

## Резюме

Приходько А.А., Серко О.П.

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОГО КОНВЕКТИВНОГО ДВИЖЕНИЯ В ДВУМЕРНЫХ ЗАМКНУТЫХ ОБЛАСТЯХ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Для исследования развития внутренних свободных конвективных течений применены уравнения энергии и уравнения Навье-Стокса в приближении Буссинеска. При решении исходных уравнений в физических переменных применен метод искусственной сжимаемости. Дискретизация системы уравнений выполнена методом контрольных объемов.

**Ключевые слова:** свободная конвекция, уравнения Буссинеска, численные методы.

Prihodko A.A., Serko O.P.

### NUMERICAL MODELING OF FREE CONVECTION MOTION IN TWO-DIMENSIONAL CLOSED REGION OF ARBITRARY SHAPE

It was applied the equation of energy and Navier-Stokes equations in Boussinesq approximation to study the development of internal free convection flows. The method of artificial compressibility was applied for solution of the primary equations in physical variables. Discretization of the system of equations is executed by control volume method.

**Keywords:** free convection, Boussinesq equation, numerical methods.

Пилипенко А.А.

### О ЗНАЧЕНИЯХ КРИТИЧЕСКОГО ЧИСЛА МАХА НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА ПРИ ТРАНСЗВУКОВОМ ОБТЕКАНИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ

Проведено параметрическое исследование влияния чисел Маха невозмущенного потока, углов атаки и формы аэродинамического профиля на возникновение локальных сверхзвуковых зон в дозвуковых потоках. Расчеты выполнены на основе численного решения нестационарных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу. Для профиля NACA 0012 получена зависимость для критических чисел Маха невозмущенного потока от углов атаки. Анализируется влияние формы профиля и числа Рейнольдса на значение критического числа Маха невозмущенного потока при нулевом угле атаки.

**Ключевые слова:** трансзвуковое обтекание профиля, критическое число Маха, численное моделирование, уравнение Навье-Стокса.

Pilipenko A.A.

### ABOUT CRITICAL MACH NUMBERS OF INCIDENT FLOW AT TRANSONIC FLOW OF AEROFLOW

A parametric study of the influence of Mach numbers of unperturbed flow, angles of attack and airfoil shape to the emergence of local supersonic zones in subsonic flows was carried out. Calculations are made based on the numerical solution of nonstationary Navier-Stokes equations, averaged by Reynolds. For the NACA 0012 profile the dependence of the critical Mach numbers of the unperturbed flow from the angles of attack was obtained. The influence of profile shape and the Reynolds number on the value of the critical Mach number of the unperturbed flow at zero angle of attack was analyzed.

**Keywords:** transonic profile flow, critical Mach numbers, numerical modeling, Navier-Stokes equation.

Редчиц Д. А.  
АЭРОДИНАМИКА РОТОРА САВОНИУСА

Представлены результаты трех типов вычислительных экспериментов по изучению аэродинамических и энергетических характеристик двух- и трехлопастного ротора Савониуса. Для численного моделирования аэродинамики ротора применяются осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса. При моделировании турбулентности используется однопараметрическая дифференциальная модель турбулентности. Решение системы исходных уравнений получено посредством неявного конечно-объемного численного алгоритма, который базируется на методе искусственной сжимаемости. Выполнен анализ поля течения вокруг ротора Савониуса. Выделены основные стадии формирования вихревой структуры. Установлено влияние числа Рейнольдса и коэффициентов быстроходности на энергетические характеристики ротора Савониуса.

**Ключевые слова:** аэродинамика ветроэнергетических установок, ротор Савониуса, численное моделирование, вихревые структуры.

Redchic D.A.  
AERODYNAMICS OF SAVONIUS ROTOR

The results of the three types of computational experiments to study the aerodynamic and energy performance of two- and three-bucket Savonius rotor are presented. For numerical modeling of aerodynamics of the rotor it is used Reynolds-averaging Navier-Stokes equations. In the modeling of turbulence one-parametric differential model of turbulence is used. The solution of the system of original equations is obtained by the implicit finite-volume numerical algorithm which is based on the method of artificial compressibility. The analysis of the flow field around the Savonius rotor is carried out. It was identified the main stages of the formation of vortex structures. The influence of Reynolds numbers and specific speed coefficients on power characteristics of Savonius rotor was determined.

