

А. А. Курбангалеев, Ф. Х. Тазюков, Г. Н. Лутфуллина,
Ю. М. Данилов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ ТРУБЧАТЫХ АППАРАТОВ - МТА КАК СМЕСИТЕЛЯ ЖИДКИХ КОМПОНЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: Ньютоновские жидкости, процессы смешения жидкостей, турбулентное движение, концентрация компонентов, коэффициент перемешанности, кольцевые щели, радиальный ввод.

В статье представлены результаты численного 3D моделирования малогабаритных трубчатых аппаратов – МТА как смесителя в программном комплексе Fluent. Рассматривается влияние различных способов подводов второго смешивающего компонента на качество перемешивания. Результаты работы численного моделирования поставленной задачи сравниваются с работами других авторов при 2D моделировании.

Keywords: Newtonian liquids, the processes of mixing liquids, turbulence, the concentration of components coefficient churn, annular slit groove entering.

The paper presents the results of a numerical 3D modeling of small-sized tubular devices - MTA as a mixer in the software package Fluent. The influence of the different ways of mixing the leads of the second component on the quality of mixing. The results of the numerical simulation of the problem are compared with the works of other authors in the 2D simulation.

При процессах смешения жидких и газообразных компонентов в МТА - малогабаритных турбулентных аппаратах вопрос наиболее оптимальной геометрии МТА и проектирования поступления в его рабочую зону компонентов жидкостей или газов был недавно решён рядом авторов [1,2]. По результатам опубликованных работ среди МТА наиболее интересны, с точки зрения эффективности смешения, аппараты диффузор – конфузорного типа [3] рис. 1, у которых основной компонент жидкости проходит прямоотком, второй компонент поступает через радиальные отверстия - кольцевые щели. Жидкости в работе рассматриваются Ньютоновские.

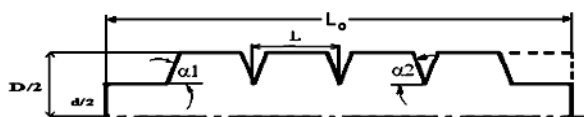


Рис. 1 - Форма и размеры проточной части эталонного - оптимального МТА

$$\frac{L}{D} = 1.7; \quad \frac{D}{d} = 1.6; \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$$

Данные выводы и расчёты были предложены авторами, следует иметь в виду, на основании результатов 2D моделирования процессов смешения компонентов в МТА. В реальных же условиях, могут возникать значительные отличия от этой модели.

Как было предложено и обосновано авторами в работе [2], для более реального отражения течения, следует проводить 3D моделирование таких процессов. Возникает вопрос: останутся ли при 3D моделировании также оптимальными форма МТА, его геометрические размеры и способы подводов поступления в него компонентов, что и при 2D моделировании. Для решения поставленного вопроса проводился ряд численных экспериментов 3D моделирования аппаратов МТА разной геометрии и формы. Для

качественной оценки смешения рассматривался один из важных критериев эффективности МТА - степень перемешивания (γ_a - средний по объёму коэффициент перемешанности), C_0 - заданная необходимая концентрация.

$$\gamma_a = 1 - \frac{1}{V} \iiint_{\Omega} |C(x, y, z) - C_0| dV$$

Коэффициент перемешанности связан со скоростью диссипации кинетической энергии турбулентности. Характер изменения коэффициента перемешанности γ_a такой же, как и характер изменения скорости диссипации кинетической энергии турбулентности: чем больше ϵ , тем больше и γ_a . В связи с этим γ_a может быть использован для оценки среднеобъёмных или среднемассовых характеристик процесса смешения. Как показывают результаты работ [4] величина коэффициента перемешанности γ_a обычно находится в интервале (0.8; 1.0). Она в основном определяется способом подачи компонентов в камеру аппарата. Для МТА эталонного - оптимального типа при 2D моделировании при вводе второго компонента через кольцевую щель γ_a имеет уровень (0.8 – 0.9). При радиальном вводе через систему струйных форсунок в 3D моделировании (0.94 – 0.98).

В численном опыте рис. 2 2D моделирование, в эталонный МТА поступает первый компонент – вода: $u_1 = 0.5$ м/с, $Re_1 = 2 \cdot 10^4$, второй компонент через кольцевую щель размером 0.1d радиальный ввод - этиловый спирт: $u_2 = 1$ м/с, объёмная концентрация воды $C = 0.677$, отношение расходов компонентов $m_2/m_1 = 0.226$. Коэффициент перемешанности получается на выходе $\gamma_a = 0.901$.

В численном опыте рис. 2 3D моделирование, в тот же, эталонный МТА, с теми же компонентами и с теми же входными параметрами, коэффициент перемешанности увеличился $\gamma_a = 0.923$, что подтверждает эффективность 3D моделирования.

При вводе второго компонента – спирта через струйную форсунку коэффициент перемешанности $\gamma_a = 0.944$.

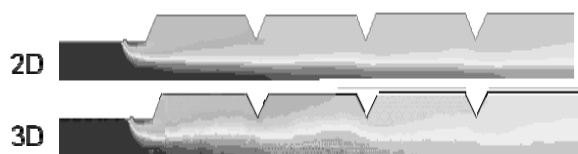


Рис. 2 - Распределение концентрации компонентов в эталонном МТА с вводом компонента через кольцевую щель

Объясняется это тем, что при радиальном струйном подводе второго компонента, даже в трубчатом аппарате постоянного сечения, обеспечивается высокое качество смешения. Система струй в этих случаях играет роль эффективного турбулизатора. При 2D моделировании подвод второго компонента можно смоделировать только с использованием кольцевой щели. При такой организации для потока первого компонента возникает препятствие в виде пелены из второго компонента. Результат - качество смешения ухудшается.

