

УДК 66.061

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ
ЦЕНТРОБЕЖНО-ПУЛЬСАЦИОННЫХ МЕШАЛОК
В АППАРАТАХ МЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Н. Э. СИДОРОВ, Р. Ш. АБИЕВ

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)
Санкт-Петербург, Россия

Энергоэффективные процессы перемешивания широко востребованы во многих отраслях промышленности. Эффективное перемешивание способствует интенсификации процессов массопереноса, теплообмена, в том числе при проведении химических реакций. Наиболее распространенным конструктивным решением для ввода механической энергии в аппарат являются вращающиеся перемешивающие устройства. Отдельная группа методов и устройств – пульсационные мешалки. Исследовано комбинированное устройство, при вращении которого в жидкости генерируются крупномасштабные пульсации, – центробежно-пульсационная мешалка, обладающая периодической формой по азимутальному углу.

Конструкция перемешивающего устройства оказывает непосредственное влияние на формирование поля скоростей и характеристик турбулентного и конвективного переноса. При смешении взаимно растворимых жидкостей эти характеристики напрямую определяют время гомогенизации. При использовании в качестве рабочих сред гетерогенных систем (жидкость – газ, жидкость – твердое тело, жидкость – жидкость, жидкость – газ – твердое тело) данные характеристики полностью определяют не только процессы формирования межфазной поверхности (получение эмульсий, суспензий, дисперсий и т. д.), но и скорости процессов тепло- и массообмена.

Рассматриваются различные модификации центробежно-пульсационных мешалок, в полотно которых выполнены отверстия диаметром 10 и 20 мм с различным количеством и взаимным расположением. Базовый вариант центробежно-пульсационных мешалок не имеет отверстий и представлен на рис. 1.

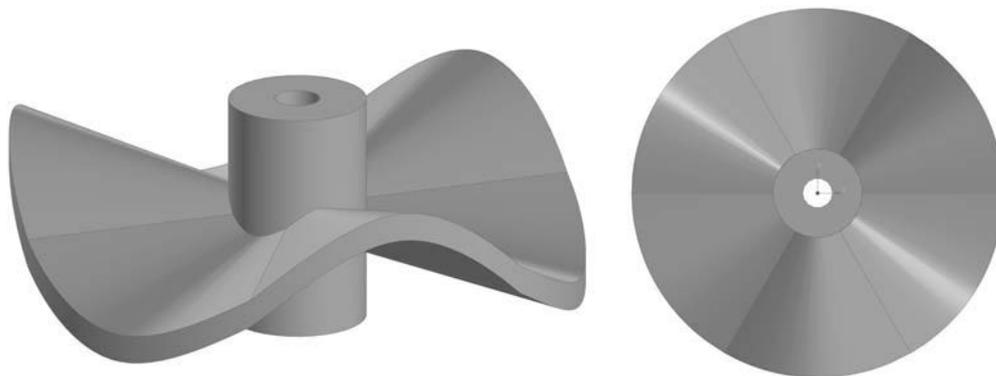


Рис. 1. Центробежно-пульсационная мешалка

Особенностями центробежно-пульсационной мешалки являются повышение эффективности использования вводимой в аппарат энергии путем частичного (максимально возможного) преобразования вращательного движения мешалок в пульсации давления и скорости в гетерогенной среде, уменьшение неравномерности распределения энергии в объеме аппарата, повышение степени диспергирования капель и пузырей и качества перемешивания внутри них (особенно капель), а также повышение кинетических коэффициентов (коэффициентов тепло- и массопередачи) за счет локализованного преимущественно вблизи мешалки направленного ввода энергии и снижения осевых усилий на валу смесителя [1].

Моделирование реакторов с мешалками в турбулентном режиме требует корректного выбора математической модели, а также начальных и граничных условий. Моделирование процессов осуществлялось на базе программного продукта вычислительной гидродинамики Comsol Multiphysics 6.2, модуль mixing.

Для моделирования была выбрана модель k - ϵ RANS, которая, являясь универсальным решением подобных задач, эффективно описывает усредненные характеристики турбулентных потоков, сохраняя баланс между вычислительной сложностью и точностью, и не требует значительных вычислительных мощностей.

Были проанализированы 28 модификаций центробежно-пульсационных мешалок в дополнение к двум базовым. Количественная оценка результатов моделирования основных параметров работы мешалок была проведена по шести характерным поперечным плоскостям аппарата.

В качестве параметров, на основании которых производилось сравнение показателей качества перемешивания по плоскостям, были выбраны результирующая скорость

$$|v| = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}, \quad (1)$$

где u – составляющая скорости по оси x , м/с; v – составляющая скорости по оси y , м/с; w – составляющая скорости по оси z , м/с, и удельная скорость диссипации энергии

$$\epsilon_{av} = \frac{1}{V} \int_V \epsilon(x, y, z) dV. \quad (2)$$

В результате были выявлены оптимальные модификации центробежно-пульсационных мешалок, которые по осредненным основным параметрам в характерных плоскостях превосходят базовые.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент RU 2379098 С1. Пульсационно-центробежный смеситель: № 2008142995/15: заявлено 29.10.2008: опубл. 20.01.2010 / Абиев Р. Ш.