

УДК 66.03: 66.063.8

*Д. Р. Наськина, А. П. Хомяков, С. В. Морданов,
Т. В. Хомякова, Р. И. Ахтямова*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
dilay1909@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПРИ ОСАЖДЕНИИ АММОНИЙНЫХ СОЛЕЙ

В работе представлены результаты моделирования гидродинамики в аппарате, предназначенном для осаждения аммонийных солей. Получены установившиеся распределения скоростей в аппарате для двух режимов работы механического перемешивающего устройства. Показано, что в обоих рассмотренных режимах наблюдается существенная неравномерность распределения времени пребывания технологических суспензий в объеме аппарата.

Ключевые слова: осаждение аммонийных солей; механическое перемешивание; математическое моделирование.

*D. R. Naskina, A. P. Khomyakov, S. V. Mordanov,
T. V. Khomyakova, R. I. Ahtyamova*

Ural Federal University, Ekaterinburg

HYDRODYNAMIC MIXING RESEARCH AT THE AMMONIUM SALTS PRECIPITATION

The paper presents the hydrodynamics simulation results in the device designed for the ammonium salts precipitation. The steady-state velocity distributions in the apparatus are obtained for two operation modes of a mechanical mixing device. It is shown that in both considered modes there is a suspensions residence time significant uneven distribution in the device volume.

Keywords: deposition of ammonium salts; mechanical mixing; mathematical simulation.

Для осаждения солей широко применяются реакторы с перемешивающими устройствами. Перемешивание способствует интенсификации процессов тепло- и массообмена и необходимых химических реакций.

Существует ряд факторов, влияющих на процесс осаждение аммонийных солей: температурный режим работы аппарата; равномерность распределения технологических сред в объеме реактора; рН-среды; концентрация солей.

В работе рассмотрено влияние гидродинамики перемешивания на равномерность распределения технологических сред в объеме реактора для режимов работы мешалки, формирующих восходящих или нисходящий поток в центральной части аппарата. Частота вращения вала мешалки в обоих рассмотренных режимах составляет 750 об/мин.

Установка осаждения аммонийных солей включает в себя каскад из трех реакторов, с диаметром 1200 мм и высотой цилиндрической части 3500 мм. Реакторы оснащены встроенными теплообменниками и механическими мешалками. Время пребывания технологических сред в каскаде реакторов составляет 3 часа. Для анализа принимали аппарат (рис. 1) с геометрией, соответствующей промышленным аппаратам.

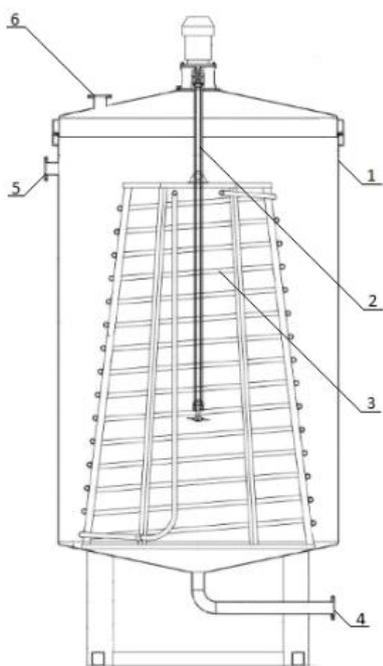


Рис. 1. Эскиз аппарата:

- 1 – реактор; 2 – перемешивающее устройство;
- 3 – теплообменник; 4 – сливной патрубков;
- 5 – переливной патрубков; 6 – патрубков подачи раствора

Для численного моделирования течения технологических сред использовали уравнение сохранения количества движения (уравнение Навье-Стокса) [1].

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + (\rho u_i) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{u_i}{x_i} \right) \right] + \rho g, \quad (1)$$

где i, j – индексы продольного и поперечного направлений течения; u – скорость, м/с; x – координата, м; ρ – плотность, кг/м³; p – давление, Па; μ – вязкость, Па·с; δ_{ij} – тензор метрического пространства; g – ускорение силы тяжести, м/с².

