

УДК 539.219.3

Г. С. АБРАМОВ, М. Г. АБРАМОВ

КОАЛЕСЦЕНЦИЯ КАК АСИМПТОТИЧЕСКАЯ СТАДИЯ ПРОЦЕССА ВНУТРЕННЕГО ОКИСЛЕНИЯ

Изучена асимптотическая стадия процесса внутреннего окисления – коалесценция в пластинах бинарных сплавов. Показано, что стадии коалесценции Лифшица-Слэзова предшествует достаточно длительная стадия замедленного роста частиц, которая обусловлена потоком легирующего элемента из пластины во внешнюю среду.

Ключевые слова: бинарные сплавы, внутреннее окисление, коалесценция, теория Лифшица-Слэзова.

Вивчено асимптотичну стадію процесу внутрішнього окислення – коалесценцію в пластинах бінарних сплавів. Показано, що стадії коалесценції Ліфшица-Сльозова передєе досить тривала стадія уповільненого зростання частинок, яка обумовлена потоком легуючого елемента з пластины в зовнішнє середовище.

Ключові слова: бінарні сплави, внутрішнє окислення, коалесценція, теорія Ліфшица-Сльозова.

The asymptotic stage of the process of internal oxidation – coalescence of binary alloys in the plates is explored. It is shown that the coalescence stage of Lifshitz-Slyozov theory is preceded by a long step of decreasing the particle growth rate, which is caused by the flow of the alloying element from the plate to the external environment.

Key words: binary alloys, internal oxidation, coalescence theory of Lifshitz-Slyozov.

УДК 532.516

С. В. АЛЕКСЕЕНКО

РАСЧЕТ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ЗАДАЧАХ ОБ ОБЛЕДЕНЕНИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Рассмотрена методика расчета конвективного теплообмена обледеневающей поверхности с набегающим потоком в задачах об обледенении летательных аппаратов на основе решения осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса и однопараметрической дифференциальной модели турбулентности Spalart-Allmaras с коррекцией для шероховатой стенки. Выполнено сравнение результатов расчетов, полученных с помощью предложенной методики и с помощью корреляционных соотношений. Показана возможность применения предложенного подхода к вычислению коэффициента конвективного теплообмена в задачах об обледенении в трехмерной постановке.

Ключевые слова: обледенение летательных аппаратов, численное моделирование, шероховатость поверхности, модель турбулентности, конвективный теплообмен.

Розглянуто методику розрахунку конвективного теплообміну поверхні, яка обмерзає, з потоком, що набігає, в задачах про зледеніння літальних апаратів на основі розв'язання усереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є – Стокса і однопараметричної диференціальної моделі турбулентності Spalart-Allmaras з корекцією для шорсткої стінки. Виконано порівняння результатів розрахунків, отриманих за допомогою запропонованої методики і за допомогою кореляційних співвідношень. Показана можливість застосування запропонованого підходу до обчислення коефіцієнта конвективного теплообміну в задачах про зледеніння в тривимірній постановці.

Ключові слова: зледеніння літальних апаратів, чисельне моделювання, шорсткість поверхні, модель турбулентності, конвективний теплообмін.

The calculating method of the convective heat exchange of the icing surface with the incoming airflow in the problems of simulation of airfoils icing processes based on solving of Reynolds-averaged Navier-Stokes equations with the Spalart-Allmaras one-parameter differential turbulence model for a rough wall was considered. Comparison of the calculation results obtained using the proposed method and using correlation ratios was performed. The possibility of applying the proposed approach to the calculation of the convective heat transfer coefficient in icing problems in a three-dimensional formulation was shown.

Key words: aircrafts icing, numerical simulation, surface roughness, turbulence model, convective heat transfer.

УДК 517.95

А. Я. БОМБА, Ю. Є. КЛИМЮК

КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДООЧИСТКИ ВОДИ ПІСЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОАГУЛЯЦІЇ У ШВИДКИХ БАГАТОШАРОВИХ ФІЛЬТРАХ

Сформовано математичну модель для комп'ютерного прогнозування процесу доочистки води від багатоконпонентних домішок після застосування коагуляції у швидких багатошарових фільтрах конусоподібної форми при додержанні сталої швидкості фільтрування, що враховує дослідження зміни характеристик кусково-однорідних пористих завантажень, які володіють окислювально-відновними властивостями. Запропонована модель дозволяє шляхом проведення комп'ютерних експериментів дослідити зміну характеристик кусково-однорідних пористих завантажень, спрогнозувати оптимальні варіанти використання коагулянтів і фільтрувальних матеріалів, збільшення тривалості роботи швидких багатошарових конусоподібних фільтрів за рахунок вибору їх форми і висоти шарів з урахуванням граничнодопустимих норм по кожній компоненті багатоконпонентних домішок.

Ключові слова: математична модель, комп'ютерне прогнозування, процес доочистки води, багатоконпонентна домішка, коагуляція, швидкий багатошаровий фільтр, конусоподібна форма, кусково-однорідне пористе завантаження.

Сформирована математическая модель для компьютерного прогнозирования процесса доочистки воды от многокомпонентных примесей после применения коагуляции в быстрых многослойных конусообразных фильтрах при соблюдении постоянной скорости фильтрования, что учитывает исследования изменения характеристик кусочно-однородных пористых загрузок, которые обладают окислительно-восстано-вительными свойствами. Предложенная модель позволяет путем проведения компьютерных экспериментов исследовать изменение характеристик кусочно-однородных пористых загрузок, спрогнозировать оптимальные варианты использования коагулянтов и фильтровальных материалов, увеличение продолжительности работы быстрых многослойных конусообразных фильтров за счет выбора их формы и высоты слоев с учетом предельно-допустимых норм по каждой компоненте многокомпонентных примесей.

Ключевые слова: математическая модель, компьютерное прогнозирование, процесс доочистки воды, многокомпонентная примесь, коагуляция, быстрый многослойный фильтр, конусообразная форма, кусочно-однородная пористая загрузка.

In the paper a mathematical model for computer predicting the process of water purification from multicomponent impurities after applying coagulation in rapid multi-layer cone-shaped filters with the constant rate of filtration, which takes into account the changes in the characteristics of piecewise-homogeneous porous redox load, is formulated. Each layer of the load is characterized by its own coefficients of filtration, active porosity and diffusion of multicomponent impurities in the filtration flow, and the sediment adsorbed on the grains of the load. An algorithm for numerically-asymptotic approximation of solution of the corresponding nonlinear singularly perturbed boundary value problem for a model region of a conical shape, bounded by two equipotential surfaces and a flow surface, separated by some given equi-

potential surfaces into several subdomains, is developed. The proposed model allows to predict by computer experiments the change in the characteristics of piecewise-homogeneous porous loads, to determine the optimal variants of coagulants and filter materials, and to increase the durability of the rapid multilayer cone-shaped filters by choosing their shape and height of layers taking into account the maximum allowable standards for each component of multicomponent impurities.

Key words: mathematical model, computer prediction, process of water purification, multicomponent impurity, coagulation, rapid multilayer filter, cone-shaped form, piecewise-homogeneous porous load.

УДК 519.6

А. Я. БОМБА, Ю. В. ТУРБАЛ, М. Ю. ТУРБАЛ

МОДИФИКАЦИЯ «ПРАМИДАЛЬНОГО» МЕТОДУ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ЧАСОВИХ РЯДІВ НА ОСНОВІ $\mu\lambda$ – ПОХІДНИХ

У статті вперше введено певні узагальнення класичного поняття похідної диференційовної функції, на основі якого пропонується метод екстраполяції часових рядів. В основі цього методу лежить аналіз розділених різниць. Пропонується процедура модифікації відповідних різниць та знаходження такого їх порядку, для якого вдається знайти в певному розумінні найкраще прогнозне значення. Тоді значення вихідної функції у точці, що лежить за межами інтерполяційного інтервалу, знаходиться на основі знайденого прогнозного значення для розділених різниць за допомогою спеціальної обчислювальної процедури.

Ключові слова: екстраполяція, прогноз, розділені різниці, інтерполяція, часові ряди.

В статье впервые введены определенные обобщения классического понятия производной функции, на основе которых предлагается метод экстраполяции временных рядов. В основе этого метода лежит анализ разделенных разностей. Предлагается процедура модификации соответствующих разностей и нахождения такого их порядка, для которого удастся найти в определенном смысле лучшее прогножное значение. Тогда значение исходной функции в точке, лежащей за пределами интерполяционного интервала, находится на основе найденного прогнозного значения для разделенных разностей с помощью специальной вычислительной процедуры.

Ключевые слова: экстраполяция, прогноз, разделенные разности, интерполяция, временные ряды.

In this article, for the first time, certain generalizations of the classical derivative of a differentiable function are introduced. The method of extrapolation of time series is proposed on the basis of corresponding generalizations. The method is based on the analysis of separated differences. A procedure is proposed for modifying corresponding differences and determining the order, for which it is possible to find in certain sense the best forecast value. Then the value of the output function at a point that lies outside the interpolation interval is based on the found predictive value for the separated differences using a special computational procedure.

Key words: extrapolation, forecast, separated differences, interpolation, time series.

УДК 519.6

Ю. В. БРАЗЛУК

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ В ОБЛАСТЯХ С СИЛЬНО СЕГМЕНТИРОВАННОЙ ГРАНИЦЕЙ

В настоящей работе метод граничных элементов был применен к решению краевых задач для уравнения Лапласа в плоской области с сильно сегментированной границей. Особое внимание было уделено точности численного решения, которая исследовалась путем численного эксперимента на специально подобранных тестовых задачах, имеющих аналитические решения в квадратах. Было реализовано два алгоритма метода граничных элементов: традиционный с решением системы линейных алгебраических уравнений методами гауссовского исключения, и итерационный, при этом в итерационном алгоритме использовались функции Грина или их вычислительные аналоги. Результаты работы могут быть использованы при создании специализированного программного обеспечения соответствующего назначения.

Ключевые слова: метод граничных элементов, область сложной геометрической формы, сегментированная граница, уравнение Лапласа, погрешность, тестовая задача, функция Грина.

В даній роботі метод граничних елементів було застосовано до розв'язання крайових задач для рівняння Лапласа у плоских областях з сильно сегментованою межею. Особливу увагу було приділено точності чисельного розв'язку, яка досліджувалася шляхом чисельного експерименту на спеціально підібраних тестових задачах, що мають аналітичні розв'язки у квадратах. Було реалізовано два алгоритми методу граничних елементів: традиційний з розв'язанням системи лінійних алгебраїчних рівнянь методами гауссовського виключення, та ітераційний, при цьому в ітераційному алгоритмі використовувалися функції Гріна чи їх обчислювальні аналоги. Результати роботи можуть бути застосовані при створенні спеціалізованого програмного забезпечення відповідно до призначення.

Ключові слова: метод граничних елементів, область складної геометричної форми, сегментована межа, рівняння Лапласа, похибка, тестова задача, функція Гріна.

One of the most serious problems of modern numerical analysis is boundary-value problem solution in domains of complex geometrical shapes. Such problems are proved especially difficult for the domains with strongly segmented boundary, which means that the boundary is divided into isolated pieces. Such situations are specific for heterogeneous media. In such situations local approximation methods have to deal with the insuperable difficulties such as constructing computational grid and subsequent solving rather sophisticated systems of linear algebraic equations. The methods of global approximations and, first of all, methods of computational potential theory do not have similar difficulties, nevertheless they have to overcome a lot of problems. Boundary element method is applied in the present work to solve boundary-value problems for Laplace equations in plane domain with strongly segmented boundary. Special attention in the work was paid to accuracy of numerical solutions. The accuracy is investigated by a numerical experiment using specially selected test problems, which have the known analytical solutions in quadrature. Two boundary element algorithms are implemented. The first one is the traditional approach with Gauss elimination algorithm for solving linear algebraic equation system. The second one is an iterative approach with possible using of Green's functions or their computational analogs in the iterative procedure. The results obtained in the work can be applied for creating specialized software of corresponding purposes.

