

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ЗАДАЧЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СКАЧКА СО СДВИГОВЫМ СЛОЕМ

А.Л. АДРИАНОВ

Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. акад. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

В данной работе получено аналитическое решение стационарной задачи о проникновении скачка уплотнения (СУ) в сдвиговой слой. Среди использованных допущений наиболее существенными являются: замена скачка поверхностью сильного газодинамического разрыва с асимптотическим учетом эффектов вязкости и теплопроводности среды, а также исключение несущественного для данной задачи краевого эффекта. При сделанных допущениях исходная начально–краевая задача для уравнений Навье–Стокса сведена к задаче Коши для системы ОДУ, жесткость которой увеличивается по мере уменьшения числа Рейнольдса. Существенно, что при получении правых частей уравнений применяется система аналитических преобразований на ЭВМ. Рассмотрены альтернативные методы записи и решения данной системы уравнений: классический — с нормализацией и без нее — основанный на невязком приближении. Второй метод оказывается эффективнее в области высоких чисел Рейнольдса потока и, что более важно, автоматически редуцирует решаемую систему до второго порядка в предельном невязком (и нетеплопроводном) случае.

Численно прослеживается влияние начальной интенсивности падающего скачка, числа Рейнольдса, вида граничных (начальных) условий, краевого эффекта и других параметров на механизм рефракции СУ в сдвиговом слое. Из проведенных расчетов в частности следует, что вязкость и теплопроводность существенно препятствуют распространению лишь слабых («акустических») возмущений, ослабляя и без того малую их начальную интенсивность, а краевой эффект как и в невязком случае не оказывает при этом решающего влияния на процесс взаимодействия. При значительной интенсивности СУ, наоборот: действие вязкости и теплопроводности незначительно, в сравнении, например, с действием, оказываемым краевым эффектом. Вычислительным путем доказано образование «зоны автомодельности» по числу Рейнольдса в возмущенном (за СУ) течении при увеличении начальной интенсивности падающего скачка, то есть, когда силы давления уже преобладают над вязкими силами и, следовательно, работает газодинамическое приближение. Данный физический факт подтверждается и более сложными расчетами на основе полной модели нестационарных уравнений Навье–Стокса.

Для практики важно, что построенная в данной работе модель позволяет в рамках единого вычислительного алгоритма насквозь проходить от газодинамической до диффузионной стадии эволюции СУ в слое, чем достигается значительная экономия вычислительного ресурса. В данной постановке задачи сохраняется естественный бесконечный порядок гладкости в касательном к СУ направлении.

С теоретической точки зрения важно также то, что общепринятое и строго обоснованное лишь для модели идеального газа — выделение разрыва, будучи примененным, в вязком газе, автоматически расширяет и границы применимости аналитического подхода в целом.

AN ANALYTICAL APPROACH FOR THE PROBLEM OF SHOCK–SHEAR LAYER INTERACTION

A.L. ADRIANOV

Siberian State Aerospace University named after Academician
M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

A steady–state analytical solution is obtained for the problem of shock penetration in the shear layer. In this approach, the shock wave is considered to be a strong gasdynamic discontinuity (Shock fitting technique) with the Rankine–Hugoniot and differential relations including effects of gas viscosity and heat conductivity. In addition, there is excluded the boundary effect behind the shock which is not important for this problem. These conditions allow one to reduce the general boundary problem for Navier–Stokes equations to the initial problem for ODE system with the complex right–hand side. Were considered alternative methods of finding of solution of the given system: classical — with normalization and without it, based on inviscid case. The second method has advantages in high

Reynolds number.

From numerical analyses it is evident the influence of Reynolds number and initial–boundary conditions on the refraction mechanism of the shock penetration. It is proved the existence of a self–similarity with respect to Reynolds number for a perturbed flow.

It's important for practice, that the model, build in this work lets in the frame of unique calculation algorithm go through beginning from gasdynamic up to diffuse stage of shock evaluations. It helps to reach — the economy of computation resources.



РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЙ С ДЕТОНАЦИОННЫМИ ВОЛНАМИ НА ПОДВИЖНЫХ АДАПТИВНЫХ СЕТКАХ

Б.Н. АЗАРЕНОК

Вычислительный Центр РАН, Москва, Россия

Рассматривается метод расчета нестационарных течений газа с детонационными волнами на подвижных сетках, адаптирующихся к особенностям решения. Моделирование процесса проводится на основе решения системы уравнений газовой динамики и уравнения химической кинетики, записанных в виде интегральных законов сохранения. Используется модификация схемы Годунова второго порядка точности по времени и пространству [1, 2]. Уравнения аппроксимируются на подвижной сетке. Это позволяет пересчитывать газодинамические величины на новом временном слое непосредственно на подвижную сетку без переинтерполяции. Построение подвижной сетки осуществляется с использованием вариационного подхода. Адаптивная сетка генерируется на каждом шаге по времени при решении задачи минимизации функционала гладкости, записанного на поверхности управляющей функции [3, 4]. В качестве управляющей функции используется один из параметров потока. Сильное сгущение координатных линий расчетной сетки позволяет размещать в поперечном направлении зоны горения несколько ячеек и, следовательно, разрешать тонкую структуру фронта реакции, например, зарождение вихрей в двумерном случае. Приводятся примеры расчета равновесной детонации Чепмена–Жуге и неустойчивой пересжатой детонационной волны в одномерном и двумерном случаях.

Ссылки

1. Azarenok B.N. Realization of a second-order Godunov's scheme // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. — 2000. — V. 189. — № 3. — P. 1031—1052.
2. Azarenok B.N., Ivanenko S.A., Tang T., Adaptive mesh redistribution method based on Godunov's scheme // *Communications in Mathematical Sciences*. — 2003. — V. 1. — P. 152—179. (<http://www.math.ntnu.no/conservation/2002/016.htm>).
3. Азаренок Б.Н., Иваненко С.А. О применении адаптивных сеток для численного решения нестационарных задач газовой динамики // *Ж. Вычисл. матем. и матем. физ.* — 2000. — Т. 40. — № 9. — С. 1386—1407.
4. Азаренок Б.Н., О Применении Вариационного Барьерного Метода в Гиперболических Задачах

Газовой Динамики // *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.* — 2003. — Т. 43. — № 7. — С. 1072—1096.

FLOW CALCULATIONS WITH DETONATION WAVES ON MOVING ADAPTIVE MESHES

B.N. AZARENOK

Computing Center of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The method of calculating the system of gas dynamics equations coupled with the chemical reaction equation is considered. The flow parameters are updated in hole without splitting the system into hydrodynamical part and ODE for the kinetic equation as it is usually performed to the fractional step method. The algorithm is based on the Godunov's scheme on deformed meshes with some modification increasing the order of the scheme in time and space [1, 2]. To generate the moving mesh the variational approach is applied. At every time step the functional of smoothness, written on the graph of the control function, is minimized [3, 4]. One of the flow parameters is used as the control function. The grid-lines are condensed in the vicinity of singularity in the solution and, thus, an adaptive mesh is generated. Strong grid-lines condensing allows placing several cells into the burning zone and, thus, resolving a fine structure of the reaction front, e. g. appearance of vortices. The numerical examples relating to the Chapman–Jouguet detonation and unstable overdriven detonation wave calculation in the 1D and 2D approach are presented.

References

1. Azarenok B.N. Realization of a second-order Godunov's scheme // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. — 2000. — V. 189. — № 3. — P. 1031—1052.
2. Azarenok B.N., Ivanenko S.A., Tang T., Adaptive mesh redistribution method based on Godunov's scheme // *Communications in Mathematical Sciences*. — 2003. — V. 1. — P. 152—179. (<http://www.math.ntnu.no/conservation/2002/016.htm>).
3. Azarenok B.N., Ivanenko S.A. Application of moving adaptive grids for numerical solution of nonstationary problems in gas dynamics. / *Int. J. for Numer. Meth. in Fluids*. — 2002. — V. 39. — № 1. — P. 1—22.
4. Azarenok B.N. Variational barrier method of adaptive grid generation in hyperbolic problems of gas dynamics // *SIAM J. Numer. Anal.* — 2002. — V. 40. — P. 651—682.



АЛГОРИТМ КОНСЕРВАТИВНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ГЕКСАЭДРАЛЬНЫХ СЕТКАХ

Б.Н. АЗАРЕНОК

Вычислительный Центр РАН, Москва, Россия

Рассматривается алгоритм интерполяции газодинамических полей с одной регулярной гексаэдральной сетки на другую [1]. Каждая сетка, старая и новая, составлена из гексаэдральных ячеек. Интерполяция является локально консервативной, т. е. общее количество консервативной величины (массы, компонент импульса, полной энергии и т. д.) в рассматриваемой области должно оставаться локально неизменным после пересчета газодинамических параметров с сетки на сетку. Интерполяция имеет первый порядок точности и сводится к вычислению объемов областей пересечения ячеек старой и новой сеток. Задача построения фигуры пересечения шестигранных ячеек с линейчатыми гранями заменяется построением фигуры пересечения двенадцатигранных ячеек с плоскими треугольными гранями. Построение фигуры пересечения двух двенадцатигранных ячеек (относящихся соответственно к старой и новой сетке) осуществляется с помощью линий пересечения треугольных граней L_i . На треугольных гранях двенадцатигранников строятся многоугольники P_i , вырезаемые линиями L_i . Объединение всех построенных многоугольников P_i и формирует границу фигуры пересечения. Для фиксированной ячейки новой сетки используется оптимальный алгоритм перебора ячеек старой сетки с тем, чтобы проверить только те старые ячейки, которые имеют в пересечении с рассматриваемой ячейкой новой сетки непустое множество.

Ссылки

1. Азаренок Б.Н. Описание алгоритма консервативной интерполяции газодинамических полей на гексаэдральных сетках, гл. 4 в Итоговом Отчете о НИР «Разработка алгоритмов и программ построения регулярных трехмерных сеток и интер-

поляции газодинамических полей» // Институт Математики и Механики. — УрО РАН, Екатеринбург, 2002.

A CONSERVATIVE 3D REMAPPING ALGORITHM ON HEXAHEDRAL MESHES TO GAS DYNAMICS PARAMETERS

B.N. AZARENOK

Computing Center of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

An algorithm on remapping the gas dynamics parameters from one hexahedral mesh onto another is considered [1]. Each mesh, new and old, is composed of the hexahedral (or ruled) cells. The interpolation procedure is locally conservative, i.e. the total amount of the conservative parameter (mass, momentum, total energy, etc.) in the domain should be locally unchangeable after updating the hydrodynamical parameters from one mesh onto the other. The remapping is of the first-order accuracy and is reduced to the volume calculation of the intersection domain between the cells of the old and new meshes. The problem of constructing the intersection figure between the hexahedral cells with the ruled faces is substituted by constructing the intersection figure between the dodecahedral cells with the planar triangle facets. We construct the intersection figure between two dodecahedrons (relating to the old and new mesh, respectively) using the intersection lines L_i between the triangle facets. On the triangle facets we construct polygons, which are cut out by the lines L_i . Union of all those polygons forms the boundary surface of the intersection figure. To the new mesh cell we apply the optimal algorithm on selecting the old mesh cells with purpose to check only those old cells, which have not empty set at intersection with the new mesh cell considered (or in other words have nontrivial intersection).

References

1. Azarenok B.N. Conservative remapping algorithm on hexahedral meshes to gas dynamics parameters, Chapt. 4 in the Final Report on the Scientific-Research Work «Developing the algorithms and codes of constructing regular 3D meshes and remapping gas dynamics parameters» // Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences. — Ekaterinburg, 2002.



ТРЕХМЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЗ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ В ПЕРЕМЕННЫХ ЛАГРАНЖА

А.Ю. АРТЕМЬЕВ, В.И. БУДНИКОВ, В.Б. ВЕРШИНИН,
В.И. ДЕЛОВ, Д.М. ЛИННИК, О.О. МУРУГОВА,
В.В. САДЧИКОВ, Ю.Д. ЧЕРНЫШЕВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ экспериментальной физики,
Саров, Россия

В основе трехмерного комплекса ДЗ лежит обобщенная на случай трех пространственных переменных [1] методика расчета двумерных нестационарных задач газодинамики в переменных Лагранжа (методика Д [2]). Исходная система дифференциальных уравнений газовой динамики записывается в декартовых координатах. В качестве элементарных ячеек при построении разностной схемы берутся шестигранники, грани которых представляют собой поверхности гиперболических параболоидов. В комплексе ДЗ реализованы две различные схемы, аппроксимирующие уравнения движения. Для сквозного счета ударных волн в разностную схему введена искусственная вязкость. В целом, сконструированная разностная схема расчета газодинамики — явная, на равномерных сетках в областях гладкости решений имеет второй порядок аппроксимации, как по времени, так и по пространству. Получено необходимое условие устойчивости разностной схемы типа условия Куранта. Исследование проведено на равномерной по каждому из направлений шестигранной сетке в виде прямых параллелепипедов.

Для учета упругопластических свойств веществ в комплексе ДЗ используются две модели [3]: консервативная модификация метода Уилкинса, в которой дифференциально-разностные уравнения получены из закона взаимного превращения кинетической и внутренней энергий, и существенно более сложная модель, основанная на учете релаксации сдвиговых напряжений.

При расчете детонации в комплексе ДЗ используется несколько различных моделей: счет детонации без учета кинетики горения основывается на соотношении Чепмена–Жуге, основные методы рас-

чета детонации с учетом кинетики горения, основаны на моделях Морозова–Карпенко и Копышева.

Для подавления коротковолновых возмущений скорости реализована программа сглаживания скоростей. В комплексе программ ДЗ применяются два оператора сглаживания: обобщенный на трехмерный случай оператор сглаживания Чена четвертого порядка и алгоритм, основанный на использовании аппарата искусственных скалярных вязкостей, для предотвращения вырождения шестигранных ячеек расчетной лагранжевой сетки.

Для локальной коррекции лагранжевой сетки реализована методика автоматического исправления «плохих» точек трехмерной лагранжевой сетки и пересчета газодинамических величин на исправленную сетку. Разработанная методика максимально сохраняет лагранжевое представление газодинамического течения за счет локальности исправления. Для исправления точек на границах раздела различных веществ используется методика расчета смешанных ячеек, основанная на введении адаптивных сеток в ячейках, содержащих несколько веществ.

Помимо описания методик в докладе сообщается о структуре комплекса, его базе данных с описанием основных сеточных и граничных массивов. Дается представление об управляющей счетом программе, кратко приводится описание последовательности действий при расчете одного шага по времени, а также описываются условия прерывания счета и приказы, наиболее часто используемые в комплексе при проведении расчетов. В качестве численных примеров приводятся результаты расчетов тестовых задач.

Ссылки

1. Артемьев А.Ю., Делов В.И., Дмитриева Л.В. Методика расчета трехмерных нестационарных задач газодинамики в переменных Лагранжа // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. — 1989. — Вып. 1.
2. Софронов И.Д., Дмитриев Н.А., Дмитриева Л.В., Малиновская Е.В. Методика расчета двумерных нестационарных задач газодинамики в переменных Лагранжа: Препринт № 59. М.:ИПМ АН СССР, 1976.
3. Вершинин В.Б., Делов В.И., Софронов В.Н. Разработка и реализация в комплексе Д численного метода расчета трехмерных нестационарных упругопластических течений // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. — 2000. — Вып. 3.

THREE-DIMENSIONAL COMPLEX D3 FOR SOLVING CONTINUUM MECHANICS PROBLEMS IN LAGRANGIAN VARIABLES

A.YU. ARTEMYEV, V.I. BUDNIKOV, V.B. VERSHININ,
V.I. DELOV, D.M. LINNIK, O.O. MURUGOVA,
V.V. SADCHIKOV, YU.D. CHERNYSHEV

Russian Federal Nuclear Center —
All-Russian Scientific Research
Institute of Experimental Physics, Sarov, Russia

The three-dimensional complex 3D is based on the code for computing 2D gas-dynamics nonstationary problems in Lagrangian variables (code D [2]) extended to three spatial variables [1]. The initial gas-dynamics differential equation system is written in Cartesian coordinates. Hexahedra, whose faces are hyperbolic paraboloid surfaces, are taken for the low-level cells in the difference scheme construction. The complex 3D implements two different schemes approximating the equations of motion. Artificial viscosity has been introduced to the difference scheme for the integrated computation of shock waves. On the whole, the difference gas-dynamics scheme constructed is explicit, has the second approximation order both in time and space in solution smoothness regions on uniform grids. The necessary Courant condition of the difference scheme stability has been obtained. The study was conducted on a hexahedral grid uniform in each of the directions in the form of right parallelepipeds.

The complex 3D uses two models to include elastic-plastic properties of materials [3]: a conservative modification to Wilkins method, in which the differential-difference equations follow from the law of mutual conservation of kinetic and internal energies, and a significantly more complex model based on the shear stress relaxation.

The complex 3D calculates detonation with several different models: the detonation calculation without inclusion of burning kinetics using the Chapman-Jouguet relation, principal methods for the detonation calculation with inclusion of the burning kinetics using Morozov's-Karpenko's and Kopyshv's models.

A velocity-smoothing program has been implemented for the short-wave velocity perturbation suppression. The program complex D3 employs two smoothing operators: the fourth-order Chen smoothing operator extended to

three dimensions and the algorithm based on the artificial scalar viscosity apparatus to prevent degeneracy of the hexahedral Lagrangian grid cells.

For the local regridding of the Lagrangian grid, a technique for automatic correction of «poor» points of the 3D Lagrangian grid and re-calculation of gas-dynamic quantities to the corrected grid has been implemented. The developed technique ensures maximum possible retention of the Lagrangian gas-dynamic flow representation due to the local correction. Interface points are corrected using a mixed-cell technique that introduces adaptive grids in multi-material cells.

Besides the techniques, the paper reports on the complex arrangement, database with the description of the basic grid and boundary arrays. The computation control program is outlined, the order of operations in computation of one timestep is briefly described, and conditions for the computation interrupt and instructions used most frequently in the computations by the complex are discussed. Results of test problem computations are presented as numerical examples.

References

- 1 Artemyev A.Yu., Delov V.I., Dmitriyeva L.V. A technique for computing 3D nonstationary gas-dynamics problems in Lagrangian variables// *Voprosy Atomnoy Nauki i Tekhniki. Ser. Matematicheskoye Modelirovaniye Fizicheskikh Protssosov.* — 1989. — № 1.
- 2 Sofronov I.D., Dmitriyev N.A., Dmitriyeva L.V., Malinovskaya E.V. A technique for computing 2D nonstationary gas-dynamics problems in Lagrangian variables. Preprint No.59. Moscow. USSR Academy of Sciences IAM, 1976.
- 3 Vershinin V.B., Delov V.I., Sofronov V.N. Development and implementation of a numerical method for computing 3D time-dependent elastic-plastic flows in complex D// *Voprosy Atomnoy Nauki i Tekhniki. Ser. Matematicheskoye Modelirovaniye Fizicheskikh Protssosov.* — 2000. — No.3.



КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ЛЭГАК И ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ЭВМ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПАМЯТЬЮ

П.А. АВДЕЕВ, М.В. АРТАМОНОВ, С.М. БАХРАХ,
С.В. ВЕЛИЧКО, В.Ф. СПИРИДОНОВ, Н.А. ВОЛОДИНА,
Н.М. ВОРОБЬЕВА, С.П. ЕГОРШИН, Е.Н. ЕСАЕВА,
А.Д. КОВАЛЕВА, М.В. ЛУЧИНИН, С.Н. ПРОНЕВИЧ,
И.Ю. ТАРАДАЙ, А.Н. ТАРАСОВА, Е.В. ШУВАЛОВА

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ экспериментальной физики,
Саров, Россия

Излагаются основы методики, реализованной в комплексе программ ЛЭГАК, предназначенном для расчета нестационарных течений многокомпонентной сплошной среды.