Поскольку при использовании системы струй и внезапного расширения смесь высокого уровня однородности удастся получить уже во второй секции аппарата, то возникает возможность уменьшить общую длину МТА диффузор – конфузорного типа, если она не лимитируется другими условиями. В смоделированном аппарате из двух секций с системой форсунок, из двух рядов отверстий по 12 в каждом ряду коэффициент перемешанности $\gamma_a = 0.968$.

Схему подачи второго компонента в аппарат можно организовать и по-другому не через радиальный ввод, а вдоль оси симметрии МТА – «спутный подвод», другой вариант смешанный ввод «спутно - радиальный». В проведенном численном эксперименте для МТА с такими вводами компонентов коэффициенты перемешанности получались $\gamma_a = 0.934$ и $\gamma_a = 0.934$ соответственно рис. 3, что показало меньшую эффективность смешения жидкостей в таких аппаратах.

При радиальном вводе через одну струйную форсунку второго компонента в МТА (3D моделирование получают несимметричные поля параметров. При этом в четырехсекционном эталонно - оптимальном аппарате асимметрия скорости ярко выражена и в основном в первой секции аппарата, что препятствует быстрому качественному смешению компонентов в последующих секциях. В случае симметричного радиального подвода второго компонента через форсуночную головку течение становится близким к осесимметричному, как результат - качество смешения существенно улучшается рис. 4.

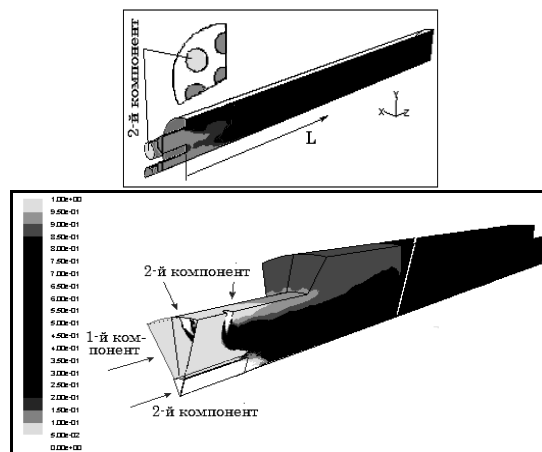


Рис. 3 – Ввод компонентов через струйные форсунки рис. сверху – «спутный подвод», снизу – «спутно-радиальный»

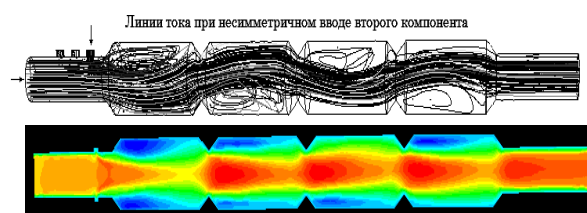


Рис. 4 - Эталонный МТА с несимметричным вводом второго компонента (верхн. рис.) и с подводом второго компонента через четыре форсунки (нижн. рис). Течение становится близким к осесимметричному

В рекомендации по 3D моделированию МТА в качестве смесителей ньютоновских жидкостей следует отметить, что как и предыдущими авторами, рекомендовано проектировать эталонный аппарат рис 1, но ввод смешивающего второго компонента должен осуществляться через систему струйных радиальных форсунок (форсуночной головки), причём число форсунок должно быть больше одной и расположение их должно быть симметричным относительно продольной оси аппарата. Условия для смешения в таких МТА существенно улучшатся, каждая из струй, вытекающей через отверстия жидкости, будучи затопленной в жидком первом компоненте, сгенерирует энергию турбулентности. Повыситься эффективность работы первой секции аппарата и таким образом создастся возможность повысить эффективность в целом и всего МТА.

Литература

1. Тахавутдинов Р.Г., Мухаметзянова А.Г., Дьяконов Г.С., Минскер К.С., Берлин А.А. Трубчатые турбулентные предреакторы для проведения процессов иницирования при каталитическом синтезе полимеров // Высокомолекулярные соединения. 2002. Т.44. №7. С. 1094 – 1100.
2. Данилов Ю.М., Мухаметзянова А.Г., Алексеев К.А. Курбангалеев А.А. Численное 3D моделирование смешения компонентов в малогабаритных трубчатых аппаратах. //Вестник Казанского технологического университета – 2012.- №5.- с 167-69.

3. Тахавутдинов Р.Г., Мухаметзянова А.Г., Дьяконов Г.С., Захаров В.П., Бергман А.Н. Влияние геометрии и способа ввода реагентов на гидродинамическую структуру потока в трубчатых турбулентных аппаратах // Вестник КГТУ, 2002. №1-2.-С.267-272.

4. Данилов Ю.М., Курбангалеев А.А. Влияние режима течения и некоторых конструктивных параметров трубчатого аппарата на параметры турбулентности при смешении компонентов. //Вестник Казанского технологического университета – 2012.- №21.- с 148-151.

© **А. А. Курбангалеев** - ст. препод. каф. теоретической механики и сопротивления материалов КНИТУ, romanova_rg@mail.ru; **Ф. Х. Тазюков** – д-р техн. наук, проф. той же кафедры; **Г. Н. Лутфуллина** – канд. техн. наук, доц. АГНИ; **Ю. М. Данилов** – д-р техн. наук, проф. каф. высшей математики КНИТУ.