

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 прямотоком, второй компонент поступает через радиальные отверстия - кольцевые щели. Жидкости в работе рассматриваются Ньютонские. Рис. 1 - Форма и размеры проточной части эталонного - оптимального МТА. 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 (- средний по объёму коэффициент перемешанности), C_0 - заданная необходимая концентрация. 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 проведённом 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 получаются несимметричные поля параметров. При этом в четырёхсекционном 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. Повысится эффективность работы первой секции аппарата и таким образом создастся возможность повысить эффективность в целом и всего МТА.