

Основанный на многоблочных вычислительных технологиях пакет аэрогидромеханического и теплофизического профиля VP2/3

С.А. Исаев¹, А.Г. Судаков¹, П.А. Баранов¹, С.В. Гувернюк², С.В. Стрижак³, А.Е. Усачов⁴

¹Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации,
isaev3612@yandex.ru

²Институт механики МГУ, guv@mail.ru

³Московский государственный технический университет, strijhak@yandex.ru

⁴Московский филиал ЦАГИ, usachev_a@mtu-net.ru

Аннотация — Дается генезис многоблочных вычислительных технологий (МВТ) и пакета VP2/3 (скорость – давление, 2D/3D версии) для решения задач вихревой гидродинамики и теплообмена в рамках подхода, основанного на решении уравнений NS-RANS&URANS. Особое внимание уделяется апробации модели переноса сдвиговых напряжений Менгера (MSST) и ее модификации для расчета отрывных течений. Верификация МВТ и VP2/3 проводится на многочисленных примерах, имеющих экспериментальные аналоги. Разработанный пакет применен для решения фундаментальных проблем смерчевой интенсификации теплообмена на луночных рельефах и управления обтеканием тел с вихревыми ячейками. Также решен широкий круг прикладных задач, в том числе задымления залов метрополитена при пожаре в вагоне поезда, предупреждения опасного сдвига ветра при взлете – посадке воздушных судов, архитектурно-строительной аэродинамики и др.

Ключевые слова — Уравнения Навье-Стокса и Рейнольдса, модели турбулентности, многоблочные вычислительные технологии, пакет VP2/3, тестовые примеры, фундаментальные и прикладные задачи.

I. Введение

Основанная факторизованных методах решения уравнений Навье-Стокса расчетная методология [1] прошла тестирование на двумерных задачах с фиксированной и нефиксированной точкой отрыва: о циркуляционном течении в квадратной каверне с подвижной крышкой, об отрывном течении в ступенчатом канале, о симметричном обтекании диска и цилиндра, поперечного кругового цилиндра. Особо следует отметить проведенное детальное исследование существен-

ного (на порядок величины) снижения сопротивления тел при их тандемном расположении по сравнению с одиночными плохообтекаемыми телами.

II. Генезис МВТ

Проблематика обтекания толстых профилей с вихревыми ячейками десять лет назад инициировала разработку МВТ, реализованных в специализированном пакете прикладных программ VP2/3 [2]. Их несомненное достоинство состоит в улавливании разномасштабных элементов структуры отрывного течения на совокупности сеток простой топологии соответствующего масштаба, накладываемых друг на друга. Количество вводимых сеток неограниченно и в пакете VP2/3 средствами объектно-ориентированного программирования осуществляется их автоматическое соединение и установление связей между ними. Многоблочный подход был обобщен для анализа пространственных отрывных течений; для интерпретации нестационарных, в основном циклических режимов, в том числе при использовании скользящих сеток; для расчета конвективного теплообмена около луночных рельефов, в пакетах труб со струйными и вихревыми генераторами, в том числе при движении неоднород-

ных сред (с переменными физическими свойствами типа масел).

III. Особенности МВТ и пакета VP2/3

Десятилетнее развитие оригинальной расчетной методологии, реализованной в пакетной среде выразилось в обобщенной процедуре коррекции давления, в моделировании турбулентности в рамках модели переноса сдвиговых напряжений, в оригинальных процедурах коррекции градиента давления и среднемаховой температуры, в оригинальном подходе к заданию входных граничных условий на основе решения погранслошной задачи, в автоматизированной процедуре согласования наложенных друг на друга сеток, распараллеливании МВТ

IV. Верификация МВТ и VP2/3

Тестирование многопрофильного пакета VP2/3 проведено на комплексе задач, имеющих физические аналоги. При этом численные прогнозы сопоставляются не только с данными имеющихся экспериментов, но и с результатами специально выполненных испытаний на лабораторных установках ИМ МГУ, МГТУ им. Н.Э.Баумана, СПбГПУ, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, ИТФ СО РАН и др. Отдельно следует отметить сравнительный анализ результатов, полученных с помощью различных пакетов (VP2/3 и Fluent).

V. Фундаментальные проекты

Два перспективных научных направления современной аэрогидромеханики тесно связаны с развитием МВТ и пакета VP2/3. Один из них, берущий свое начало в 1992г, посвящен численному исследованию физического механизма смерчевой интенсификации теплообмена при обтекании траншейных и луночных рельефов. Второй фундаментальный проект связан с управлением обтеканием тел с помощью вихревых ячеек. Как ранее указывалось, развитие МВТ и пакета VP2/3 в

значительной мере обязано его успешной разработке.

VI. Приложения

Несколько примеров иллюстрируют использование пакета VP2/3 для решения практических задач. Рассмотрены автоматизированный прогностический комплекс моделирования орографии местности в районе аэродрома и оценки ее влияния на формирование опасных режимов сдвига ветра, система прогнозирования задымленности помещений метрополитена при пожаре в вагоне поезда, расчеты аэродинамики строительного комплекса “ЭКО” в г.Москве.

VII. Заключение

Представленная разработка МВТ и пакета VP2/3 иллюстрирует наличие большого ресурса CFD для решения фундаментальных и прикладных проблем аэрогидромеханики и теплофизики. Перспективы дальнейшего развития также видятся в сфере увеличения вычислительной эффективности пакетов, что позволит выйти на решение сложных задач, в частности сопряженных задач и задач аэроакустики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №№08-01-00059).

Литература

- [1] Белов И.А., Исаев С.А., Коробков В.А. Задачи и методы расчета отрывных течений несжимаемой жидкости. - Л.: Судостроение, 1989. - 256 с.
- [2] Управление обтеканием тел с вихревыми ячейками в приложении к летательным аппаратам интегральной компоновки (численное и физическое моделирование) / Под ред. А.В. Ермишина и С.А. Исаева. - М.: МГУ, 2003. - 360 с.
- [3] Быстров Ю.А., Исаев С.А., Кудрявцев Н.А., Леонтьев А.И. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб. - СПб, Судостроение, 2005. - 398с.
- [4] Исаев С.А., Судаков А.Г., Баранов П.А., Усачов А.Е., Стрижак С.В., Лоханский Я.К., Гувернюк С.В. Разработка, верификация и применение основанного на многоблочных вычислительных технологиях распараллеленного пакета открытого типа VP2/3 для решения фундаментальных, прикладных и эксплуатационных задач аэромеханики и теплофизики // Вестник ЮУрГУ. Серия

"Математическое моделирование и программирование". - 2009. - № 17 (150). - Вып. 3. -С.59-72.