**Keywords:** aerodynamics of wind-energetic plants, Savonius rotor, numerical modeling, vortex structures.

Елисеев В.И., Дэвидсон В.В.  
НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ  
В ДИФФУЗИОННЫХ СЛОЯХ СЛАБО КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

На основе теории ионообмена рассмотрено прохождение электрических токов в слабо концентрированных электролитах. Получены аналитические решения и проведен анализ характеристического уравнения. Найдены качественные закономерности прохождения постоянных и переменных токов в данной среде.

**Ключевые слова:** электролиты, ионообмен, электрические токи, асимптотические решения.

Eliseev V.I., Davidson V.V.  
SOME REGULARITIES OF PASSAGE OF ELECTRIC CURRENTS IN DIFFUSION LAYERS OF  
WEAKLY CONCENTRATED ELECTROLYTES

Based on the theory of ion-exchange it was considered the passage of electric currents in weakly concentrated electrolytes. Analytical solutions are obtained and it was analyzed the characteristic equation. It was found the qualitative regularities of passage of fixed and variable currents in this medium.

**Keywords:** electrolytes, ion exchange, electric currents, asymptotic solutions.

Кныш Л.И., Давыдов В.И.  
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ РАСЧЁТА ОБЛУЧЁННОСТИ  
ПРИЁМНИКА ТЕПЛА КОНЦЕНТРИРОВАННЫМ ПОТОКОМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Рассматривается задача теплопереноса в системе концентрации солнечного излучения. На базе обобщенной математической модели процесса проводится выбор метода численного расчета. Обосновывается использование метода статистических испытаний, как наиболее целесообразного при решении подобных специфических задач лучевого теплообмена.

*Ключевые слова:* солнечный концентратор энергии, лучевой теплообмен, модели расчета, метод статистических испытаний.

Knysh L.I., Davydov V.I.  
APPLICATION OF METHOD OF STATISTICAL TESTS TO CALCULATION OF ILLUMINANCE OF  
THERMAL RECEPTOR BY CONCENTRATED FLOW OF SOLAR ENERGY

The problem of heat transfer in the system of concentration of solar radiation was considered. Based on the generalized mathematical model the selection of method of numerical calculation was carried out. It was substantiated the use of method of statistical tests as the most appropriate in dealing with these specific problems of radiation heat transfer.

*Keywords:* solar concentrator of energy, radiation heat transfer, calculation model, method of statistical tests.

Абрамовский Е.Р., Загний О.А.  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В  
РАСЧЕТАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Для решения задач распространения загрязнений и, в частности, биологических поллютантов, в воздушной среде городов, важное значение имеет форма подстилающих поверхностей. Предлагается определенная математическая модель изображения этой поверхности в виде набора некоторых стандартных комбинированных функций, удобных для использования.

*Ключевые слова:* экология среды больших городов, распространение поллютантов, подстилающая поверхность, моделирование.

Abramovskiy E.R., Zagniy O.A.  
MATHEMATICAL MODELING OF TOWN UNDERLYING SURFACE IN CALCULATION OF AIR  
POLLUTANT DISTRIBUTION

To address the problem of pollution and, in particular, biological pollutants in the air environment of towns, the form the underlying surface is important. It was proposed a mathematical model of the image of the surface in the form of some standard set of combined functions that are easy to use.

*Keywords:* ecology of environment of big cities, pollutant distribution, underlying surface, modeling.

Русакова Т.И.  
РАСЧЕТ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР И ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ  
ПРИ ОТРЫВНОМ ОБТЕКАНИИ ТОНКОГО ПРОФИЛЯ

Рассмотрена задача формирования нестационарного течения вокруг пластины при ее обтекании потоком идеальной несжимаемой жидкости. На основе метода дискретных вихрей создан алгоритм и проведены численные расчеты вихревых структур и поля скоростей при отрывном обтекании пластинки. Исследованы симметричные и несимметричные структуры течения, их образования в зависимости от угла атаки. Представленные результаты подтверждаются как экспериментальными данными, так и расчетами других авторов.