Key words: boundary element method, domain of complex geometrical shape, segmented boundary, Laplace equation, error, test problem, Green's function.

УДК 621.311

В. А. ВАНИН, Н. М. КРУГОЛ, А. П. ЛАЗУРЕНКО

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ КОТЛОАГРЕГАТА ТЭС В ЗАДАЧЕ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

В работе рассматриваются математические модели вспомогательных механизмов ТЭС. Используя табличные и графические представления аэрогидро-

намических характеристик серийных вентиляторов и насосов, восстановлены аппроксимирующие их математические модели квазистационарного функционирования с помощью метода наименьших квадратов и законов подобия для центробежных машин. Сформулирована задача нахождения оптимальной частоты питающего напряжения для одного механизма и для группы механизмов собственных нужд ТЭС, которая обеспечивает максимальный КПД функционирования одного или группы агрегатов. Приводятся результаты для типичных последовательно-параллельных соединений механизмов в гидравлических сетях ТЭС.

Ключевые слова: тепловая электрическая станция, групповое управление, гидравлические системы, центробежные механизмы, частотно-регулируемый привод, энергоэффективность.

В роботі розглядаються математичні моделі допоміжних механізмів ТЕС. Використовуючи табличні та графічні представлення аерогідродинамічних характеристик серійних вентиляторів та насосів, відтворені апроксимуючі їх математичні моделі квазистационарного функціонування за допомогою методу найменших квадратів та законів подоби для відцентрових машин. Сформульована задача знаходження оптимальної частоти живильної напруги для одного та групи механізмів власних потреб ТЕС, що забезпечує максимальний КПД функціонування одного або групи агрегатів. Приводяться результати для типових послідовно-паралельних з'єднань механізмів в гідравлічних мережах ТЕС.

Ключові слова: теплова електрична станція, групове керування, гідравлічні системи, відцентрові механізми, частотно-регульований привід, енергоефективність.

The article deals with the analysis of thermal power plant's auxiliary mechanisms operational modes and construction of their optimal control over the supply voltage frequency. Tabular and graphical characteristics of the fans used in thermal power plants are analyzed. On the basis of the initial data, with application of the least squares method and similarity laws for centrifugal machines, models that describe the quasistationary mode of thermal power plants auxiliary mechanisms operation have been restored. The task to find the optimal frequency of the supply voltage for a single mechanism has been formulated. Besides, a group of mechanisms with similar operational modes has been identified and the task to find the optimal frequency of the supply voltage for this group in a specified mode has been set. The optimal frequency of the supply voltage ensures the mechanism group operation with the maximum average-weighted efficiency. Results for typical serial and parallel connections of the mechanisms in thermal power plant hydraulic network are given.

Key words: thermal power plant, group control, hydraulic systems, centrifugal mechanisms, variable frequency drive, energy efficiency.

УДК 519.6

В. А. ВАНИН, С. П. СВЕТИЧНЫЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ МЯГКОГО ТЕЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДА SPH

Рассмотрен пример совместного применения программных продуктов ANSYS и LS-DYNA для создания численной модели мягкого тела в случае использования бессеточного метода сглаженных частиц SPH. Используя возможности встроенного в систему ANSYS языка программирования ANSYS Parametric Design Language, реализован алгоритм автоматизированного построения численной модели мягкого тела заданной массы и размеров, которая применяется для численного моделирования фронтального и косого удара.

Ключевые слова: мягкое тело, косой удар, ANSYS Parametric Design Language, бессеточный метод сглаженных частиц, система координат, рабочая плоскость.

Розглянуто приклад спільного застосування програмних продуктів ANSYS і LS-DYNA для створення чисельної моделі м'якого тіла у разі використання безсіткового методу згладжених частинок SPH. Використовуючи можливості вбудованої в систему ANSYS мови програмування ANSYS Parametric Design Language, реалізовано алгоритм автоматизованої побудови чисельної моделі м'якого тіла заданої маси і розмірів, яка застосовується для чисельного моделювання фронтального і косого удару.

Ключові слова: м'яке тіло, косий удар, ANSYS Parametric Design Language, безсітковий метод згладжених частинок, система координат, робоча площина.

An example of combined application of ANSYS and LS-DYNA software for creation of numerical model of soft body using meshless smoothed particle hydrodynamics method (SPH) is discussed in the paper. The experience of practical application of the LS-DYNA multipurpose program for solving the problem of numerical simulation of soft body-to-aircraft engine blade contact interaction showed that in the case of using the meshless method of smoothed particles for soft body discretization the process of building a numerical model is not sufficiently automated. A macro containing a set of APDL commands, which allows to create automatically a numerical model of a soft body that contains a set of SPH particles evenly distributed within the volume of a given shape, was developed. The macro allows to determine the dimensions of the soft body of a given density and mass, to define its spatial orientation with respect to the target, as well as to control the distance between SPH particles. Automation of numerical model creation significantly simplifies the process of parametric numerical analysis and reduces the time of model development.

Key words: soft body, oblique impact, ANSYS Parametric Design Language, smoothed-particle hydrodynamics method, coordinate system, working plane.

УДК 539.3

В. О. ВАХНЕНКО

БЛУКАЮЧА ХВИЛЯ В ГОМОКЛІННОМУ ПІДХОДІ

Розглядається гомокліний підхід для знаходження розв'язків рівняння Вахненка-Паркеса. Гомоклінна тестова функція дає можливість знайти бризерні розв'язки. Обговорюється питання переходу бризерних розв'язків у блукаючу хвилю. Відомо, що блукаючі хвилі виникають не тільки в океані, але також і в нелінійно фізичних системах, таких як плазма, Бозе-Ейнштейнівський конденсат, нелінійна оптика, гідродинаміка. Дослідження блукаючої хвилі вказує на те, що вона виникає нізвідки та дисипує безслідно. Амплітуда таких хвиль значно перевищує амплітуду відомих хвиль. Розв'язки для блукаючих хвиль вказують на локалізацію хвиль як в просторі, так і в часі. Це зумовлює їх непередбачуваність. Таким чином, вивчення бризерних хвиль, зокрема блукаючих хвиль, набуває важливого значення з точки зору їх взаємодії з іншими збуреннями, що вже вивчені для рівняння, що аналізується.

Ключові слова: нелінійні еволюційні рівняння, рівняння Вахненка, гомокліний метод, бризер.

Рассматривается гомоклиный подход для нахождения решений уравнения Вахненко-Паркеса. Гомоклинная тестовая функция дает возможность найти бризерные решения. Обсуждается вопрос перехода бризерных решений в блуждающую волну. Известно, что блуждающие волны возникают не только в океане, но также и в нелинейных физических системах, таких как плазма, Бозе-Ейнштейновский конденсат, нелинейная оптика, гидродинамика. Исследования блуждающей волны указывают на то, что она возникает из ниоткуда и исчезает бесследно. Амплитуда таких волн значительно превышает амплитуду известных волн. Решения для блуждающих волн указывают на локализацию волн как в пространстве, так и во времени. Таким образом, изучение бризерных волн, в частности блуждающих волн, приобретает важное значение с точки зрения их взаимодействия с другими возмущениями, что уже изучены для анализируемого уравнения.

Ключевые слова: нелинейные эволюционные уравнения, уравнение Вахненко, гомоклиный метод, бризер.

The homoclinic approach is considered to find solutions for the Vakhnenko-Parkes equation. The homoclinic test function enables one to obtain the breather solutions. The transformation of breather solution into rogue wave solution is discussed. It is known that rogue waves arise not only in the ocean, but also in nonlinearly physical systems such as plasma, Bose-Einstein condensate, nonlinear optics, hydrodynamics. The study of the rogue wave indicates that these waves appear from nowhere and disappears without a trace. The amplitude of this wave exceeds the amplitude of the known waves. The solutions for rogue waves point at the localization of waves

both in space and in time. These imply their unpredictability. Thus, the study of breather waves, in particular rogue waves, for the Vakhnenko-Parkes equation becomes important with respect to interaction of these waves with other perturbations that have already been studied for the analyzed equation.

Key words: nonlinear evolution equations, the Vakhnenko equation, homoclinic method, breather.

УДК 530.145, 550.344.094

Д. Б. ВЕНГРОВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПАКТОНІВ В НАПРУЖЕНИХ ЛАНЦЮГАХ КУЛЬ

Проведено чисельне моделювання розповсюдження усамітненої хвилі в однорідних та неоднорідних ланцюгах гранул сферичної форми, котрі перебувають в стані попереднього стиснення. Задача розв'язувалась методом прямих, після зведення рівнянь руху гранул до системи нелінійних рівнянь першого порядку. Для верифікації розв'язку було проведено паралельне експериментальне дослідження розповсюдження солітоноподібної хвилі в ланцюгах сферичних сильно намагнічених гранул. Магнітна взаємодія гранул призводила до попереднього стиснення всього ланцюга і регулювалась в процесі експеримента шляхом перемагнічування гранул, а також використанням гранул двох різних розмірів (в цих випадках попереднє стиснення ланцюгів теж відрізнялось). Наведено результати роботи програми та аналіз результатів проведеного обчислювального експерименту і ці результати співставлені з експериментальними даними.

Ключові слова: усамітнені хвилі, нелінійні рівняння, компактон, солітоноподібна хвиля, дискретне середовище.

Проведено чисельне моделювання розповсюдження уединённой волны в однородных и неоднородных цепочках гранул сферической формы, которые находятся в состоянии предварительного сжатия. Задача решалась методом прямых, после сведения уравнений движения гранул к системе нелинейных уравнений первого порядка. Для верификации решения было проведено параллельное экспериментальное исследование распространения солитоноподобной волны в цепях сферических сильно намагнитенных гранул. Магнитное взаимодействие гранул приводило к сжатию всей цепи, которое регулировалось в процессе эксперимента путём перемагничивания гранул, а также использованием гранул двух разных размеров (в этих случаях предварительное сжатие цепей тоже отличалось). Приведены результаты работы программы и анализ результатов проведенного вычислительного эксперимента и эти результаты сопоставлены с экспериментальными данными.

Ключевые слова: уединённые волны, нелинейные уравнения, компактон, солитоноподобная волна, дискретная среда.

A numerical simulation of the propagation of a solitary wave in homogeneous and inhomogeneous chains of spherical granules, which are in a state of pre-compression, has been carried out. The problem was solved by the method of lines, after reducing the equations of motion of the granules to a system of first-order nonlinear equations. To verify the solution, a parallel experimental study of the propagation of a soliton-like wave in spherical chains of strongly magnetized granules was carried out. The magnetic interaction of the granules resulted in the compression of the whole chain, which was regulated during the experiment by reversing the granules, as well as using granules of two different sizes (in these cases the preliminary compression of the chains was also different). The results of the program and the analysis of the results of the computational experiment are presented and these results are compared with the experimental data.

Key words: solitary waves, nonlinear equations, compacton, soliton-like wave, discrete medium.

UDC 519:537.81

P. P. VOROBİYENKO, I. YU. DMITRIEVA

ANALYTIC SOLUTION OF THE DIFFERENTIAL MAXWELL SYSTEM AND ITS NUMERICAL IMPLEMENTATION

The differential Maxwell equations are solved constructively under the specific requirements in the spatial Cartesian coordinate system. The expressions of the unknown electromagnetic field vector intensities are found explicitly as the solutions of the general wave equation regarding all scalar components of the initially unknown vector field functions. The aforesaid equation is equivalent to the original Maxwell system. The present results are obtained using two new efficient operator analytical methods which application is shown also for the heterogeneous media. The numerical implementation for the particular case of the considered electrodynamic mathematical model is proposed here as well.