Обсуждаются принципы распараллеливания комплекса программ ЛЭГАК на многопроцессорных ЭВМ с распределенной памятью.

Реализация комплекса ЛЭГАК на многопроцессорных вычислительных системах позволила проводить расчеты со значительно большим числом счетных точек, чем в расчетах на скалярных ЭВМ, что особо существенно при численном моделировании явления неустойчивости контактных границ.

PROGRAM COMPLEX LEGAK AND PRINCIPLES OF THE COMPLEX IMPLEMENTATION ON MULTIPROCESSOR DISTRIBUTED-MEMORY COMPUTERS

P. A. AVDEEV, M. V. ARTAMONOV, S. M. BAKHRAKH,
S. V. VELICHKO, V. F. SPIRIDONOV, N. A. VOLODINA,
N. M. VOROBYEVA, S. P. EGORSHIN, E. N. ESAEVA,
A. D. KOVALEVA, M. V. LUCHININ, S. N. PRONEVICH,
I. YU. TARADAY, A. N. TARASOVA, E. V. SHUVALOVA

Russian Federal Nuclear Center —
All-Russian Scientific Research
Institute of Experimental Physics, Sarov, Russia

The paper describes fundamentals of the method implemented in the program complex LEGAK intended for time-dependent multi-constituent continuum flow computations.

The principles of LEGAK program complex parallelization using multiprocessor distributed-memory computers are discussed.

LEGAK implementation on multiprocessor computer systems allowed computations with a significantly larger number of computational points than using non-scalar computers which is of especial importance when numerically simulating contact boundary instabilities.



КОЛЕБАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ СИСТЕМ

В.С. ФЕДОТОВСКИЙ, Т.Н. ВЕРЕЦАГИНА

Государственный научный центр Российской Федерации —
Физико-энергетический институт, Обнинск, Россия

Одной из важных проблем, связанных с безопасностью ядерных энергетических установок, является проблема вибраций элементов оборудования. Очевидно, что повышенные вибрации элементов приводят к преждевременному износу и выходу из строя, как отдельных узлов, так и целых систем. В связи с этой проблемой возникла и продолжает оставаться актуальной необходимость детального исследования динамических характеристик конструктивных элементов, погруженных в жидкость или обтекаемых потоком жидкости.

Типичными элементами реакторов и теплообменных аппаратов являются пучки стержневых элементов или труб, обтекаемых жидким теплоносителем, а также системы типа труба в трубе, с протекающей жидкостью (трубка Фильда). Наличие жидкости в таких системах приводит не только к изменению собственных частот колебаний элементов и диссипативных свойств системы. Движение жидкости, вызванное колебаниями одного элемента, оказывает влияние на колебания других, близко расположенных элементов конструкции, то есть осуществляет *гидродинамическую связь* колебаний отдельных элементов. Чем ближе расположены упругие элементы друг к другу, тем сильнее проявляется гидродинамическая связанность их колебаний.

Теория колебаний упруго связанных систем хорошо разработана, однако, некоторые задачи колебаний гидродинамически связанных систем недостаточно освещены в литературе, несмотря на распространенность таких систем в различных областях техники.

На примере одномерных колебаний тела с полостью, заполненной жидкостью, и содержащей другое тело, рассмотрены особенности гидродинамически связанных колебательных систем. Получена зависимость между элементами матрицы присоединенных масс и проведен анализ собственных частот и амплитуд вынужденных колебаний системы с учетом вязкого демпфирования.

Получено соотношение параметров системы, при котором колебания на одной из собственных частот происходят без затухания, несмотря на диссипативные свойства жидкости. Аналогичные соотношения могут быть найдены и для других гидродинамически связанных систем, например, для колебаний концентрических оболочек в жидкости.

Приведены экспериментальные данные, подтверждающие результаты расчета амплитудно-частотных характеристик гидродинамически связанной колебательной системы типа «труба в трубе».

is a good correlation between calculated and experimental results.



VIBRATIONS OF THE HYDRODYNAMICALLY CONNECTED SYSTEMS

V.S. FEDOTOVSKY, T.N. VERESTCHAGINA

State Scientific Center Institute of Physics and Power Engineering, Obninsk, Russia

Vibrations of equipment elements is one of the important problem connected to nuclear power plants safety. High vibrations of elements results in premature deterioration and failure of separate units and systems in whole. Detailed investigation of constructive elements vibration in a liquid or streamline liquid flow is actually.

The rod or pipe bundles being streamlined by liquid coolant and «pipe in pipe» systems (Field's tube) are typical nuclear reactor elements and heat-exchange devices. The presence of liquid in such systems results both in change of own frequencies of elements and dissipative properties of system. The movement of liquid caused by vibrations of one element influence on vibrations close located other elements of a construction, so *hydrodynamical connection* of separate elements vibrations take place. The closer elastic elements are located to each other, the stronger a hydrodynamic connection of their vibrations is revealed.

The theory of vibrations of the elastically connected systems is developed well. However some tasks of oscillations of hydrodynamically connected systems are covered in the literature insufficiently despite of prevalence of such systems in various areas of engineering.

Features of the hydrodynamically connected vibrating systems are considered as an example of one-dimensional vibrations of a body with a cavity containing liquid and other body. As a result the dependence between elements of added masses matrix is obtained and the analysis of own frequencies and amplitudes of the coupled vibrations of system is carried out in view of viscous damping.

The correlation of system parameters is obtained where the fluctuations at one of own frequencies occur without attenuation despite of dissipative liquid property. Analogous correlations can be obtained for another hydrodynamically coupled systems, such as concentric shells.

The experimental data on hydrodynamically connected oscillating systems «pipe in pipe» are given. There

DDAD-СХЕМА ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА

А.Д. ГАДЖИЕВ, И.А. КОНДАКОВ, В.Н. СЕЛЕЗНЕВ,
О.И. СТАРОДУМОВ, А.А. ШЕСТАКОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Одним из основных методов при решении уравнения переноса является DS_n -метод [1]. Хорошо известно, что DS_n -метод второго порядка точности (DD-схема) в оптически плотной среде дает осциллирующее решение [2]. Причиной этого дефекта является применение в DD-схеме линейной интерполяции выражения αN , описывающего поглощение частиц в кинетическом уравнении. Такая аппроксимация порождает в первом дифференциальном приближении антидиссипативную добавку $-\frac{\alpha}{8}h^2 \frac{\partial^2 N}{\partial x^2}$. Если вместо DD-схемы использовать LD, LM или LC-схемы [3], имеющие третий или четвертый порядок точности, то отмеченный дефект проявляется с существенно меньшей амплитудой. Но эти методики сложно обобщить на двумерные криволинейные, неортогональные сетки.

Другой подход был предложен в работе [2], где в оптически плотной среде ($\alpha h \geq 2$) рекомендованно применять трехточечную схему, а в оптически мало-плотной среде ($\alpha h < 2$) применять двухточечную схему. В трехточечной схеме нет интерполяции выражения αN как в DD-схеме, потому не образуется антидиссипативная добавка, о которой говорилось выше. Однако, комбинированная схема сложна для численной реализации. В данном докладе при решении двумерного уравнения переноса на неортогональных сетках из выпуклых четырехугольников предлагается следующее решение: оставаясь в рамках двухточечной и простой для реализации DD-схемы, снять антидиссипацию путем ее вычитания из остаточного члена. От нового метода мы будем требовать сохранения второго порядка точности. Построенный указанным способом метод получил название DDAD-схемы (Diamond Difference with the Artificial Dissipa

tion), то есть DD–схема с добавлением AD — искусственной диссипации.

В настоящем докладе рассмотрен конкретный вариант DDAD–схемы с выбором параметров на основе LC–варианта схемы. Эффективность LC–варианта выбора параметров была подтверждена в одномерных и двумерных расчетах переноса нейтронов и расчетах двумерного переноса теплового излучения.

Ссылки

1. Белл Д., Глесстон С. Теория ядерных реакторов. — М. Атомиздат, 1974.
2. Reed W.H. New difference schemes for the neutron transport equation. Nucl.Sci.Eng. — 1971. — Vol. 46. — № 2. — P. 309–314.
3. Басс Л.П., Волощенко А.М., Гермогенова Т.А. Методы дискретных ординат в задачах о переносе излучения. — М., ИПМ АН СССР, 1986.

DDAD–SCHEME FOR NUMERICAL SOLUTION OF A TRANSPORT EQUATION

A.D. GADZHIEV, I.A. KONDAKOV, V.N. SELEZNEV,
O.I. STARODUMOV, A.A. SHESTAKOV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

One of the main methods for the solution of a transport equation is the DS_n –method [1]. Well-known, that a DS_n –method of the second order of accuracy (DD–scheme) produces the oscillating solution in an optically dense medium [2]. The use in the DD–scheme of a linear interpolation for the absorb term αN is the cause of this defect. That interpolation involves the antidissipative component $-\frac{\alpha}{8}h^2 \frac{\partial^2 N}{\partial x^2}$ in first differential approximation. If instead of the DD–scheme to use LD, LM or LC–scheme [3], which have the third or fourth order of accuracy, the marked defect will have essentially smaller amplitude. But these techniques are difficult to extend on curvilinear, not orthogonal 2D–grids.

Other approach offered in article [2], where in an optically dense medium ($\alpha h \geq 2$) is advised to apply a three–point scheme, and in optically transparent medium ($\alpha h < 2$) to apply the two–point scheme. The three–point scheme has not the interpolation of the term αN and it involves not the antidissipative component about which one was spoken above. However, the combined scheme is

difficult for program realization. That report contains the following offer for the solution of the transport equation on not orthogonal 2D–grids consisting of convex tetragons: to remain within the framework of simple two–point DD–scheme and to remove the antidissipation by means of subtraction the antidissipative component from the remainder of series. We shall require of a new method preservation of the second order of accuracy. The method, built by an indicated way, is titled the DDAD–scheme (D*iamond* D*ifference* with the A*rtificial* D*issipation*) that is DD–scheme with attachment of the artificial dissipation.

The present report is dedicated to the concrete version of the DDAD–scheme with selection of parameters on the basis of the LC–scheme variant. The efficiency of LC–variant parameters was affirmed in 1D and 2D neutron transport calculations and also in 2D heat radiation transport calculations.

References

1. Белл Д., Глесстон С. Теория ядерных реакторов. — М. Атомиздат, 1974.
2. Reed W.H. New difference schemes for the neutron transport equation. Nucl.Sci.Eng. — 1971. — Vol. 46. — № 2. — P. 309–314.
3. Басс Л.П., Волощенко А.М., Гермогенова Т.А. Методы дискретных ординат в задачах о переносе излучения. — М., ИПМ АН СССР, 1986.



ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЦЕНТРИРОВАННОЙ ВОЛНЫ РАЗРЕЖЕНИЯ И СТАЦИОНАРНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В СРЕДЕ С РАВНОВЕСНЫМИ И НЕРАВНОВЕСНЫМИ ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

П.Д. ГЕРЩУК, А.Т. САПОЖНИКОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Для проверки точности разностных методов расчета эффективным средством является сравнение результатов численных расчетов с точными решениями дифференциальной задачи, поэтому построение точных или аналитических решений является по-прежнему актуальным. Особенно это важно при включении новых процессов в программы расчета динамики сред.

Точные решения могут быть двух типов: аналитические решения или решения, полученные численно, погрешность которых достаточно мала и известна.

В докладе излагается способ и представляются результаты построения точных решений задач о стационарной ударной волне с равновесным и неравновесным фазовым переходом в вязкой и невязкой среде, а также для центрированной волны разрежения с равновесным фазовым переходом. Точные решения построены для модельного двухфазного уравнения состояния, которое отражает основные черты поведения вещества при фазовых переходах, а именно, скачки сжимаемости на границах фаз и невыпуклость изотерм, изэнтроп и ударных адиабат. Формула для скорости фазового перехода качественно правильно описывает кинетику этого процесса.

Построение точных решений для стационарной ударной волны с равновесным и неравновесным фазовым переходом сводится к интегрированию обыкновенных дифференциальных уравнений.

Для удобства сравнения результатов разностных расчетов с точными решениями последние представлены в виде достаточно подробных таблиц.

EXACT SOLUTIONS FOR CENTERED RAREFACTION WAVE AND STATIONARY SHOCK WAVE FOR THE MEDIUM WITH EQUILIBRIUM AND NONEQUILIBRIUM PHASE TRANSITIONS

P.D. GERSHCHUK, A.T. SAPOZHNIKOV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

The effective way to verify the precision of difference methods is to compare the numerical computations with the exact solution of the differential problem, and that's why the exact or analytical solutions construction problem is actual. It is especially important if the new processes are included in the continuum dynamics code.

There are two types of exact solutions: analytical and numerically computed with small and defined error.

In this report the method is described and the results are given for exact solutions construction for the problems with stationary shock wave with equilibrium and nonequilibrium phase transition in viscous and non-viscous medium as well as for centered rarefaction wave with equilibrium phase transition. The exact solutions are constructed for model two-phase equation of state that reflects major features of medium behaviour during phase transitions namely sudden changes of compressibility on phases boundaries and non-convexity of isotherms, isentrops and Hugoniot. Phase transition rate formula is

qualitatively correct when describing the kinetics of this process.

The problem of exact solutions constructing for stationary shock wave with equilibrium and nonequilibrium phase transition is reduced to integration of ordinary differential equations.

For handy comparison of the result of difference calculations with exact solutions the latter can be presented in the form of sufficiently detailed tables.



ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЛИНИЙ ТОКА И МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДИСКРЕТНЫХ ВЕКТОРНЫХ ПОЛЕЙ

К.В. ДЕДКОВА, Д.В. МОГИЛЕНСКИХ,
И.В. ПАВЛОВ, В.В. ФЕДОРОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

В работе приводится описание методов постобработки и визуализация результатов двумерного численного моделирования разностными методами задач механики сплошной среды, в частности методы обработки и визуализации векторных полей.

Описание проводится на примере методов моделирования, которые используют двумерные регулярные разностные сетки. На сетке задана векторная величина U . В каждом узле заданы две ее координатные составляющие (U_x, U_y) .

Содержание работы:

1. Численный алгоритм нахождения линий тока (ЛТ) — постобработка накопленных результатов и нахождение новой информации.
2. Функции визуализации ЛТ — способы графического представления.
3. Методы комплексной визуализации для увеличения информативности — применение функций визуализации ЛТ одновременно с другими функциями визуализации.

Для нахождения ЛТ векторного поля применяется двумерный аналог алгоритма Фонга.

Реализация алгоритма:

Шаг 1 (Инициализация ЛТ). Инициализация базовой точки (БТ) на области определения векторного поля.

Шаг 2 (Локализация БТ). Определение принадлежности БТ ячейке.

Шаг 3 (Интерполяция Фонга). Нахождение ЛТ базируется на подходах билинейной интерполяции.

Шаг 4 (Построение ЛТ):

- Способ 1. Эмпирически задается длина элементарного шага смещения от БТ вдоль вектора.
- Способ 2. Базируется на одной линейной интерполяции вдоль ребра ячейки.

Рассмотрены дополнения и замечания по алгоритму:

- остановка построения ЛТ;
- пересечение ЛТ между собой;
- точность численного построения ЛТ;
- построение ЛТ в обратном направлении;
- столкновение потоков, неопределенность;
- ячеечные вектора.

В работе представлено несколько способов анимации псевродинамики ЛТ векторного поля и их практическая реализация.

Алгоритм реализован в системе научной визуализации результатов двумерного численного моделирования и экспериментов VIZI2D [*]. Работа иллюстрирована.

Ссылки

1. Могиленских Д. В., Павлов И.В., Федоров В.В., Мельникова С.Н., Сапожникова Е.Э. Принципы построения и функциональное содержание системы визуализации для анализа скалярных и векторных полей, заданных на двумерных регулярных сетках // Препринт № 172. Издательство РФЯЦ — ВНИИТФ, г. Снежинск, 2000.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ИСТЕЧЕНИЕ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА В ВАКУУМ

С.Л. ДЕРЯБИН

Уральский государственный университет путей сообщения,
Екатеринбург, Россия

Рассматриваются пространственные неизэнтропические течения идеального политропного газа, возникшие в результате мгновенного разрушения поверхности, отделяющей газ от вакуума. Подобные течения возникают, например, при кумуляции газа в сферическую полость [1].

Искомые течения являются решениями характеристических задач Коши стандартного вида [2] и строятся в виде сходящихся рядов. Доказывается, что область сходимости этих рядов покрывает всю зону течения вплоть до свободной поверхности — границы газ–вакуум, включительно. В зависимости от начальных условий получены различные законы движения свободной поверхности.

Если вектор скорости истечения газа в начальный момент времени не лежит в касательной плоскости к исходной поверхности раздела, то каждая частица газа на свободной поверхности движется по своей прямой со своей постоянной скоростью, сохраняя исходную энтропию. Эта картина течения сохраняется и тогда, когда вектор скорости истечения газа лежит в касательной плоскости, но не принадлежит исходной поверхности раздела газ–вакуум. В случае, когда исходная поверхность раздела — линейчатая и вектор истечения газа лежит на образующей этой поверхности, тогда свободная поверхность совпадает с исходной поверхностью раздела, то есть стоит на месте, а частицы газа движутся вдоль образующих этой поверхности. При учете внешних массовых сил доказано, что частицы газа на свободной поверхности движутся как материальные точки в поле действия этой силы.

Доказано, что подобные конфигурации течений сохраняются: либо до момента фокусировки свободной поверхности; либо до моментов возникновения бесконечных производных на свободной поверхности или на поверхности слабого разрыва. Исследование транспортных уравнений позволило определить эти моменты времени.

Ссылки

1. Забабахин Е.И., Забабахин И.Е. Явление неограниченной кумуляции. — М.: Наука, 1988. — 173 с.
2. Баутин С.П. Математическая теория безударного сильного сжатия идеального газа. — Новосибирск: Наука, 1997. — 160 с.

SPACTIAL OUTFLOW OF A IDEAL GAS INTO A VACUUM

S.L. DERYABIN

Ural state university of railway transport,
Yekaterinburg, Russia

The space non-isotropic flows of an ideal polytropic gas are considered that occur in the background flows as a result of the instantaneous removal of the surface which separates gas from vacuum. The similar flows have been appeared for the example, when the gases are cumulated into a spherical cavity [1].

These flows are the characteristic problem Cauchy solutions [2] and are constructed in the form of converging series. It is proved that the region of convergence this series coves the whole flow region to the free gas–vacuum surface inclusive. It was constructed different low of motion of the free surface depended on initial data.

If at an initial instant of time vector the gas velocity is not lie in the pertaining plane of the gas–vacuum surface then the each particle of gas on free surface moves with the your constant velocity along your straight conserving initial entropy. This configuration of the flow is conserved also in the case when vector the gas velocity lies in the pertaining plane of the gas–vacuum surface but is not belong to the initial gas–vacuum surface. In the case when initial gas–vacuum surface is the ruled surface and vector the gas velocity lies on generator that surface then the free surface is coincided with the initial gas–vacuum surface and particles of gas move along generator that surface. It is proved that the particles of gas on the free surface move as the material points in the field when external mass forces act in.

It is proved that a similar configuration of the flow is conserved or until the instant of focusing free surface or until instant of time when infinity derivatives appear on the free surface. This instant of time were defined as result investigation transport equations.

