

УДК: 62-13: 66-911.48

А. А. Клепцов, Г. Н. Белоусов, А. З. Ядуга

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭМУЛЬСИЙ ПОЛУЧАЕМЫХ В РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННЫХ АППАРАТАХ

Фракционный состав эмульсии в конечном состоянии случаен, но в некоторой степени зависит от режима работы и конструкции роторно-пульсационного аппарата (РПА), а также некоторых физических свойств смешируемых жидкостей. За меру неопределенности фракционного состава эмульсии примем статистическую энтропию

$$H = - \sum_{i=1}^m P_i \log_m P_i, \quad (1)$$

где H – энтропия m -фракционной эмульсии, P_i – вероятность обнаружения капель i -ой фракции в некотором анализируемом объеме V конечного состояния. Строго говоря, в реальной эмульсии количество фракций огромно, но при экспериментальном анализе, так или иначе, приходится выделять конкретное их количество в рамках определенного диапазона для каждой фракции. Выбор основания логарифма m обусловлен тем, что определенная так энтропия нормирована на единицу, что в свою очередь удобно при сравнительном исследовании эмульсий с разным числом фракций.

Вероятности P_i предлагается находить при помощи системы кинетических уравнений массо-переноса общего вида:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_{ij}(t)}{\partial t} &= \nu_{(j-1)k} \rho_{i(j-1)}(t - \tau_{(j-1)k}) - \\ &\quad \nu_{jk} \rho_{ij}(t) + \nu_{(j+1)k} \rho_{i(j+1)}(t + \tau_{(j+1)k}), \\ i &= \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; \end{aligned} \quad (2)$$

где $\rho_{ij}(t)$ – функция, отвечающая массе частиц дисперсной фазы i в момент времени t в состоянии j ; ν_{jk} – интенсивности переходов частиц из j -го состояния в k -ое; τ_{jk} – время перехода. Число уравнений в системе определяется числом $m \cdot n$, где n – число возможных состояний. Конкретный вид системы определяется кинетикой процесса гомогенизации в РПА определенной конструкции при определенных рабочих параметрах.

Поскольку смещивание рассматривается как непрерывный процесс, вероятность получить на выходе из РПА некоторый объем i -ой фракции в некоторый момент времени можно определить через расход данной фракции по формуле:

$$P_i(t) = \frac{\partial \rho_{in}(t)/\partial t}{\sum_{i=1}^m \partial \rho_{in}(t)/\partial t}, \quad (3)$$

выражающей отношение расхода i -ой фракции на выходе, в состоянии n , к общему расходу эмульсии в этой зоне рабочего объема РПА. Искомые вероятности P_i должны удовлетворять условию

$$\sum_{i=1}^m P_i(t) = 1. \quad (4)$$

Подставляя (3) в (1), с учетом того, что величины ν_{jk} являются функциями режимных и конструкционных параметров $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s$, получим энтропию как функцию времени и параметров РПА следующего вида:

$$\begin{aligned} H(t, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) &= \\ &= - \sum_{i=1}^m P_i(t, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) \log_m P_i(t, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) \end{aligned} \quad (5)$$

Формула (5) выражает колебания значения энтропии эмульсии в конечном состоянии в каждый момент времени. Практический интерес с целью анализа эффективности проводимого процесса может представлять не сама зависимость $H(t)$, а усредненная за достаточно большой интервал времени величина:

$$\langle H(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) \rangle = \frac{1}{\Delta T} \int_0^T H(t, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) dt. \quad (6)$$

Формула (6) выражает среднюю энтропию эмульсии в объеме, получаемом за время ΔT . Из нее ясно, что вариации режимных и конструкционных параметров РПА могут изменить среднее значение энтропии, поэтому по значению $\langle H \rangle$ непосредственно нельзя судить об однородности готового продукта. Необходимо задание величины, не зависящей ни от каких факторов процесса гомогенизации. В качестве такой можно выбрать энтропию идеальной в статистическом смысле эмульсии, определяемой по формуле:

$$\begin{aligned} H_{id} &= - \left(\frac{A_0}{A_0 + A_m} \right) \log_m \left(\frac{A_0}{A_0 + A_m} \right) - \\ &\quad - \left(\frac{A_m}{A_0 + A_m} \right) \log_m \left(\frac{A_m}{A_0 + A_m} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

где A_0 и A_m – расход несущей и измельчаемой фаз согласно рецептуре, в максимально диспергированном состоянии ($m = \overline{1, n}$). Значение H_{id} определяется только рецептурным соотношением компонентов эмульсии, поэтому отклонение средней

энтропии от идеального значения представляется объективной характеристикой эффективности процесса. На основании этого предложена [1] так называемая степень идеальности

$$\Pi(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) = 1 - \frac{|H(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) - H_{id}|}{H_{id}} \quad (8)$$

Этот относительный показатель выгодно отличается от абсолютных, поскольку позволяет сопоставлять результаты исследований эффективности процесса гомогенизации, полученных при разных условиях и в разных аппаратах.