Key words: general wave equation, analytic operator methods, constructive solution, mathematical model.

Запропоновано конструктивне розв'язання диференціальних рівнянь Максвелла за певних умов у просторовій декартовій системі координат. Явні вирази шуканих вектор-функцій напруженості електромагнітного поля знайдено як розв'язки загального хвильового рівняння, еквівалентного вихідній максвелловській системі. Дані результати отримано завдяки двох нових ефективних операторних аналітичних методів, застосування яких продемонстровано також для неоднорідних середовищ. Частковий випадок розглянутої математичної моделі електродинаміки реалізовано чисельно.

Ключові слова: загальне хвильове рівняння, аналітичні операторні методи, конструктивне розв'язання, математична модель.

Предложено конструктивное решение дифференциальных уравнений Максвелла при определенных условиях в пространственной декартовой системе координат. Явные выражения искомого вектор-функций напряженностей электромагнитного поля найдены как решения общего волнового уравнения, эквивалентного исходной максвелловской системе. Данные результаты получены с помощью двух новых эффективных операторных аналитических методов, применимость которых продемонстрирована также для неоднородных сред. Частный случай рассмотренной математической модели электродинамики реализован численно.

Ключевые слова: общее волновое уравнение, аналитические операторные методы, конструктивное решение, математическая модель.

УДК 532.526;542

Г. А. ВОРОПАЕВ, А. А. БАСКОВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕХОДА В ТРУБАХ СО СПИРАЛЬНЫМ ГОФРИРОВАНИЕМ

Проведено пряме чисельне моделювання неізотермічного течення на початкових ділянках гладкої труби і труби з гофрованими вставками різної геометрії при перехідних числах Рейнольдса. Проаналізовано виникнення та розвиток коливальних процесів в гладкій трубі і трубах з гофрованими вставками різної геометрії. Визначено вплив кута нахилу гофрування до осі труби на гідродинамічні процеси в сліді після гофрованої вставки.

Ключевые слова: течение в трубе, переходные числа Рейнольдса, вихревые возмущения, неізотермический поток, прямое и витое гофрирование, частичное гофрирование.

Проведено пряме чисельне моделювання неізотермічної течії на початкових ділянках гладкої труби і труби з гофрованими вставками різної геометрії при перехідних числах Рейнольдса. Проаналізовано виникнення та розвиток коливальних процесів в гладкій трубі і трубах з гофрованими вставками. Досліджені особливості структури вихрового руху та зміни гідродинамічних параметрів в гофрованих вставках різної геометрії. Визначено ступінь впливу кута нахилу гофрування до осі труби на гідродинамічні процеси в сліді після гофрованої вставки.

Ключові слова: течія в трубі, перехідні числа Рейнольдса, вихрові збурення, неізотермічний потік, пряме та вите гофрування, часткове гофрування. A direct numerical simulation of non-isothermal flow in the initial sections of a smooth pipe and a pipe with corrugated inserts of various geometry at transitional Reynolds numbers was carried out. The formation and development of a three-dimensional unsteady flow structure in a smooth tube and tubes with corrugated inserts were analyzed. The structure of the flow and the nature of changes in the hydrodynamic parameters inside the corrugated insert were investigated. The influence of corrugation geometry on the flow mixing and the nature of hydrodynamic parameters distribution in the flow after the corrugated insert were analyzed. An increase in hydraulic losses of up to 9% in tubes with corrugated inserts compared to a smooth tube was observed and its dependence on the geometry of corrugation was studied.

Key words: flow in a tube, transitional Reynolds numbers, vortex disturbances, non-isothermal flow, straight and spiral corrugation, partial corrugation.

УДК 532.526.517

Г. О. ВОРОПАЄВ, Н. Ф. ДИМИТРИЄВА

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИХОРОВИХ ТЕЧІЙ В НАПІВЦИЛІНДРИЧНОМУ ЗАГЛИБЛЕННІ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІДКРИТИХ ПАКЕТІВ SALOME, OPENFOAM, PARAVIEW

Чисельними методами з використанням високопродуктивних обчислювальних технологій досліджено нестационарну тривимірну структуру течії в напівциліндричному заглибленні. Обговорюються закономірності формування і розподілу системи вихорів, що виникають в заглибленні залежно від числа Рейнольдса, розмірів і повороту до потоку. Показано, що велику роль грають бічні стінки, що формують складну систему, що руйнує головний трансверсальний вихор та сприяє його викидам.

Ключові слова: напівциліндричне заглиблення, генератор вихорів, керування примежовим шаром, чисельне моделювання.

Численными методами с использованием высокопроизводительных вычислительных технологий исследована нестационарная трехмерная структура течения в полцилиндрическом углублении. Обсуждаются закономерности формирования и распределения системы вихрей, возникающих в углублении в зависимости от числа Рейнольдса, размеров и поворота к потоку. Показано, что важную роль играют боковые стенки, формирующие сложную систему, которая разрушает главный трансверсальном вихрь и способствует его выбросам.

Ключевые слова: полцилиндрическое углубление, генератор вихрей, управление пограничным слоем, численное моделирование.

Transient 3D flow structure in a semi-cylindrical dimple is investigated by numerical methods using high-performance computing technologies. Patterns of formation and distribution of the system of vortices that occur in the dimples depending on the Reynolds number, size and rotation to the flow are discussed. It is shown that the side walls forming a complex system of vortices play an important role. The wall destroys the main transversal vortex and contributes to its emissions into the external flow. The proposed method of numerical simulation has shown its effectiveness in a wide range of parameters of the problem and is consistent with experimental data.

Key words: semi-cylindrical dimple, vortex generator, flow control, numerical simulation.

УДК 532.517:532.5.032

Г. А. ВОРОПАЕВ, Я. В. ЗАГУМЕННЫЙ

УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ОБТЕКАЕМОГО КОЛЕБЛЮЩЕГОСЯ КРЫЛА

Предложен метод численного моделирования обтекаемых колеблющихся тел на основе прямого численного решения классической системы нестационарных трехмерных уравнений Навье – Стокса и неразрывности для несжимаемой вязкой среды с использованием библиотек динамических расчетных сеток и программ собственной разработки пакета OpenFOAM. Представлены результаты расчетов обтекания колеблющихся профилей разной конструкции, включая стандартный крыловой профиль NASA0009 и две его модификации с дополнительным тонким хвостовиком с фиксированной и движущейся кромкой. Определяются их пропульсивные характеристики и структура вихревого следа в зависимости от угла отклонения и частоты колебания. Результаты численного моделирования показали возможность в рамках единой формулировки получать гидродинамические характеристики тонких подвижных и неподвижных профилей, определять локальные отрывы и величины генерируемой завихренности, а также показали зависимость структуры вихревого следа от геометрии профиля и частоты его колебания. Показано, что колеблющийся упругий профиль обладает меньшим сопротивлением по сравнению со стандартным жестким крылом.

Ключевые слова: обтекание тела, вихревой след, колеблющийся крыловой профиль, коэффициент сопротивления, пропульсивная сила, численное моделирование, OpenFOAM.

Запропоновано метод чисельного моделювання обтічних коливних тіл на основі прямого чисельного розв'язання класичної системи нестационарних тривимірних рівнянь Нав'є – Стокса і нерозривності для нестисливого в'язкого середовища з використанням бібліотек динамічних розрахункових сіток і програм власної розробки пакету OpenFOAM. Представлені результати розрахунків обтікання коливних профілів різної конструкції, включаючи стандартний крилової профілі NASA0009 і дві його модифікації з додатковим тонким хвостовиком з фіксованою і рухомою крайкою. Визначаються їх пропульсивні характеристики і структура вихревого сліду в залежності від кута відхилення та частоти коливання. Результати чисельного моделювання показали можливість в рамках єдиного формулювання отримувати гідродинамічні характеристики тонких рухомих і нерухомих профілів, визначати локальні відриви і величини генерованої завихреності, а також показали залежність структури вихревого сліду від геометрії профілю і частоти його коливань. Показано, що коливний пружний профілі має менший опір у порівнянні зі стандартним жорстким крилом.

Ключові слова: обтікання тіла, вихровий слід, коливний крилової профілі, коефіцієнт опору, пропульсивна сила, чисельне моделювання, OpenFOAM.

A method for numerical simulation of oscillating bodies in an oncoming free stream is proposed on the basis of direct numerical solution of the classical system of unsteady 3D Navier – Stokes and continuity equations for an incompressible viscous medium using dynamic computational mesh libraries and program codes of own development in the frame of the OpenFOAM utility. Computation results are presented on flows around oscillating profiles with different designs, including the standard airfoil NASA0009, and its two modifications with an extra thin tail with fixed and moving edges. Their propulsive characteristics and the vortex wake structure are studied as functions of deviation angle and oscillation frequency. The numerical results show capability of obtaining the hydrodynamic characteristics of thin moving and fixed profiles in the frame of a single problem formulation and determining local separations and generated vorticity magnitudes. The results obtained demonstrate, as well, the functional dependence of the vortex wake structure on the profile geometry and oscillation frequency. It is shown that the oscillating elastic wing profile has a lower drag as compared to the standard rigid one.

Key words: flow past a body, vortex wake, oscillating wing profile, drag coefficient, propulsive force, numerical simulation, OpenFOAM

УДК 532.526

Г. А. ВОРОПАЕВ, Н. В. РОЗУМНЮК

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Представлены результаты численного моделирования трехмерного нестационарного турбулентного течения над поверхностью с системой парных лунок в

широком діапазоні чисел Рейнольдса. На основі отриманих чисельних результатів визначено вимоги до луночного рельєфу, генеруючому парні квазіустійчиві продольні вихри в заданому діапазоні чисел Рейнольдса. Визначено вплив геометричних параметрів лунок та числа Рейнольдса на динамічні характеристики обтекаємої поверхності. Показано стабілізуюче вплив продольних вихревих образунків на характеристики турбулентного пограничного шару в сліду за системою лунок.

Ключевые слова: турбулентний пограничний шар, парні лунки, продольні вихри, гідродинамічні втрати.

Представлено результати чисельного моделювання тривимірного нестационарного турбулентного потоку над поверхнею з системою парних лунок в широкому діапазоні чисел Рейнольдса. На основі одержаних чисельних результатів визначено вимоги до луночного рельєфу, який генерує парні квазістійкі поздовжні вихри в заданому діапазоні чисел Рейнольдса. Визначено вплив геометричних параметрів лунок та числа Рейнольдса на динамічні характеристики обтічної поверхні. Показано стабілізуючий вплив поздовжніх вихрових утворень на характеристики турбулентного прилежого шару в сліду за системою лунок.

Ключові слова: турбулентний прилежовий шар, парні лунки, поздовжні вихри, гідродинамічні втрати.

The results of numerical modeling of 3D unsteady turbulent flow over a surface with a system of paired dimples are presented in a range of Reynolds numbers. On the basis of the numerical results the required parameters of dimples capable of generating quasi-steady longitudinal vortices in the given Reynolds numbers range are determined. The effect of dimples' shape and Reynolds number on the dynamic characteristics of the surface are identified. The stabilizing influence of longitudinal vortical structures of the boundary layer in the wake streamwise is shown.

Key words: turbulent boundary layer, pairs of dimples, longitudinal vortices, hydrodynamic losses.

