 0.221$, начальная температура системы $t = 133.2$ °С, коэффициент межфазного натяжения на границе раздела масло-вода $\sigma = 58.6$ мН/м.

Из данных расчетов видно, что максимальное значение межпузырькового расстояния может быть получено для достаточно грубодисперсной эмульсии. В действительности же, в промышленности имеют дело с меньшими размерами дисперсной фазы. Как было описано выше, основными факторами варьирования считаем температуру и коэффициент межфазного натяжения. Проведем исследование того, какое взаимное влияние оказывают радиус частицы, начальная температура и коэффициент межфазного натяжения друг на друга и на параметр \mathcal{G}_{cr} , при этом значение относительного радиуса принимаем равным оптимальному.

Для значения температуры $t = 133.2$ °С зависимость $\mathcal{G}_{cr} = f(R_1, \sigma)$ [1], т.е. от радиуса капли и коэффициента межфазного натяжения, имеет вид представленный на рис. 1.

Из данного рисунка видно, что уменьшение значения коэффициента σ при определенном значении R_1 приводит к существенному увеличению критического межпузырькового расстояния. При этом максимальное

значение \mathcal{G}_{cr} наблюдается при минимальном значении σ и максимальном R_1 , что говорит о наименьшем значении необходимой силы, которая приводит к дроблению. Уменьшение σ приводит к более существенному увеличению \mathcal{G}_{cr} при росте значения R_1 , что указывает на доминирующее действие коэффициента межфазного натяжения особенно в области низких его значений. Для определенных значений радиуса величина \mathcal{G}_{cr} принимает отрицательные значения. Это говорит о том, что дробление частицы невозможно, т.е. для протекания процесса дробления при определенном радиусе R_1 необходимо либо уменьшать σ , либо увеличивать температуру.

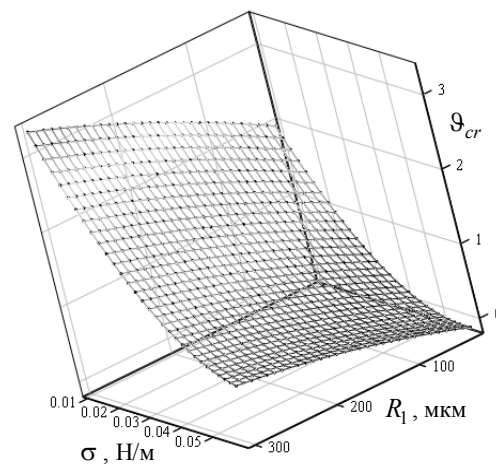


Рис. 1. Зависимость межпузырькового расстояния от радиуса капли и коэффициента межфазного натяжения в относительном виде

Множество результатов расчетов, которые показывают взаимосвязь между характерным размером частицы, межпузырьковым расстоянием, коэффициентом межфазного натяжения и рекомендуемым значением температуры для возможного дробления частицы можно представить в виде таблиц. В таблице 1 приведена часть из результатов данных расчетов для $R_1 = 40$ мкм.

Таблица 1. Зависимость необходимой начальной температуры системы для возможного дробления капель дисперсной фазы радиусом $R = 40$ мкм при $\delta = 0.221$, от межпузырькового расстояния и коэффициента межфазного натяжения

ν_{cr}	σ , Н/м				
	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
0.0	110.0	121.1	130.2	134.4	135.1
0.10	110.0	123.7	132.0	136.1	136.9
0.25	110.0	127.0	134.4	138.3	139.3
0.50	118.9	131.3	138.0	141.7	142.8
0.75	124.8	135.0	141.1	144.7	145.9
1.0	129.1	138.2	143.9	147.4	148.8
1.5	135.9	143.7	149.0	152.3	153.8
2.0	141.4	148.5	153.4	156.6	158.2
3.0	150.4	156.6	161.1	164.2	165.9

Из данной таблицы следует, что если существует частица начальным радиусом 40 мкм, возле нее на относительном расстоянии $g_{cr} = 0.5$ ($h_{cr} = 20$ мкм) находится соседняя частица с начальным радиусом $R_2 = 0.221R_1$ и при этом $\sigma = 0.03$ Н/м, то достаточной для возможного дробления будет температура $t = 138$ °С. Для значений $\sigma = 0.01$ мН/м и $g_{cr} = 0...0.25$ значение температуры равно $t = 110$ °С. Это та минимальная допустимая температура, а дальнейшее снижение температуры нецелесообразно, т.к. снижается вероятность дробления. В данном случае для $g_{cr} \leq 0.25$ дробление возможно при температуре $t \geq 110$ °С.

Выводы

Найдены оптимальные характеристики процесса дробления дисперсной фазы эмульсии при ее закипании. Наибольшее снижение температуры системы возможно путем уменьшения значения σ до 10...20 мН/м. Реальные смазочно-охлаждающие жидкости имеют различные значения относительного радиуса соседней частицы, а также, понятно, что они состоят из множест-

ва таких частиц. Но в большинстве случаев определяющим будет действие именно ближайшего соседа. Указано на два способа определения температуры для возможности дробления частиц. Применяя регрессионные уравнения [1] можно составить таблицы для различных значений относительного радиуса δ , которые позволят достаточно быстро и просто определить необходимые для дробления значения начальных температур системы и соответствующие им давления насыщения водной фазы эмульсии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климов Р.А., Павленко А.М., Черниченко В.Е. Моделирование процессов дробления дисперсной фазы при закипании эмульсий // Вісник КДПУ. – Кременчуг, 2007. – №2(43). – Ч.1. – С.22-26.
2. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. – М.: Наука, 1978. – 352с.
3. Павленко А.М., Черниченко В.Е. Особенности расчета массообменных устройств для эмульсионных сред. – Днепропетровск: Наука и образование, 1999. – 60с.

пост. 07.12.10