*Ключевые слова:* метод дискретных вихрей, обтекание пластинки, симметричные и несимметричные вихревые структуры.

Rusakova T.I.  
CALCULATION OF VORTEX STRUCTURES AND VELOCITY FIELD  
AT DETACHED FLOW AROUND THIN AIRFOIL

The problem of the formation of unsteady flow around a plate at its flow by ideal incompressible fluid is considered. Based on the method of discrete vortices the algorithm was created and numerical calculations of vortex structures and the velocity field at detached flow around the plate was carried out. Symmetrical and unsymmetrical structures of flow, their formation, depending on the angle of attack, were investigated. These results were confirmed both the experimental data and calculations of other authors.

*Keywords:* method of discrete vortices, flow around a plate, symmetrical and unsymmetrical vortex structures.

Губин О.И.  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ  
В ОБЛАСТЯХ С ПОДВИЖНЫМИ ГРАНИЦАМИ

Разработаны математические модели технически важных тепловых процессов в областях с подвижными границами, а также технологически смежных с ними процессов прогрева. Решения соответствующих краевых задач теплопроводности получены с помощью методов малого параметра, степенных рядов и конечных разностей. Проведены параметрические исследования, на основе которых установлены основные закономерности протекания процессов.

*Ключевые слова:* тепловые процессы, подвижные границы, задача Стефана, методы малого параметра и конечных разностей.

Gubin O.I.  
MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL PROCESSES  
IN REGIONS WITH MOVING BOUNDARIES

A mathematical model of the technically important thermal processes in regions with moving boundaries, as well as technology related processes of warming-up are developed. Solutions of corresponding boundary problems of thermal conductivity are obtained using the small parameter methods, power series and finite differences. It is conducted the parametric study, on the basis of which the basic regularities of process behavior are determined.

*Keywords:* thermal processes, moving boundaries, Stephan problem, small parameter methods and finite differences.

Босенко Т.М.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ СОСТАВНЫХ ТЕЛ С УЧЕТОМ ТЕПЛОВОЙ «ПАМЯТИ»

Представлены и проанализированы аналитические решения уравнений теплопроводности гиперболического и интегро-дифференциального типа при пульсационном режиме нагрева твердых тел. Проведен сравнительный анализ аналитического и численного решений задач нагрева многослойной пластины с учетом тепловой памяти.

*Ключевые слова:* теплопроводность, гиперболическое и интегро-дифференциальное уравнение, пульсационный режим нагревания, тепловая память, многослойная пластина.

Bosenko T.M.

MATHEMATICAL MODELING AND INVESTIGATION OF SOLUTIONS OF HEAT-TRANSFER  
PROBLEMS FOR COMPOUND BODIES WITH ACCOUNT OF THERMAL "MEMORY"

The analytical solutions of hyperbolic and integro-differential type of heat equations at pulsation mode heating of solids were presented and analyzed. A comparative analysis of the analytical and numerical solutions of problems of heating a multilayer plate with a view of the thermal memory was carried out.

*Keywords:* heat conduction, hyperbolic and integro-differential equation, pulsation mode heating, thermal memory, multilayer plate.

Созин Ю.А.

К ВОПРОСУ О ФАЗОВОМ ЭФФЕКТЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ТЕПЛООТДАЧИ

Рассмотрены вопросы теплообмена между стенкой трубы и турбулентным течением жидкости при пульсациях скорости. Показано, что снижение теплоотдачи при пульсациях скорости малой частоты может быть объяснено сдвигом фаз между колебаниями скорости и температурного напора от стенки к жидкости. Для превращения этого эффекта в положительный предложено использовать тепловое нагружение, которое меняется с течением времени по закону, зависящему от формы колебаний скорости.

*Ключевые слова:* нестационарная передача тепла, турбулентное течение в трубе, пульсации скорости и теплоотдача, фазовый эффект теплоотдачи.

Sozin Yu.A.