УДК 532.5:534.7

В. А. ВОСКОБОЙНИК, А. А. ВОСКОБОЙНИК, В. Н. ТУРИК, А. В. ВОСКОБОЙНИК

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР ПАРОЙ ОВАЛЬНЫХ ЛУНОК

Приведены результаты физического моделирования генерации устойчивых противоположно вращающихся вихревых структур парой наклоненных к направлению потока овальных лунок. Проведены визуальные и инструментальные исследования, а также статистический анализ полей пульсаций давления вихревого течения, образованного парой овальных лунок на гидравлически гладкой плоской поверхности. Определены особенности генерации противоположно вращающихся вихревых структур лунками и их гидродинамические характеристики. Установлены места зарождения, формирования и развития вихревых структур в зависимости от режимов течения, а также области выброса вихрей в пограничный слой. Получены интегральные и спектральные характеристики пульсаций пристеночного давления на обтекаемой поверхности лунок и пластины. Определены частоты вращения вихревых структур и их выбросов наружу из наклоненных овальных лунок.

Ключевые слова: овальная лунка, вихревая структура, визуализация течения, пульсации скорости и давления, статистический анализ.

Наведено результати фізичного моделювання генерації стійких протилежно обертових вихрових структур парою нахилених до напрямку течії овальних лунок. Проведено візуальні і інструментальні дослідження, а також статистичний аналіз полів пульсацій тиску вихрової течії, яка була утворена парою овальних лунок на гідравлічно гладкій плоскій поверхні. Визначено особливості генерації протилежно обертових вихрових структур лунками та їх гідродинамічні характеристики. Установлено місця зародження, формування і розвитку вихрових структур в залежності від режимів течії, а також області викидів вихорів у прилежовий шар. Отримано інтегральні та спектральні характеристики пульсацій пристінного тиску на обтічній поверхні лунок і пластины. Визначено частоти обертання вихрових структур та їх викидів назовні з нахилених овальних лунок.

Ключові слова: овальна лунка, вихрова структура, візуалізація течії, пульсації швидкості та тиску, статистичний аналіз.

The results of physical modeling of the generation of stable counter-rotating vortex structures by a pair of oval dimples, that are inclined to the flow direction, are given. Visual and instrumental studies, as well as statistical analysis of the velocity and pressure fluctuation fields of the vortex flow, were made. The vortex flow was created by a pair of the oval dimples on a hydraulically smooth flat surface. The features of generating the counter-rotating vortex structures by the dimples and their hydrodynamic characteristics were determined. The places of origin, formation, and development of vortex structures, as well as the area of the ejection of vortices into the boundary layer depending on the flow regimes were established. The integral and spectral characteristics of the velocity and wall pressure fluctuations on the streamlined surface of the dimples and plates were obtained. The rotation frequencies of the vortex structures and the ejection frequencies of the vortices outside the inclined oval dimples were determined.

Key words: oval dimple, vortex structure, flow visualization, velocity and pressure fluctuation, statistical analysis.

УДК 532.5

А. А. ГУРЖИЙ, О. И. КОРДАС, Е. И. НИКИФОРОВИЧ, Д. И. ЧЕРНИЙ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассматривается задача о двумерной адвекции поверхностного загрязнения морскими течениями со сложной геометрией береговой линии в приближении идеальной несжимаемой жидкости. Задача решена с использованием численного метода дискретных особенностей, адаптированного к задачам адвекции жидкости. Обсуждается иллюстрационный пример эволюции загрязнения в Днепровско – Бугском лимане. Показано, что действие ветра приводит к значительным изменениям в движении загрязнения, к заметному замедлению скорости движения загрязнения и его смещению в поперечном направлении по отношению к основному потоку.

Ключевые слова: задача адвекции, 2D потенциальное течение, метод дискретных особенностей, поверхностное загрязнение.

Розглядається задача про двомірну адвекцію поверхневого забруднення морськими течіями зі складною геометрією берегової лінії в наближенні ідеальної нестисливої рідини. Задача розв'язана з використанням чисельного методу дискретних особливостей, адаптованого до задач адвекції рідини. Обговорюється ілюстративний приклад еволюції забруднення в Дніпровсько – Бугському лимані. Показано, що дія вітру призводить до значних змін в русі забруднення, до помітного уповільнення швидкості руху забруднення і його зміщення в поперечному напрямку по відношенню до основного потоку.

Ключові слова: задача адвекції, 2D потенційна течія, метод дискретних особливостей, поверхневе забруднення.

The paper deals with the two-dimensional advection problem of surface pollution by sea currents with complex coastline geometry in the approximation of an ideal incompressible fluid. The problem was solved using the numerical method of discrete singularities adapted to the advection problems of fluids. An illustrative example of the evolution of pollution in the Dnieper – Bug estuary is discussed in the report. It is shown that the effect of the wind leads to significant changes in the movement of pollution, to a noticeable slowing of the pollution movement, and its displacement in the transverse direction with respect to the main flow.

Key words: advection problem, 2D potential flow, method of discrete singularities, surface pollution.

УДК 532.5.031:004.942

С. О. ДОВГИЙ, О. М. БУЛАНЧУК, Г. Г. БУЛАНЧУК

КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ПО МОДЕЛЮВАННЮ АЕРОДИНАМІКИ МІСЬКИХ РАЙОНІВ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНИХ ВИХОРИВ

Розглядається інтерактивна комп'ютерна програма для моделювання аеродинаміки міських районів, розроблена на базі методу дискретних вихорів. Вона дозволяє швидко провести розрахунки аераційної ситуації в житловому районі для плоского або просторового випадку. Користувач може задати різний напрямок вітру, джерела забруднення, різну конфігурацію забудови та розміщення паркових зон. Програма дозволяє досліджувати рух вихорів, поле швидкостей, зони комфортності та розповсюдження домішок. Може бути використана для пошуку оптимальної конфігурації забудови.

Ключові слова: інтерактивна комп'ютерна програма, метод дискретних вихорів, моделювання аерації житлових районів, моделювання паркових зон, розповсюдження домішок, зони комфортності.

Рассматривается интерактивная компьютерная программа для моделирования аэродинамики городских районов, разработанная на базе метода дискретных вихрей. Она позволяет быстро провести расчеты аэрационной ситуации в жилом районе для плоского или пространственного случая. Пользователь может задать различное направление ветра, источники загрязнения, различную конфигурацию застройки и размещения парковых зон. Программа позволяет исследовать движение вихрей, поле скоростей, зоны комфортности и распространение примесей. Может быть использована для поиска оптимальной конфигурации застройки.

Ключевые слова: интерактивная компьютерная программа, метод дискретных вихрей, моделирование аэрации жилых районов, моделирование парковых зон, распространение примесей, зоны комфортности.

The article describes an interactive computer program for simulation of urban areas aerodynamics by using the discrete vortices method. When calculating flow past buildings dynamic arrays of structures were created and each structure stored information about control points and connected vortices, namely their coordinates and intensity. To simulate free vortices, a dynamic three-dimensional array of structures was created, where information about the vortex sheets was stored. This program enables us to quickly calculate aeration situations in a residential area for two or three-dimensional cases. The user can specify various wind directions, pollution sources, various configurations of the building, and locations of parklands. The program allows us to study the motion of vortices, the velocity field, the comfort zone, and spreading of pollutants. It can be used for searching for optimal configurations of urban development.

Key words: interactive computer program, discrete vortices method, simulation of urban areas aeration, simulation of park areas, distribution of impurities, comfort zone.

УДК 519.63+533.6

С. В. ЖУЧЕНКО

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМОГАЗОДИНАМИКИ КАССЕТЫ ТВЭЛОВ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

В статье рассматриваются некоторые результаты вычислительных экспериментов, проведенных автором с помощью авторской программы ПЭВМ. Анализируются успешные и аварийные результаты, возникшие при численном моделировании газодинамики как в активной зоне, так и в коллекторах кассеты из 4 и 8 тепловыделяющих элементов.

Ключевые слова: кассета тепловыделяющих элементов, распределительный и сборный коллекторы, гелиевый теплоноситель, турбулентные течения, возвратные потоки, аварийная ситуация.

У статті розглядаються деякі результати обчислювальних експериментів, проведених автором за допомогою авторської програми ПЕОМ. Аналізуються успішні і аварійні результати, що виникли при чисельному моделюванні газодинаміки як в активній зоні, так і в колекторах касети з 4 і 8 тепловиділяючих елементів.

Ключові слова: касета тепловиділяючих елементів, розподільний і збірний колектори, гелієвий теплоносій, турбулентні течії, поворотні потоки, аварійна ситуація.

The paper presents the results of computational experiments obtained by an authorial program for designing gas dynamics, which takes place in the active zone of fast-neutron nuclear reactor with helium coolant-moderator and its adjoining collectors. The Generation IV International Forum refers the reactors of such type to the 4-th generation nuclear energy systems. Using helium as coolant-moderator in such reactors is extremely perspective, but implementation of such a project faces many difficulties. The methods and algorithm for joint solving of gas dynamic problem in the fuel elements and their adjoining collectors were developed in the author's recent paper published in the Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University, series: "Mathematics, Applied Mathematics, and Mechanics", 2018, vol. 88. In the present paper an example of successful numerical modeling of gas dynamic process in a fuel slug consisting of 4 active zones is proposed. In particular, the plots of changes in time of consumption rate of both cool and heated coolant-moderator at the entrance and exit of the fuel slug are given. The dependence on time of temperature changes at the fuel element exit is also plotted. The plots of isobar distribution in the fuel elements at specific times as well as the trajectories of free vortices in the collectors are shown. At the end of the paper the results of a computational experiment resulting in an emergency situation in a fuel slug consisting of 8 fuel elements and its causes are discussed.

Key words: fuel slug, distribution and collection header, helium coolant-moderator, turbulent flows, reversing flow, emergency situation.

УДК 532.5

В. А. КАТАН

ПРИМЕНЕНИЕ СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛОВ В СМЫСЛЕ КОНЕЧНОЙ ЧАСТИ ПО АДАМАРУ ДЛЯ УДАРНЫХ ЗАДАЧ ГИДРОМЕХАНИКИ

Предлагается новый подход для определения положения зон отрыва жидкости от поверхности тела (одной или нескольких) с использованием трансцендентных уравнений с сингулярными интегралами в смысле конечной части по Адамару, полученных вследствие вариационного принципа Огазо. Общая постановка ударной плоской задачи для тела любого профиля конформным отображением приводится к смешанной задаче Келдыша-Седова и ее решение представляется в виде квадратур.

Ключевые слова: ударное взаимодействие жидкости с твердым телом, отрыв потока, сингулярные интегралы в смысле конечной части по Адамару.

Запропоновано новий підхід до визначення положення зон відриву рідини від поверхні тіла (одної або декількох) за допомогою трансцендентних рівнянь із сингулярними інтегралами в сенсі скінченної частини за Адамаром, отриманих в результаті застосування варіаційного принципу Огазо. Загальну постановку ударної плоскої задачі для тіла будь-якого профілю конформним відображенням зведено до мішаної задачі Келдиша-Седова та її розв'язок подано у виді квадратур.

Ключові слова: ударна взаємодія рідини з твердим тілом, відрив потоку, сингулярні інтегралы в сенсі скінченної частини за Адамаром.

A new approach for determining the location of separation areas of liquid from the surface of a body (one or more) using transcendental equations with singular integrals in the sense of the Hadamard finite part, derived by applying the Ogazo principle, is proposed. The formulation of two-dimensional water entry problem for a body with any profile is reduced to a Keldysh-Sedov boundary value problem using conformal mapping and its solution is obtained in the form of quadrature.

Key words: impact fluid interaction with solids, flow separation, singular integrals in the sense of the Hadamard finite part.