Для моделирования турбулентных пульсаций использовали стандартную k - ε -модель Лаундера и Спалдинга, состоящую из двух дифференциальных уравнения переноса, кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации [2, 3].

$$\frac{\partial E}{\partial t} + U_i \frac{\partial E}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[c_\mu \frac{E^2}{\varepsilon} \frac{\partial E}{\partial x_j} \right] - \langle u_i u_j \rangle \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \varepsilon, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{c_\mu E^2}{\sigma_\varepsilon \varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{E} \langle u_i u_j \rangle \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - c_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{E}, \quad (3)$$

где E – кинетическая энергия, Дж; U – средняя скорость, м/с; i, j – индексы продольного и поперечного направлений течения; u – скорость, м/с; x – координата, м; $c_{\varepsilon 1} \cong 1,44$, $c_{\varepsilon 2} \cong 1,92$, $\sigma_\varepsilon \cong 1,3$, $c_\mu \cong 0,09$ – коэффициенты модели; ε – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Получены распределения скоростей потоков (рис. 2), а также распределение времени пребывания технологических сред в объеме аппарата (рис. 3 и 4). Анализ распределения скоростей показывает, что наиболее интенсивное перемешивание наблюдается непосредственно вблизи мешалки. Скорость циркуляции здесь составляет от 2 до 6–7 м/с. В основном объеме аппарата скорости циркуляции не превышает 1 м/с, вследствие чего образуются застойные зоны, и снижается интенсивность массообмена. Время пребывания раствора в аппарате меняется в диапазоне от 20 до 275 с. Путь, пройденный частицами, меняется в диапазоне от 5 до 85 м.

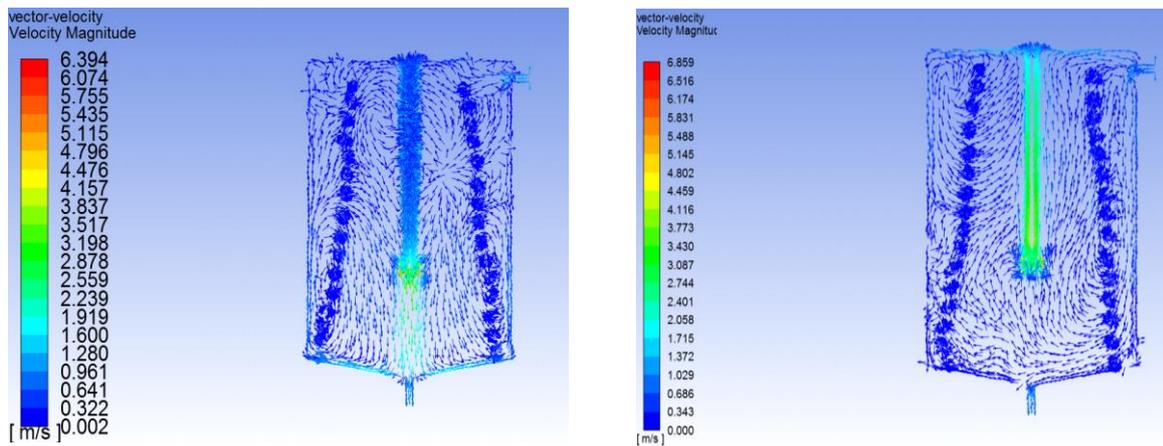


Рис. 2. Распределения скоростей в реакторе:
 а) при нисходящем потоке; б) при восходящем потоке

