

Численное моделирование турбулентных течений с помощью RANS/ILES-методов высокого разрешения в авиационных приложениях*

Л.А. Бендерский, Д.А. Любимов, А.Ю. Макаров, И.В. Потехина, А.Э. Федоренко

ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Москва.

С помощью комбинированного RANS/ILES-методов высокого разрешения [1] были проведены мультивариантные расчеты сложных турбулентных течений, которые важны для авиационных приложений. Были выполнены совместные расчеты течения в соплах различной конфигурации и их до- и сверхзвуковых струях, расчет натекания сверхзвуковой струи на стенку, влияние элементов планера на течение в струе из двухконтурного сопла ТРД. Исследовано активное управление отрывным течением в диффузоре с помощью синтетических струй, обтекание открытой полости. Высокое разрешение представленного метода позволяет на сетках $0.6-3.3 \times 10^6$ ячеек рассчитывать перечисленные прикладные задачи. Это позволяет проводить расчет задачи на одном узле кластера в сравнительно небольшое время. Появляется возможность проводить параметрические расчеты на кластере, что важно для инженерных приложений. Высокое разрешение метода достигается использованием монотонной схемы 9го порядка аппроксимации для расчета конвективных потоков уравнений Навье-Стокса на гранях ячеек.

При расчетах для дозвуковой струи получены акустические характеристики. Для угла наблюдения 90° в $1/3$ октавном спектре шума струи, расчет хорошо совпадает с экспериментом для $Sh=0.05-3$. Для нерасчетных холодных и горячих сверхзвуковых струй наблюдается удовлетворительное соответствие по распределению осредненного статического давления на оси струи с экспериментом. Рассчитано натекание сверхзвуковой нерасчетной холодной струи на стенку, при расстоянии сопла от стенки $h/d=2.08, 2.8$ и 4.16 . Определены пульсации давления вдоль стенки. Перечисленные расчеты выполнялись на сетках с $1.3-1.6 \times 10^6$ ячеек. Влияние компоновки (пилон и крыло с закрылками) на течение в струе из сопла двухконтурного ТРД было исследовано на сетке 3.3×10^6 ячеек. Обнаружено, что взаимодействие концевых вихрей от закрылков со струей приводит к сильному изменению течения в ней: изменяется форма струи, возрастает уровень энергии турбулентности. Рассмотрено несколько вариантов геометрии закрылков.

На сетке 0.5×10^6 ячеек выполнены расчеты по исследованию активного управления отрывными течениями в диффузорах с помощью синтетических струй, выдуваемых со стенки диффузора, на характеристики турбулентного отрывного течения в нем. Показано, что с помощью соответствующего выбора геометрических и газодинамических параметров синтетических струй, уровень пульсаций статического давления и скорости на выходе из диффузора может быть снижен в $1.3-1.5$ раза.

Исследована структура и характеристики течения в открытой полости (каверны) в присутствии внешнего потока над ней с числом Маха $M=0.9$ на сетке с 0.7×10^6 ячеек. Получены картины течения в полости, а также мгновенные и осредненные параметры и турбулентности в каверне и в области над ней.

Для задачи истечения сверхзвуковой струи из биконического сопла был выполнен анализ производительности расчета данным методом на узлах с разной архитектурой. Получено, что разница в ускорении расчетов в зависимости от архитектуры может достигать 2.5 раз.

Литература

1. Любимов Д.А. Разработка и применение метода высокого разрешения для расчета струйных течений методом моделирования крупных вихрей // Теплофизика высоких температур. 2012. Т. 50, № 3. С. 450.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №12-08-00951-а.