Точность описания процесса гомогенизации зависит от правильности определения кинетики. В реальных эмульсиях или суспензиях частицы имеют практически непрерывное распределение по размерам, поэтому в точной модели необходимо учесть как можно большее количество возможных фракций капель распределенной фазы, то есть $m \rightarrow \infty$. Такое обстоятельство приводит к огромному числу уравнений в (2), что может сделать задачу нерешаемой. Поэтому для качественной оценки эффективности процесса гомогенизации в РПА [2] предложена двухфракционная модель. Она основана на предположении о том, что эмульсия в конечном состоянии условно состоит из двух фракций: первой, частицы которой крупнее среднестатистического размера по выделенному объему, и второй – в которой частицы мельче.

Интенсивности V_{jk} при таких условиях задачи

$$V_{jk}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) = \omega_{jk}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) \cdot P_{jk}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) \quad (9)$$

где ω_{jk} – частоты переходов между соответствующими j - и k -ми состояниями отвечающим актам дробления частиц, P_{jk} – вероятности данных переходов. Смена индексов $j \rightarrow k$ в (9) означает обратные дроблению переходы – коалесценцию. Аргументы в (9) указывают, что приведенные величины являются функциями режимных и конструкционных параметров РПА. Явный вид этих зависимостей определяется конкретной конструкцией аппарата.

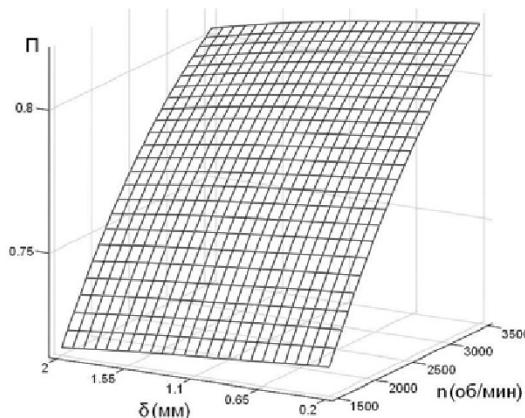


Рис. 1 . Зависимость степени идеальности эмульсии от частоты вращения ротора и величины межцилиндрового зазора РПА

На рис. 1 представлена поверхность зависимости степени идеальности Π от частоты вращения ротора n и ширины межцилиндрового зазора δ . Поверхность построена путем сплайновой интерполяции по двадцати пяти опорным точкам, которые в свою очередь являлись результатом расчета по формуле (8). Такой прием был использован для существенного сокращения времени счета при решении (9). Из рисунка ясно, что варьирование частоты вращения ротора сильнее сказывается на качестве готового продукта, чем изменение величины межцилиндрового зазора. Это обстоятельство выгодно с точки зрения влияния на результат процесса в условиях лаборатории или производства, поскольку изменение межцилиндрового зазора обязательно связано с остановкой процесса.

Важно отметить, что полученные модельные результаты, несмотря на чрезвычайное упрощение кинетической схемы процесса, в качественном отношении адекватны данным реального процесса [3] и согласуются с полученными и опубликованными ранее в [4]. Поэтому сформулированный выше подход к моделированию процесса гомогенизации, на наш взгляд, заслуживает внимания исследователей, хотя и нуждается в уточнении на основе дополнительных экспериментальных данных. Не исключается также возможность применения данного подхода к исследованию других типов и моделей гомогенизаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Макаров Ю. И., Бакин И.А., Белоусов Г.Н.//Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2005, №5.
- Иванец Г. Е. Интенсификация процессов гомогенизации и диспергирования при получении сухих, увлажненных и жидких комбинированных продуктов. Дисс. докт. техн. наук. – М: МГУПБ, 2003.
- Барам А. А. // Теор. основы хим. технологии, 1988, №5.
- Балабудкин М. А. // Теор. основы хим. технологии, 1975, №5.

□ Авторы статьи:

Клепцов

Александр Алексеевич

- канд. техн. наук, доц. каф. технологии машиностроения

Белоусов

Григорий Николаевич

- канд. техн. наук, доц. каф. физики Кемеровского технологического института пищевой промышленности

Ядува

Анна Зауровна

- старш. преп. каф. высшей математики Кемеровского технологического института пищевой промышленности