

БЕССЕТОЧНЫЕ МЕТОДЫ ВИХРЕВЫХ И ДИПОЛЬНЫХ ДОМЕНОВ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

© 2012 Дынникова Г.Я.

НИИ механики МГУ, Москва

THE MESHLESS METHODS OF THE VORTEX AND DIPOLE DOMAINS FOR A NUMERICAL SOLVING OF NAVIER-STOKES AND HEAT TRANSFER EQUATIONS.

© 2012 Dynnikova G.Y.

Two meshless methods for numerical solving of the nonstationary Navier-Stokes equations are represented: the viscous vortex domains method (VVD) for 2D flows and dipole domains method (MDD) for 3D flows. Both are assigned for the incompressible liquid.

Бессеточные численные методы широко применяются при расчете течений жидкостей. Среди них значительное место занимают вихревые методы, родоначальником которых является метод дискретных вихрей, созданный для моделирования двумерных течений идеальной жидкости. Позднее метод был развит для расчета трехмерного обтекания тел путем замены прямолинейных вихревых элементов на вихревые рамки. В настоящее время существуют различные модификации вихревых методов, позволяющие рассчитывать как двумерные, так и трехмерные течения вязкой жидкости. Одним из них является метод вязких вихревых доменов (ВВД) [1, 2] предназначенный для расчета двумерных течений вязкой несжимаемой жидкости на основе уравнений Навье-Стокса. Преимуществами метода ВВД перед другими бессеточными вихревыми методами является его строгая обоснованность, корректное моделирование движения вихревых элементов вблизи поверхностей, что позволяет получать отрывы течения с гладких поверхностей и вычислять напряжение трения без дополнительных предположений и построений.

Методом ВВД решен широкий круг задач обтекания неподвижных и нестационарно движущихся тел. На рис. 1 показаны характерные результаты обтекания колеблющегося профиля [3].

Изображена вихревая картина и линии меченых частиц, наложенные на фотографию, полученную в эксперименте методом дымовой визуализации. Возможность рассчитывать течения в областях изменяющейся геометрии является важным преимуществом бессеточных методов.

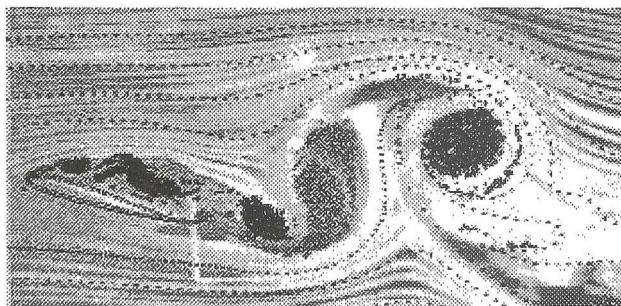


Рис.1 Картина течения вокруг профиля, совершающего угловые колебания в потоке

Одним из существенных достижений метода ВВД, является постановка и решение сопряженных задач движения тел под действием гидродинамических сил, в частности, самодвижения квази-биологических объектов, с помощью изменения формы.



Рис.2 Вихревая картина течения около самодвижущейся модели медузы

Благодаря полученным интегральным формулам, связывающим гидродинамические силы с характеристиками поля завихренности, удалось объединить уравнения движения тела с гидродинамическими уравнениями и решать их без расщепления шага интегрирования на гидродинамический и динамический подшаг, как это делалось ранее в других работах. Объединение уравнений в единую систему позволяет решать сопряженные задачи без ограничения на инерционные характеристики тела, включая нулевые массы и моменты инерции, что невозможно в схемах с расщеплением.

На основе метода ВВД построен метод вязких вихревых и тепловых доменов (ВВДТ) [1], позволяющий рассчитывать вязкие течения несжимаемой жидкости с учетом свободной конвекции в приближении Буссинеска.

лагранжевых 3Двихревых методов, то вопрос их обоснованности остается открытым. В связи с этим в [4] предложено для бессеточного моделирования 3Дтечений использовать распределенные дипольные элементы с плотностью дипольного момента \mathbf{D} , удовлетворяющей равенству $\text{rot } \mathbf{D} = \text{rot } \mathbf{V}$ (\mathbf{V} -скорость жидкости). Ранее моделирование течений диполями рассматривалось в [5],[6], где диполи считались точечными, а их взаимодействие соответствовало идеальной жидкости. В [6] показано, что такое взаимодействие приводит к спонтанному возникновению сингулярности. В результате расчет течений на основе точечных диполей не был реализован. В данной работе диполи считаются протяженными, и при их взаимодействии учитывается вязкость жидкости. Уравнение, описывающее эволюцию поля \mathbf{D} , имеет вид

$$\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + (\nabla \nabla) \mathbf{D} = -(\mathbf{D} \nabla) \mathbf{V} - \mathbf{D} \times \boldsymbol{\Omega} + \nu \nabla^2 \mathbf{D}$$

В настоящее время получены первые результаты расчета обтекания простых геометрических тел на основе решения этого уравнения в лагранжевых координатах. На рис. 4 показано поле скорости при трехмерном обтекании сферы в сечении, проходящем через ее центр. Изображены векторы скорости жидкости в точках нахождения дипольных элементов. Количество точек в данном расчете еще недостаточно велико. В настоящее время ведется работа по усовершенствованию программы и ее адаптации для запуска на компьютерах с графическими ускорителями.