В. Ю. КИЛИННИК, О. В. ТИШКОВЕЦЬ, Д. В. КРЮТЧЕНКО, Ю. В. НАУМЕНКО

КОЛИВАННЯ РІДИНИ В ЦИЛІНДРИЧНО-КОНІЧНІЙ ОБОЛОНЦІ ПІД ДІЄЮ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Досліджено коливання ідеальної нестисливої рідини в оболонках обертання, які складаються з циліндричної та конічної частин. Оболонка піддана дії вертикального збудження. Вважається, що рідина в оболонці є ідеальною та нестисливою. Припускається, що рух рідини є потенціальним. В цих умовах існує потенціал швидкостей, що задовольняє рівнянню Лапласа. Тиск рідини як функція потенціалу швидкостей знаходиться за допомогою рівняння Бернуллі. Задача визначення тиску на стінки оболонки зводиться до розв'язання сингулярного інтегрального рівняння. Числовий розв'язок цього рівняння отриманий методом дискретних особливостей.

Ключові слова: складені оболонки обертання, ідеальна нестислива рідина, метод граничних елементів, метод дискретних особливостей, частоти і форми коливань.

Исследованы колебания идеальной несжимаемой жидкости в оболочках вращения, которые состоят из цилиндрических и конических частей. Оболочка подвержена действию вертикального возбуждения. Считается, что жидкость идеальная и несжимаемая. Предполагается, что движение жидкости является безвихревым. В этих условиях существует потенциал скоростей, удовлетворяющий уравнению Лапласа. Давление жидкости как функция потенциала скоростей находится с помощью интеграла Бернуллі. Задача определения давления жидкости на стенки оболочки сводится к решению сингулярного интегрального уравнения. Численное решение этого уравнения получено методом дискретных особенностей.

Ключевые слова: составные оболочки вращения, идеальная несжимаемая жидкость, метод граничных элементов, метод дискретных особенностей, частоты и формы колебаний.

Vibrations of an ideal incompressible fluid in shells of revolution are under consideration. These shells of revolution include cylindrical and conical parts. It is assumed that the shell is subjected to vertical excitations. The liquid in the shells is supposed to be an ideal and incompressible one. The fluid flow in the shell is irrotational. So, there exists the velocity potential that satisfies the Laplace equation. The non-penetration conditions are applied to the wetted surfaces of the shell, and on the free surface the kinematic and dynamic conditions are considered. The liquid pressure as the function of the velocity potential is found using the Bernoulli equation. The problem of determining the fluid pressure is reduced to solving a singular integral equation. The numerical solution of this equation is obtained by the method of discrete singularities. The method of calculating the free and forced oscillations of the fluid in the shells of revolution is developed.

Key words: compound shells of revolution, ideal incompressible fluid, method of boundary elements, method of discrete singularities, frequencies and modes of vibrations.

Д. В. КРЮТЧЕНКО, В. І. ГНІТЬКО, Ю. С. ШУВАЛОВА

МЕТОД ДИСКРЕТНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗУ КОЛИВАНЬ РЕЗЕРВУАРІВ З РІДИНОЮ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТА ВЕРТИКАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Запропоновано методи дослідження коливання рідини в жорстких резервуарах з перегородками. Запропоновано чисельний метод моделювання зовнішнього впливу на резервуари для зберігання рідини. Вважається, що рідина є нестисливою та ідеальною, а її рух, викликаний дією зовнішнього навантаження, є безвихровим. У цих умовах існує потенціал швидкостей, який задовольняє рівнянню Лапласа. Сформульована мішана крайова задача для визначення потенціалу швидкостей. Це є основою для отримання власних форм вільних коливань рідини в циліндричних резервуарах, які розглядаються як базисні функції для вивчення вимушених коливань рідини в циліндричній ємності з перегородками. Розглянуто вимушені коливання, викликані гармонічними, імпульсними і сейсмічними навантаженнями, та досліджено їх вплив на рівень підйому вільної поверхні.

Ключові слова: циліндричний резервуар, перегородка, вільні і вимушені коливання, плескання.

Изучены колебания жидкости в жестких резервуарах с перегородками. Предложен численный метод моделирования внешнего воздействия на резервуары для хранения жидкости. Предполагается, что жидкость является несжимаемой и идеальной, а ее движение, вызванное действием внешней нагрузки, является безвихревым. В этих условиях существует потенциал скоростей, который удовлетворяет уравнению Лапласа. Сформулирована смешанная краевая задача для определения потенциала скоростей. Решение этой задачи служит основой для получения собственных форм свободных колебаний жидкости в цилиндрических резервуарах, которые рассматриваются как базисные функции для изучения вынужденных колебаний жидкости в цилиндрической емкости с перегородками. Рассмотрены вынужденные колебания, вызванные гармоническими, импульсными и сейсмическими нагрузками, и исследовано их влияние на уровень подъема свободной поверхности.

Ключевые слова: цилиндрический резервуар, перегородка, свободные и вынужденные колебания, плескания.

In this paper, we propose methods for solving the fluid vibration problems in rigid tanks with partitions. The numerical method for modelling the external influence upon liquid storage tanks is proposed. It is assumed that the liquid is incompressible and ideal one, and its motion, caused by the action of external loading, is vortex-free. In these conditions, there exists a velocity potential that satisfies the Laplace equation. The mixed boundary value problem is formulated for determining the velocity potential. This is the base to obtain the eigenforms of free liquid vibrations in the cylindrical tanks, which are considered as basic functions for studying the forced liquid vibrations in a rigid baffled cylindrical tank. The mixed boundary value problem is solved by method of potential theory. The liquid pressure is obtained from the system of singular integral equations. It is solved numerical by the method of discrete singularities. The lateral excitations caused by harmonic, impulse, and seismic loadings are considered and their influence on the free surface elevation is examined.

Key words: cylindrical tank, baffle, free and forced vibrations, sloshing.

K. M. MALASH, A. YA. BOMBA

SPATIAL GENERALIZATION OF THE EXPLOSION PROCESS MATHEMATICAL MODEL USING QUASICONFORMAL MAPPINGS METHODS

The mathematical model of the explosive process impact on the environment developed on the basis of the classical fluid theory which defines the borders of crater, the compressed and unperturbed sections of the soil created as an explosion result is generalized for the case of a three-dimensional medium. The algorithm of the corresponding boundary value problem numerical solving by quasiconformal mappings numerical methods and a stepwise parameterization of the characteristics of the environment and process and its program realization are presented. Numerical experiments were performed on the basis of the developed algorithm and the obtained results were analyzed.

Key words: explosion processes, quasiconformal mappings, three-dimensional medium, mathematical modeling, inverse problems.

Математична модель впливу вибухового процесу на середовище, розроблена на основі класичної рідинної теорії, що визначає межі утворюваних у досліджуваному середовищі внаслідок дії вибуху вирвів, впресованої та незбуреної ділянок ґрунту на основі апріорно відомих вибухової сили та розміру і форми заряду і початкового розподілу коефіцієнта проникності досліджуваного середовища та його критичних значень, узагальнена на випадок трьохвимірного простору. На базі розробленої математичної моделі створено алгоритм числового розв'язування відповідної крайової задачі з використанням числових методів квазіконформних відображень та поетапної параметризації характеристик досліджуваного середовища і вибухового процесу та описана його програмна реалізація. На основі розробленого алгоритму проведено ряд числових експериментів та проаналізовано отримані результати.

Ключові слова: вибухові процеси, квазіконформні відображення, трьохвимірне середовище, математичне моделювання, обернені задачі.

Математическая модель влияния взрывного процесса на среду, разработанная на основе классической жидкостной теории, определяющая границы образованных в результате взрыва воронок, впрессованного и невозмущенного участков почвы, обобщена на случай трехмерной среды. Приведены алгоритм численного решения соответствующей краевой задачи с использованием численных методов квазиконформных отображений и поэтапной параметризации характеристик среды и процесса и его программная реализация. На основе разработанного алгоритма проведены численные эксперименты и проанализированы полученные результаты.

Ключевые слова: взрывные процессы, квазиконформные отображения, трехмерная среда, математическое моделирование, обратные задачи.

УДК 539.3

Р. П. МОСКАЛЕНКО, Р. Г. ПАЛЬЧИКОВ, О. О. СТРЕЛЬНИКОВА

МЕТОД ГІПЕРСИНГУЛЯРНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ В ЗАДАЧАХ ВІЛЬНИХ ТА ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ ЛОПАТЕЙ ГІДРОТУРБІН ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З РІДИНОЮ

Проведено аналіз коливань лопатей з урахуванням впливу приєднаних мас рідини. Вважається, що рідина є ідеальною та нестисливою, а її рух, індукований вібраціями лопатей, є безвихровим. В цих умовах швидкість рідини має потенціал, який задовольняє рівнянню Лапласа. Тиск рідини на поверхні лопаті знаходиться з рівняння Бернуллі. Для визначення потенціалу швидкостей сформульовано крайову задачу. Її розв'язок отримано шляхом використання методів теорії потенціалу. Отримано гіперсингулярне граничне інтегральне рівняння, яке розв'язано методом дискретних особливостей.

Ключові слова: гіперсингулярне інтегральне рівняння, гідропружна взаємодія, проєкційний метод, вільні та вимушені коливання.

Дан анализ колебаний лопастей с учетом влияния присоединенных масс жидкости. Предполагается, что жидкость является идеальной, несжимаемой, а ее движение, вызванное колебаниями лопастей, безвихревое. В этих условиях существует потенциал скоростей, удовлетворяющий уравнению Лапласа. Давление жидкости находится из уравнения Бернулли. Для определения потенциала скоростей сформулирована краевая задача. Ее решение осуществляется с использованием методов теории потенциала. Получено разрешающее гиперсингулярное граничное уравнение. Его численное решение осуществлено методом дискретных особенностей.

Ключевые слова: гиперсингулярное интегральное уравнение, гидроупругое взаимодействие, проекционный метод, свободные и вынужденные колебания.

The paper presents an analysis of thin blade vibrations considering effects of liquid added masses. The liquid is supposed to be an ideal and incompressible one. Its flow, induced by blade vibrations, is vortex-free. In these conditions, there is the velocity potential that satisfies the Laplace equation. The liquid pressure as function of the velocity potential is derived from Bernoulli's equation. To determine the velocity potential, the boundary value problem is formulated. It is solved using the potential theory methods. For evaluating the velocity potential and liquid pressure, the hypersingular boundary integral equation is obtained. The coupled discrete singularity and projection methods are applied for its numerical solution. The application of the projection method requires numerical calculation of fourfold integrals. The inner integrals here are singular. So, for their numerical treatment, the method of discrete singularities is used. The effective numerical procedures to estimate the fourfold integrals are elaborated. The free and forced vibrations of model blades are considered.

Key words: hypersingular integral equation, liquid-structure interaction, projection method, free and forced vibrations.

УДК 519.6

А. О. ОСТАПЕНКО, Г. Г. БУЛАНЧУК

МОДЕЛЮВАННЯ ОБТІКАННЯ ПЕРЕШКОД МЕТОДОМ ГРАТКОВИХ РІВНЯНЬ БОЛЬЦМАНА ПРИ ВЕЛИКИХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

Розглядається застосування кінетичного підходу до моделювання динаміки в'язкої рідини. Запропоновано метод регуляризації для отримання стійких та фізичних розв'язків при великих числах Рейнольдса до 20000. В основі методу регуляризації закладена медіана фільтрація, що ефективно згладжує аномальні пульсації. Верифікація методу проведена на класичній тестовій задачі про обтікання кругового циліндра. Проведені чисельні експерименти із моделювання течії довкола профілю Nasa 0012 під різними кутами атаки.

Ключові слова: в'язка рідина, рівняння Больцмана, регуляризація, круговий циліндр, профіль Nasa 0012.

Рассматривается применение кинетического подхода к моделированию динамики вязкой жидкости. Предложен метод регуляризации для получения устойчивых и физических решений при больших числах Рейнольдса до 20000. В основе метода регуляризации заложена медиана фильтрация, которая эффективно сглаживает аномальные пульсации. Верификация метода проведена на классической тестовой задаче об обтекании кругового цилиндра. Проведены численные эксперименты по моделированию течения около профиля Nasa 0012 под разными углами атаки.

