

Моделирование перемешивания жидких пищевых сред с малым содержанием твердой фазы

Аспирант П.В. Орлов

В настоящее время в пищевой технологии, общественном питании широкое применение для регулирования качества продуктов находят твердые добавки (вкусовые, ароматические, структурирующие, биологически активные и др.). Особенность процесса суспензирования в этих случаях малое (до 0,2%) содержание твердой фазы.

Не смотря на значительное число исследований суспензирования, единая точка зрения на механизм переноса твердых частиц с днища в резервуаре с мешалкой отсутствует [1]. Наиболее распространены две теории. Согласно первой, причина перемещения вдоль днища и вращения частиц является течение жидкости [2]. По второй теории переход частиц в суспензию вызывается турбулентным движением жидкости [3]. Исследование образования суспензии, основанные на рассмотрении механизма переноса отдельной частицы во взвешенное состояние [4], не учитывают особенности распределения частиц в объеме аппарата. Однако в промышленных аппаратах существенное влияние на процесс смешивания оказывают явления байпасирования, образования застойных зон [5,6], сепарации и седиментации [7]. Наличие этих эффектов оказывает значительное влияние на процесс, особенно в суспензиях с малым содержанием твердой фазы [8].

Принципиально важным измеряемым параметром при исследовании образования суспензии является вертикальный профиль концентрации твердой фазы [9]. В связи с этим была разработана установка, позволяющая фиксировать распределение частиц в сечении сосуда с модельной жидкостью. Во избежание оптического искажения при регистрации сосуд помещался в прямоугольную кювету с той же жидкостью. Для отграничения исследуемого профиля концентрации твердых частиц в суспензии использовался осветитель, состоящий из лампы накаливания, линзового конденсора и щелевой диафрагмы. Световой пучок направлялся на сосуд сбоку, освещая частицы в выбранном прямоугольном сечении. Свет от частиц твердой фазы отражался и рассеивался, преимущественно в направлении перпендикулярном первоначальному распространению. Отраженный таким образом световой поток попадал в объектив цифровой камеры типа PC Vision-3 с объективом «Вега 2/20» (фокусное расстояние 20 мм). Изображения освещенных частиц фиксировались на светочувствительной площадке ПЗС – матрицы типа ICX-045AL.

Примененная матрица содержит (495x580) штук светочувствительных элементов, что позволило для сечения сосуда $(90 \times 90) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ регистрировать частицы характерным размером от $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Камера сопрягалась с

компьютером через параллельный порт, что позволяло оперативно записывать необходимое количество кадров изображения как файлов растровой графики.

Сосуд наполнялся модельной жидкостью (вода, масло растительное, растворы сахара) на высоту равную ее диаметру

($90 \cdot 10^{-3}$ м). Исследовался процесс перемешивания мешалками наиболее распространенными в пищевой промышленности: лопастной, пропеллерной, рамной и якорной. Мешалка через торсионный датчик крутящего момента и коробку передач подключалась к электродвигателю. В качестве частиц твердой фазы использовались карбид кремния с характерным размером $40 \cdot 10^{-6}$ м и частицы сахара – $120 \cdot 10^{-6}$ м.

Полученные изображения профиля концентраций частиц твердой фазы при различных модельных жидкостях, частотах вращения мешалок и концентрациях твердой фазы обрабатывались по двум специально разработанным программам в среде MathCad. Согласно первой производилось пороговое отграничение изображения частиц освещенных только рассеянным светом, т.е. не входящих в исследуемое сечение. По второй программе полученное поле изображения разбивалось на (10x10) зон, в каждой из которых подсчитывалось число частиц.

Анализ кинетики процесса суспензирования позволил выявить следующие специфические особенности: на первом этапе частицы стягиваются в центре сосуда на дне, на втором – происходит постепенный переход от центра к периферии – образуется кольцо из частиц, движущихся от центра, на третьем – образуется суспензия в придонной области сосуда, на четвертом – граница суспензии – жидкая фаза перемещается вверх. Полученная физическая картина частично коррелирует с результатами полученными другими исследователями [1,5,6,10].

Выявленные закономерности образования суспензии с малым содержанием твердой фазы могут быть обобщены на основе концепции зонального моделирования с использованием математического аппарата цепей Маркова.

Список литературы

1. Bao I., Huang X. Mechanism of off-bottom suspension of solid particles in a mechanism stirred tank // Chin. I. Skem. Eng., vol. 10, № 4, 2002. – P. 476 – 479.
2. Shamlou A.P. Mechanism of suspension of coarse particles in liquids in stirred vessels // I. Chem. E. Sym. Ser., № 121, 1992. – P. 397- 412.
3. Mersman A.B., Werner F. Theoretical approach to minimum stirrer speed in suspensions // 8th Eur. Conf. Mixing, Cambridge, 21-23 sept., 1994. – Rugby, 1994. – P. 33- 40.
4. Зундекевич Ю.В., Вигдорчик Е.М. Расчет минимальной частоты вращения мешалки при суспендировании // Тез. тр. 2 ВНТ «Теория и практика перемешивания в жидких средах» – М., 1973. – С. 257-262.

5. Кафаров В.В., Клипиницер В.А. Математическое моделирование процессов перемешивания в аппаратах с мешалками // Тез. тр. 1 ВНТ «Теория и практика перемешивания в жидких средах» – М., 1971. – С. 21-24 .
6. Bresler L., Shinbrot T., Metcalfe G., Ottino I.M. Isolated mixing regions. Origin, robustness and control. // Chem. Eng. Sci., vol. 52, № 10, 1997. – P. 1623 –1636.
7. Арет В.А., Антонов А.И., Байченко Л.А., Пеленко Ф.В., Орлов П.В. Реометрия суспензий на ротационном вискозиметре // Технология и техника пищевых производств: итоги перспективы развития на рубеже XX и XXI веков. – Спб., 2003. – С. 265-270.
8. Жерновая И.М., Коприров В.В., Кандыбей Е.А. Выбор числа оборотов мешалки при взвешивании твердых частиц // Тез. тр. 3 ВНК «Теория и практика перемешивания в жидких средах»– М., 1976. – С. 81 –82.
9. Jie W., Jongang Z., Pullum L. The effect of impeller pumpind and fluid vheology on solids suspension in a stirred vessel // Can. J. Chem. Eng., vol. 79, №2, 2001. –P. 177-186.
- 10.Глуз М.Д. О радиальной скорости течения перемешиваемой жидкости // Тез. тр. 3 В НТК «Теория и практика перемешивания в жидких средах». – М., 1976.– С. 5-7.