References

1. Zababahin E.I., Zababahin I.E. The phenomenon unlimited accumulation. — Moscow: Science, 1988. — P. — 172. (in Russian).
2. Bautin S.P. The mathematical theory shockless of strong compression of ideal gas. — Novosibirsk: Science, 1997. — P. 160. (in Russian).



СУЩЕСТВОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ВОЛНЫ, ПОРОЖДЕННОЙ КРАЕВЫМ РЕЖИМОМ

А.А. ЕЛИСЕЕВ

Уральский государственный университет путей сообщения,
Екатеринбург, Россия

Составные решение типа тепловой волны для нелинейного уравнения теплопроводности находят применение при математическом моделировании процессов, происходящих при управляемом термоядерном синтезе [1].

Рассматривается задача с заданным краевым режимом для многомерного нелинейного уравнения теплопроводности и приводится доказательство теоремы о существовании и единственности решения этой задачи в виде формального степенного ряда. Доказательство проводится аналогично соответствующему доказательству в одномерном плоско сим-

метричном случае [2, 3] путем сведения к ранее доказанной теореме [4].

Также рассмотрены случаи цилиндрической и сферической симметрии и доказаны соответствующие теоремы о существовании и единственности тепловых волн, порожденных краевым режимом, заданным не на оси и не в центре симметрии.

Ссылки

1. Забабахин Е.И., Забабахин И.Е. Явления неограниченной кумуляции. — М.: Наука, 1988. — 173 с.
2. Баутин С.П. Тепловая волна нелинейного уравнения теплопроводности. Екатеринбург: УрГУПС. — 2002. — 80 с.
3. Баутин С.П. Существование аналитической тепловой волны, определяемой заданным краевым режимом. // Сибирский журнал индустриальной математики. — Новосибирск, 2003. — Т. VI. — № 1. — С.13.
4. Баутин С.П. Применение характеристических рядов для представления решений нелинейных уравнений параболического типа в окрестности линии вырождения // Численные методы механики сплошной среды. —1985. — Т 16. — №. 5. — С. 16—28.

THE HEAT WAVE GENERATED BY THE BOUNDARY LAW EXISTENCE

A.A. ELISEYEV

Ural state university of railway transport,
Yekaterinburg, Russia

Aggregate solutions of nonlinear heat–conducting differential equation, described as heat wave, find an application for mathematical modeling of processes, which occur during controlled thermonuclear synthesis [1].

In this work the boundary–value problem for nonlinear heat–conducting differential equation is considered. The existence and uniqueness theorem proof is adduced for concerned problem. The solution of this problem is constructed as a formal power series. The proof is realized according to the corresponding one–dimensional plain–symmetric case one [2, 3], by means of reduction to the pre–proven theorem [4].

The cylindrical and spherical symmetry cases are also considered here, and the corresponding existence and uniqueness theorems are proved for heat waves that are generated by the boundary law, which is established neither on line of symmetry nor symmetry point.

References

1. Zababahin E.I., Zababahin I.E. The phenomenon unlimited accumulation. Moscow: Science. — 1988. — P. 172 (in Russian).
2. Bautin S.P. Heat wave of non-linear heat conductive equation. Ekaterinburg: USURT. — 2002. — P. 80. (in Russian).
3. Bautin S.P. The existence of analytical heat wave, which defined by a date boundary regime // Sibirskii zurnal industrialnoi matematiki (Siberian journal of industrial mathematics), 2003. — V. VI. — № 1. — P. 3—11 (in Russian).
4. Bautin S.P. Applied of the characteristic series for construction the solutions of non-linear equations of parabolic type near line of exchange a type // Chislennyye metody mehaniki sploshnoi sredy (Numerical methods of mechanics of continuum medium. — 1985. — V. 16. — № 5. — P. 16—28 (in Russian).



ОБ ОПАСНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛА С ЗЕМЛЕЙ И ЕЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИИ

В.В. ГАДЖИЕВА, В.П. ЕЛСУКОВ,
Д.В. ПЕТРОВ, В.А. СИМОНЕНКО

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

В докладе приведены некоторые примеры опасных, в том числе и катастрофических столкновений космических тел с Землей. Для оценки меры опасности и возможности ее предотвращения проведено моделирование трех типов задач.

В первой рассмотрен удар тела по астероиду Эрос, имеющему размеры $33 \times 13 \times 13$ км, который привел к образованию на астероиде кратера диаметром около 6 км. При этом астероид изменил свою скорость только примерно на 0,2 м/с.

Во второй задаче рассмотрена модель взрывного торможения и фрагментации метеоритов в атмосфере Земли для оценки размеров долетающих до поверхности Земли метеоритов.

В третьей задаче предложено взрывное диспергирование малого каменного тела размером 100 м в качестве механизма предотвращения столкновения с ним. Показана эффективность применения рассредоточенных малоуглубленных взрывов.

ON IMPACT DANGER OF SPACE BODIES WITH EARTH AND ITS AVOIDANCE

V.V. GADZHIEVA, V.P. ELSUKOV,
D.V. PETROV, V.A. SIMONENKO

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

The report presents several examples of dangerous, including disastrous, impacts of space bodies with Earth. To estimate the danger measure and potential means for its avoidance the problems of three types were simulated.

The first problem deals with a body impact with asteroid Eros of size $33 \times 13 \times 13$ km, which resulted in forming a crater in the asteroid of dim about 6 km. At that the asteroid changed its velocity just by 0.2 m/sec approximately.

The second problem deals with a model of explosive deceleration and meteorite fragmentation within Earth's atmosphere to estimate the sizes of meteorites reaching Earth's surface.

The third problem proposes explosive dispersion of a small stony body of size 100 m as a mechanism of the impact avoidance. The efficiency of applying the divided low-buried explosions is shown.



КОМПЬЮТЕРНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ COMGA МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ–СТОКСА

М.К. ЕРМАКОВ

Институт проблем механики РАН,
Москва, Россия

Компьютерная лаборатория COMGA основана на длительном опыте решения уравнений Навье–Стокса в приближении Буссинеска [1—3] и предназначена для решения задач конвективного теплообмена методом прямого численного моделирования в двумерных и трехмерных областях простой формы на регулярных прямоугольных сетках на персональном компьютере. Вычислительные методики позволяют быстро и качественно моделировать слабые и интенсивные течения естественной, вынужденной и капиллярной конвекции, исследовать потерю устойчивости и бифуркации течений.

Понятие компьютерной (виртуальной) лаборатории включает в себя:

- постановку и решение общих и стандартных задач конвекции в размерном и безразмерном видах
- эффективные алгоритмы, позволяющие вести вычисления в реальном времени пользователя
- визуализацию, дающую впечатление проведения лабораторного эксперимента
- апробацию на известных решениях и тестах
- широкую базу решенных проблем, дополненную экспериментальными данными и подробной библиографией
- полный доступ к решению
- дружественный интерфейс и профессиональное сопровождение

Компьютерная лаборатория для решения задач конвективного теплообмена является принципиально новым сертифицированным средством исследования, обучения, накопления и представления результатов моделирования. Развиваемая база данных решений, библиография и компьютерная лаборатория составляют основу экспертной системы в области тепло- и массообмена [4].

Ссылки

1. Полежаев В.И., Бунэ А.В., Вerezub Н.А. и др. Математическое моделирование конвективного теплообмена, на основе уравнений Навье–Стокса. — М.: Наука, 1987. — 271 с.
2. Ermakov M.K., Gryaznov V.L., Nikitin S.A. et al. A PC-based system for modelling of convection in enclosures on the basis of the Navier–Stokes equations // *Int. J. Numer. Methods in Fluids*. — 1992. — V. 15. — № 9. — P. 975—984.
3. Ermakov M.K., Nikitin S.A., Polezhaev V.I. Система и компьютерная лаборатория для моделирования конвективного тепло- и массообмена // *Изв. РАН, сер. Механика жидкости и газа*. — 1997. — № 3. — С. 22—38.
4. <http://www.comga.ru>

of convective heat and mass transfer by direct numerical modelling in a simple 2–D and 3–D regions on rectangular grids on PCs. Numerical algorithms allow to model fast and qualitatively a weak and intensive flows of forced, natural and capillary convection, to study loss of flow stability and bifurcations.

A concept of computer (virtual) laboratory includes:

- statement and solution of common and standard problems of convection in both dimensional and non-dimensional forms
- effective algorithms to make calculation in real user time
- visualization creating of impression of laboratory–experiment development
- approbation on known solutions and tests
- wide database of solved problems supplied with experimental data and bibliography
- full access to a solution
- friendly interface and professional support

The computer laboratory for solution of convective heat and mass transfer problems is a principally new certified tool for research, learning, collection and presentation of modelling results. Developing database of solutions, bibliography and computer laboratory compose a base of expert system in heat and mass transfer [4].

References

1. Polezhaev V.I., Bune A.V. Verezub N.A. et al. Mathematical modelling of convective heat and mass transfer on the basis of Navier–Stokes equations. — М.: Nauka, 1987. 271 p. (in Russian).
2. Ermakov M.K., Gryaznov V.L., Nikitin S.A. et al. A PC-based system for modelling of convection in enclosures on the basis of the Navier–Stokes equations // *Int. J. Numer. Methods in Fluids*. — 1992. — V. 15. — № 9. — P. 975—984.
3. Ermakov M.K., Nikitin S.A., Polezhaev V.I. The system and computer laboratory for modelling of heat and mass transfer convective processes // *Fluid Mechanics*. — 1997. — V. 15. — P. 975—984.
4. <http://www.comga.ru>



COMPUTER LABORATORY COMGA FOR MODELLING ON THE BASIS OF NAVIER–STOKES EQUATIONS

M.K. ERMAKOV

Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow, Russia

Computer laboratory COMGA is based on long experience of solutions of Navier–Stokes equations in Boussinesq approximation [1—3] and is intended for solutions

ЧИСЛЕННЫЙ AMR–КОД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЛАПСИРУЮЩИХ ПРОТОЗВЕЗДНЫХ ОБЛАКОВ

А.Е. ДУДОРОВ, А.Г. ЖИЛКИН, О.А. КУЗНЕЦОВ

Челябинский Государственный Университет,
Челябинск, Россия

Динамически адаптивные иерархические сетки (AMR — Adaptive Mesh Refinement) — эффективная современная технология для численного моделирования коллапса и фрагментации протозвездных облаков. Ее вычислительные преимущества в применении к таким задачам особенно ярко проявляют себя на стадии формирования непрозрачного ядра. К этому моменту структура облака характеризуется резко неоднородными профилями плотности, скорости и других величин. Поэтому характерные пространственные и временные масштабы в центральной части облака и на его периферии могут различаться на несколько порядков. Для моделирования коллапса вращающихся магнитных протозвездных облаков мы разработали трехмерный численный AMR-код «Megalion». Ядро AMR-алгоритма основано на быстрой процедуре (поиск по ключу) поиска локальных соседних ячеек расчетной сетки. Базовый интерфейсный пакет, реализующий AMR-алгоритм, может работать в одномерном, двумерном и трехмерном случаях. Численный метод решения уравнений магнитной газодинамики основан на схеме Годуновского типа повышенного порядка точности. Представлены результаты некоторых расчетов, демонстрирующих возможности кода.

Работа частично поддержана грантом РФФИ # 02-02-17642.

NUMERICAL CODE WITH ADAPTIVE MESH REFINEMENT FOR SIMULATION OF COLLAPSING PROTOSTELLAR CLOUDS

A.E. DUDOROV, A.G. ZHILKIN, O.A. KUZNETSOV
Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

Adaptive Mesh Refinement (AMR) is very useful technique for numerical simulation of collapse and fragmentation of protostellar clouds. Computational advantages of AMR in this problem are manifested especially on the advanced stages of the collapse, when the opaque core (protostar) is formed. At this moment the cloud structure is characterized by strongly non-uniform profiles of density and other quantities. Therefore the spatial and time scales of dynamical evolution in central and outer parts of collapsing cloud are very different. We elaborate the 3D numerical AMR-code «Megalion» for simulation of collapse of the rotating magnetized protos-

tellar clouds. The kernel of AMR-algorithm is based on the fast procedure of the key-oriented search of the local neighboring mesh cells. The developed interface AMR-package is dimensionally independent. The numerical code is based on the high-resolution Godunov-type scheme for the MHD equations. Any illustrative computations of the collapse of protostellar clouds are presented.

This work is supported partially by grant RFBR # 02-02-17642.



АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СБЛИЖАЮЩЕЕСЯ С ЗЕМЛЕЙ МАЛОЕ НЕБЕСНОЕ ТЕЛО

В.В. ИВАШКИН

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
РАН, Москва, Россия

В рамках проблемы обеспечения астероидно-кометной безопасности Земли выполнен анализ характеристик нескольких методов воздействия на небесный объект, сближающийся с Землей (ОСЗ), — астероид, комету — с целью коррекции его орбиты и отклонения его от Земли или его разрушения. Сначала исследовано механическое ударно-кинетическое воздействие космического аппарата (КА) на ОСЗ. Представлены результаты численного анализа возможностей изменения орбиты для группы ОСЗ, таких, как астероиды Castalia, Nereus, Orpheus, Phaethon, Toutatis (семейства Apollo), Hathor, Khufu (семейства Aten), короткопериодические кометы типа P/Biela. Исследованы термоядерное воздействие на ОСЗ и воздействие на ядро кометы для управляемого изменения его пылевой мантии и, на основе этого, его сублимационной активности. Рассмотрено также мощное лазерное воздействие на ОСЗ с космической лунной или орбитальной станции. При этом предусмотрено использование солнечной энергии, сделаны оценки размеров солнечных батарей. Для создания лунной станции отмечена возможность применения экономичных «обходных» траекторий полета к Луне с временным захватом точки Луной. Разработаны качественные модели указанных воздействий. Исследованы такие характеристики воздействия на ОСЗ, как передаваемые телу энергия и количество движения, сообщаемый небесному телу импульс скорости (или ускорение), отклонение тела от Земли. Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований (Грант # 01-01-00133).

ANALYSIS OF SOME EFFECTS ON NEAR-EARTH SMALL CELESTIAL BODY

V.V. IVASHKIN

M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics,
RAS, Moscow, Russia

In frame of the asteroid-comet hazard problem study, a qualitative analysis of some methods for the effect on a celestial near-Earth object (NEO) — asteroid, comet — is carried out. The goal of the effect is correction of this object orbit and its deflection from the Earth or its destroying. First, there is studied mechanical impact-kinetic effect of spacecraft (SC) on the NEO. Numerical analysis results are given for a group of NEOs such as some asteroids from the Apollo family (Castalia, Nereus, Orpheus, Phaethon, Toutatis, etc.) and from the Aten family (Hathor, Khufu, etc.) as well as some short-periodic comets similar the comet P/Biela. A thermo-nuclear effect, an effect on a cometary nucleus for a controlled change of its dusty mantle and its sublimation activity are studied then. There is considered a powerful laser effect on the NEO from a space lunar or orbital station. In this case, using of the solar energy is analyzed; evaluations of size for the solar panels are performed. Possible use of new «detour» Earth-to-Moon trajectories to make the lunar station is shown. Qualitative models of these effects are developed. There are studied some characteristics of the effects on the NEOs such as the energy and momentum given to the NEO, velocity impulse (or acceleration) applied to the body, its deflection from the Earth. The study is supported by the Russian Foundation of the Basic Studies (Grant # 01-01-00133).

АЛГОРИТМ КОНТУР_ИЗО ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЕЧЕНИЙ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА С ПОМОЩЬЮ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОЛИНИЙ

С. В. КОЛОМЕЙКО, Д. В. МОГИЛЕНСКИХ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Данная работа является продолжением представления алгоритмов нахождения и визуализации сечений трехмерных объектов, заданных различными способами. Алгоритм КОНТУР_ИЗО дает очень хорошие результаты для 3D объектов определенного

класса. Прикладной областью данной работы является трехмерное численное моделирование. Выделим два конкретных направления численного моделирования, где необходимо адекватное задание и анализ трехмерной геометрии (ТГ):

- Задание ТГ для моделирования методом Монте-Карло.
- Задание ТГ и дальнейшая генерация разностных сеток в разностных методах трехмерного моделирования.

В идейном плане, данный алгоритм является противоположным алгоритмам КОНТУР и КОНТУР_М [1]. Он уступает им по общности применения, т. е. алгоритм КОНТУР_ИЗО применим только для некоторого набора объектов, но при этом он имеет ряд существенных преимуществ при нахождении сечений таких объектов.

Результаты работы алгоритмов иллюстрируются на нескольких примерах.



СФЕРИЧЕСКИ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНОЕ НЕСТАЦИОНАРНОЕ СЖАТИЕ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

А.Н. КРАЙКО

Центральный институт авиационного моторостроения
(ЦИАМ) им. П.И. Баранова, Москва, Россия

Рассматриваются задачи сферически и цилиндрически симметричного нестационарного сжатия идеального газа.

Вариационная задача энергетически оптимального безударного сжатия при заданных времени сжатия $t_f \geq \tau$, где τ — время пробега звуковой волны от стенки до центра начального объема и степени сжатия (отношении n начального объема к конечному), сведена к решению нескольких стандартных задач метода характеристик. Если $t_f \geq t_f^*$, то оптимально изэнтропическое сжатие «из покоя в покой», осуществимое за конечное время. При этом n — отношение конечной и начальной плотностей, а t_f^* , зависящее от n , не превышает 2τ . Энергетические затраты изэнтропического сжатия из покоя в покой сравниваются с затратами, которые получаются при движении поршня согласно решениям известных автомодельных задач. Наиболее близким к изэнтропическому сжатию из покоя в покой оказалось автомодельное

неизэнтропическое сжатие также из покоя в покой, но с отраженной от центра или оси симметрии ударной волной.

Для $t_f < \tau$ требуемое сжатие начинается с ударной волны, идущей к центру или к оси симметрии. В их малой окрестности течение описывается решением Гудерлея (РГ). Согласно РГ плотность в указанной окрестности возрастает в конечное число раз. Так локальные степени сжатия в центре симметрии $n = 145$ при показателе адиабаты газа $\gamma = 1,4$ и $32,7$ — при $\gamma = 5/3$. Реализация большего (в центре или на оси симметрии — бесконечного) сжатия возможна, если движение поршня над C^- -характеристикой, догоняющей ударную волну в момент ее прихода в центр или на ось, обеспечивает фокусировку в них C^- -характеристик.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект: 02-01-00422) и Государственной программы поддержки ведущих научных школ РФ (проекты 00-15-99039 и НШ-2124-2003.1).

SPHERICALLY AND CILINDRICALLY SYMMETRIC NON-STATIONARY COMPRESSION OF IDEAL GAS

A.N. KRAJKO

The Central Institute of Aviation Motors (CIAM)
of P.I. Baranov, Moscow, Russia

The problems of spherically and cylindrically symmetric non-stationary compression of ideal gas are considered.

A variational problem of energetically optimum unshocked compression at given time of compression $t_f \geq \tau$, where τ is a time of sound wave movement from a wall up to the centre of initial volume, and a degree of compression (the ratio n of initial volume to final one), is reduced to the solving of several standard problems of a method of characteristics. If $t_f \geq t_f^*$, then the optimum isentropical compression «from rest to rest», is feasible for the final time. Thus n is the ratio of final to initial density, and t_f^* , dependent from n , does not exceed 2τ . Power expenses of isentropical compression from rest to rest are compared to expenses that turn out at movement of the piston according to the solutions of known automodelling problems. The most closed to isentropical compression from rest to rest appeared the automodelling nonisentropical compression also from rest to rest, but with reflected from the centre or an axis of symmetry a shock wave.

