

При численном 3D моделировании течений смешивающихся жидких или газообразных компонентов в МТА – малогабаритных трубчатых аппаратах, нужно учитывать, что на движение смешивающихся потоков могут влиять многие факторы: такие как - геометрические формы элементов проточной части аппарата, флуктуации профилей и величин скоростей компонентов в подводящих каналах, воздействие массовых сил (гравитация, магнитные поля, вибрации и т.п.). Влияние всех этих факторов может приводить к нарушению симметрии полей гидродинамических параметров в осесимметричных каналах. В той или иной степени это можно учитывать при математическом моделировании турбулентных течений [1]. Однако при численном 3D моделировании с использованием персональных компьютеров возникает ещё один фактор, который может привести к нарушению симметрии потока – качество сеточной области (сетки), заменяющей физическую область. В статье [2] был приведён численный эксперимент по устранению данной проблемы и была дана рекомендация как при 3D моделировании течений в МТА применять для сеточной области - симметризацию и соблюдать условие сеточной независимости решения. Последняя устанавливается с помощью последовательного измельчения сетки до прекращения существенного изменения какого-либо параметра (локальной или интегральной его характеристики), удовлетворяющего пользователя, то есть, необходимо, чтобы решение имело т. н. сеточную независимость, (параметры сеточной области (минимальный и максимальный размеры ячейки) должны быть такими, при которых решение устойчиво к их изменению). С недавних пор, в наше время, с появлением мощных компьютеров и вычислительных станций возможности для изучения турбулентных струй значительно расширились. В практику исследований и проектирования происходит интенсивное внедрение методов вычислительной гидродинамики. Появились такие мощные инструменты исследования как коммерческие программные продукты (пакеты) как Fluent, PHOENICS, STAR.CD и др., позволяющие моделировать трёхмерные турбулентные течения. Произошёл революционный прорыв в технологии создания новых аппаратов во всех отраслях промышленности. Теперь полученные ранее результаты изучения турбулентных струй чаще используются для тестирования алгоритмов [3], основанных на использовании упомянутых пакетов, из которых наибольшей популярностью пользуется Fluent. Его использование позволяет не только изучить особенности течения и смешения, но и построить алгоритмы оптимизации конструктивных и управляющих его параметров. Одной из важных возможностей пакета Fluent является способность хорошо моделировать любой физический процесс и объект – строить мат. модель его и формировать математическую область этого объекта, используя разные вариации сетки и гибкое её построение. В пакете Fluent сеточная область может использовать неструктурированные сетки, её можно масштабировать, адаптировать и

оптимизировать к получаемому решению. Благодаря перечисленным возможностям пакет Fluent позволяет осуществлять процедуру симметризации [2] математической области МТА. Вместе с пакетом Fluent поставляются средства подготовки сеток для рассматриваемых задач – GAMBIT и TGrid. Данные подпрограммы осуществляют: - Построение геометрии объекта; - Декомпозиция расчетной области (разбивка области на подобласти); - Построение сетки; - Оптимизация сетки и её регулировка; - Постановка граничных условий. С целью изучения влияния сеточной области на получаемое решение проводился численный эксперимент для МТА - моделирование течения в круглом цилиндрическом канале с подводом второго компонента через боковую струйную форсунку. Радиус канала 1 см., радиус отверстия подводящей форсунки 0.3 см. Компоненты - вода и этиловый спирт. Скорость 1-го компонента во входном сечении $u_1=0.5$ м/с, скорость 2-го в выходном сечении форсунки $u_2=1$ м/с. Для решения использована сетка типа Tet/Hybrid. Результаты приведены на рис. 1. Рис. 1 - Линии тока в трубчатом аппарате с одной форсункой. Как видно, в аппарате течение симметрично относительно плоскости $X=0$. Изменение соотношения скоростей ввода компонентов u_2/u_1 от 1 до 6 не нарушало симметрии потока. На рис. 2 показаны аналогичные результаты для того же аппарата, но с четырьмя форсунками. Форсунки имеют выходные отверстия с различными радиусами. 2-й компонент подаётся через верхнюю форсунку, а остальные заглушены. Однако сеточная область включает внутренние полости заглушенных форсунок. Таким образом, создана асимметрия области. Это приводит к нарушению симметрии потока и возникновению его закрутки. Рис. 2 - Линии тока и поле концентрации в меридиональном сечении в трубчатом аппарате с четырьмя форсунками, боковые и нижняя заглушены. Сравнивая на выходе из аппарата среднеобъёмное значение коэффициента перемешанности γ , характеризующего качество перемешивания, вычисляемое следующим образом: Здесь x, y, z – текущие координаты, D – область в поперечном сечении канала, $F(z)$ – площадь поперечного сечения. Для первого и второго численного эксперимента разница коэффициента перемешанности составила значение более 5%, что не соответствует реальности. Проведя симметризацию сеточной области – то – есть, сделав сетку симметричной относительно координатных плоскостей за счёт включения опций зеркального отражения и поворота рис. 3, далее проводя измельчение сетки до тех пор, пока решение перестаёт изменяться, увеличивая порядок аппроксимации, и используя адаптивные сетки рис. 4 было получено решение с разницей менее 5%. Рис. 3 - Симметризация сеточной области Рис. 4 - Адаптация сетки. На основе анализа методов математического моделирования можно заключить, что одной из решаемых задач при проектировании МТА (помимо других), является разумный выбор имеющихся в распоряжении вычислителя возможностей подбора сетки для математической сеточной области и правильная её адаптация, и

оптимизация к получаемому решению. Целью является создание набора опций, содержащихся в меню программного продукта, который бы адекватно отражал особенности реального процесса.