

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«РЯЦ-ВНИИЭФ»**

XIV Международная конференция

СУПЕРВЫЧИСЛЕНИЯ

И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Т Е З И С Ы

Саров
1–5 октября
2012

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОПРЯЖЕННЫХ ПРОЦЕССОВ АЭРОГАЗОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА В КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Ю. И. Дмитриенко, А. А. Захаров, М. Н. Коряков,
Е. К. Сыздыков¹, А. В. Жаворонков¹*

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва
¹ОАО «Государственное машиностроительное конструкторское бюро РАДУГА»
имени А. Я. Березняка, Дубна

Автоматизированные программные комплексы для расчета аэродинамики конструкций летательных аппаратов с учетом теплообмена в широком диапазоне изменения геометрии аппарата и режимов полета позволяют проводить широкомасштабное математическое моделирование реальных прототипов изделий. Общеизвестных численных методов и алгоритмов, предназначенных для моделирования сопряженных процессов аэродинамики и теплообмена летательных аппаратов, пока не существует, и по этой причине продолжаются интенсивные работы по разработке новых вычислительных технологий в области сверх- и гиперзвуковой аэродинамики. Чаще всего [1–2], при численных расчетах аэродинамики летательного аппарата температуру на поверхности тела находят либо из условия «холодной стенки», когда сначала вычисляется тепловой поток и коэффициент теплообмена к стенке, а затем по ним рассчитывается температура поверхности, либо из условия теплоизолированной (адиабатической) стенки, когда предполагают отсутствие обмена тепла между газом и стенкой.

В настоящей работе предложен новый алгоритм сопряженного решения задачи аэротермодинамики и внутреннего теплообмена, разработано программное обеспечение для его численной реализации и проведена апробация этого алгоритма на модельных конструкциях летательных аппаратов. Алгоритм основан на прямом численном моделировании аэротермодинамики с использованием модели трехмерного пограничного слоя [3] и специального численного алгоритма решения уравнения теплопроводности в области конструкции летательного аппарата. Данный подход не требует значительных вычислительных ресурсов. При разработке алгоритма использовались вычислительные технологии генерации адаптивных сеток [4] и конечно-разностные схемы высокого порядка точности с малой схемной диффузией [5].

Метод решения сопряженной задачи состоит в следующем: вводится цикл по «медленному» времени, соответствующему процессу распространения тепла в оболочке конструкции. Внутри этого цикла вводится «быстрое» время. Для каждого фиксированного момента медленного времени тепловой поток на твердой стенке полагается фиксированным, и системы уравнений газовой динамики отделяются от уравнения теплопроводности на одном шаге медленного времени.

В модели трехмерного пограничного слоя [3] уравнения идеального и вязкого газа также разделяются: решение уравнений идеального газа ищется во всей области течения газового потока с граничными условиями непротекания на твердой стенке, затем полученное решение идеального потока на твердой стенке переносится на внешнюю поверхность пограничного слоя. Далее осуществляется решение системы вязких уравнений в области пограничного слоя по «быстрому» времени до установления. После этого осуществляется переход к следующему моменту «медленного» времени. Тепловой поток на твердой стенке на очередном временном шаге «медленного» времени рассчитывается с помощью специального метода, предложенного в [6].

Исследование выполнено при поддержке грантов Президента РФ МК-2498.2011.8, МК-3150.2012.8.

Литература

1. Гильманов А. Н. Методы адаптивных сеток в задачах газовой динамики. М.: Физматлит, 2000.
2. Самарский А. А., Попов Ю. П. Разностные методы решения задач газовой динамики. М.: Едиториал УРСС, 2004.
3. Димитриенко Ю. И., Захаров А. А., Коряков М. Н. Модель трехмерного пограничного слоя и ее численный анализ // Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2011. Специальный выпуск «Математическое моделирование». С. 136–149.
4. Димитриенко Ю. И., Котенев В. П., Захаров А. А. Метод ленточных адаптивных сеток для численного моделирования в газовой динамике. М.: Физматлит, 2011.
5. Harten A. High resolution schemes for hyperbolic conservation laws // J. Comp. Phys. 1983. Vol. 49. P. 357–393.
6. Dimitrienko Yu. I., Efremov G. A., Chernyavsky S. A. Optimal designing of erosion-stable heat-shield composite materials // Int. Journal of Appl. Comp. Mat. 1997. Vol. 4, N 1. P. 35–52.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю. И. Димитриенко, А. П. Соколов, Ю. В. Шпакова, Г. В. Москвитин

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

В работе предложен метод вычисления эффективных упругопрочностных характеристик композиционных материалов с периодической тканевой структурой армирования (пределы пропорциональности или пределы упругости) в автоматизированном режиме на базе построенной программной системы [1–4]. Разработаны программные средства микроструктурного анализа ячеек периодичности композитов с учетом распространения микроразрушений и выводом полей функций повреждаемости. Разработаны автоматизированные средства вывода результатов расчета, включая поля тензоров напряжений для трехмерных моделей, сечения эффективных поверхностей первичного разрушения и скалярные эффективные пределы прочности гетерогенных структур.

Вычисление свойств композитов осуществляется на базе свойств составляющих элементов композита и заданной внутренней геометрической структуры (морфологии). В настоящей работе изложены результаты использования программных средств, которые позволили в автоматическом режиме определять пределы прочности композиционных материалов.

Алгоритм расчета пределов прочности композиционного материала заключается в применении метода асимптотического осреднения и решения специального класса задач L_{pq} теории упругости на $1/8$ -ой ячейки периодичности композита \tilde{V}_{ξ} для определения эффективных упругих характеристик материала [2]. Особенностью данных задач в работе был учет анизотропии входящих в геометрию ячеек периодичности волокон: учитывалась искривленность волокон. Это повлекло за собой необходимость пересчета компонент тензора модулей упругости $C_{ijkl}(\gamma)$, зависящих от угла анизотропии волокон, определяемого заранее заданной его образующей. Для такого учета был разработан специализированный программный модуль, который связал локальную (физическую) систему координат «прямого» волокна с глобальной для искривленного. С математической точки зрения осуществлялось преобразование компонент тензора n -го ранга при замене ортонорми-

**Супервычисления
и математическое моделирование**

XIV Международная конференция

1–5 октября 2012 г.

Под редакцией
доктора физ.-мат. наук
Р. М. Шагалиева

Компьютерная подготовка оригинала-макета *С. Н. Фролова*

Печатается с оригинальных текстов авторов

Подписано в печать 17.09.2012 Формат 60×84/8
Печать офсетная. Усл. печ. л. ~19,8 Уч. изд. л. 13,12
Тираж 180 экз. Зак. тип. 1126-2012

Отпечатано в ИПК ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
607188, г. Саров Нижегородской обл.