

Влияние конфигурации двухлопастной мешалки* на картину течения вязкой жидкости в смесителе

Е.И. Борзенко¹, Д.Н. Гарбузов¹, М.А. Ефремов¹

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Проведено численное моделирование течения вязкой жидкости в смесительном аппарате с двухлопастной мешалкой в плоском приближении. Разработана оригинальная методика расчета на основе метода контрольных объемов, реализованного на неструктурированной сетке, позволяющей учитывать геометрические особенности области течения. Рассмотрены различные конфигурации лопастей, исследовано влияние на поток их длины и положения относительно центрального стержня. Для качественного анализа смешения проведены расчеты процесса перераспределения маркерных частиц по потоку и выявлены два режима. С помощью интегральных характеристик неоднородности и вязкой диссипации выполнен сравнительный анализ рассматриваемых конфигураций.

Ключевые слова: смесительный аппарат, вязкая жидкость, конфигурация, математическое моделирование, структура потока, качество смешения.

Введение

Процессы смешения вязких жидкостей реализуются во многих отраслях промышленности с использованием аппаратов различных принципов и конструкций [1, 2]. Широкое распространение получил механический метод перемешивания, который предполагает наличие одной или нескольких вращающихся мешалок (лопастей или лопаток) в смесительном аппарате. Эффективная организация технологического процесса требует детального понимания структуры течения и возможностей влияния на нее. Экспериментальные методы исследования таких течений – трудоемкий и, в некоторых случаях, дорогостоящий процесс. Как следствие, вычислительная гидродинамика стала необходимым инструментом в исследованиях процессов смешения, дающим подробную информацию о гидродинамических, тепловых и физико-химических особенностях потока. Для адекватного описания процесса математические постановки требуют учета многих факторов, таких как неизотермичность процесса, сложная геометрия области течения, многофазность потока и т.п. [3].

В литературе существует большое количество работ, посвященных математическому моделированию течений в мешалках применительно к различным технологиям и учету тех или иных факторов. Результаты численного моделирования процесса диспергирования твердых частиц в вязкой жидкости представлены в [4, 5]. Течения неньютоновских сред исследовались в работе [6]. Современный уровень экспериментальных исследований описан в [7, 8]. Также существует большое количество работ, посвященных моделированию процессов смешения в турбулентном режиме [9, 10]. Однако число исследований течений высоковязких жидкостей, к которым относятся многие полимерные материалы, ограничено.

Цель настоящей работы – исследование течений вязких жидкостей в аппаратах с вращающимися мешалками с помощью оригинальной вычислительной методики, позволяющей учитывать геометрические особенности области течения, а также оценка энергетических затрат на организацию потока, качественный и количественный анализ процесса смешения во времени с использованием ансамбля маркерных частиц в потоке.

Постановка задачи

Движение жидкости в аппарате с вращающейся мешалкой можно разложить на три компоненты: радиальную, тангенциальную и осевую. При достаточно низких значениях числа Рейнольдса ($Re < 10$) в исследуемой области доминирует радиальная и тангенциальная составляющие [11], что позволяет рассматривать задачу смешения в рамках двумерной постановки. Область течения ограничена твердыми непроницаемыми стенками смесительного аппарата, который представляет собой окружность, а в его центре расположена вращающаяся с постоянной угловой скоростью двухлопастная мешалка (рис. 1, а). Жидкость занимает всю область внутри круга за выче-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-29-00594).