TO QUESTION OF PHASE EFFECT OF PULSATING HEAT EXCHANGE

The problems of heat transfer between the pipe wall and turbulent fluid flow at velocity pulsations were examined. It was shown that the reduction of heat transfer at low-frequency velocity pulsations can be attributed to the phase shift between fluctuations in velocity and temperature pressure from the wall to the liquid. To turn this into a positive effect it was suggested to use the thermal load, which varies with time under the law, which depends on the form of velocity fluctuations.

*Keywords:* transient heat transfer, turbulent flow in pipe, fluctuations in velocity and heat transfer, phase effect of heat transfer.

Лабутина Т.В.

МЕТОД ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА МЕХАНИЧЕСКИХ КОНФЛИКТОВ МЕЖДУ  
ОРБИТАЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С КОРРЕКТИРУЕМЫМИ ТРАЕКТОРИЯМИ

Предложен эффективный, по сокращению затрат времени на расчеты, метод долгосрочного прогнозирования механических конфликтов (сближений на расстояние, опасное с точки зрения возможности возникновения столкновений) орбитальных тел, траектории которых корректируются по некоторым параметрам. Метод предназначен для прогноза в задачах планирования развития многоэлементного множества управляемых орбитальных объектов.

*Ключевые слова:* орбитальные тела, механические конфликты, прогнозирование, система безопасности.

Labutkina T.V.

METHOD OF LONG-TERM PREDICTING OF MECHANICAL CONFLICT OF ORBITING BODIES  
WITH ADJUSTED TRAJECTORIES

An effective, in means of reduction of the amount of time required for calculations, method of long-term predicting of mechanical conflict (approaches for a close distance, dangerous from the standpoint of the possibility of collisions) of orbiting bodies, the trajectory of which is adjusted according to some parameters, was suggested. The method is designed to forecast the problems of planning of development of multiple sets of managed orbiting objects.

*Keywords:* orbiting bodies, mechanical conflicts, forecasting, safety system.

Чистяк В.И.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ РАЗРУШЕНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ  
ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ ПЛАСТИНЫ, ОСЛАБЛЕННОЙ ДВОЙКОПЕРИОДИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМОЙ ТРЕЩИН

С помощью энергетического критерия Дж. Си исследуется предельное равновесие плоскости, ослабленной двойкопериодической системой трещин. Полученные результаты подтверждены расчетами, которые были проведены на основе одновременного использования критериев разрушения, основанных на отрывном и сдвиговом механизмах. Проведен сравнительный анализ с известными результатами, полученными при применении критерия, который учитывает только отрывной механизм.

*Ключевые слова:* трещины, критерии разрушения, аналитические методы, предельное равновесие плоскости.

Chistyak V.I.

APPLICATION OF FRACTURE ENERGY CRITERION TO INVESTIGATION OF  
LIMIT EQUILIBRIUM OF A PLANE WEAKENED BY DOUBLE PERIODIC CRACK SYSTEM

Using the energy criterion of G. Sih the limit equilibrium of a plane weakened by double periodic crack system was investigated. These results are confirmed by calculations which were carried out based on the simultaneous use of criteria based on separation and shear mechanisms. A comparative analysis with the known results, obtained with criteria which considers only the separation mechanism, was carried out.

*Keywords:* cracks, fracture criteria, analytical methods, limit equilibrium of a plane.

Зеленский А.Г.

#### МЕТОД ДВОЙНЫХ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ РЯДОВ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ НЕТОНКИХ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

Развит метод двойных тригонометрических рядов в аналитической теории нетонких физически нелинейных пологих оболочек, которая базируется на сочетании метода разложения напряженно-деформированного состояния (НДС) в ряды по поперечной координате при помощи полиномов Лежандра и метода возмущений линейно упругих свойств материала и применении вариационного принципа Рейсснера. Исследовано внутреннее НДС нелинейно упругих пологих оболочек при цилиндрическом изгибе с учетом нулевого и первого приближений за малым физическим параметром.

**Ключевые слова:** нетонкие оболочки, метод возмущений, напряженно-деформированное состояние, вариационные принципы, ряды.

Zelenskiy A.G.