For $t_f < \tau$ the required compression begins with a shock wave going to the centre or to an axis of symmetry. In their small vicinity the flow is described by Guderley solution (GS). According to GS the density in the specified vicinity increases in final number of times. So local degrees of compression in the centre of symmetry $n = 145$ for a value of gas specific heat ratio $\gamma = 1.4$ and is equal to 32.7 for $\gamma = 5/3$. Realization of the greater (in the centre or on an axis of symmetry — infinite) compression is possible, if the movement of the piston above the C^- -characteristic, that is catching up a shock wave in the moment of its arrival to the centre or on an axis, provides focussing in it C^- -characteristics.

The investigation is carried out at a support of RFFI (the project: 02-01-00422) and the State program of a support of the leading scientific schools of the Russian Federation (projects 00-15-99039 and НШ-2124-2003.1).



ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ КЛАСС ТОЧНЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ, ОПИСЫВАЮЩИХ ЯВЛЕНИЯ НЕОГРАНИЧЕННОЙ КУМУЛЯЦИИ

В.А. КУКУШКИН

Институт математики и механики УрО РАН,
Екатеринбург, Россия.

Рассматривается задача о нахождении точных решений уравнений движения идеального политропного газа, в которых за конечный промежуток времени плотность газа растет неограниченно без образования ударных волн. Предложен новый вид частного решения, позволяющий свести исходную систему нелинейных уравнений в частных производных к одному обыкновенному дифференциальному уравнению. Проведено аналитическое исследование особой точки этого уравнения. Показано, что интегральной кривой, проходящей через особую точку типа седла, соответствует течение газа с неограниченным ростом плотности. Установлены асимптотические оценки величин скорости, плотности, кинетической и внутренней энергии газа. Полученное решение можно использовать для построения процесса сжатия осесимметричного газового объема типа тарелки, так как оно описывает течение, возникающее в определенной части сжимаемого объема. Для построения течения в оставшейся части, численно решалось уравнения для автомодельного потенциала скорости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 02–01–00354 и Программы поддержки фундаментальных исследований Президиума РАН.

Ссылки

1. Кукушкин В.А. Об одном процессе осесимметричного неограниченного безударного сжатия идеального газа // ПММ. — 2003. — Т. 67. — Вып. 3. — С. 434–441.
2. Сидоров А.Ф. Новые режимы неограниченного безударного сжатия газа. // Докл. РАН. — 1999. — Т. 364. — № 2. — С. 199–202.

ONE-PARAMETRIC CLASS OF EXACT AXIALLY SYMMETRIC SOLUTION OF GAS DYNAMIC EQUATIONS DESCRIBING UNLIMITED CUMULATION PHENOMENAS

V.A. KUKUSHKIN

Institute mathematics and mechanics UB of RAS,
Yekaterinburg, Russia.

Equations of ideal polytropic gas motion are under consideration. Let us find exact solutions in which at finite time interval density of gas increases unlimited without forming the shock waves. New representation of particular solution is offered. It allows us to reduce a original system of nonlinear partial differential equations to one ordinary differential equation. Singular point of this equation was analytically analyzed. It is shown that solution containing this singular point correspondent to gas flow with unlimited density increase. Asymptotic estimates of velocity, density, kinetic and internal energy values were obtained. It is possible to use obtained solution to construct process of compression of «plate»-like axi-symmetric gas volume. This solution describes gas flow in the certain part of compressing volume. Equation of self-similar velocity potential was solved numerically to construct gas flow in other part.

This research was supported financially by Russian Foundation for Basic Research № 02–01–00354 and Presidium of Russian Academy of Sciences Program of Basic Research Support.



КОЛЛАПС СФЕРИЧЕСКОГО ПУЗЫРЬКА В ИДЕАЛЬНОЙ СЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

В.Ф. КУРОПАТЕНКО

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Рассматривается аналитическое решение задачи о схлопывании уединенного пузырька (каверны) в идеальной сжимаемой жидкости. Для сложного уравнения состояния жидкости, содержащего как минимум две размерные постоянные, задача не сводится к автономной. Поскольку сжимаемость $-\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_s \neq 0$, то

скорость звука в жидкости конечна и система законов сохранения гиперболична. В этом заключается существенное отличие от приближения несжимаемой жидкости, в которой скорость звука бесконечна, а система параболична. Рост давления в жидкости, окружающей каверну, происходит из-за поглощения жидкостью энергии излучения. Этот процесс описывается дополнительным членом в уравнении энергии. Энерговыделение является сферически симметричным и зависящим от расстояния от поверхности каверны и от времени. Решение отличается от полученных ранее Рэлеем и Е.И. Забабахиним результатов по коллапсу каверны в несжимаемой жидкости. Решение отличается также от автомодельных решений задачи о схлопывании каверны в сжимаемом газе, полученных в разное время К.П. Станюковичем, Я.Б. Зельдовичем, К.А. Семендяевым, Я.М. Кажданом, К.В. Брушлинским и К. Хантером.

Повышенное внимание уделено анализу изменения величин в прилегающем к каверне шаровом слое постоянной массы. При задании на внешней границе этого слоя скорости или давления, зависящих от времени, получается решение задачи о схлопывании сферически симметричной оболочки из сжимаемого материала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект # 01–01–00574.



КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗО–ЖИДКОСТНЫХ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Б.Э. КЭРТ

Балтийский Государственный Технический Университет
«Военмех», Санкт–Петербург, Россия

Е.И. РАХМАНОВА

ФГУП Конструкторское бюро специального
машиностроения, Санкт–Петербург, Россия

Излагаются основы разработанной методики математического моделирования динамики энергонасыщенных высокотемпературных газо–жидкостных тепломеханических систем (ГЖТМС), реализованной в виде пакета прикладных программ машинного анализа тепломеханических систем «Матмех». В базовой версии методики предполагается, что система может быть представлена в виде совокупности объемов (сосудов), связанных отверстиями или протяженными каналами, имеющих прогреваемые стенки и содержащих подвижные элементы, которые движутся относительно корпуса системы, неподвижного в инерциальном пространстве. Подвижные элементы могут образовывать типовые механические подсистемы твердых тел, движущихся совместно. Энергия для движения элементов получается в результате горения зерновых и моноблочных пороховых зарядов, размещенных в сосудах и каналах системы. В качестве рабочего тела ГЖТМС может выступать бинарная газовая смесь с теплофизическими свойствами, зависящими от температуры, двух или трехфазная гетерогенная газо–пороховая смесь, капельная сжимаемая жидкость. Система разбивается на типовые элементы и ее структура задается графом, кодирующим гидрогазодинамические связи каналов и сосудов системы. В число типовых элементов могут входить гидравлические подсистемы типа систем вытеснительных цилиндров. Структура системы может изменяться во времени в зависимости от развития процесса функционирования. Реализованный пакет программ представляет собой параметрически настраиваемый программный комплекс, обеспечивающий автоматическую сборку математической модели системы в целом, расчет ее функционирования и обработку и представление результатов в табличной и графической форме. В базовой версии пакета используются модели с сосредоточенными параметрами для описания процессов в типовых сосудах, квазиодномерные модели для описания течений по каналам, одномерные и двумерные модели для расчета температурных полей в стенках.

Уравнения аппроксимируются конечно–разностными схемами и решаются совместно в процессе реализации итерационного алгоритма расчета функционирования системы в целом. Возможности методики иллюстрируются на примере расчета динамики модельного высокотемпературного газового привода, включающего многополостной газогенератор с моноблочным зарядом унитарного топлива и зерненым зарядом воспламенителя, протяженную магистраль (канал) и исполнительный механизм в виде цилиндра с поршнем, поднимающим груз. Проведено численное исследование влияния особенностей тепло– и массообмена в приводе на динамику исполнительного механизма. Выявлена роль тепловых потерь на прогрев стенок газогенератора, канала и исполнительных цилиндров. Сформулирована совокупность математических моделей, обеспечивающих модификацию методики с целью отказа от использования полуэмпирических соотношений для коэффициентов теплообмена и трения, учета разветвленности магистралей, наличия пневмогидравлических вспомогательных подсистем, оптимизации конструктивных параметров системы в целом.

COMPUTATIONAL MODELLING OF HIGH TEMPERATURE GAS–FLUID–HEAT– MECHANICAL SYSTEMS DYNAMICS

B.E. KERT, E.I. RACHMANOVA

Baltic State Technical University, St. Petersburg, Russia

A method to calculate functioning of a gas–fluid–heat–mechanical system (GFHMS) consisting of a number of vessels, connected by channels and containing movable elements, was worked out. The energy to be consumed is taken from burning blocks or portion of solid monopropellant grains which are placed in vessels or channels. The structure of the system may change during functioning. It is taken into account that propellant grains can be carried away from one vessel to another and burn down there. The heat loss for heating the walls of the system and the influence of wall heating on heat and mass transfer in the system are taken into consideration. The heat–mechanical systems described are divided into typical elements: vessels, channels, heated walls, mechanical systems. Every element is presented as a set of mathematical models. The work of vessels is described by ordinary differential equation systems. A typical vessel may include up to three contacts with adjoining vessels, may be a source or a sink of not more than three channels, may include not more than six movable

elements and up to four surfaces of heat exchange with the structure walls. The gaseous phase is considered to be a binary mixture of perfect or covolume gases. The gas mass flow rate through the orifices is calculated by means of Sen–Venan formulas, in which free cross-sectional areas are corrected to take into account the volume of flowing solid particles. The gas influx from block burning is calculated according to the geometric burning law. The area of the burning surface of non-traditional form blocks can be calculated using spline-approximation of surfaces. Grain burning calculated using linear burning rate combined with special algorithms to calculate grain burning surfaces. A typical channel may be cylindrical, flat or circular, may connect two vessels, may have a close end or moving pistons to restrict the flow. Channel flows may be quasi-steady or unsteady. The propulsive mass may be varied from a binary mixture of perfect or covolume gases to heterogeneous two phase mixture of gases, burning grains and unburning solid remainder. It is possible to take into consideration the gaseous phase viscosity, heat conductivity and diffusion. The cross-section of a typical wall may be composed of homogeneous layers or rectangles with temperature-related heat-transfer properties. GFHMS work as a whole is calculated as divided into system elements and physical processes, as well as by iterations for nonlinearities and finite difference approximations. The method was realized as a package of application programs «MATMEX» to make computer-aided analysis of gas-fluid-heat-mechanical system dynamics. The package permits one to calculate work of a wide range of technical systems and to carry out calculations of the system evolving during its creation. Package are: a library of computation modules, a data screen preparation and entry system, a packet to retrieve, present and store calculation results. The package permits one to create and use a data base and automatically present calculation results in a graphic or tabular form. The package of application programs was used to calculate the interior ballistic processes in separated containers, high temperature gas drives, multipiston multichamber ballistical plants, system of automatic pyrotechnic and pneudraulic mechanisms. It can be used for solve a wide range of problems dealing with ballistics, hydraulics, gasdyna-mics, heat and mass transfer. A package of programmms was applied to calculate the work of high-temperature gas-drive consisting of monopropellant gas generator connected by a long channel with cylinder with a piston . Some results of calculation experiments are discussed.



КОМПЛЕКС ПРОГРАММ «ТУР» ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ

А.Т. САПОЖНИКОВ, Е.Е. МИРОНОВА

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Комплекс программ «ТУР» предназначен для математического обеспечения построения и исследования уравнений состояния. Комплекс включает программы уравнений состояния, наборы констант уравнений состояния для конкретных веществ и специализированные программы для решения задач, которые возникают при построении и исследовании свойств уравнений состояния.

Комплекс «ТУР» состоит из трех библиотек: библиотеки специализированных программ (БСП), библиотеки уравнений состояния (БУРС) и библиотеки наборов констант(параметров) (БНК) уравнений состояния (УРС) для конкретных веществ.

Специализированные программы первой библиотеки делятся по своему назначению на три вида. Первый вид — это программы для проведения термодинамических расчетов, в том числе фазовых диаграмм. Второй вид программ предназначен для элементарных газодинамических расчетов (расчет распада произвольного разрыва, параметров ударных волн и центрированных волн разрежения). Третий вид специализированных программ предназначен для построения табличных и аналитических уравнений состояния. В целях автоматизации процесса создания табличных уравнений состояния создан ряд программ: программа «сшивки», которая обеспечивает построение широкодиапазонных уравнений состояния на основе локальных, программа табулирования термодинамических функций с автоматическим выбором оптимальных сеток, программа сглаживания функций одной и двух переменных и другие.

Библиотека программ УРС комплекса «ТУР» содержит УРС трех видов. К первому виду относятся уравнения состояния, представляющие только научный интерес, поскольку, по своим характеристикам, например, по экономичности, они не годятся для применения в программах расчета динамики сред. Ко второму виду относятся прикладные УРС. Третий вид уравнений состояния — теоретические модели термодинамических свойств. Примером здесь может служить модель ионизационного равновесия в газах (модель Саха).

Комплекс «ТУР» успешно применяется для построения широкодиапазонных аналитических и табличных уравнений состояния.

SOFTWARE PACKAGE «TUR» FOR EQUATIONS OF STATE CONSTRUCTION AND INVESTIGATION

A.T. SAPOZHNIKOV, E.E. MIRONOVA

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

The software package «Tur» has been created for mathematical support of the equations of state construction and investigation. The package includes the equations of state, the sets of EOS constants for a range of materials and a set of auxiliary subroutines which are used when solving the problems arising in the process of an equation of state construction and investigation of its properties.

The package consists of three libraries: the auxiliary subroutines library, the EOS library and the library of the sets of EOS constants for different materials.

The auxiliary subroutines of the first library are subdivided into three groups. First group is for the thermodynamic calculations including phase diagrams. Second group is for simple gas dynamics calculations (calculation of the arbitrary discontinuity splitting, shock and centered rarefaction waves parameters). Third group is for the tabular and analytical EOS construction. To make the process of a tabular equation of state construction automatic a number of subroutines has been created: the «sewing together» subroutine which is used when constructing wide range equations of state on the basis of local EOSs, the «tabulator» subroutine which is used for optimum mesh construction, the functions smoothing subroutine (for one and two variables).

The EOS library contains EOS of three types. First, EOSs having the scientific interest only because they are too complex to be used in the hydrodynamic codes. Second, applied EOSs. Third, EOSs — theoretical models of thermodynamic properties. For example Saha model of ionization equilibrium in gases.

The software package «TUR» is successfully applied when constructing wide range analytical and tabular equations of state.

АЛГОРИТМ «КОНТУР_М» ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЕЧЕНИЙ 3D-ОБЪЕКТОВ

С.В. КОЛОМЕЙКО, С.Н. МЕЛЬНИКОВА,
Д.В. МОГИЛЕНСКИХ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

В данной работе представлен адаптивный алгоритм КОНТУР_М для нахождения и визуализации сечения, аналитически заданных трехмерных объектов с помощью генерации специализированной аддитивной двумерной сетки и генерации на ней изолиний. Данная работа является развитием работы «Алгоритм «КОНТУР» для нахождения и визуализации плоских сечений 3D-объектов», которая представлялась на данной конференции в 2002 году.

Рассмотрены функциональные ограничения других алгоритмов и представлен алгоритм КОНТУР_М для разрешения таких ограничений. Кратко изложен теоретико-множественный подход к заданию трехмерных объектов, который применяется в РФЯЦ — ВНИИТФ. Алгоритм реализован в системе визуализации «VIZI_Surf». Результаты работы алгоритмов иллюстрируются на примерах аналитического задания трехмерной геометрии.

МЕТОД НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ О РАСПАДЕ ПРОИЗВОЛЬНОГО РАЗРЫВА

Т.А. КОБЗЕВА, Н.Я. МОИСЕЕВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Рассмотрен подход к решению задачи о распаде произвольного разрыва на основе замены сложных уравнений состояния двучленными уравнениями с неопределенными коэффициентами. Коэффициенты выбираются так, чтобы решения задач о распаде разрыва для двучленных и исходных уравнений состояния совпадали между собой. Для конкретных значений коэффициентов среды подчиняются двучленным уравнениям состояния, для которых задача о распаде произвольного разрыва полностью решена.

Итерационный процесс решения задач для сред, подчиняющихся двучленным уравнениям состояния, построен на основе метода обратной параболической интерполяции и имеет кубическую скорость сходимости.

Создана программа на языке программирования C++ в среде Visual C++ 6.0 как SDI-приложение для

решения задачи в интерактивном режиме. Программа имеет удобный интерфейс для подготовки начальных данных и визуализации результатов расчетов задачи о распаде разрыва.

Ссылки

1. Овсянников Л.В. Кн. Лекции по основам газовой динамики. — М., «НАУКА», 1981.
2. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я. и др. Кн. Численное решение многомерных задач газовой динамики. — М., «НАУКА», 1976. — С. 105—274.
3. Прокопов Г.П. Расчет распада разрыва для пористых сред и сплошных сред с двучленными уравнениями состояния // ВАНТ, сер. Методики и программы численного решения задач математической физики. — 1982. — Вып. 2 (10). — С. 32—40.
4. Коллац Л. / Функциональный анализ и вычислительная математика. — М.: «МИР», 1969. — С. 297.

preparation of the initial data and visualization of results of calculations of a problem of disintegration of break.

References

1. Ovsjannikov L.V. Lectures on bases of gas dynamics. — M.: NAUKA, 1981.
2. Godunov S.K., Zabrodin A.V., Ivanov M.Ya. Etc. The numerical decision of multivariate problems of gas dynamics. — M.: NAUKA, 1976. — P. 105—274.
3. Prokopov G.P. Calculation of disintegration of break for porous environments and continuous environments with binomial equations of condition. VANT, Ser. Methods and Programs of the numerical decision of problems of mathematical physics. — 1982. — iss.2 (10). — P. 32—40.
4. Kollats L. / The functional analysis and calculus mathematics. — M.: MIR, 1969. — P. 297.



METHOD OF UNCERTAIN COEFFICIENTS FOR DECISION OF A PROBLEM OF DISINTEGRATION OF ANY BREAK

T.A. KOBZEVA, N.YA. MOISEYEV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

The approach to decision of a problem of disintegration of any break is considered on the basis of replacement of the complex equations of condition by binomial equations with uncertain coefficients. Coefficients are chosen so that decisions of problems on disintegration of break for binomial and the initial equations of condition coincide. For concrete values of coefficients environments submit to binomial equations of condition for which the problem of disintegration of any break is completely solved.

Iterative process of the decision of problems for the environments submitting to binomial equations of condition, is constructed on the basis of a method of return parabolic interpolation and has cubic speed of convergence.

The program is created using the C++ programming language in Visual C++ 6.0 environment as the SDI-appendix for the decision of a problem in an interactive mode. The program has the convenient interface for

ПОСТРОЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О СЖАТИИ ПЛОСКОГО СЛОЯ ГАЗА С МАЛОЙ ВЯЗКОСТЬЮ

Д.И. НЕУДАЧИН

Институт математики и механики Уро РАН,
Екатеринбург, Россия

В представленной работе исследуется система уравнений, описывающая одномерное сжатие плоского слоя газа с малой вязкостью. При нулевой вязкости задача считается невозмущенной, ее решение предполагается известным. Данное решение содержит одну линию слабого разрыва. Решение возмущенной задачи вне области слабого разрыва строится с помощью формального асимптотического ряда по степеням малого параметра. Этот ряд является внешним асимптотическим разложением решения задачи. После масштабирующей замены независимых переменных в области слабого разрыва получена система уравнений и начальные условия к ней для нахождения внутреннего разложения решения. В результате подстановки формального ряда по степеням малого параметра была получена последовательность рекуррентных систем уравнений для нахождения его коэффициентов.

