

УДК 66.023.2

**Интенсификация процессов микросмешения в микрореакторе с интенсивно закрученными потоками**

**Миронова А.И. (СПбГТИ(ТУ))**

**Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Абиев Р.Ш. (СПбГТИ(ТУ))**

**Введение.** В настоящее время продолжает расти интерес к синтезу наноматериалов, так как наноразмерные частицы и кристаллы (до 100 нм) обладают рядом особенностей:

- 1) Большую часть объема частицы можно рассматривать как поверхностный слой.
- 2) Высокая поверхностная энергия и реакционная способность
- 3) Высокие показатели микротвердости

Растущий интерес к использованию микрореакторного синтеза наноразмерных частиц обусловлен возможностью более тонкого управления массо- и теплообменными процессами. Основной отличительной характеристикой микрореакторного синтеза от традиционного «капельного» метода является подача растворов с сопоставимыми расходами. Микрореакторы для синтеза наноразмерных частиц позволяют реализовать ряд преимуществ, а именно: получение частиц без примесей, из-за постоянства стехиометрии, достигаемого за счет высокого качества микросмешения, узкого распределения времени пребывания растворов в реакторе, а также высокая производительность установки.

Целью данной работы стало сопоставление Т-образного реактора и разработанного на кафедре ОХБА СПбГТИ(ТУ) микрореактора с интенсивнозакрученными потоками типа микро-ВСА-1 для определения наиболее эффективного метода получения наноразмерных частиц.

**Основная часть.** Предлагаемое решение – микрореактор с интенсивно закрученными потоками (далее микро -ВСА-1) [1]. Микро-ВСА-1 состоит из корпуса, патрубков для подачи растворов в аппарат и патрубка для вывода продуктов из аппарата. К камере аппарата крепятся один соосный центральный и два тангенциальных патрубка для ввода растворов в аппарат. Между собой камера смешения и патрубков для вывода продукта из аппарата соединены узкой цилиндрической горловиной. Расположение патрубков тангенциально к камере смешения обеспечивает закрутку потоков, которая, в свою очередь, позволяет достичь более высоких показателей микросмешения.

Проводились исследования влияния удельной скорости диссипации энергии на качество микросмешения в микро-ВСА-1 и в Т-образном реакторе.

Определение качества микросмешения проводилось с использованием йодит-иодатной методики [2], которая основана на использовании системы конкурирующих параллельных реакций. Для количественной оценки качества микросмешения используется индекс сегрегации ( $X_s$ ), значение которого находится в интервале от 0 до 1. Для идеального микросмешения характерно значение  $X_s = 0$ , для полной сегрегации  $X_s = 1$ .

В качестве определяющего параметра качества микросмешения и затрат энергии на подачу реагентов для смесителей как правило используется удельная скорость диссипации энергии [3]. В данной работе рассматривается система с двумя входными патрубками и одним выходным патрубком. Для определения удельной скорости диссипации в такой системе было выведено уравнение Бернулли специального вида, благодаря которому удалось определить мощность, затрачиваемую на перемешивание [4].

**Выводы.** Определено, что независимо от расхода качество микросмешения в микро-ВСА-1 при подаче растворов в тангенциальный и центральный патрубки оказалось наилучшим ( $\max(X_s) \leq 0,02$ ), однако при малых расходах ( $Q \leq 0,5$  л/мин) показатели микросмешения в микро-ВСА-1 при подаче реагентов в тангенциальные патрубки оказались несколько выше ( $X_s < 0,04$ ).

Значения удельной скорости диссипации энергии в микро-ВСА-1 при подаче в тангенциальный и центральный патрубки превышают аналогичный параметр в Т-образном реакторе более чем в 12 раз в зависимости от расходов подаваемых растворов, что обуславливает и более высокое качество микросмешения. Предполагается, что вся диссипируемая энергия в объеме аппарата затрачивается на перемешивание. Следовательно, наилучший из исследуемых способов – подача в тангенциальный и центральный патрубки микро-ВСА-1.

Результаты исследований объясняют преимущества качества синтезированных ранее в микро-ВСА-1 наночастиц  $\text{BiFeO}_3$ ,  $\text{LaPO}_4$ ,  $\text{GdFeO}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $t\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ . Образцы, полученные в микрореакторе с интенсивно закрученными потоками, отвечают следующим особенностям:

- 1) Образуются более мелкие частицы
- 2) Узкий диапазон распределения размеров частиц
- 3) Получение чистых компонентов (без примесных составов и фаз)

Подводя итоги, можно сделать вывод, что применение микрореакторов для синтеза наноматериалов позволяет существенно повысить эффективность синтеза по сравнению с классическим методом синтеза наноматериалов. Синтез в микрореакторе обеспечивает непрерывный процесс с высокой производительностью.

#### **Список использованных источников:**

1. Абиев Р.Ш. Патент РФ №2736287. Микрореактор с закрученными потоками реагентов
2. Fournier C. A new parallel competing reaction system for assessing micromixing efficiency - experimental approach/ C. Fournier, L. Falk, J. Villermaux// Chem. Eng. Sci. – 1996. – V. 22. – P. 5053-5064.
3. Falk L. Performance comparison of micromixers/ L. Falk, J.-M. Commenge// Chem. Eng. Sci. – 2010. – V. 65. – P. 405-411. DOI: 10.1016/j.ces.2009.05.045.
4. Абиев Р.Ш., Макушева И.В.// Теоретические основы химической технологии, 2022. - том 56, № 2. - С. 137-147.

Автор \_\_\_\_\_ Миронова А.И.

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Абиев Р.Ш.