Ключевые слова: вязкая жидкость, уравнение Больцмана, регуляризация, круговой цилиндр, профиль Nasa 0012.

The application of the kinetic approach for the viscous fluid flow modeling is considered. A regularization method is proposed for obtaining stable and physical numerical solutions at large Reynolds numbers up to 20,000. The basis of the regularization method is the median filtration that effectively smoothes abnormal ripples and, at the same time, preserves the boundaries of sharp transitions and the structure of the flow. The verification of the method was carried out on the classical test task of the flow around circular cylinder at the Reynolds numbers from 500 to 20000. Numerous experiments were conducted to simulate the flow around the profile of Nasa 0012 at different angles of attack. The results of numerical solutions, namely, the distribution diagram of the velocity magnitude, streamlines, hydrodynamic coefficients, are presented.

Key words: viscous flow, Boltzmann equation, regularization, circular cylinder, Nasa 0012 profile.

УДК 519.6, 539.3

Б. Е. ПАНЧЕНКО

О ЧИСЛЕННОМ ИССЛЕДОВАНИИ СИСТЕМ СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО РОДА И С НЕОПРЕДЕЛЯЕМЫМ ИНДЕКСОМ С УЧЕТОМ ЧИСЛА ОБУСЛОВЛЕННОСТИ СЛАУ

Путем сведения к двум разным типам систем сингулярных интегральных уравнений (СИУ) численно исследуется краевая задача математической физики для бесконечной упругой изотропной области, содержащей неподвижное включение с поперечным сечением произвольной формы, находящееся под воз-

действием плоских гармонических стационарных волн. Задача решается с использованием систем СИУ 1-го и 2-го рода (но с неопределяемым индексом). С использованием кластерных высокоточных вычислительных схем исследуется зависимость числа обусловленности систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) от волнового числа. Наряду с исследовательскими задачами, разработанные методы и алгоритмы могут использоваться для подготовки специалистов в области «дата майнинга».

Ключевые слова: сингулярные интегральные уравнения, индекс уравнения, число обусловленности СЛАУ, численный эксперимент, дифракция плоских волн, неподвижное включение (защемленное отверстие).

Шляхом зведення до двох різних типів систем сингулярних інтегральних рівнянь (СІР) проведено чисельне дослідження крайової задачі математичної фізики для нескінченного пружного ізотропного середовища, що містить нерухоме включення з поперечним перерізом довільної форми, яке знаходиться під впливом плоских гармонічних стаціонарних хвиль. Задачу розв'язано з використанням систем СІР 1-го та 2-го роду (але з невизначаемим індексом). Завдяки кластерним високоточним обчисленням досліджено залежність числа обумовленості СЛАУ від хвильового числа. Окрім дослідницьких задач, розроблені методи і алгоритми можуть використовуватися для підготовки фахівців в галузі «дата майнинга».

Ключові слова: сингулярні інтегральні рівняння, індекс рівняння, число обумовленості СЛАУ, чисельний експеримент, дифракція плоских хвиль, нерухоме включення (затиснений отвір).

The numerical investigation of boundary-value problems of mathematical physics for an elastic isotropic medium that contains a rigid inclusion with an arbitrary contour and under the influence of plane harmonic stationary waves is carried out by reducing systems of singular integral equations (SIE) to two different types. The problem is solved by using systems of SIE of the 1st and 2nd kind (with an indefinable index). Cluster high-precision computational schemes are used to investigate the dependence of the condition number of a system of linear algebraic equations (SLAE) on the wavenumber. Alongside the research problems, the developed methods and algorithms can be used for training qualified professionals in the field of «data mining».

Key words: singular integral equations, equation index, SLAE condition number, numerical experiment, diffraction of plane waves, rigid inclusion (clamped cavity).

УДК 517.968

Т. С. ПОЛЯНСКАЯ

ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОДНОГО ГИПЕРСИНГУЛЯРНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ

На основе метода дискретных особенностей построена дискретная математическая модель гиперсингулярного интегрального уравнения на стандартном интервале $(-1, 1)$ и на системе интервалов. Доказана однозначная разрешимость дискретной модели и дана оценка скорости сходимости решения дискретной задачи к точному решению гиперсингулярного интегрального уравнения при некоторых предположениях гладкости.

Ключевые слова: гиперсингулярное интегральное уравнение, метод дискретных особенностей.

На основі методу дискретних особливостей побудована дискретна математична модель гіперсингулярного інтегрального рівняння на стандартному інтервалі $(-1, 1)$ і на системі інтервалів. Доведено однозначна розв'язність дискретної моделі і дана оцінка швидкості збіжності рішення дискретної задачі до точного рішення гіперсингулярного інтегрального рівняння при деяких припущеннях гладкості.

Ключові слова: гіперсингулярне інтегральне рівняння, метод дискретних особливостей.

A discrete mathematical model of a hypersingular integral equation on the standard interval $(-1, 1)$ and on a system of intervals is constructed based on the method of discrete singularities. The unique solvability of the model is proved and the convergence rate of the solution of the discrete problem to the exact solution of the hypersingular integral equation is estimated under some smoothness assumptions.

Key words: hypersingular integral equation, method of discrete singularities.

УДК 004:57:616-07

О. Г. РУДНИЦЬКИЙ, М. О. РУДНИЦЬКА, Л. В. ТКАЧЕНКО

ФРАКТАЛЬНА ТА МОРФОЛОГІЧНА ОБРОБКА У ФАЗОВО-КОНТРАСТНІЙ МАГНІТО-РЕЗОНАНСНІЙ АНГІОГРАФІЇ

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) – це метод відображення внутрішньої структури матеріальних об'єктів, заснований на явищі ядерного магнітного резонансу і широко застосовуваний у задачах медичної діагностики. Переваги МРТ перед рентгенівською комп'ютерною томографією складаються з можливості отримання необов'язково паралельних перерізів, з більш високою роздільною здатністю, та у відсутності шкідливого жорсткого променевого впливу на пацієнтів і обслуговуючий персонал. У цій роботі ми представляємо технології сегментації та шумоподавлення, розроблені для 3D MRT-зображень, що базуються на методах фрактальної фільтрації та математичної морфології.

Ключові слова: 3D-сегментація, фрактальна розмірність, математична морфологія.

Магнітно-резонансная томография (МРТ) – это метод отображения внутренней структуры материальных объектов, основанный на явлении ядерного магнитного резонанса и широко применяемый в задачах медицинской диагностики. Преимущества МРТ перед рентгеновской компьютерной томографией состоят из возможности получения необязательно параллельных сечений, с более высоким разрешением, и в отсутствии вредного жесткого лучевого воздействия на пациентов и персонал. В этой работе мы представляем технологию сегментации и шумоподавления, разработанную для 3D MRT-изображений, которая базируется на методах фрактальной фильтрации и математической морфологии.

Ключевые слова: 3D-сегментация, фрактальная размерность, математическая морфология.

Magnetic resonance imaging (MRI) is a method of displaying the internal structure of material objects, based on the phenomenon of nuclear magnetic resonance and widely used in the tasks of medical diagnostics. Advantages of MRI before X-ray computed tomography include the possibility of obtaining optionally parallel cross sections, with higher resolution, and in the absence of harmful rigid radiation effects on patients and attendants. In this work, we present segmentation and noise reduction technologies developed for 3D MRT images based on fractal filtration and mathematical morphology.

Key words: 3D segmentation, fractal dimension, mathematical morphology.

УДК 628.337:66.087.5

А. П. САФОНИК, О. В. ПРИСЯЖНЮК, В. А. ПАСІЧНИК

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОКОАГУЛЯЦІЇ В НЕІЗОТЕРМІЧНИХ УМОВАХ

Проаналізовано проблеми моделювання процесу очищення води в електрокоагуляційній камері в неізотермічних умовах. Визначено основні параметри для розрахунку тепло- та масопереносу в електрокоагуляторі. Побудовано математичну модель, що описує закономірності протікання процесів в електрокоагу-

ляційній установці із уточненням оптимальних параметрів. Знайдено розв'язки відповідної модельної задачі з використанням асимптотичного наближення розв'язку відповідної крайової задачі та наведені результати комп'ютерного експерименту.

Ключові слова: математичне моделювання, електрокоагуляція, електрофлотація, температурний режим.

Проанализированы проблемы моделирования процесса очистки воды в электрокоагуляционной камере в неизоотермических условиях. Определены основные параметры для расчета тепло- и массопереноса в электрокоагуляторе. Построена математическая модель, описывающая закономерности протекания процессов в электрокоагуляционной установке с уточнением оптимальных параметров. Найдено решение соответствующей модельной задачи с использованием асимптотического приближения решения соответствующей краевой задачи и приведены результаты компьютерного эксперимента.

Ключевые слова: математическое моделирование, электрокоагуляция, электрофлотация, температурный режим.

The problems of modeling the process of water treatment in an electrocoagulation chamber in nonisothermal conditions are analyzed. The basic parameters for calculating the mass and heat transfer in the electrocoagulator are determined. The mathematical model describing the patterns of process flow in the electrocoagulation installation with the specification of the optimal parameters of the process is constructed. The solutions of the corresponding model problem are found using the asymptotic approximation of the solution of the corresponding boundary value problem and the results of the computer experiment are given. In this case study, the effect of current strength on the concentration of the target component at the exit from the reactor is determined using the developed mathematical model. The influence of the electrode heat emission rate on the efficiency of purification process is tested.

Key words: mathematical modeling, electrocoagulation, electroflotation, temperature regime.

УДК 519.6

А. В. СОХАЦЬКИЙ

МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ НЕСУЧИХ СИСТЕМ ПОБЛИЗУ ЗЕМЛІ

Розглядається задача математичного моделювання аеродинаміки транспортних апаратів поблизу землі. Моделювання аеродинаміки несучих систем є надзвичайно актуальною проблемою при проектуванні транспортних апаратів. Це обумовлено складністю опису фізичних процесів реальних турбулентних течій з однієї сторони та необхідністю забезпечення відповідних критеріїв стійкості та керованості транспортним апаратам з іншої. В зв'язку з цим розробка математичних моделей для прогнозування динаміки турбулентних течій навколо транспортних апаратів є невідкладною необхідністю. В роботі розглядаються підходи до моделювання аеродинаміки несучих систем на основі в'язкої та ідеальної рідини. Розроблено комплекс програмного забезпечення для моделювання аеродинаміки транспортних апаратів з використанням осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є – Стокса та методів дискретних особливостей. Приводяться результати розрахунків та перспективи подальших досліджень.

Ключові слова: аеродинаміка транспортних апаратів, числове моделювання, метод дискретних вихорів, рівняння Нав'є – Стокса, моделі турбулентності.

Рассматривается задача математического моделирования аэродинамики транспортных аппаратов вблизи земли. Моделирование аэродинамики несущих систем является чрезвычайно актуальной проблемой при проектировании транспортных аппаратов. Это обусловлено сложностью описания физических процессов реальных турбулентных течений с одной стороны и необходимостью обеспечения соответствующих критериев стойкости и управляемости транспортным аппаратам с другой. В этой связи разработка математических моделей для прогнозирования динамики турбулентных течений вокруг транспортных аппаратов является неотложной необходимостью. В работе рассматриваются подходы к моделированию аэродинамики несущих систем на основе вязкой и идеальной жидкости. Разработан комплекс программного обеспечения для моделирования аэродинамики транспортных аппаратов с использованием осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса и методов дискретных особенностей. Приводятся результаты расчетов и перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: аэродинамика транспортных аппаратов, численное моделирование, метод дискретных вихрей, уравнения Навье – Стокса, модели турбулентности.