Сформулированы и доказаны теоремы существования для этих задач. Для частного случая неограниченного безударного сжатия плоского слоя газа исследовано влияние малой диссипации в точке коллапса.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН и МНТЦ № 1778.

**CONSTRUCTION ASYMPTOTIC
OF DECOMPOSITION OF THE DECISION
OF THE PROBLEM COMPRESSION THE FLAT
LAYER OF GAS WITH SMALL VISCOSITY**

D.I. NEUDACHIN

Institute of Mathematics and Mechanics UB RAS,
Ekaterinburg, Russia

In the submitted work the system of the equations describing one-dimensional compression of a flat layer of gas with small viscosity is investigated. At zero viscosity the task is considered not indignant, its (her) decision is supposed known. The given decision contains one line of weak break. The decision of the indignant problem outside of area of weak break is under construction with the help formal asymptotic lines on degrees of small parameter. This number is external asymptotic decomposition of the decision of a problem. After scaling replacement of independent variables in the field of weak break the system of the equations and entry conditions to it for a finding of internal decomposition of the decision is received. As a result of substitution of formal lines on degrees of small parameter the sequence of recurrent systems of the equations for a finding of its factors was received. Theorems of existence for these tasks are formulated and proved. For a special case of unlimited unaccented compression of a flat layer of gas influence weak dissipation in a point of a collapse is investigated.

The work is supported by programm of fundamental investigations of Presidium RAS and ISTC Project № 1778.



**ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ
О ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ
ПРЯМОУГОЛЬНОГО ОТВЕРСТИЯ
В УПРУГОЙ СРЕДЕ**

В.Н. ПАВЛЕНКО, Х.Р. НИЗАМЕЕВ

Челябинский государственный университет,
Челябинск, Россия

Н.В. ГОРИН, Н.Р. САДЫКОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Для построения приближенного решения задачи положим в первом приближении, что каждая грань отверстия представляет собой часть свободной поверхности упругой среды, ограниченной плоскостью. Известно [1], что если плоскость $Z = 0$ является границей полубесконечного тела и сила P , действующая на эту плоскость направлена вдоль оси Z , то перемещение точек плоскости можно вычислить по формулам Буссинеска. Заменяя действие сосредоточенной силы, силами распределенными по поверхности, можно получить формулы для составляющих вектора деформаций упругого тела. Далее используя метод устранения деформаций [2], заменяя объемные и поверхностные силы действием температурного поля $T(x, y, z)$, получим термоупругие перемещения точек прямоугольного отверстия.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований. Проект # 01-02-96441.

Ссылки

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. — М.: Наука, 1987. — 248 с.
2. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. — М.: Наука, 1979. — 560 с.

**APPROXIMATED SOLUTION PROBLEM
ON TEMPERATURE DEFORMATION
RIGHT-ANGLED HOLE IN
ELASTIC SURROUNDINGS**

V.N. PAVLENKO, H.R. NIZAMEEV

Chelyabinsk state university, Chelyabinsk, Russia

N.V. GORIN, N.R. SADYKOV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

For approximate solution suppose that every side hole is part free surface elastic surrounding limit to flatness. It is common knowledge [1] that if flatness $Z = 0$ is boundary of elastic body and strength P act on boundary direct at Z , then transference flatness calculate by formulas Boussinesq. Substitute action concentrated strength distribute to surface receive formulas for vector deformation. Use of method removal deformations [2], substitute volume and surface strength through temperature field $T(x, y, z)$ obtain temperature deformations right-angled hole.

This work was supported by Russian Foundation for Basic Research (Grant # 01-02-96441 Ural)

References

1. Landau L.D., Lifshitz E.M. Theory of Elasticity. — М.: Nauka, 1987. — 248 p. (in Russian).
2. Timoshenko S.P., Goodier J.N. Theory of Elasticity. — М.: Nauka, 1979. — 560 p. (in Russian).



МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА МЕТОДОМ ЧАСТИЦ НА АДАПТИВНО-ВСТРАИВАЕМОЙ СЕТКЕ. РАСЧЕТ ЗАДАЧИ О ТОЧЕЧНОМ ВЗРЫВЕ

О.Н. Павленко, И.А. Литвиненко

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забахина, Снежинск, Россия

В докладе представлен метод частиц на кубической адаптивно-встраиваемой сетке для численного моделирования трехмерных течений газа с большими деформациями. Описан вычислительный алгоритм, приведены результаты расчета тестовой задачи о точечном взрыве. Анализ численного решения показал, что адаптивно-встраиваемая сетка позволяет передать движение скачка уплотнения из области взрыва, которая в 200 раз меньше расчетной области. Несмотря на использование кубической сетки, сферичность решения сохраняется. Наблюдается удовлетворительное согласие с аналитическим решением.

Представлен расчет задачи о взаимодействии сферической волны, порожденной точечным взрывом,

с плотным телом сферической формы. Результаты, полученные по трехмерной программе, хорошо согласуются с численным решением аналогичной задачи в двумерной постановке.

3D SIMULATION OF GAS FLOW BY PIC CODE WITH AMR TECHNIQUE. THE SEDOV'S IMPLOSION PROBLEM.

O.N. PAVLENKO, I.A. LITVINENKO

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

The original PIC method with AMR technique for 3D simulation of gas flow is presented. Numerical algorithm is described. The Sedov's problem simulation results are presented. The analysis of numerical solution has showed that AMR allows us to follow the shock incepting from region up to 200 times less then task's region dimension. The spherical property of solution retains despite of cube grid using. The good agreement with analytic is demonstrated.

In addition the simulation of another problem is presented. The interaction of spherical wave and dense body is considered. 3D simulations are in good accordance with 2D PIC simulations.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПОЛУЧЕНИЯ ТОЧНЫХ РЕШЕНИЙ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА С ДВУМЯ НЕЗАВИСИМЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

Л.И. РУБИНА

Институт математики и механики УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

Рассматривается произвольное квазилинейное уравнение в частных производных второго порядка с двумя независимыми переменными в области непрерывной дифференцируемости функций и их производных.

Дается определение полного интеграла уравнения. Получены условия, выполнения которых достаточно, чтобы огибающая однопараметрического семейства полных интегралов была решением квазилинейного уравнения.

На примере уравнения второго порядка с двумя независимыми переменными с квадратичной нели

нейностью рассмотрен один из методов получения точных решений, которые являются полными интегралами уравнения. Метод основан на изучении характеристик рассматриваемого уравнения.

Показано, как с помощью полного интеграла можно получать точные и приближенные решения начальных и краевых задач для уравнений в частных производных второго порядка.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН и МНТЦ № 1778.

**ABOUT ONE METHOD CONSTRUCTION
OF EXACT SOLUTIONS OF QUASILINEAR
PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATION
OF SECOND ORDER WITH TWO INDEPENDENT**

L.I. RUBINA

Institute mathematics and mechanics Ur O RAN,
Ekaterinburg, Russian

The report is analyzing arbitrary quasilinear partial differential equation of second order with two independent arguments in continuous differentiability functions and derivatives domain.

It is formulated definition of quasilinear partial differential equation of second order with two independent arguments complete integral.

Sufficient conditions in order that complete integral one-parameter class of solutions envelope was solution were represented.

One method of faithful representation of quasilinear partial differential equation of second order with two independent arguments solutions was considered as an example for equation with quadratic nonlinearity. Solutions are complete integrals. The method is based on use of characteristic's equation.

The construction of exact and approximate quasilinear partial differential equation of second order with two independent arguments initial and boundary-value problem solutions was represented. It is used complete integrals.

**АНТИДИФфуЗИЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ
ВЯЗКОСТЬ ДЛЯ МЕТОДА ГОДУНОВА**

Н.Я. МОИСЕЕВ, Н.Л. ФРОЛОВА

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Е.Ю. СМЕРНОВ

Снежинская Государственная физико-техническая
академия, Снежинск, Россия

Рассмотрен подход к повышению точности метода Годунова для решения одномерных задач газовой динамики на основе введения аппроксимационной антидиффузии для корректировки «больших» величин, вычисленных из решения задачи о распаде произвольного разрыва.

Построена гибридная разностная схема, которая на гладких решениях аппроксимирует уравнения акустики с постоянными коэффициентами в случае плоской симметрии со вторым и третьим порядками по времени и по пространству.

Подход является достаточно простым и естественным образом может быть адаптирован к решению двумерных и трехмерных задач. В подходе используется только информация о решении задачи распада разрыва, что делает его по сравнению с известными подходами к повышению точности метода Годунова более экономичным.

Приведено сравнение с точными решениями результатов расчетов тестовых задач, подтверждающее эффективность и высокую точность модифицированного метода Годунова.

По результатам расчетов тестовых задач можно сделать заключение, что проблема расчетов гладких течений, типа волн разрежения, методом Годунова с введенной антидиффузией в основном решена.

Ссылки

1. Годунов С.К. Разностный метод численного расчета разрывных решений уравнений гидродинамики // Матем. сб. — 1959. — № 47. — Вып. 3. — Р. 271—306.
2. Моисеев Н.Я. Об одной модификации разностной схемы Годунова // Ж. «Вопросы Атомной Науки и Техники», сер. Методики и программы численного решения задач математической физики. — 1986. — Вып. 3. — Р. 35—43.
3. Моисеев Н.Я. Антидиффузия для модифицированного метода Годунова // Тезисы докладов, XI Юбилейная Международная конференция по вычислительной механике и современным прикладным программным средствам. Переславль-Залесский 7—12 июня, 1999 г.

ANTIDIFFUSION AND ADDITIONAL VISCOSITY FOR GODUNOV METHOD

N.YA. MOISEYEV, N.L. FROLOVA

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

E.YU. SMIRNOV

The State Physicotechnical Academy of Snezhinsk,
Snezhinsk, Russia

The approach to increase of accuracy of Godunov method for decision of one-dimensional problems of gas dynamics is considered on the basis of introduction of approximated antidiffusion for updating of «big» values calculated from the decision of a problem of disintegration of any break.

The hybrid differential scheme which on smooth decisions approximate the equations of acoustics with constant factors in case of flat symmetry with the second and third orders on time and on space was constructed.

The approach is simple enough and may be naturally adapted to decision of bi-dimensional and three-dimensional problems. In the approach the only information about decision of a problem of disintegration of break is used, that makes it more economic in comparison with known approaches to increase of accuracy of Godunov method.

Comparison with exact decisions of results of calculations of the test tasks, confirming efficiency and high accuracy of modified Godunov method is given.

According to results of test tasks calculations it is possible to make the conclusion that the problem of calculations of smooth currents, such as rarefaction waves, by Godunov method with entered antidiffusion is solved basically.

References

1. Godunov S.K. Differential method of numerical calculation of disconnected decisions of equations of hydrodynamics // *Math. col.* — 1959. — 47, iss. 3. — P. 271—306.
2. Moiseyev N.Ya. About one updating of Godunov differential scheme // *J «Problems of Atomic Science and Techniques»*, ser. Method and Programs of the numerical decision of problems of mathematical physics. — 1986. — iss. 3. — P. 35—43.
3. Moiseyev N.Ya. Antidiffusion for modified Godunov method, theses of reports, XI Anniversary International conference on the computing mechanics and modern applied software, Pereslavl-Zalesskiy June, 7—12, 1999.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ БОЛЬЦМАНА МЕТОДОМ ЧАСТИЦ

Н.Г. КАРЛЫХАНОВ, А.В. СОКОЛОВ, А.С. ШНИТКО

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Рассматривается один подход для решения уравнения Больцмана, основанный на идее квазидиффузии [1]. Предложенная схема реализована для одномерной сферической геометрии. Проведена серия расчетов задачи о заряженном зонде в плазме. Сравнение с одномерными расчетами по методу Мейсона [2] показали работоспособность предлагаемой методики.

Ссылки

1. Гольдин В.Я. Квазидиффузионный метод решения кинетического уравнения. // *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.* — 1964. — Т. 4. — № 6. — С. 1078—1087.
2. Rodney J. Mason. An Electromagnetic Field Algorithm for 2D Implicit Plasma Simulation. // *Journal of Computational Physics.* — 1987. — 71. — P. 429—473.

ONE WAY OF SOLVING BOLTZMANN EQUATION BY PIC METHOD

N.G. KARLYKHANOV, A.V. SOKOLOV, S.A. SHNITKO

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

One approach for the solution of Boltzmann equation is esteemed, based on an idea of quasi-diffusion [1]. The offered scheme is realized for the one-dimensional spherical geometry. Calculations of a problem about the charged probe in plasma were conducted. Matching with one-dimensional calculations based on method [2] is good enough and shows function ability of the tendered technique.

References

1. Goldin V.Ya. Quasi-diffusion method for solving kinetic equation. // *Journal Computational Mathematics and Physics*. — 1964. — V. 4. — № 6. — P. 1078—1087.
2. Rodney J. Mason. An Electromagnetic Field Algorithm for 2D Implicit Plasma Simulation. // *Journal of Computational Physics*. — 1987. — 71. — P. 429—473 p.



**БЕЗАВОСТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТА
ТЕЧЕНИЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ
ПО МЕТОДИКЕ «ЛЭГАК»
НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ЭВМ**

С.М. БАХРАХ, С.В. ВЕЛИЧКО, В.Ф. СПИРИДОНОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ экспериментальной физики,
Саров, Россия

В работе изложены основные принципы методики ЛЭГАК и комплекса программ ЛЭГАК, предназначенного для расчета нестационарных течений сплошной среды. Обсуждаются принципы реализации комплекса программ на многопроцессорных ЭВМ с распределенной памятью. Приводятся данные об эффективности распараллеливания и безавоности при расчете двумерных задач.

**CRASH-FREE TECHNOLOGY
FOR CONTINUUM FLOW COMPUTATIONS
USING «LEGAK» CODE ON MULTYPROCESSOR
COMPUTER SYSTEMS**

S.M. BAKHRAKH, S.V. VELICHKO, V.F. SPIRIDONOV

Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific
Research Institute of Experimental Physics, Sarov, Russia

The paper describes major principles of LEGAK techniques and LEGAK code complex intended for computations of time-dependent continuum flows. The ideas of the code system implementation on distributed-memory multiprocessor systems are discussed. Data on the

parallelization performance and crash resistance for 2D problem computations are given.



**О НЕКОТОРЫХ ТОЧНЫХ РЕШЕНИЯХ
ДЛЯ ТЕЧЕНИЙ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ**

О.Н. УЛЬЯНОВ

Институт математики и механики УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

Решения, в которых компоненты вектора скорости линейно зависят от всех (движения с однородной деформацией [1—4] или от части независимых переменных (движения с обобщенной однородной деформацией [5, 6]), хорошо известны.

В работе изучаются движения с обобщенной однородной деформацией для осесимметричных течений несжимаемой жидкости. Для вязкой жидкости найдены классы точных решений как для стационарного, так и нестационарного случая. Для гипервязкой жидкости найдены стационарные точные решения. Приведены результаты численных расчетов. Обсуждается вопрос о применимости найденных классов решений к изучению атмосферных и океанических вихрей.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН.

Ссылки

1. Dirichlet G.L. Untersuchungen uber ein Problem der Hydrodynamic // *Journal fur die reine und angewandte Mathematik*. — 1860. — В. 58, Н.3. — P. 24—216.
2. Dedekind v.H.R. Zusatz zu der vorstehenden Abhandlung // *J. reine und angew. Math.* — 1860. — В. 58, Н.3. — P. 217—228.
3. Боявленский О.И., Новиков С.П. Однородные модели в общей теории относительности и газовой динамике // *Усп. Мат. Наук.* — 1976. — Т. 31. — Вып. 5 (191). — С. 33—48.
4. Овсянников Л.В. Новое решение уравнений гидродинамики // *ДАН СССР*. — 1956. — Т. 111. — № 1.
5. Karman T. Uber laminare und turbulente Reibung // *Z. angew. Math. Mech.* — 1921. — В. 1. — P. 232—252.

6. Сидоров А.Ф. О двух классах решений уравнений механики жидкости и газа и их связи с теорией бегущих волн // Журн. прикл. механики и техн. физики. — 1989. — № 2. — С. 34—40.

theory of running waves // *Z. prikl. mech. i techn. Fiziki.* — 1989. — № 2. — P. 34—40.



ON SOME EXACT SOLUTIONS FOR VISCOUS FLUID FLOWS

O.N. ULYANOV

Institute of Mathematics and Mechanics of UB RAS,
Ekaterinburg, Russia

Solutions, in which components of a vector of velocity linearly depend on all independent variables (movements with homogeneous deformation (see, for example, [1—4]) or a part of independent variables (movements with generalized homogeneous deformation (see, for example, [5, 6]), are well-known.

In the work the movements with the homogeneous deformation for axial-symmetric flows of incompressible fluid are studied. For a viscous fluid some classes of exact solutions as for stationary case and a non-stationary case are found. For a hyperviscous fluid stationary exact solutions are found. Results of numerical calculations are given. The question on applicability of the found classes of solutions to studying atmospheric and oceanic vortexes is discussed.

The work was supported by Program of fundamental researches of Presidium of Russian Academy of Sciences.

References

1. Dirichlet G.L. Untersuchungen uber ein Problem der Hydrodynamic // *Journal fur die reine und angewandte Mathematik.* — 1860. — B. 58, H.3. — P. 24—216.
2. Dedekind v.H.R. Zusatz zu der vorstehenden Abhandlung // *J. reine und angew. Math.* — 1860. — B. 58, H.3. — P. 217—228.
3. Bogoyavlenskii O.I., Novikov S.P. Homogeneous models in general relativity and gas dynamics // *Usp. Math. Nauk.* — 1976. — V. 31. — Iss. 5(191). — P. 33—48.
4. Ovsyannikov L.V. New solution of hydrodynamics equation // *Dokl. Akad. Nauk.* — 1956. — T. 111. — № 1.
5. Karman T. Uber laminare und turbulente Reibung // *Z. angew. Math. Mech.* — 1921. — B. 1. — P. 232—252.
6. Sidorov A.F. On two classes of solutions of fluid and gas mechanics equations and their connection with the

НЕЯВНАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА КВАДРАТНОЙ АДАПТИВНОЙ СЕТКЕ

Н.Г. КАРЛЫХАНОВ, А.В. УРАКОВА

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Рассматривается неявная схема для решения уравнения теплопроводности в двумерном осесимметричном случае на квадратной адаптивной сетке. Приведена серия одномерных (для декартовой и цилиндрической системы координат) расчетов на искаженной двумерной сетке. Сравнение с одномерными расчетами по программе ЭРА [1] показали точность и работоспособность предлагаемой методики. Проведен полномасштабный двумерный расчет распространения тепла в области со сложной геометрией, который показал эффективность предлагаемого метода.

Ссылки

1. Барышева Н.А., Зуев А.И., Карлыханов Н.Г. и др. // *Журнал вычислительной математики и математической физики.* — 1982. — 22. — P. 401.

THE IMPLICIT SCHEME OF SOLVING NON-LINEAR HEAT CONDUCTION EQUATION ON A SQUARE ADAPTIVE GRID

N.G. KARLYKHANOV, A.V. URAKOVA

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

The implicit scheme for the solution of a heat conduction equation in a two-dimensional axis symmetrical case on a square adaptive grid is esteemed. One-dimensional (for Cartesian and cylindrical coordinate systems) calculations on the distorted two-dimensional grid is adduced. Matching with one-dimensional calculations by

the program ERA [1] shows an accuracy of the tendered technique. The full scale of the two-dimensional calculations of propagation of heat in the area with the composite geometry is conducted. These computations show efficiency of a tendered method.