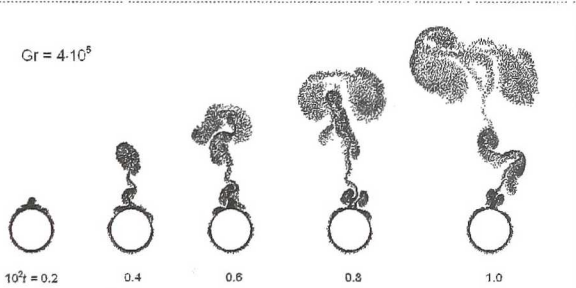


Рис. 3 Свободная конвекция около нагретого цилиндра

Как уже говорилось выше, существуют вихревые методы для расчета трехмерных течений вязкой несжимаемой жидкости. Однако при их разработке возникла проблема, связанная с дискретизацией поля завихренности. Представление его несоленоидальными элементами (вортонами, вихревыми сгустками, отрезками и т.п.) приводит к нарушению законов сохранения гидродинамических вариантов, что может быть причиной погрешностей при вычислении сил, действующих на тела. В связи с этим наиболее успешным оказалось построение гибридных схем, использующих наряду с лагранжевыми переменными эйлеровы сетки для восстановления соленоидальности вихревого поля. Что касается чисто

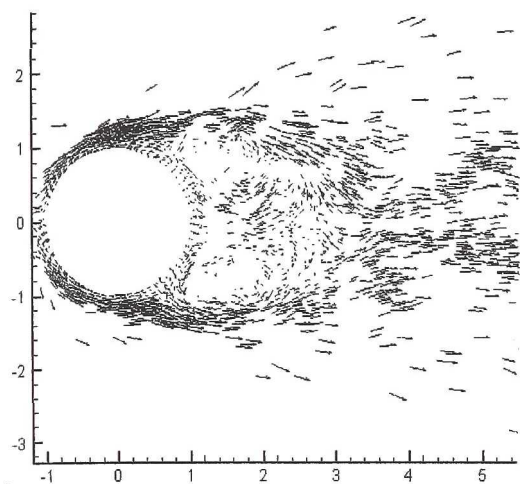


Рис.4 Обтекание сферы. $Re=100$

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 09-08-01190 и 10-01-00256).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ СКЛАДЧАТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ТИПА Z-ГОФР

© 2012 Двоеглазов И.В., Халиулин В.И.

Казанский национальный исследовательский технический университет -КАИ
им. А.Н.Туполева, Казань

ON THE DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL METHODS IN RESEARCH OF FOLDED CORE TYPE Z-CRIMP STRENGTH

© 2012 Dvoeglazov I.V., Khaliulin V.I.

This article reports the experience in conducting strength tests of folded cores reinforced composite materials. In order to increase the stability of the experimental results are given tips on how to test. Examples of types of fracture fillings such as z-crimp made of different materials are given.

Технологии изготовления складчатых структур из высокопрочных армированных композиционных материалов (стекло, углепластиков) и широкие возможности по оптимизации их геометрических параметров позволяют добиться высоких прочностных характеристик заполнителя на основные виды нагружения.

В данной работе отражен опыт проведения статических прочностных испытаний на поперечное сжатие и изгиб многослойных панелей со складчатыми заполнителями типа z-гофр из композиционных материалов.

6. Дынникова Г.Я. Дисс. на соискание степени доктора физ.-мат. наук. 2011
7. Андронов П.Р., Гувернюк С.В., Дынникова Г.Я.. Вихревые методы расчёта нестационарных гидродинамических нагрузок. М.: Изд-во МГУ. 2006
8. Гувернюк С.В., Дынникова Г.Я. Изв. РАН. МЖГ. 2007. № 1. С. 3-14.
9. Дынникова Г.Я. ДАН. 2011. Т. 437, №1. С.35-38.
10. Григорьев Ю.Н., Левинский В.Б., Яненко Н.Н. В сб. Численные методы механики сплошной среды. Новосибирск. 1982. Т.13. В. 3.
- Чефранов С.Г. ЖЭТФ. 1987. Т. 93. С. 151-158.

Вследствие того, что структурные элементы СЗ соизмеримы с размерами многослойной панели, существующие методики испытаний вспененных и сотовых заполнителей, а также рекомендации по выбору размеров образцов и их формы не могут быть применены в полной мере.

Проблема выбора размеров обусловлена разной степенью влияния краевого эффекта для заполнителей с разной жесткостью граней и разными пропорциями рельефа. Испытания однотипных образцов, но с различными габаритными размерами, показали, что в