In the paper mathematical modeling of aerodynamics of transport vehicle in the near-ground region is considered. Modeling aerodynamics of bearing systems is an extremely relevant issue when planning a transport vehicle. It is caused by complication of description of physical processes of real turbulent flows on the one hand and necessity of providing corresponding criteria of stability and controllability of transport vehicles from the other. In this connection the development of mathematical models for predicting dynamics of turbulent flows round transport vehicles is an urgent necessity. In the paper the approaches to modeling bearing system aerodynamics based on viscous and ideal fluid are presented. The complex of software for modeling transport vehicle aerodynamics using Reynolds – averaged Navier – Stokes equation and method of discrete singularities is developed. The results of calculations and prospect of further research are discussed.

Key words: aerodynamics of transport vehicles, numerical simulation, method of discrete vortices, Navier – Stokes equations, model of turbulence.

УДК 532.5:534.7

Л. М. ТЕРЕЩЕНКО, В. А. ВОСКОВІЙНИК, О. А. ВОСКОБОЙНИК, А. В. ВОСКОБІЙНИК

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ ЧЕРЕЗ ДВОПЕЛЮСТКОВИЙ МЕХАНІЧНИЙ СЕРЦЕВИЙ КЛАПАН

Аналізуються результати експериментальних досліджень гідродинамічного шуму струменевої течії через відкритий та напівзакритий двопелюстковий механічний клапан серця. Вихрова та струменева течії нижче за потоком від протезу серцевого клапану є нелінійними, випадковими процесами. Такі процеси аналізуються за допомогою методів математичної статистики і теорії ймовірності. Обробка та аналіз результатів вимірювання полів пульсацій тиску, гідродинамічного шуму поблизу мітрального клапану і вібрацій моделей лівого шлуночка та лівого передсердя були виконані з визначенням статистичних моментів різного порядку.

Ключові слова: серцевий клапан, вихрова течія, гідродинамічний шум, пульсації тиску, бічний та центральний струмінь, статистичний аналіз.

Анализируются результаты экспериментальных исследований гидродинамического шума струйного течения через открытый и полузакрытый двухпелюстковый механический клапан сердца. Вихревые и струйные течения ниже по потоку от протеза сердечного клапана являются нелинейными, случайными процессами. Такие процессы анализируются с помощью методов математической статистики и теории вероятности. Обработка и анализ результатов измерения полей пульсаций давления, гидродинамического шума вблизи митрального клапана и вибраций моделей левого желудочка и левого предсердия были выполнены с определением статистических моментов различных порядков.

Ключевые слова: сердечный клапан, вихревое течение, гидродинамический шум, пульсации давления, боковая и центральная струя, статистический анализ.

Experimental results of hydrodynamic noise of the jet flow across an open and semi-closed bileaflet mechanical heart valve were analysed in the paper. The vortex and jet flows behind prosthetic heart valve are non-linear, random processes. Such processes are analyzed using the methods of mathematical statistics and probability theory. Processing and analysis of the experimental results of measuring the field of pressure fluctuations, hydrodynamic noise near the mitral valve, and vibrations of the left ventricle and atrium models were carried out with the determination of statistical moments of various orders.

Key words: heart valve, vortex flow, hydrodynamic noise, pressure fluctuations, side and central jet, statistical analysis.

*В. А. УДОВЕНКО, А. И. ГЛАДЫШЕВ***АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЁТА В СПУТНОМ СЛЕДЕ ДРУГОГО ВЕРТОЛЁТА**

Исследовано влияние спутного вихревого следа вертолётa на аэродинамические характеристики несущего винта другого вертолётa. Используются математические модели ближнего и дальнего следа. Для ближнего следа проводится численное моделирование обтекания несущих винтов вертолётa методом дискретных вихрей. Модель дальнего следа учитывает затухание и разрушение следа вследствие турбулентности атмосферы, силы вязкого трения и выталкивающей силы Архимеда. Приращения аэродинамических характеристик винта вертолётa в следе по сравнению с полётом вне следа вычисляются с использованием результатов расчётов по обоим моделям.

Ключевые слова: вертолёт, спутный след, аэродинамические характеристики, метод дискретных вихрей, турбулентность, вязкое трение, сила Архимеда.

Досліджений вплив супутнього вихрового сліду вертольота на аеродинамічні характеристики несучого гвинта іншого вертольота. Використані математичні моделі ближнього та дальнього сліду. Для ближнього сліду проводиться числове моделювання обтікання несучих гвинтів вертольотів методом дискретних вихорів. Модель дальнього сліду враховує загасання й руйнування сліду внаслідок турбулентності атмосфери, сили в'язкого тертя та виштовхуючої сили Архімеда. Прирости аеродинамічних характеристик гвинта в сліду у порівнянні з польотом поза слідом вираховуються з використанням результатів розрахунків за обома моделями.

Ключові слова: вертоліт, супутній слід, аеродинамічні характеристики, метод дискретних вихорів, турбулентність, в'язке тертя, сила Архімеда.

The influence of vortex wake of the helicopter on the aerodynamic characteristics of another helicopter's main rotor is investigated. The mathematic models of near and far vortex wake are used. For the near wake the numerical modeling of the flow about both helicopters' main rotors is carried out by the method of discrete vortices. The far wake model accounts for damping and wake destruction due to the atmosphere turbulence, viscous friction force, and Archimedean buoyant force. Increments of aerodynamic characteristics of the rotor of the helicopter in the wake compared with the flight out of the wake are computed using results of the calculations according to the both models.

Key words: helicopter, wake, aerodynamic characteristics, method of discrete vortices, turbulence, viscous friction, Archimedean buoyant force.

УДК 532.527+533.697.3

*А. В. ШЕХОВЦОВ***ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ФУНКЦИИ ТОКА, СКОРОСТИ И ЗАВИХРЕННОСТИ ВЯЗКОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ С ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕМ ОТ ВИХРЯ ВБЛИЗИ СТЕНКИ И В КАНАЛЕ**

При помощи методов зеркального и конформного отображений, а также формализма комплексного потенциала аналогового дискретного вихря равной циркуляции, получены аналитические выражения для функции тока, скорости и завихренности вязкого нестационарного несжимаемого течения с проскальзыванием от вихря вблизи стенки и в канале. В качестве базового использовалось фундаментальное решение обобщенного уравнения Гельмгольца для дисперсии завихренности в вязкой несжимаемой среде – вихрь Лэмба – Озеена, скорость от которого удовлетворяет уравнению неразрывности. Полученные выражения могут быть использованы для численного моделирования описанных течений и визуализации их кинематических полей.

Ключевые слова: функция тока, скорость, завихренность, вязкое нестационарное несжимаемое течение, проскальзывание, вихрь Лэмба – Озеена, стенка, канал, фундаментальное решение обобщенного уравнения Гельмгольца, дисперсия.

За допомогою методів дзеркального і конформного відображень, а також формалізму комплексного потенціалу аналогового дискретного вихору однакової циркуляції, отримані аналітичні вирази для функції струму, швидкості та завихреності в'язкої нестационарної нестисливої течії з проковзуванням від вихору поблизу стінки і в каналі. В якості базового використовувався фундаментальний розв'язок узагальненого рівняння Гельмгольца для дисперсії завихреності у в'язкому нестисливому середовищі – вихор Лемба – Озеена, швидкість від якого задовольняє рівнянню нерозривності. Отримані вирази можуть бути використані для чисельного моделювання описаних течій і візуалізації їх кінематичних полів.

Ключові слова: функція струму, швидкість, завихреність, в'язка нестационарна нестислива течія, проковзування, вихор Лемба – Озеена, стінка, канал, фундаментальний розв'язок узагальненого рівняння Гельмгольца, дисперсія.

Analytical expressions for the stream function, velocity and vorticity of the viscous unsteady incompressible flow with slip induced by the vortex near the wall and in the channel are obtained using the methods of mirror and conformal mappings as well as the formalism of the complex potential of an analog discrete vortex of equal circulation. The fundamental solution of the generalized Helmholtz equation for the dispersion of vorticity in a viscous incompressible medium – Lamb – Oseen vortex, speed from which satisfies the continuity equation is used as the basic one. The received expressions can be used for numerical simulation of the described flows and visualization of their kinematic fields.

Key words: stream function, velocity, vorticity, viscous unsteady incompressible flow, slip, Lamb – Oseen vortex, wall, channel, fundamental solution of the generalized Helmholtz equation, dispersion.

**ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТА ПРИКЛАДНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
FUNDAMENTAL AND APPLIED STUDIES**

УДК 624.318

*Ю. В. БАТЫГИН, Е. Ф. ЕРЕМИНА, Е. А. ЧАПЛЫГИН, В. А. СТРЕЛЬНИКОВА***ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ИНСТРУМЕНТАХ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ ПРИ ПРЯМОМ ПРОПУСКАНИИ ТОКА ЧЕРЕЗ ОБРАБАТЫВАЕМЫЙ МЕТАЛЛ**

С помощью математического аппарата теории электромагнитных полей получены аналитические выражения, позволяющие рассчитывать распределение тока в поперечном сечении листового металла, возбужденного инструментом магнитно-импульсного притяжения при прямом пропускании тока через обрабатываемый металл, линейную плотность суммарного тока в листовом металле в зоне под основным токопроводом, а также интегральную силу притяжения, возбуждаемую при взаимодействии параллельных токов. Полученные решения поставленной электродинамической задачи позволяют рассматривать процессы в реальных инструментах магнитно-импульсного притяжения.

Ключевые слова: магнитно-импульсное притяжение, токопровод, листовой металл, линейная плотность тока, аналитические зависимости, математическая модель.

За допомогою математичного апарату теорії електромагнітних полів отримано аналітичні вирази, що дозволяють розрахувати розподіл струму в поперечному перерізі листового металу, збудженого інструментом магнітно-імпульсного притягання при прямому пропусканні струму через оброблюваний метал,

лінійну густину сумарного струму в листовому металі в зоні під основним струмопроводом, а також інтегральну силу притягання, що збуджується при взаємодії паралельних струмів. Отримані рішення поставленої електродинамічної задачі дозволяють розглядати процеси в реальних інструментах магнітно-імпульсного притягання.

Ключові слова: магнітно-імпульсне притягання, струмопровід, листовий метал, лінійна густина струму, аналітичні залежності, математична модель. With the help of the mathematical apparatus of the theory of electromagnetic fields, a study was conducted of electrodynamic processes in magnetic-pulse attraction instruments with direct current passing through the metal being processed. Analytical expressions are obtained that allow one to calculate the current distribution in the cross section of sheet metal, where a superposition of induced and extraneous current takes place, and relations are found for the linear density of the total current in the sheet metal in the zone under the main conductor, as well as the integral force of attraction induced by the interaction of parallel currents. The obtained solutions of the set electrodynamic problem adequately describe the processes in the tool of magnetic-pulse attraction and can be used in the design of real structures of tools, and the analysis of the dependencies found for the characteristics of the flowing processes will allow establishing requirements that will ensure not only which efficiency but also the efficiency of the tool.

Key words: magnetic-pulse attraction, conductor, sheet metal, linear current density, analytical dependencies, mathematical model.