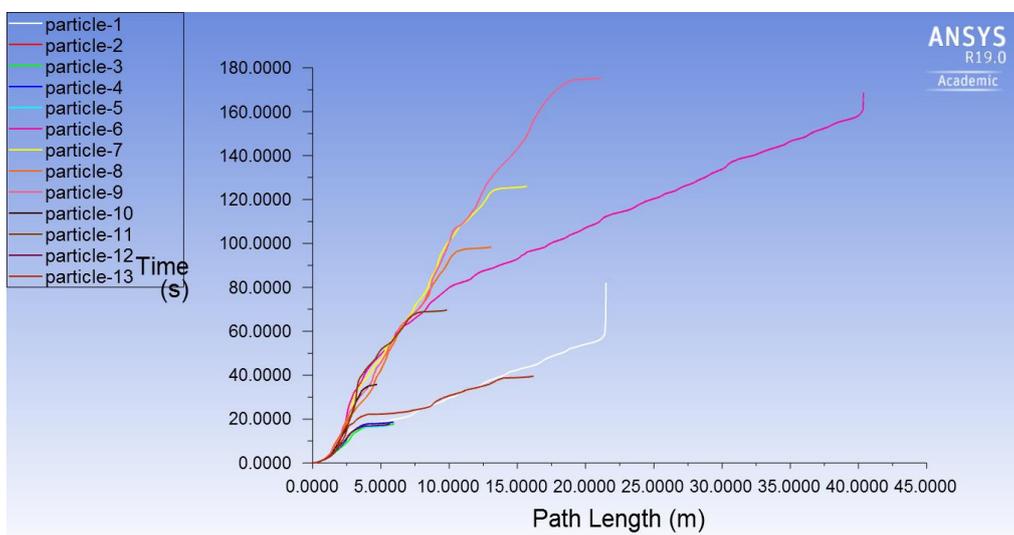


Рис. 3. Зависимость времени пребывания от пройденного пути частицами при нисходящем потоке

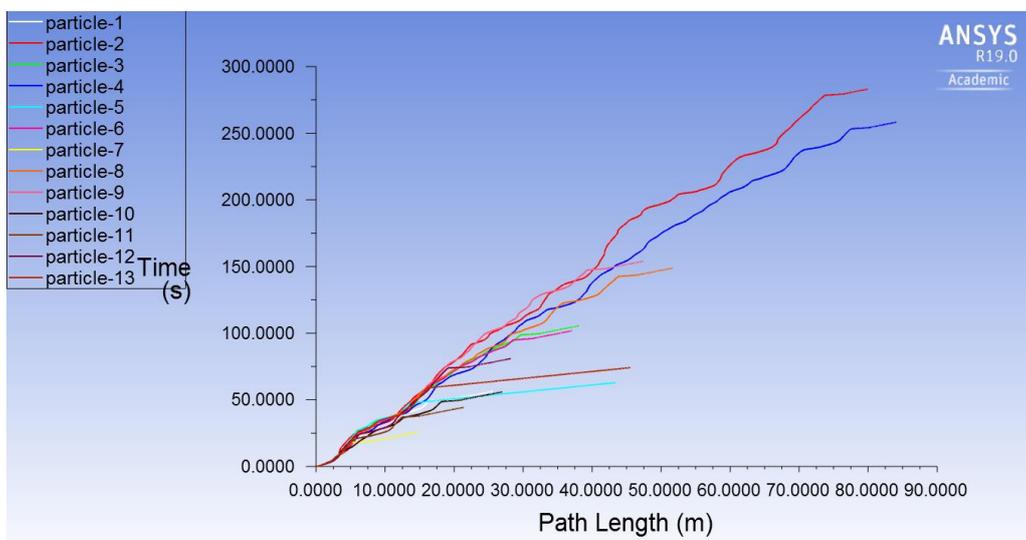


Рис. 4. Зависимость времени пребывания от пройденного пути частицами при восходящем потоке

Анализ результатов моделирования показывает, что распределение скоростей и времени пребывания технологических сред в существующих аппаратах обладает существенной неоднородностью, что негативно отражается на качестве технологических процессов. Необходима оптимизация конструкции и режимов работы перемешивающего устройства в существующих аппаратах.

Список использованных источников

1. О k - ϵ модели турбулентности/ М. И. Авраменко. 2-е изд., доп. и перераб. – Снежинск : Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2010. – 102 с.
2. Процессы переноса в турбулентных течениях [Текст] : курс лекций / Б. Б. Илюшин; Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск : НГУ, 2009. – 103 с.
3. Wilcox, D. C. Turbulence Modeling for CFD / D. C. Wilcox. – San Diego, California : DCW Industries, 2006. – 540 p.