References

1. Barysheva N.A., Zuev A.I., Karlykhanov N.G. et al. // *Journal Computational Mathematics and Mathematical Physics*. — 1982. — 22. — P. 401.



АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕГУЛЯРНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ СЕТОК

Т.Н. БРОНИНА, И.А. ГАСИЛОВА, О.В. УШАКОВА

Институт математики и механики УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

Предлагаются алгоритмы построения регулярных трехмерных сеток в областях геометрически сложной формы [1]. Это алгоритмы для расчета сеток в областях вращения, в трубопроводах и алгоритмы глобальной перестройки сеток.

Предложенные алгоритмы разрабатываются в рамках подхода [2] и предназначены для численного моделирования трехмерных вихревых многокомпонентных сред и для решения других прикладных и инженерных задач.

Алгоритмы для областей вращения предназначены для построения трехмерных регулярных сеток в областях, полученных вращением направляющей вокруг оси. Предлагаются алгоритмы, в которых построение трехмерной сетки не сводится к вращению двумерной сетки вокруг оси. Алгоритмы вращения генерируют сетки $O(C)$ типа, содержащие вырожденные ячейки на оси вращения, более того вырожденные ячейки становятся малыми для малых углов поворота. В предложенных алгоритмах такие особенности не возникают.

Алгоритмы для трубопроводов строят сетки в областях типа трубопроводов с поперечным сечением звездного типа и также не содержат особенностей, свойственных O -сеткам.

Алгоритмы глобальной перестройки сетки осуществляют перестройку сетки, неудовлетворительной по качеству, близкой к вырожденной, сильно отличающейся от равномерной и ортогональной, с целью улучшения ее качества. Плохого качества сетки могут возникать, например, при Лагранжевом и Эйлеро-Лагранжевом методе, когда перестройка сетки

ранжевом методе, когда перестройка сетки осуществляется независимо по трем координатным направлениям. Алгоритмы глобальной перестройки сетки имеют самостоятельное значения, так как их можно применять для построения трехмерных сеток от некоторой начальной невырожденной сетки.

Рассматриваются общие вопросы построения сеток, приводятся результаты исследований по выбору критериев качества сеток: невырожденности, близости к равномерным и ортогональным.

Демонстрируются примеры расчетов сеток.

Ссылки

1. Бронина Т.Н., Гасилова И.А., Ушакова О.В. Алгоритмы построения трехмерных структурированных сеток. *Журнал вычислительной математики и матем. физики*. — 2003. — Т.43. — № 6. — 877—885.
2. Khairullina O.B., Sidorov A.F., and O.V. Ushakova. Variational methods of construction of optimal grids. *Handbook of Grid Generation* / J.F. Thompson, B.K. Soni, and N.P. Weatherill, eds. // CRC Press, Boca Raton, FL, 1999, 36–1–36–25.

ALGORITHMS FOR GENERATION OF REGULAR THREE-DIMENSIONAL GRIDS

T.N. BRONINA, I.A. GASILOVA, O.V. USHAKOVA

Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Branch
of RAS, Yekaterinburg, Russia

The algorithms for generation of regular three-dimensional grids in the domains of complex geometries are suggested [1]. These are the algorithms for the volume of revolution, for pipelines and algorithms for the global reconstruction of the grid.

Suggested algorithms are elaborated within the approach [2] and are designed for multimaterial hydrodynamic simulation and for solving other physical and engineering problems.

The algorithms for the volume of revolution are developed for calculating grids in the domains obtained by the rotation of the ruling curve about the axis. We suggest the algorithms that cannot be reduced to the rotation of a two-dimensional grid about the axis. Algorithms of rotation produce O -type grids containing degenerate cells on the axis of rotation, moreover these degenerate cells become too small for a small angle of rotation. In the suggested algorithms such singularities do not arise.

The algorithms for pipe volumes construct the grid for the pipeline domains with cross sections of a star-shaped type and also do not produce singularities inherent in O-type grids.

The algorithms for the global reconstruction of the grid carry out the reconstruction of the grid unsatisfactory by its quality, close to degenerate, that are not close to uniform orthogonal grid, with the purpose to improve the grid. A bad quality grid can arise, for example, in Lagrangian or Euler-lagrangian methods when construction of the grid is utilized independently in three coordinate directions. The grid reconstruction algorithms have independent status since they can be applied for computing the grid from some initial nondegenerate grid.

General questions of grid generation are considered, the results of investigation on the choice of a grid quality are given.

Examples of computed grids are demonstrated.

References

1. Bronina T.N., Gasilova I.A., Ushakova O.V. Algorithms for generation of three-dimensional structured grids. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. — 2003. — V. 43. — №.6. — С. 877—885.
2. Khairullina O.B., Sidorov A.F., and Ushakova O.V. Variational methods of construction of optimal grids. *Handbook of Grid Generation / J.F. Thompson, B.K. Soni, and N.P. Weatherill, eds // CRC Press, Boca Raton, FL. — 1999, 36–1–36–25.*



О ПРЕДСТАВЛЕНИИ НОВЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ СПЕЦИАЛЬНЫХ РЯДОВ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

М.Ю. ФИЛИМОНОВ

Институт математики и механики УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

Предложены новые конструкции специальных рядов для представления решений нелинейных уравнений с частными производными. Данный подход является дальнейшим развитием метода специальных рядов [1], отличительной чертой которого является

конструктивное представление решений нелинейных уравнений в виде ряда по степеням специальных базисных функций с коэффициентами, вычисляемыми последовательно как решения линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Показано, что данные ряды можно использовать для решения начально-краевых задач с точным удовлетворением краевых условий. Имеются примеры точных решений для двух нелинейных эволюционных уравнений в виде конечной суммы специальных рядов. Исследована область сходимости предложенных рядов и приведены результаты численных расчетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН и МНТЦ № 1778.

Ссылки

1. Filimonov M.Yu., Korzunin L.G., Sidorov A.F. Approximate methods for solving nonlinear initial boundary-value problems based on special construction of series. // *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*. — 1993. — V. 8. — №. 2. — P. 101—125.

ON REPRESENTATION OF SOLUTIONS OF NONLINEAR PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS BY NEW CONSTRUCTIONS OF SPECIAL SERIES

M.YU. FILIMONOV

Institute of Mathematics and Mechanics UB RAS,
Ekaterinburg, Russia

New constructions of consistent special series for representation of solutions of nonlinear partial differential equations are presented. This approach is the continuation of the special series method [1] the main feature of which is constructive representation of solutions of nonlinear equations by the form of infinite sums by the powers of special basic functions with recurrently calculated coefficients found from solutions of ordinary differential equations. It is shown these series may be used for boundary-initial problems solving with exact satisfying boundary conditions. Examples of exact solutions in the form of finite sums of special series for two nonlinear evolutionary equations are presented. The convergency area of suggested series is investigated and results of numerical experiments are presented.

The work is supported by programm of fundamental investigations of Presidium RAS and ISTC Project № 1778.

References

1. Filimonov M.Yu., Korzunin L.G., Sidorov A.F. Approximate methods for solving nonlinear initial boundary-value problems based on special construction of series. // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. — 1993. — V. 8. — №. 2. — P. 101—125.



РАДИАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ГАЗА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОРШНЯ

С.В. ХАБИРОВ

Институт механики РАН, Уфа, Россия

Радиальное прямолинейное движение газового шара к центру и от центра можно непрерывно сопрячь через характеристику с движением, в котором газ останавливается сразу во всем шаре. Движение описывается с помощью инвариантной подмодели ранга один. Отражение по времени позволяет построить решение, задающее периодическое движение газового шара под действием поршня.

Радиальное прямолинейное движение может примыкать к двум типам ударных волн: прямолинейным и криволинейным, с соответствующим отражением от центра. За ударной волной существует движения, описываемые инвариантной подмоделью ранга один и останавливающие газ сразу во всем шаре под действием поршня.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 02–01–00550).

RADIAL GAS MOTIONS BY PISTON ACTIONS

S.V. KHABIROV

Institute of Mechanics, Sciences Ufa Center RAS

The radial straight line motion of a gas ball to center and away from center may be conjugated continuously through the characteristic with such motion that gas come to a stop in the all ball at once. This motion may be written with the help of the invariant submodel of the rank 1.

The periodic continuous bounded motion of a gas ball by piston action may be constructed by means of the time reflections.

The radial straight line and curved line. The reflections from center was corresponding. There exists the motion across beyond the shock wave by writing invariant submodel of the rank 1 and doing a gas stop in the all ball at once by the piston action.

This research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 02–01–00550).



О РАСЧЕТЕ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ КОЛЛАПСА СИММЕТРИЧНЫХ ГАЗОВЫХ ПРИЗМ

О.Б. ХАЙРУЛЛИНА

Институт математики и механики УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

Разработан алгоритм расчета параметров безударно сжимаемого газа симметричных четырехгранных газовых призм по заданному закону движения одного из ребер призмы по плоскости симметрии.

Как и в [1], в области возмущенного течения газа выделяются три подобласти, в каждой из которых потенциал скорости строится в виде характеристического ряда по своим переменным. В одной подобласти решение определяется заданным законом движения ребра и условием симметрии, в двух других — условиями непрерывности его параметров на границах стыковки подобластей, являющихся характеристиками, и условием непротекания газа через вторую плоскость симметрии. Учет условий симметрии позволяет однозначно определить параметры течения газа и форму поршня в сжимаемой призме. Приведен пример расчета решения, совпадающего в части области с известным автомоделным точным решением [2, 3], когда показатель адиабаты и величина двугранного угла призмы согласованны. В остальной части получены аналитические выражения для потенциала скорости и формы стенки сжимаемой газовой призмы, достаточно точно передающие их значения при начальной стадии коллапса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по гранту 02–01–00047.

Ссылки

1. Хайруллина О.Б. О начальной стадии коллапса симметричных газовых призм // Прикладная математика и механика. — 2002. — Т. 66. — Вып. 4. — С. 584—596.
2. Сидоров А.Ф., Хайруллина О.Б. Процессы безударного конического сжатия и разлета газа // Прикладная математика и механика. — 1994. — Т. 58. — Вып. 4. — С. 81—92.
3. Sidorov A.F. Mathematical modelling of the processes of unshocked gas compression // Russ. J. Numer. Anal. and Math. Modelling. — 1995. — Vol. 10. — № 3. — P. 255—277.

References

1. Khairullina O.B. The Initial Stage of Collapse of Symmetric Gaseous Prisms // J. Appl. Maths Mechs. — 2002. — Vol. 66. — № 4. — P. 569—580.
2. Sidorov A.F., Khairullina O.B. Shock-free Conical Compression and Expansion of a Gas // J. Appl. Maths Mechs. — 1995. — Vol. 58. — № 4. — P. 657—668.
3. Sidorov A.F. Mathematical modelling of the processes of unshocked gas compression // Russ. J. Numer. Anal. and Math. Modelling. — 1995. — Vol. 10. — № 3. — P. 255—277.



**THE CALCULATION OF INITIAL STAGE
OF COLLAPSE OF SYMMETRIC
GASEOUS PRISMS**

O.B. KHAIRULLINA

Institute of Mathematics and Mechanics, UrB RAS,
Ekaterinburg, Russia

An algorithm is developed for calculating the parameters of a shock-free compressible gas of symmetric tetrahedral gas prisms according to a given law of motion of a prism edge along the plane of symmetry.

As in [1], three subdomains are distinguished in the domain of the perturbed gas flow, in each of which a velocity potential is constructed in the form of a characteristic series by own variables. In one subdomain, the solution is defined by the specified law of motion of the edge and symmetry condition, in the other two subdomains the solutions are defined by the condition of the continuity of gas parameters at the boundaries along which the subdomains are joined, which are the characteristics and the condition, that no gas flows across the second plane of symmetry. It is shown that by taking account of symmetry one can determine uniquely the parameters of the gas flow and the piston shape in a compressible prism. An example of the calculation of a solution is given which, in a part of the domain, is identical to a known, self-similar exact solution [2, 3], when the adiabatic exponent and the magnitude of the dihedral angle of the prism are matched. All the rest of it, analytical expressions are obtained for the velocity potential and the shape of the wall of the gas prism being compressed.

The work is supported by RFBR, grant 02-01-00047.

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА
АВТОКОЛЕБАНИЙ В МЕТОДЕ ЧАСТИЦ**

М.А. ХАРЛОВА, И.А. ЛИТВИНЕНКО

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

В работе представлены результаты численного исследования автоколебаний в методе частиц в ячейках. Для проведения расчетов была написана программа, реализующая методику в одномерном случае. Процесс исследования природы автоколебаний заключался в изучении частоты и амплитуды колебаний отдельных частиц на простом примере. Был проведен анализ влияния различных факторов, таких как: число частиц на ячейку, число ансамблей, размер ячеек сетки, выбор временного шага, начальное расположение частиц, величина скорости звука. На основе проведенного исследования выявлен ряд возможностей, подавляющих автоколебания.

**NUMERICAL INVESTIGATION
OF THE AUTOOSCILLATIONS
IN THE PARTICLE-IN-CELL METHOD**

M.A. KHARLOVA, I.A. LITVINENKO

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

The results of self-oscillation's numerical research in a Particle-in-Cell method are presented. 1D version of gase-dynamic PIC code was considered. It was the sim

ple stationary test on that the nature of particle's auto-oscillations had been studied by means of frequency and amplitude analysis. The cell size, number of particles in a cell, number of ensembles, an initial arrangement of particles, value of a time step, and a sound of speed value was taken into account. As an investigation result some proposals to depress auto-oscillations had been made.



НОВЫЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧЕ О ПЕРЕНОСЕ РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Е.Ф. ЛЕЛИКОВА, Л.И. РУБИНА,
О.Н. УЛЬЯНОВ, М.А. ЧАЩИН

Институт математики и механики УрО РАН
Екатеринбург, Россия

Авторами на протяжении ряда лет проводятся исследования по численному моделированию процессов взаимодействия радиационного излучения с веществом. Разработаны два различных алгоритма, один из которых основан на сочетании асимптотических представлений и явного решения уравнения переноса при известных функции источника и коэффициенте поглощения (алгоритм МАПИ), другой — на представлении решения в виде интерполяционного многочлена Лагранжа по узлам интерполяции — корням многочлена Чебышева (алгоритм МПЛЧ). Для случая плоского слоя создана достаточно эффективная методика решения уравнения переноса излучения в неподвижных средах, использующая распараллеливание алгоритмов для многопроцессорных вычислительных систем [1].

В докладе представлены результаты развития методики, полученные за период, прошедший со времени VI Забабахинских научных чтений. Основными среди них являются:

- включение в комплекс программ новых программ, которые реализуют алгоритм МПЛЧ для случая неподвижного однородного слоя, заполненного не одним веществом, а смесью нескольких веществ.
- разработка новой параллельной программы для алгоритма МПЛЧ в случае однокомпонентной среды в однородном слое, состоящем из нескольких подслоев, с применением DVM-системы параллельного программирования.

Сравнение расчетов, проведенных по разным алгоритмам, позволяет получать более надежные результаты

моделирования. Переход к новым параллельным технологиям, основанным на использовании DVM-системы, позволяет разрабатывать мобильные программы, легче их модифицировать при изменении физической модели, оценивать эффективность распараллеливания.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 01-07-90210, и программы фундаментальных исследований Президиума РАН.

Ссылки

1. Леликова Е.Ф., Рубина Л.И., Ульянов О.Н., Чашин М.А. Параллельные вычислительные технологии в задаче о переносе радиационного излучения // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. — 2002. — Вып.3. — С.3—13.

NEW PARALLEL ALGORITHMS AND TECHNOLOGIES FOR RADIATION TRANSFER PROBLEM

E.F. LELIKOVA, L.I. RUBINA,
O.N. ULYANOV, M.A. CHASCHIN

Institute of Mathematics and Mechanics of Ural Branch
of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Authors during a number of years carried out researches on numerical modeling processes of interaction of radiation with substance. Two various algorithms are developed. First algorithm is based on a combination of asymptotic representations and explicit solution of radiation transfer equation at known source function and absorption factor (algorithm MAPI). Another algorithm based on representations of the solutions as interpolational Lagrange polynomials on Chebyshev knots of interpolation (algorithm MPLCh). For a case of flat layer, the effective enough technique of solving equations of radiation transfer for immovable media using parallel algorithms for multiprocessor computer systems was created [1].

In the report results of development of the techniques received for the period, past from time VI Zababakhin Scientific Talks are submitted. The basic among them are:

- inclusion in a complex of programs new codes which realize algorithm MPLCh for a case of the motionless homogeneous layer filled a mix of several substances;
- creation of new parallel program for algorithm MPLCh in case of the unicomponent media in the

homogeneous layer consisting of several sublayers, with using DVM–system of parallel programming.

Comparison of the calculations which have been carried out on different algorithms, allows to receive more reliable results of modelling. Transition to the new parallel technologies based on use of DVM–system, allows to develop mobile programs, it is easier to modify them at change of physical model and to estimate efficiency.

The work was supported by Russian fund of fundamental researches (project 01–07–90210), and by Program of fundamental researches of Presidium of Russian Academy of Sciences.

References

1. Lelikova E.F., Rubina L.I., Ulyanov O.N., Chaschin M.A. Parallel computing technologies for problem of radiation emission // VANT. Ser. Mat. Mod. Fiz. Proc. — 2002. — № 3. — P. 3—13.



СУЩЕСТВОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ У ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ САМОГРАВИТИРУЮЩЕГО ГАЗА СО СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ

Н.П. ЧУЕВ

Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

В данной работе приводятся результаты аналитических исследований задач динамики гравитирующего по закону Ньютона газа при условии, что потенциал сил притягивания удовлетворяет уравнению Лапласа. Рассматривается трехмерное истечение газа в вакуум, приводится точное решение начально–краевой задачи для нелинейной интегро–дифференциальной системы с частными производными двух переменных в виде сходящихся степенных рядов. Решение задачи о гладком примыкании к вакууму в трехмерном случае осуществляется с использованием уравнений газовой динамики в форме Лагранжа.

Доказательство существования и единственности решений нелинейных системы уравнений газовой динамики и представления их в виде степенных рядов опирается на классическую теорему С. Ковалевской и теорему С.П. Баутина о решении характеристической задачи Коши для аналитической квазилинейной системы [1].

Данные исследования выполнены при поддержке РФФИ, проект 02–01–01122.

Ссылки

1. Баутин С.П. Математическая теория безударного сильного сжатия идеального газа. — Новосибирск: Наука, 1997. — 160 с.

EXISTENCE OF ANALYTIC SOLUTION OF THE CAUCHY PROBLEM FOR THE SELF–GRAVITATING GAS WITH FREE BOUNDARIES

N.P. CHUYEV

Ural state university of railway transport, Yekaterinburg, Russia

This proceeding gives the results of analytic investigations of the problems of dynamics of the gas engraving according to the Newton’s law, provided the potential of gravitation forces obeys the equation of Laplace. The proceeding considers three–dimensional escape of gas into a vacuum, gives an exact solution of the initial boundary–value problem of the non–linear integro–differential system with partial differentials of two variables in the form of converging power series. The solution of the problem of a gas continuously adjacent to a vacuum in a three–dimensional case is carried out using the equations of gas dynamics in the Lagrangian form.

The proof of the existence and uniqueness of the solution for non–linear systems of gas–dynamic equations and representation of them in the form of power series are based on the classic Kowalewski’s theorem and the Bautin theorem of the solution for the characteristic Cauchy problem for the analytic quasilinear system [1].

The research is supported RFBR, the project # 02–01–01122.

References

1. Bautin S.P. The mathematical theory shockless of strong compression of ideal gas. — Novosibirsk: Science, 1997. — 160 p. (in Russian).