#### METHOD OF DOUBLE TRIGONOMETRIC SERIES IN THE ANALYTIC THEORY OF PHYSICALLY NONLINEAR NONTHIN DEPRESSED SHELLS

Method of double trigonometric series in the analytic theory of physically nonlinear nonthin depressed shells, based on a combination of expansions of the stress-strain state (SSS) in the series by the transverse coordinate with the help of the Legendre polynomials and the method of perturbations of linear elastic material properties and application of Reissner variational principle, was developed. Internal SSS of nonlinearly elastic depressed shells at cylindrical bending, taking into account the zero and first approximations for small physical parameter, was studied.

**Keywords:** nonthin shells, method of perturbations, stress-strain state, variational principles, series.

Гоман О.Г., Рахманов С.Р., Швайка Н.В.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРЕССОВАНИЯ ТРУБ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СМАЗКИ

Рассмотрена осесимметричная задача о двухслойном течении рабочих сред «металл-смазка» в кольцевом зазоре очага деформации между матрицей и оправкой в рамках принятой гидродинамической модели процесса прессования труб. Выяснен характер распределения давления металла в очаге деформации и контактных напряжений на поверхности оправки, а также рассчитана общая сила сопротивления в процессе прессования.

**Ключевые слова:** гидродинамическая модель течения металла, прессование труб, напряжения в очаге деформации, смазка.

Goman O.G., Rahmanov S.R., Shvaika N.V.

#### MODELING OF PRESSING PROCESS OF PIPES WITH APPLICATION OF TECHNOLOGICAL LUBRICATION

An axisymmetric problem of two-layer flow of working mediums of «metal-lubrication» in the ring gap of deformation zone between the matrix and mandrel within the framework of hydrodynamic models of the pipe extrusion is considered. The nature of pressure distribution of metal in deformation zone and contact stresses on mandrel surface is clarified, and also the overall effect of resistance in the process of pressing is calculated.

**Keywords:** hydrodynamic model of metal flow, pipe extrusion, stresses in deformation zone, lubrication.

Рахманов С.Р., Нестерук И.Г.  
ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ОБТЕКАНИЯ ОПРАВКИ МЕТАЛЛОМ НА ПРОШИВНОМ СТАНЕ  
ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТА

Приведены результаты исследования технологического процесса прошивки сплошных цилиндрических заготовок в полые гильзы на основе модели гидродинамической аналогии. Определены энергосиловые параметры и функционал осевой силы сопротивления потоку прошиваемого металла. Предложены условия минимизации функционала осевого сопротивления в очаге деформации.

**Ключевые слова:** гидродинамическая модель течения металла, прошивка труб, функционал сопротивления, оптимизация.

Rahmanov S.R., Nesteruk I.G.  
FEATURES OF PROCESS OF METAL FLOW AROUND ARBOR  
AT PIERCING MILL OF PIPE-ROLLING PLANT

The results of the study of technological process of conversion of solid cylindrical blanks into hollow cartridge on the basis of hydrodynamic analogy model are presented. Energy-power parameters and functional of axial force of flow resisting of conversional metal are defined. The conditions of minimization of the functional of axial resistance in the deformation zone are proposed.

**Keywords:** hydrodynamic model of metal flow, pipe conversion, functional of resisting, optimization.

Криль С.И., Семенов Е.В., Берман В.П.  
УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ ДЛЯ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ СУСПЕНЗИИ В ТРУБАХ

Получен первый интеграл дифференциальных уравнений гидромеханики суспензии обобщенное уравнение Бернулли для неустановившегося двухфазного потока в трубах, которое учитывает потери гидродинамического напора, обусловленные изменением параметров движения жидкости и твердой фазы во времени.

**Ключевые слова:** гидромеханика суспензий, потери напора, обобщение интеграла Бернулли, двухфазный поток.

Kril S.I., Semenenko E.V., Berman V.P.  
BERNOULLI EQUATION FOR TRANSIENT SUSPENSION FLOW IN PIPES

It was developed the first integral of differential equations of suspension hydromechanics - a generalized Bernoulli equation for transient two-phase flow in pipes, which takes into account the loss of the hydrodynamic pressure caused by changing of the parameters of motion of fluid and solid phase in time.

**Keywords:** suspension hydromechanics, loss of pressure, generalization of Bernoulli equation, two-phase flow.