

УДК 533.6.011

**О.С.Рыкова, П.Е.Смирнов (6 курс, каф. прикладной математики),
Е.М.Смирнов, д.ф.-м.н., проф.**

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ТРЕХМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ОБЛАСТЕЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОЧНО-СТРУКТУРИРОВАННЫХ НАКЛАДЫВАЮЩИХСЯ СЕТОК

Для численного решения задач диффузионного переноса тепла в областях сложной геометрии весьма эффективными являются методы, базирующиеся на использовании блочно-структурированных сеток (БСС). В этих методах расчетная область разбивается на несколько подобластей (блоков), для каждой из которых строится своя структурированная (регулярная) сетка. Методы БСС можно подразделить на два класса. В первом из них полагается, что блоки непосредственно пристыковываются друг к другу. Алгоритмы передачи расчетной информации через межблочный интерфейс должны обеспечить консервативность потоков, и в случае сложной геометрии являются весьма нетривиальными [1]. Кроме того, во многих случаях генерация сеток, стыкуемых по общей поверхности, довольно трудоемка, или же качество сетки весьма низкое. Второй класс охватывает методы, использующие накладываемые сетки. Здесь особенно привлекательным является алгоритм, основанный на постановке условий первого рода на тех частях границ, которые погружены в другой блок (блоки), а значения скалярной величины на этих участках границ получаются путем интерполяции по значениям из пересекаемых (оккупируемых) блоков (см. [2]). Фактически, поле скалярной величины в области наложения блоков рассчитывается двукратно, однако этот недостаток малозначителен в случаях, когда области наложения малы по сравнению с полной расчетной областью.

В настоящей работе разработана и протестирована реализация обмена информацией между накладываемыми сетками, велась на базе созданной на кафедре гидроаэродинамики СПбГТУ программы HEATSIMP, ориентированной на решение стационарных задач теплопроводности методом установления по псевдовремени. Пространственная дискретизация второго порядка осуществляется по методу контрольного объема. Значения рассчитываемых величин приписываются центрам ячеек, которые в общем случае представляют собой неправильные шестигранники.

Алгоритм, развитый в настоящей работе, включает три основных этапа. Первый — это поиск ячейки оккупированного блока, в которую попадает центр грани обрабатываемой приграничной ячейки данного (погруженного) блока, второй — определение соседей этой ячейки для проведения интерполяции, и, наконец, третий — интерполяция скаляра на границу погруженного блока по значениям из оккупированного блока.

Реализация каждого из этапов сопряжена со своими специфическими сложностями. Так, в случае сеток большой размерности (порядка нескольких сотен тысяч ячеек) поиск подходящих ячеек на первом этапе требует существенных затрат процессорного времени: для всех граней приграничных ячеек погруженного блока необходимо перебрать все ячейки оккупируемого блока. Для уменьшения временных затрат на поиск целесообразно “ручное” указание (с запасом) границ области погружения блоков. Кроме того, разумно сохранять информацию о найденных ячейках для каждой комбинации сеток, чтобы избежать повторной работы процедуры поиска (препроцессора) при перезапуске задачи.

Качество совпадения решения в области наложения блоков в значительной мере определяется выбором ячеек для интерполяции. В представляемом алгоритме вводятся понятия шаблона интерполяции и центра этого шаблона. В качестве последнего можно выбрать центр ячейки, найденной на первом этапе алгоритма для текущей приграничной ячейки погруженного блока. Остальные ячейки, дополняющие шаблон, выбираются как предыдущий и последующий соседи центра по каждому индексному направлению. Однако тестовые расчеты показали, что выбор центра интерполяции указанным выше способом без последующего гео-

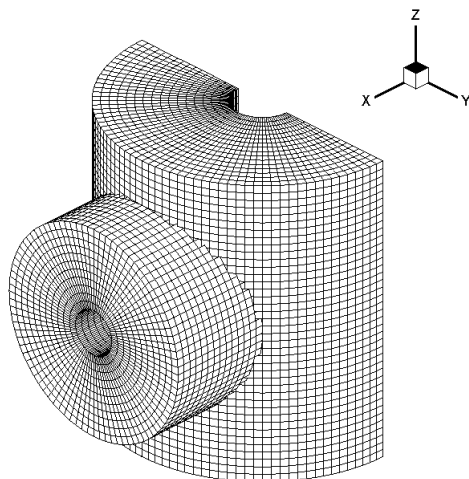
метрического анализа может приводить к существенному отличию решений в накладывающихся частях блоков. В ряде случаев значительно лучшие результаты получаются при сдвиге отдельных центров интерполяции на одну ячейку по индексному направлению с тем, чтобы как можно большее число ячеек получившегося шаблона лежало бы в области пересечения блоков. Активизация такого сдвига определяется специальной процедурой. Интерполяция производится по следующей формуле:

$$S_0 = \sum_{i=1}^7 w_i S_i, \quad \text{где} \quad w_i = \frac{l_i^{-D}}{\sum_{k=1}^7 l_k^{-D}}, \quad D = \{2 \dots 5\}.$$

Здесь S_0 — значение скаляра в точке (x_0, y_0, z_0) ; S_i — значение скаляра в центре i -й ячейки шаблона; l_i — расстояние от точки (x_0, y_0, z_0) до центра ячейки; D — параметр интерполяции.

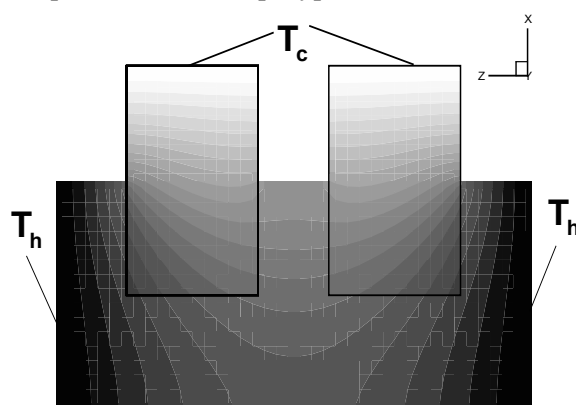
Разработанный алгоритм был апробирован на ряде задач теплопереноса, в том числе, в сопоставлении с расчетами, проведенными с использованием стыкуемых сеток [1]. Ниже, в качестве примера, рассматривается задача о распределении температуры в составном теле, показанном на рис.1. Открытые торцы цилиндров поддерживаются при различных температурах T_h и T_c , а остальные границы теплоизолированы (рис.1). Рис.2 демонстрирует достаточную гладкость решения у границ области наложения блоков.

Рис.1. Расчетная сетка для задачи



теплопроводности в составном теле

Рис.2. Распределение температур



в срединной плоскости

Выводы. Проведенные тестирование и апробация разработанного алгоритма обмена информацией между накладывающимися блоками позволяют заключить, что он может быть с успехом применен к решению большого числа задач теплопроводности в областях сложной геометрии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Корсаков А.Б., Смирнов Е.М. Проблемы интерфейсных вычислений при численном решении уравнений переноса на многоблочных структурированных сетках // Физ. основы эксп. и мат. моделирования процессов газодинамики и тепломассообмена в энерг. установках: Труды 13-ой Школы-семинара под руководством А.И. Леонтьева. Том I.- М.: Изд-во МЭИ, 2001.- С.173–176.
2. Атта Е.Х., Вадяк Ж. Метод пересекающихся сеток для расчета обтекания многоэлементных компонентов // Аэрокосмическая техника, 1984, Т. 2, №5, С. 34-41.