ОБ ОДНОМ АНАЛИТИЧЕСКОМ РЕШЕНИИ, ОПИСЫВАЮЩЕМ ДВИЖЕНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С УЧЕТОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

А.А. ШЕСТАКОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

В последние годы все большее внимание привлекают задачи радиационной газовой динамики (РГД). Сложность этих задач прежде всего определяется необходимостью учета большого количества физических процессов.

В данном докладе рассмотрено аналитическое решение для трехмерного уравнения переноса энергии излучением в приближении лучистой теплопроводности с учетом движения среды. В уравнении движения вклад излучения учитывается через градиент давления излучения, а в уравнение энергии через плотность, поток и давление излучения.

Помимо лучистой теплопроводности, которая в уравнении энергии описывается через поток излучения, пропорциональный градиенту четвертой степени температуры, в данном решении также рассматривается другой вид нелинейной теплопроводности. Это процесс, который учитывает молекулярную или электронную теплопроводность и описывается в уравнении энергии через градиент температуры, умноженный на коэффициент теплопроводности. В некоторых задачах есть еще ионная теплопроводность, но она играет значительно меньшую роль, чем электронная, поэтому в докладе не рассматривается.

Аналитическое решение рассмотрено в системе, состоящей из четырех областей. Первая область - это невозмущенная, неподвижная, сильно разреженная область, через которую проходит излучение, практически не взаимодействуя с веществом. Известно, что при облучении вещества излучением образуется тепловая волна. Излучение падает на границу второй области и начинает ее прогревать, формируя фронт тепловой волны. Вторая область, охваченная тепловой волной — это разреженная и сильно прогретая область. Тепловая волна выпускает впереди себя сильную ударную волну с предельным сжатием. В области, охваченной ударной волной, сосредоточена основная масса, участвующая в разлете вещества назад. По закону сохранения вся энергия должна быть сосредоточена в разлетающейся области. Третья область, между тепловой и ударной волнами, — это область большой плотности и низкой температуры. Четвертая область, перед ударной волной — это невозмущенная, неподвижная, холодная область с постоянной плотностью и нулевой температурой.

Помимо самостоятельного интереса для изучения автомодельных движений эти решения также могут быть применены в качестве тестов. Тестовые задачи можно использовать для отладки одномерных и многомерных численных методик.



МЕТОД ЛОКАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ ГРАНИЦЫ

К.А. ТАЛАЛА, А.Е. МАЙЕР, А.П. ЯЛОВЕЦ

Челябинский государственный университет,
Физический факультет, Челябинск, Россия

Н.Б. ВОЛКОВ

Институт электрофизики УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

В рамках модели потенциального течения несжимаемой жидкости описан метод редукции гидродинамического течения в объеме, занятом одной или двумя жидкостями с различной плотностью, к эволюции свободной или контактной границы. Метод основан на локальном отображении границы в полуплоскость, что позволяет выразить компоненты векторного потенциала на границе через скалярный потенциал. Получены динамические уравнения для свободной и контактной границы в двумерной и трехмерной декартовой геометрии. Описан метод решения полученных уравнений.

Данный метод позволяет достаточно просто и экономично исследовать существенно нелинейные стадии неустойчивости свободных и контактных границ, включая стадии с неоднозначной границей.

Показано, что малое возмущение свободной поверхности приводит за конечное время к формированию и отрыву капли. Малое возмущение контактной границы сред с разной плотностью приводит за конечное время к формированию и последующему отрыву крупномасштабного вихря тяжелой жидкости.

Полученные с помощью метода локальных преобразований результаты качественно и количественно согласуются с экспериментами и расчетами других авторов [1, 2].

Ссылки

1. Алешин А.Н., Лазарева Е.В., Зайцев С.Г. и др. // ДАН СССР. — 1990. — Т. 310. — № 5. — С. 1105.
2. Неуважаев В.Е., Паршуков И.Э. // Математическое моделирование. — 1993. — Т.5. — № 2. — С. 16.

THE LOCAL TRANSFORMATION METHOD FOR THE CALCULATION OF NONLINEAR BOUNDARY DYNAMICS

K.A. TALALA, A.E. MAYER, A.P. YALOVETS

Chelyabinsk State University, Physical Faculty, Theoretical Physics Department, Chelyabinsk, Russia

N.B. VOLKOV

Institute of Electrophysics, Russian Academy of Sciences, Ural Branch, Yekaterinburg, Russia

In the frame of incompressible fluid potential flows a new method of reduction of hydrodynamic flow in bulk, filled by two fluids with different densities, to the evolution of contact boundary is proposed and described. This method base on the local transformation of fluid domain with complicated boundary into the half-plane, the transformation let one to state the components of vector potential on boundary through the scalar potential distribution. The dynamical equations for free boundary and contact boundary in two-dimensional and three-dimensional Cartesian coordinates are obtained. The method of obtained equations solution is described.

The described method let one to investigate simply and effectively the substantially nonlinear stages of free surface and contact boundary instabilities, including the stages with ambiguous boundary.

It is showed, that a little perturbation of free surface results in formation and separation of drop during the finite time. A little perturbation of contact boundary of fluids with different densities results in formation and separation of a large-scale eddy of heavy fluid during the finite time.

The results, obtained with the use of local transformation method, are in a qualitative and quantitative accordance with experimental data and with data of other calculations [1, 2].

References

1. Aleshin A.N., Lazareva E.V., Zaicev S.G. et. al. // DAN SSSR. — 1990. — V. 310. — № 5. — P. 1105 (in Russian).
2. Neuvazhaev V.E., Parshukov I.E. // Mathematical Simulation. — 1993. — V. 5. — №. 2. — P. 16.



ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗРЫВОВ СКОРОСТЕЙ В ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТАХ УДАРНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

А.А. БУРЕНИН, П.В. ЗИНОВЬЕВ, В.Е. РАГОЗИНА

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия

Проблема выделения разрывов скоростей в процессах численных расчетов обсуждается в газовой динамике. Специально включаемые в алгоритмы расчетов для такой цели вычислительные процедуры разработаны. Однако перенести их в динамику деформируемых сред не удается из-за присутствия вместе с деформациями объема еще и процесса распространения деформаций изменения формы. Связанность данных двух процессов распространения по деформируемому телу граничных ударных возмущений не позволяет алгоритмически реализовать ни метод характеристик, ни способ распада разрывов. Поэтому для расчетов ударного деформирования главным образом используются разные варианты схем сквозного счета. И все же ситуации, когда выделение разрывов оказывается необходимым, присутствуют и в динамике деформируемых сред в условиях существенной нестационарности процессов (отражение и взаимодействие волновых фронтов). В настоящем сообщении рассмотрена возможность использования для этой цели прифронтовых разложений решений путем включения их в специально построенную неявную конечно-разностную схему расчетов. Такие разложения решений можно построить исходя из метода возмущений (внутреннее разложение сингулярной задачи), либо опираясь на лучевой метод. В любом случае данное разложение, пригодное вблизи фронта, будет включать в себя неизвестные постоянные, которые и оказываются искомыми переменными конечно-разностной схемы расчетов. При этом после их вычисления положения поверхности разрывов на каждом шаге указывается с точностью вычислений. В сообщении будут продемонстрированы примеры расчетов конкретных краевых задач нелинейной динамической теории упругости

ABOUT ONE OPPORTUNITY OF ALLOCATION OF SURFACES OF BREAKS OF VELOCITY IN NUMERICAL CALCULATIONS OF SHOCK DEFORMATION

A.A. BURENIN, P.V. ZINOVYEV, V.E. RAGOZINA

Institute of automation and control processes Far Eastern
Branch of the Russian Academy of Science,
Vladivostok, Russia

The problem of allocation of breaks of velocity in processes of numerical calculations is discussed in gas dynamics. Specially included in algorithms of calculations for such purpose computing procedures are developed. However to transfer them to dynamics of deformable environments it is not possible because of presence together with deformations of volume also process of distribution of deformations of change of the form. Coherence of the given two processes of distribution on a deformable body of boundary shock indignations does not allow to realize algorithmically neither a method of characteristics, nor a way of disintegration of breaks. Therefore for calculations of shock deformation different variants of schemes of the through account are mainly used. And still situations when allocation of breaks appears necessary, are present and at dynamics of deformable environments in conditions essential no stationary processes (reflection and interaction of wave fronts). In the present message the opportunity of use for this purpose of front decomposition of decisions is considered by their inclusion in specially constructed no obvious finite-different scheme of calculation. Such decomposition of decisions can be constructed proceeding from a method of indignations (internal decomposition singular problems), or basing on a radial method. In any case the given decomposition, suitable near to front, will include unknown constants which appear required variables finite-different scheme of calculation. At this after their calculation the position of a surface of breaks on each step it is underlined with accuracy of calculations. In the message examples of calculations of concrete boundary problems of the nonlinear dynamic theory of elasticity will be shown.



ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СРЕД В КОЛЬЦЕВЫХ СОПЛАХ

А.Л. КАРТАШЕВ, М.А. КАРТАШЕВА

Челябинский государственный университет,
Челябинск, Россия

В современных ракетных двигателях на твердом топливе нашли широкое применение металлизированные ракетные топлива. В этом случае течение продуктов сгорания в сопле ракетного двигателя представляет собой течение многокомпонентной среды. Различие в траекториях движения газа и частиц конденсированной фазы, связанное с инерционностью частиц, вызывает их осаждение на поверхности сопла, приводящее к потерям удельного импульса тяги вследствие передачи (частично или полностью) импульса частиц стенкам сопла (в дальнейшем «импульса осаждения частиц»).

Течение многокомпонентной среды в кольцевом сопле приводит к осаждению частиц конденсированной фазы на стенки сопла: внешнюю обечайку и центральное тело. Определение потерь тяги вследствие осаждения частиц представляет собой одну из основных задач исследования газодинамики многокомпонентных течений в кольцевых соплах.

Проведено математическое моделирование течения многокомпонентных сред в кольцевых соплах. Получены значения величины импульса осаждения частиц конденсированной фазы на центральное тело и внешнюю обечайку кольцевого сопла. Исследованы траектории движения частиц полидисперсной конденсированной фазы в условиях различных геометрических конфигураций кольцевых сопел. Форма траекторий частиц конденсированной фазы в многокомпонентном потоке существенно зависит от размера частиц. Предельные траектории частиц, определяющие место их выпадения на стенки сопла, таковы, что каждая фракция имеет свою область осаждения, при этом в дозвуковой части сопла сначала осаждаются более крупные фракции, затем мелкие фракции, а в сверхзвуковой части сначала мелкие, затем более крупные.

Частицы конденсированной фазы оказывают эрозийное воздействие на конструкционные материалы сопла, минимальный размер фракции, начинающей оказывать заметное разрушающее воздействие составляет $\sim 0,5\div 1$ мкм. Одним из возможных способов снижения разрушающего воздействия конденсированной фазы на поверхности сопла является управление движением конденсированной фазы. В качестве способа управления движением конденсированной фазы рассмотрена закрутка многофазного потока, истекающего из кольцевого сопла внешнего расширения. Проведено математическое моделирование движения многофазного потока, закрученного относительно оси сопла. По результатам исследований предложен способ улучшения тягово-импульсных характеристик кольцевых сопел, позволяющий значительно снизить потери импульса из-за осаждения частиц и расширить области применения кольцевых сопел, в которых в качестве рабочего тела исполь-

зуются многокомпонентные продукты сгорания ракетного топлива.

RESEARCH OF FLOW OF MULTICOMPONENT MEDIUMS IN AN ANNULAR NOZZLES

A.L. KARTASHEV, M.A. KARTASHEVA

Chelyabinsk state university, Chelyabinsk, Russia

In modern rocket engines on solid propellant have found broad application of metallized rocket propellants. In this case flow of combustion products in a rocket engine nozzle represents flow of multicomponent medium. Distinction in trajectories of motion of gas and particles of a condensed phase, bound with a sluggishness of particles, calls their precipitation on a surface of a nozzle, resulting in to losses of specific impulse of thrust owing to transfer (partially or completely) impulse of particles to walls of a nozzle (hereinafter «of an impulse of a deposition of particles»).

The flow of multicomponent medium in an annular nozzle results in a deposition of particles of a condensed phase on walls of a nozzle: external cover and centerbody. The definition of losses of thrust owing to a deposition of particles represents one of primal problems of research of a gasdynamics of multicomponent flows in an annular nozzles.

The mathematical modelling of flow of multicomponent mediums in an annular nozzles is conducted. The values of quantity of an impulse of a precipitation of particles of a condensed phase on a centerbody and outer cowl of annular nozzle are obtained. The trajectories of a motion of particles of a polydisperse condensed phase in requirements of different geometrical configurations of annular nozzles are explored. The shape of trajectories of particles of a condensed phase in a multicomponent stream essentially depends on the size of particles. The boundary trajectories of particles, defining place of their dropout on walls of a nozzle, are those, that each fraction has the field of a precipitation, thus in a subsonic part of a nozzle at first larger fractions, then small-sized fractions, and in a supersonic part at first small-sized, then larger are precipitate.

The particles of a condensed phase render erosive action on constructional material of a nozzle, the minimum size of a fraction initial to render noticeable destructive effect makes $\sim 0.5 \div 1$ micron. One of possible method of a decrease of destructive effect of a condensed phase on a surface of a nozzle is the traffic control of a condensed phase. As an method of a traffic control of a condensed phase the swirl of a polyphase flow elapsing from an annular nozzle of external expansion is

considered. The mathematical modelling of a motion of a polyphase flow, swirling relatively an axis of a nozzle is conducted. By results of researches the method of improving of thrust-pulse characteristic of annular nozzles permitting considerably to reduce losses of an impulse because of a precipitation of particles and to expand areas of application of annular nozzles, in which one as a propulsive mass the multicomponent combustion products of a propellant will be used, is proposed.



О ВЫЧИСЛЕНИИ ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОВ

В.Н. ДЕМИДОВ

Институт физики прочности и материаловедения
СО РАН, Россия

В.П. НЕМЫТОВ

Томский государственный университет, Томск, Россия

Рассматривается задача об определении функциональной зависимости времени релаксации касательных напряжений от параметров состояния (напряжений, деформаций, температуры) деформируемой среды. Время релаксации представляется определенной интерполяционной формулой, содержащей несколько свободных параметров, подлежащих определению на основе экспериментальных данных. В качестве последних используются (известные из литературы) диаграммы деформирования, связывающие напряжения и деформации в условиях одноосного растяжения-сжатия, и полученные при различных скоростях нагружения и различных температурах. Экспериментальная информация интерпретируется в рамках модели максвелловской вязкоупругой среды (Годунов С.К., Роменский И.Е), а степень близости теоретических (расчетных) и экспериментальных данных оценивается, как обычно, функционалом среднеквадратичного отклонения. В итоге задача сводится к нелинейной проблеме наименьших квадратов. Однако, в отличие от традиционного подхода, особенность рассматриваемой задачи состоит в том, что функционал среднеквадратичного отклонения задан неявно, и минимизируется на множестве функций, являющихся решением некоторой системы дифференциальных уравнений. Подобная постановка задачи воз

никает вследствие того, что время релаксации при динамических испытаниях материалов непосредственно не фиксируется. Измерению и последующему анализу доступны лишь косвенные проявления релаксационных явлений, в частности, используемый в данной работе макроскопический эффект, состоящий в отличии диаграмм деформирования, соответствующих различным скоростям нагружения. Расчетная диаграмма деформирования получается в результате численного интегрирования одномерных уравнений вязкоупругой среды. Время релаксации входит в коэффициенты этих уравнений.

Поиск минимума функционала среднеквадратичного отклонения осуществляется с использованием метода Нелдера–Мида (метода «деформируемого многогранника»). При этом на каждом шаге итерационного процесса сначала решается задача (или несколько задач — в зависимости от количества используемых экспериментальных кривых) о деформировании однородного стержня, моделирующая соответствующий эксперимент. Это позволяет построить расчетную кривую деформирования и вычислить значение функционала среднеквадратичного отклонения. Затем варьируются свободные параметры, входящие в интерполяционную формулу времени релаксации, и процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнут критерий сходимости. Глобальность найденного экстремума контролируется выбором различных стартовых точек и изменением размеров начального многогранника.

Рассмотрены различные интерполяционные формулы для времени релаксации. Полученные результаты позволяют оценить работоспособность и гибкость той или иной формулы при описании соответствующего набора экспериментальных результатов.

ON CALCULATION OF RELAXATION TIME OF TANGENT STRESSES USING THE RESULTS OF DYNAMIC TESTING OF METALS

V.N. DEMIDOV

Institute of Strength Physics and Material Science
SB RAS, Russia

V.P. NEMYTOV

Tomsk State University, Tomsk, Russia

The problem on the determination of functional dependence of relaxation time of tangent stresses on state parameters (stresses, strains and temperature) of deformable medium is examined. The relaxation time is presented as certain interpolation formula, containing several free parameters, which could be determined on the base of experimental data. The diagrams of deformation known from literature, connecting the stresses and strains under condition of one-axis tension — compression and obtained for various loading rates and temperatures are used as the latter. Experimental information is interpreted in term of Maxwell model of viscoelastic medium (Godunov S.K., Romenskii I.E.), and proximity degree of theoretical (numerical) and experimental data is estimated as usual with help of the functional mean-square deviation. In the upshot the problem is reduced to the nonlinear problem of least-squares. Besides, unlike the traditional approach, the feature of the problem under study consists in the following. The functional of mean-square deviation is given implicitly and minimized among multitude of the functions, which are the solution of some differential equation system. Similar problem formulation appears because the relaxation time is not fixated immediately during dynamic testing. Only the indirect manifestations of the relaxation phenomena are accessible for external observation and following analysis, particularly macro effect used in this work: the distinction of deformation diagrams for various loading rates. The calculation deformation diagram is result of numerical integration of one-dimensional equations of viscoelastic medium. The relaxation time enter into the coefficients of this equations.

The searching of the minimum of the mean-square deviation is carried out using the method of Nelder–Mid (method of «deformable polyhedron»). In this connection on each step of the iteration process, firstly one problem is solved (or several problems depending on quantity of the used experimental curves) on deformation of uniform rood, modeling corresponding experiment. That allows constructing the computation curve and calculating the value of functional of the mean-square deviation. Than the free parameters of interpolation formula for relaxation time are varied, and the process is repeated till convergence criterion reaches. The globality of found extreme is controlled by the choice of various start points and change of the size of initial polyhedron.

The different interpolation formulae for the relaxation time are viewed. The obtained results allow estimating the efficiency and the flexibility of that or another formula when the description of corresponding set of the experimental data is realized.



МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В КОМПЛЕКСЕ МАХ-3 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМЕШАННЫХ ЯЧЕЕК И МАРКЕРОВ

Н.Н. АНУЧИНА, В.И. ВОЛКОВ, В.А. ГОРДЕЙЧУК,
Н.С. ЕСЬКОВ, О.М. КОЗЫРЕВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

В работе дано краткое описание реализованного в комплексе МАХ-3 [1] метода представления контактной границы с помощью нерегулярной треугольной сетки маркеров.

Приводятся постановка и результаты сравнительных тестовых 2D и 3D расчетов для двух методов: метода концентраций и метода маркеров.

Алгоритмы метода маркеров определяют положение контактных поверхностей на эйлеровой сетки и влияют на расчет конвективных потоков.

Результаты расчетов показали, что предлагаемый метод маркеров позволяет более точно передавать положение контактной границы и дает меньшую погрешность в распределении доли объемов веществ.

Ссылки

1. Anuchina N.N., Gordeichuck V.A., Es'kov N.S., Ilyutina O.S., Kozyrev O.M. and Volkov V.I., Three-Dimensional Numerical Simulation of Rayleigh-Taylor Instability by МАХ-3 Code // In Proc. of 6th International Workshop on The Physics of Compressible Turbulent Mixing, Institut Universitaire des Systemes Thermiques Industriels, Marseille, 18—21 June 1997, France. — P. 24—28.

SIMULATION BY THE МАХ-3 CODE OF THE INTERFACES USING AN MIXED CELLS AND MARKERS

N.N. ANUCHINA, N.S. ES'KOV, V.A. GORDEICHUCK,
O.S. ILYUTINA, O.M. KOZYREV, V.I. VOLKOV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

The paper presents a 3D method of describing interfaces with unstructured mesh of markers, which is implemented in the МАХ-3 code [1].

Set-up and computed data of 2D and 3D test problems are presented to compare two methods: the method of material mixture concentrations and the markers method.

Marker-based algorithms control the interface location in time on an Eulerian mesh and influence on calculation of convective fluids flows.

The numerical results show, that the proposed markers method allows the robust calculation of the interface location and gives less error in volume-fraction distribution.

References

1. Anuchina N.N., Gordeichuck V.A., Es'kov N.S., Ilyutina O.S., Kozyrev O.M. and Volkov V.I. Three-Dimensional Numerical Simulation of Rayleigh-Taylor Instability by МАХ-3 Code. In Proc. of 6th International Workshop on The Physics of Compressible Turbulent Mixing, Institut Universitaire des Systemes Thermiques Industriels, Marseille, 18—21 June 1997, France. — P. 24—28.



МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ СО СТОХАСТИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ

В.Н. СНЫТНИКОВ, В.А. ВШИВКОВ, С.А. НИКИТИН

Институт катализа им. Г.К. Борескова;
Институт вычислительных технологий СО РАН;
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН,
Новосибирск, Россия

На примере задачи о развитии физической коллективной неустойчивости в галактических или околозвездных дисках с самосогласованной гравитационной динамикой многих тел рассмотрен новый метод выделения стохастической и детерминированной подсистем из всего множества частиц.

Физическая неустойчивость изучена путем численного моделирования по созданным нами 3D кодам с решением нестационарного уравнения Власова — Лиувилля для частиц и уравнения Пуассона для самосогласованного потенциала с определением сил, действующих на частицы. Особенность созданного кода состоит в том, что он предназначен для изучения развития физических неустойчивостей с их выходом на нелинейные стадии. В нем преодолена проблема вычис-

лительной физики, связанная с одновременным выполнением законов сохранения энергии, импульса и углового момента в методе частиц, число которых достигает в расчетах 10^9 . В коде обеспечены аппроксимация исходных уравнений и сходимость численного решения при отсутствии устойчивости в линейном приближении в изучаемой области значений параметров.

Вычислительные эксперименты позволили выявить детерминированные устойчивые траектории среди неустойчивых расходящихся траекторий возникающего случайного движения частиц в фазовом пространстве вследствие стохастической природы моделируемых коллективных явлений в гравитационной физике. Используемый подход переносится для движения частиц в электромагнитных полях.

На каждый момент времени пространственная локализация области развития неустойчивости связана с частицами, попавших в сформировавшуюся область стохастического движения в фазовом пространстве. Исключив из рассмотрения области фазового пространства с детерминированным движением частиц, был вычислен обобщенный экспоненциальный показатель неустойчивости. В 3D расчетах были выделены центры зарождения и расширяющиеся границы областей динамического хаоса.

particles in calculations may be 10^9 and more that it's less or compare to number of stars 10^{10} — 10^{11} in galactics. This code provides approximation of initial equations and convergence of numerical solution in the absence of stability in linear approximation.

Proposed method for separation of stochastic and regular motion of particles has been based on computer experiments with the identical initial conditions and controllable disturbances of rounding errors. The rounding errors were accumulated slowly for regular trajectories. Computational experiments allowed detection of regular stable trajectories among the unstable diverging trajectories of the particles motion in the phase space caused by the stochastic nature of simulated collective phenomena. This approach is applied also to the particles motion in electromagnetic fields.

At each instant of time, space location of the area of instability is related to the particles caught in the stochastic motion region being formed in the phase space. Excluding from consideration the areas of phase space with regular motion, we calculated a global exponential parameter of instability. 3D calculations allowed separating the sites of generation and the extending boundaries of the dynamic chaos regions.



COMPUTER SIMULATION OF GLOBAL INSTABILITY WITH STOCHASTIC MOTION OF PARTICLES

V.N. SNYTNIKOV, S.A. NIKITIN, V.A. VSHIVKOV

Boreskov's Institute of Catalysis;
Institute of Computational Technology;
Budker's Institute of Nuclear Physics;
Novosibirsk, Russia

The problem of development of collective instability in galactic or circumstellar disks with the self-consistent gravitational dynamics of many solids was considered as an example of using a new method for separation of stochastic and regular subsystems from the entire set of particles.

Collective instability is studied via numerical modeling using the 3D codes we designed, with solving the nonstationary Vlasov–Liouville's equation for particles and the Poisson's equation for self-consistent potential, and detecting the forces that affect the particles. A characteristic property of the code we designed is that it is intended for studying the development of physical instabilities approaching the nonlinear stages. This code overcomes the problem of computational physics related to infraction of conservation laws of energy, impulse and angular momentum in the PIC method. The number of

ЧИСЛЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ РАСЧЕТА УДАРНО–ВОЛНОВЫХ И ДЕТОНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗОВЗВЕСЯХ РЕАГИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ

Т.А. ХМЕЛЬ

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН,
Новосибирск, Россия



О СВЕРХГЛУБОКОМ ПРОНИКАНИИ ЧАСТИЦЫ В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКУЮ СРЕДУ

В.Л. КОЛМОГОРОВ

Институт машиностроения УРО РАН, Томск, Россия



ЗАЩИТА ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ

А.В. ГЕРАСИМОВ

НИИ прикладной математики и механики,
Владивосток, Россия



УДАРНО-ВОЛНОВЫЕ ПОЛЯ ПРИ ВЗРЫВЕ ВБЛИЗИ КОНТАКТНОЙ ГРАНИЦЫ

С.Э. ДОМБРОВСКИЙ

Научно-исследовательский центр безопасности
технических систем МО РФ, Санкт-Петербург, Россия

В докладе рассматриваются результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса детонации, а также формирования и распространения ударно-волнового возмущения в ближней зоне взрыва конденсированного ВВ, произведенного вблизи свободной поверхности жидкости. Разрабатывается модель ближней зоны взрыва, на базе которой рассчитываются поля давлений в воде и в воздухе при взрыве двух зарядов вблизи границы раздела сред. Полученные результаты сравниваются с данными физического опыта.

Модель взрыва базируется на уравнениях движения идеальной сжимаемой жидкости и известных уравнениях состояния продуктов взрыва, воды и воздуха. Детонация рассматривается в приближении стационарной модели.

Для описания течения вводятся цилиндрические координаты (r, z) , продольная ось z которых совпадает с осью симметрии течения, а начало координат находится в центре заряда.

В качестве начальных условий принимаются параметры невозмущенных взрывчатого вещества или продуктов детонации. За пределами области энерговыделения задаются параметры невозмущенной среды. Краевые условия реализуются посредством экстраполяции параметров течения за пределы расчетной области и соответствуют: на оси симметрии — условию на твердой стенке, а на открытой границе — условию свободного распространения среды.

Анализ результатов вычислительных экспериментов показывает, что волновая картина в воде при подводном взрыве определяется нелинейной суперпозицией эпицентральной волны и собственно преломленной. Эпицентральная волна превалирует в эпи-

центральной области и обусловлена давлением воздушной ударной волны и высокоскоростным движением продуктов детонации и их торможением на свободной границе жидкости.

Волновые картины течения при подводном взрыве конденсированного ВВ в условиях проведения опыта в различные моменты времени являются сложной суперпозицией прямой волны, а также волн, отраженных от границ водоема и газового пузыря продуктов взрыва.

На основании сопоставления результатов вычислительных экспериментов с данными опыта показывается, что, разработанный метод, позволяет с достаточной точностью оценивать параметры ударно-волновых полей в ближней зоне взрыва, произведенного вблизи свободной поверхности жидкости.

SHOCK WAVE FIELDS AT EXPLOSION NEAR BY CONTACT BORDER

S.E. DOMBROVSKY

Russian Defence Scientific Research Centre for the Safety
of Technical Systems, Saint Petersburg, Russia

Theoretical and experimental investigation results of a detonation and also formation and propagation shock wave disturbance in a near zone of TNT explosion, which made near by a free surface of a liquid are considered in this report. The model of a near zone of explosion is developed. Fields of pressure in water and in air at explosion of two charges near by contact border of mediums are calculated on the basis of this model. The received results are compared with the data of physical experiment.

The model of explosion is based on the equations for ideal compressible flows and the known equations of state of explosion products, water and air. The detonation is considered in approximation of stationary model.

For the description of flow the cylindrical coordinates (r, z) are entered. A longitudinal axis z coincides with an axis of flow symmetry, and the origin of coordinates is in the centre of a charge.

As initial conditions the parameters of quiet explosive or detonation products are accepted. The parameters of quiet (non disturbed) environment are set for outside the explosion area. Boundary conditions are set by means of extrapolation of flow parameters beyond the limits of computation domain and correspond: on an axis of symmetry - to condition on solid wall, and on open border — to condition of free environment distribution.

The analysis of results of numerical experiments shows that the wave picture in water at surface explosion is defined by nonlinear superposition of epicentrum wave and actually refracted one. First of the named waves prevails in epicenter area and is caused by pressure of an air shock wave and high-speed detonation products and their braking upon free surface of liquid.

Wave pictures of flows at underwater explosion of condensed TNT in conditions of realization of experiment at the various moments of time are superposition of a direct wave and also the waves reflected from borders of a reservoir and a gas bubble of explosion products.

It is show that the basis of comparison of numerical experiments results to the data of experiment the developed method with sufficient accuracy allows to estimate the parameters of shock wave fields in a near zone of the explosion realized near a free surface of a liquid.



МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПОЛЯ ДАВЛЕНИЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ПОДВОДНОГО ВЗРЫВА

С.Э. ДОМБРОВСКИЙ, С.А. ПАЛЬМИН

Научно-исследовательский центр безопасности
технических систем МО РФ, Санкт-Петербург, Россия

В докладе рассматриваются результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса детонации, а также формирования и распространения подводной ударной волны в ближней зоне подводного взрыва ВВ. Разрабатывается модель подводного взрыва, на базе которой рассчитываются поля давлений в свободной воде при взрыве системы, состоящей из двух цилиндрических зарядов ВВ, а также цилиндрического заряда, такого же радиуса, но удвоенной длины, по сравнению с одиночным зарядом. Полученные результаты сравниваются между собой. Сопоставление производится в пространственно-временной области, которая характеризуется определенной величиной давления во фронте ударной волны.

Движение продуктов взрыва и воды описывается уравнениями сохранения массы, импульса и энергии. Процесс детонации рассматривается в приближении стационарной модели. В качестве уравнения состояния для продуктов детонации принимается уравнение состояния Куропатенко. Состояние окружающей среды при высоких уровнях энергии описывается табличной формой интерполяционной термодинамической модели для воды в области однофазных и двухфазных состояний.

В рассмотрение вводятся цилиндрические координаты (r, z) , так что продольная ось z системы координат совпадает с осью симметрии течения. За положительное направление оси z принимается направление инициирования цилиндрического заряда. Расстояния отсчитываются от точки, расположенной посередине между шаровыми зарядами, или от центра цилиндрического заряда.

Система уравнений сохранения интегрируется численно при помощи метода, относящегося к классу лагранжево-эйлеровых методов сквозного счета, в котором развиваются основные идеи модифицированного метода крупных частиц.

Обсуждаются результаты вычислительного эксперимента, в котором рассматривалось инициирование детонации цилиндрического заряда различными способами: одноточечным (из середины торца) и поверхностно-кольцевым. Анализ результатов показывает, что области, с характерным пиковым давлением, практически совпадают при обоих способах инициирования.

Сопоставляются результаты вычислительных экспериментов, в которых рассматривался взрыв системы двух шаровых зарядов с различными временами задержки между первым и вторым подрывами. Анализ показывает что, наблюдается усиление давления во фронте ударной волны, распространяющейся в перпендикулярном направлении относительно оси, проходящей через центры зарядов, при одновременном взрыве. При увеличении времени задержки ударно-волновое поле трансформируется так, что в пространстве формируется конус с основанием, в виде круговой области, в которой давление достигает характерной величины.

Таким образом, на основании результатов вычислительных экспериментов можно заключить, что имеется принципиальная возможность формирования гидродинамического поля направленного действия. Разработанная модель, в целом, адекватно описывает динамику движения продуктов детонации и воды в ближней зоне подводного взрыва

CALCULATION METHODS OF A PRESSURE FIELD IN A NEAR ZONE OF UNDERWATER EXPLOSION

S.E. DOMBROVSKY, S.A. PALMIN

Russian Defence Scientific Research Centre for the Safety
of Technical Systems, Saint Petersburg, Russia

In the report theoretical and experimental investigation results of detonation and also formation and propagation of an underwater shock wave in a near zone of underwater TNT explosion are considered. The model of underwater explosion is developed. On it's basis the fields of pressure in clear water at explosion of the system consisting of two cylindrical charges TNT, and also cylindrical charge, the same radius, but the double length in comparison with a single charge are calculated. The received results are compared among themselves. Comparison is made in existential area, which is characterized by the certain value of pressure in the shock wave front.

The explosion products and water motion is described by the equations of mass, momentum and energy conservation. Process of a detonation is considered in approximation of stationary model. As the equation of state for detonation products the equation of state Kuropatenko is accepted. The condition of an environment at high levels of energy is described by the tabulated form thermodynamic interpolation model for water at homogeneous and biphasic conditions.

Cylindrical coordinates (r, z) so the longitudinal axis z coincides with an axis of symmetry of flow are entered. For a positive direction of an axis z the direction of initiation of a cylindrical charge is accepted. Distances are counted from a point located in the middle between charges, or from the centre of a cylindrical charge.

The system of the equations of conservation is integrated numerically by means of a method concerning a class of Lagrangian–Eulerian methods in which the basic ideas of the modified method of large particles are developed.

There are discussed the results of numerical experiment in which initiation of a cylindrical charge detonation by various ways was considered: one–dot (from middle of the butt) and superficial — circular. The analyses of results shows that area with characteristic peak pressure practically coincide at both ways of initiation.

Results of numerical experiments in which explosion of two charges system with various delay time between the first and second blast are compared. The analysis shows that amplification of pressure in front of the shock wave extending in a perpendicular direction concerning an axis passing through the centers of charges is observed at simultaneous explosion. When increasing time of a delay the shock wave field is transformed so that in space the cone with the basis, as circular area in which pressure achieves characteristic amplitude is formed.

Thus it is possible to conclude that there is a principle opportunity of formation of a hydrodynamical field of the directed action. The developed model as a whole adequately describes dynamics of products of a detonation and water in a near zone of underwater explosion



НАГРЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ТОЧЕНИИ В НЕСКОЛЬКО ПРОХОДОВ

Н.В. ПАШАЦКИЙ, С.Н. КОНОНОВ, А.В. ПРОХОРОВ

Филиал Южно–Уральского государственного университета, Озерск, Россия

При обточке вала происходит его нагрев в результате выделения тепла в зоне резания. Для получения изделия с заданными параметрами должна учитываться температура нагрева вала.

Повышение температуры заготовки при точении зависит от геометрических размеров вала, теплофизических свойств материала заготовки, условий охлаждения, а также от режима резания.

Вследствие высокой частоты вращения вала теплота, выделяющаяся в зоне резания, быстро распределяется по окружности цилиндра, и источник тепла можно считать кольцевым. Предполагается, что плотность теплового потока источника вдоль оси вала распределяется по нормальному закону. Также полагаем, что кольцевой источник тепла неподвижен, а заготовка (бесконечно длинный цилиндр) перемещается в осевом направлении со скоростью v , соответствующей подаче инструмента s .

Цилиндрическая система координат связана с источником тепла и также неподвижна. Обозначения, принятые далее в тексте: r, x — цилиндрические координаты, r_0 — эффективный размер источника, R — радиус поверхности цилиндра, α — коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности вала в окружающую среду, ℓ — длина обрабатываемого участка вала.

Дифференциальное уравнение энергии для материала движущегося бесконечного цилиндра имеет вид:

$$v \frac{\partial T}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + \varphi, \quad (1)$$

где T — прирост температуры (далее просто температура) в данной точке цилиндра, a — коэффициент теплопроводности материала, φ — функция внутренних источников тепла.

Функция φ моделирует действие внешнего кольцевого источника тепла и представляется в следующем виде:

$$\varphi = \frac{q_{V0}}{c\rho} \exp\left[-k_1 \frac{R-r}{R} - \left(\frac{x}{r_0}\right)^2\right]. \quad (2)$$

В этом выражении: q_{V0} — плотность тепловыделения на окружности при $r=R$ и $x=0$; c , ρ — теплоемкость и плотность материала заготовки; k_1 — параметр, позволяющий сместить внутренние источники тепла к наружной поверхности цилиндрического тела.

Дифференциальное уравнение (1) дополняется нулевым граничным условием при $x = \pm\infty$ граничным условием третьего рода на поверхности.

Решение уравнения (1) дает:

$$T(x, r) = A \sum_{m=0}^{\infty} B_m J_0\left(\mu_m \frac{r}{R}\right) \times \\ \times \left[\exp\left(\frac{b_m}{2} x + \left(\frac{b_m r_0}{4}\right)^2\right) \left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{r_0} + \frac{b_m r_0}{4}\right)\right) \right] + \\ + \exp\left[\frac{C_m}{2} x + \left(\frac{C_m r_0}{4}\right)^2\right] \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x}{r_0} + \frac{C_m r_0}{4}\right)\right). \quad (3)$$

Формула (3) используется для расчета температурного поля в цилиндрической детали при тчении в один проход.

Если участок вала длиной ℓ обрабатывается резцом в несколько проходов, то для определения температуры применяется выражение:

$$T(n, x, r) = \sum_{k=1}^n T(x - (k-1)\ell, r) \quad (4)$$

где n — число проходов, а $T(x - (k-1)\ell, r)$ то же, что и (3) при замене x на $x - (k-1)\ell$.

Графические построения, проведенные по (4) показали, что максимальная температура цилиндра под резцом растет для каждого следующего прохода.

HEATING OF CYLINDRICAL PREPARATION AT WHETTING IN SOME PASSES

N.V. PASHACKY, S.N. KONONOV, A.V. PROKHOROV

Branch of the Southern Ural State University, Ozersk, Russia

At turning a shaft there is its heating as a result of heat release in a cutting area. In order to take of a product

with the set parameters the temperature of heating of a shaft should be taken into account.

Heating of billet at turning depends on the geometrical sizes of a shaft, thermophysical properties of a material of billet, conditions of cooling, and also from a mode of processing.

In work analytic form for temperature fields of the work piece is found, taking into account of the parameters above. The formula is found for two cases — for turning in one and several cut.

Under resulting formulas graphic constructions are carried out. For example, they have shown that the maximal temperature of the shaft under a cutter grows for each following cut.



DISCUSSION OF VLM EQUATION OF STATES

HE BI

Institute of Fluids Physics, CAEP, China



ADAPTIVE SIMULATION FOR MULTI-FLUID INTERFACE INSTABILITIES

LI PING

Institute of Fluids Physics, CAEP, China