УДК 512.83, 539.1, 621.01

А. П. КОЖУШКО, О. О. НАБОКА, О. Л. ГРИГОР'ЄВ

СПЕКТРАЛЬНІ ЕФЕКТИ ТА ТЕОРЕМИ ПРО ВЛАСТИВОСТІ ПУЧКА СИМЕТРИЧНИХ МАТРИЦЬ В ЗАДАЧАХ ДИНАМІКИ СКЛАДНИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Показано, що динамічний аналіз транспортного засобу із причепом чи напівприцепом приводить до задачі на власні значення для однопараметричного пучка $A + kB$, $k \in \mathbb{R}$ симетричних матриць. Вивчається поведінка спектральних траєкторій $\lambda_j(k)$ і зміни власних форм $\bar{X}_j(k)$ цього пучка. За додаткового припущення невід'ємності матриці B доведено, що функції $\lambda_j(k)$ є монотонними за аргументом k . Сформульовано та доведено нетривіальне твердження о знаках мінорів діагональних елементів виродженої симетричної матриці C , а саме: усі мінори мають однаковий знак. Звідки витікає умова чергування знаків мінору $C_{ll}(\lambda_0)$ діагонального елемента c_{ll} матриці $C = A - \lambda_0 E$, де λ_0 послідовно приймає власні значення $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n$ матриці A . Крім цього, доведено, що у загальному випадку спектральні траєкторії не мають спільних точок. Введено поняття наближено кратного спектру, тобто таких значень $\lambda_{j,1}(k_0), \lambda_{j,2}(k_0)$, для яких відстань між траєкторіями $\lambda_{j,1}(k)$ і $\lambda_{j,2}(k)$ є мінімальною за значеннями параметра k . Показано на прикладах, що в околі параметра k_0 відбувається спільне обертання власних форм $\bar{X}_{j,1}(k)$ і $\bar{X}_{j,2}(k)$, яке приводить до обміну їх координат. Тому при динамічному аналізі зв'язаних коливань, насамперед, необхідно вивчати поведінку системи при усіх значеннях параметра k_0 , які відповідають наближено кратному спектру.

Ключові слова: динамічний аналіз, пучок симетричних матриць, спектральні траєкторії, власні форми коливань, монотонність спектру, кратний спектр, мінор матриці.

Показано, что динамический анализ транспортного средства с прицепом или полуприцепом приводит к задаче на собственные значения для однопараметрического пучка $A + kB$, $k \in \mathbb{R}$ симметричных матриц. Изучается поведение спектральных траекторий $\lambda_j(k)$ и изменения собственных форм $\bar{X}_j(k)$ этого пучка. В дополнительном предположении о неотрицательности матрицы B доказано, что функции $\lambda_j(k)$ являются монотонными по аргументу k . Сформулировано и доказано нетривиальное утверждение о знаках миноров диагональных элементов вырожденной симметричной матрицы C , а именно: все миноры имеют одинаковый знак. Отсюда вытекает условие чередования знаков миноров $C_{ll}(\lambda_0)$ диагонального элемента c_{ll} матрицы $C = A - \lambda_0 E$, где λ_0 последовательно принимает собственные значения $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n$ матрицы A . Кроме того, доказано, что в общем случае спектральные траектории не имеют общих точек. Введено понятие приближенно кратного спектра, то есть таких значений $\lambda_{j,1}(k_0), \lambda_{j,2}(k_0)$, для которых расстояние между траекториями $\lambda_{j,1}(k)$ и $\lambda_{j,2}(k)$ является минимальной по значениям параметра k . Показано на примерах, что в окрестности параметра k_0 происходит совместное вращение собственных форм $\bar{X}_{j,1}(k)$ и $\bar{X}_{j,2}(k)$, которое приводит к обмену их координат. Поэтому при динамическом анализе связанных колебаний, прежде всего, необходимо изучать поведение системы при всех значениях параметра k_0 , которые отвечают приближенно кратному спектру.

Ключевые слова: динамический анализ, пучок симметричных матриц, спектральные траектории, собственные формы колебаний, монотонность спектра, кратный спектр, мінор матриці.

Dynamic analysis of vehicles with trailer or semitrailer evokes the problem on the eigenvalues of one-parameter bundle of symmetric matrices $A + kB$, $k \in \mathbb{R}$. The behavior of spectral trajectories $\lambda_j(k)$ and changes in eigenforms $\bar{X}_j(k)$ of the bundle are studied. Under the additional assumption that the matrix B is non-negative the functions $\lambda_j(k)$ are proved to be monotone in k . A non-trivial statement about the sign of the minors of diagonal elements of degenerate symmetric matrix C is formulated and proved, namely, it is shown that all the minors are of the same sign. This fact implies sign alternation for the minors $C_{ll}(\lambda_0)$ of the diagonal elements c_{ll} of the matrix $C = A - \lambda_0 E$, where λ_0 takes on sequentially the eigenvalues $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n$ of the matrix A . Moreover, it is proved that in general case the spectral trajectories do not intersect. The notion of approximately multiple spectrum is introduced, which means the values $\lambda_{j,1}(k_0), \lambda_{j,2}(k_0)$ such that the distance between the trajectories $\lambda_{j,1}(k)$ and $\lambda_{j,2}(k)$ is minimal in k . The examples given testify that in the vicinity of k_0 the eigenforms $\bar{X}_{j,1}(k)$ and $\bar{X}_{j,2}(k)$ mutually rotate, which results into exchange of their coordinates. Hence, when studying the dynamics of connected vibrations the behavior of the system needs to be considered foremost for all the values of the parameter k_0 corresponding to the approximately multiple spectrum.

Key words: dynamic analysis, symmetric matrix bundle, spectral trajectories, eigenforms of vibrations, monotone spectrum, multiple spectrum, matrix minor.

УДК 621.382.3 (045)

О. С. МЕЛЬНИК, А. М. МИКОЛУШКО

РЕПРОГРАМОВАНІ МУЛЬТИПЛЕКСОРНІ НАНОСХЕМИ

Застосування великих інтегральних схем (ВІС) в цифрових мікро- і наноелектронних пристроях дозволяє істотно поліпшити їх експлуатаційні можливості, в першу чергу підвищити надійність і швидкодію, понизити споживану потужність і габаритні розміри. Проте розробка ВІС є тривалим і дорогим процесом, який економічно виправданий тільки при досить великому обсязі випуску. Підвищення спеціалізації інтегральних схем завжди вступає в протиріччя з їх універсальністю. Усунути вказане протиріччя між спеціалізацією і універсальністю можна шляхом розробки ВІС, алгоритми роботи яких можуть бути

змінені за бажанням розробника конкретної апаратури, тобто, шляхом створення логічних схем, що настроюються або програмуються. В роботі реалізовані автоматизовані методи репрограмування мультиплексорних наносхем для відтворення логічних функцій декількох аргументів. На сучасних автоматизованих системах здійснено проектування та верифікацію нанопристроїв.

Ключові слова: мультиплексорні наносхеми, автоматизоване проектування, програмування логічних функцій.

Применение больших интегральных схем (БИС) в цифровых микро- и нанoelectronic устройствах позволяет существенно улучшить их эксплуатационные возможности, в первую очередь повысить надежность и быстродействие, снизить потребляемую мощность и габаритные размеры. Однако разработка БИС является длительным и дорогостоящим процессом, который экономически оправдан только при достаточно большом объеме выпуска. Повышение специализации интегральных схем при улучшении указанных выше показателей всегда вступает в противоречие с их универсальностью. Устранить указанное противоречие между специализацией и универсальностью можно путем разработки БИС, алгоритмы, работы которых могут быть изменены по желанию разработчика конкретной аппаратуры, то есть, путем создания логических схем, которые настраиваются или программируются. В работе реализованы автоматизированные методы репрограммирования мультиплексорных наносхем для воспроизведения логических функций нескольких аргументов. На современных автоматизированных системах осуществлено проектирование и верификация нанопристроїв.

Ключевые слова: мультиплексорные наносхемы, автоматизированное проектирование, программирование логических функций.

The use of large-scale integrated circuits (LSIC) in digital micro- and nanoelectronic devices can significantly improve their operational capabilities, primarily improve reliability and performance, reduce power consumption and overall dimensions. However, the development of the LSIC is a long and costly process, which is economically justified only with a fairly large volume of output of finished products. Increasing the specialization of IC contradicts their universality. Eliminating this contradiction between specialization and universality can be through the development of a LSIC, the algorithms of which can be changed at the request of the developer of specific equipment, that is, by programmed logic circuits. In the paper automated methods of multiplexer nanoscale reprogramming for reproducing logical functions of several arguments are realized. The design and verification of nanodevices are realized on modern automated systems

Key words: multiplexer nanocircuits, computer-aided design, programmable logic function.

УДК 519.6

О. П. НЕЧУЙВИТЕР, О. С. ЧОРНА, К. В. ДАРАГАН, О. В. ПІДЛІСНИЙ, С. О. ЧОРНИЙ

НОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ ОПЕРАТОРИ В ЗАДАЧАХ ЧИСЕЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ ФУНКЦІЙ ДВОХ ЗМІННИХ

Розглядається питання наближеного обчислення інтегралів від функцій двох змінних у випадку, коли інформація про функцію задана її слідами на лініях, її значеннями в точках. Кубатурні формули будуються з використанням оператора інтерлінації з допоміжними функціями у вигляді кусково-сталих сплайнів. Отримано оцінки похибки наближення кубатурних формул. Наведено чисельний експеримент, який підтверджує теоретичні результати дослідження.

Ключові слова: інтеграли від функцій двох змінних, кубатурні формули, інтерлінація функцій.

Работа посвящена применению новых информационных операторов для построения кубатурных формул приближенного вычисления интегралов функций двух переменных. В статье рассматриваются кубатурные формулы вычисления двойных интегралов с использованием интерликации в случае, когда информация о функции задана ее следами на линиях, значениями функции в точках. Получена оценка погрешности приближения кубатурных формул на классе дифференцируемых функций.

Ключевые слова: интегралы функций двух переменных, кубатурные формулы, интерликация функций.

The thesis is dedicated to applying of new information operators for constructing cubature formulas of approximate calculation of integrals of functions of two variables. The feature of the proposed cubature formulas is using the input information about function as a set of traces of function on lines, a set of values of the function at points. The theory of interlineations of functions is the most effective in this case. The estimate for error of cubature formulas of approximate calculation of the integrals of functions of two variables was derived in case when the information about the function is its traces on perpendicular lines, a set of values of the function at some points. Cubature formula is constructed using the interlineation operator. A computational experiment confirming the validity of the theorem about the computational error is given.

Key words: integrals of functions of two variables, cubature formula, interlineation of functions.

УДК 621.923

Ф. В. НОВИКОВ, В. И. ПОЛЯНСКИЙ

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Предложен теоретический подход к расчету параметров механической обработки с позиции закона сохранения энергии. Показана определяющая роль условного напряжения резания в формировании параметров силовой напряженности процесса резания. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что условное напряжение резания при лезвийной обработке до 10 раз и более превышает предел прочности на сжатие обрабатываемого материала. Это связано с тем, что основную часть энергетического баланса процесса составляет энергия трения инструмента с обрабатываемым материалом. В связи с этим произведена оценка долей энергий "чистого" резания и трения в общей энергоёмкости процесса механической обработки. Показано, что условный угол сдвига обрабатываемого материала вполне однозначно определяется отношением предела прочности на сжатие обрабатываемого материала и условного напряжения резания.

Ключевые слова: сила резания, условное напряжение резания, энергоёмкость, сдвиг материала, точение, инструмент, трение.

Запропоновано теоретичний підхід до розрахунку параметрів механічної обробки з позиції закону збереження енергії. Показано визначальну роль умовного напруження різання у формуванні параметрів силової напруженості процесу різання. Розрахунково-експериментальним шляхом встановлено, що умовне напруження різання при лезвійній обробці до 10 разів і більше перевищує межу міцності на стиск оброблюваного матеріалу. Це пов'язано з тим, що основна частина енергетичного балансу процесу є енергія тертя інструменту з оброблюваним матеріалом. У зв'язку з цим проведено оцінювання часток енергій "чистого" різання і тертя в загальній енергоємності процесу механічної обробки. Показано, що умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу цілком однозначно визначається відношенням межі міцності на стиск оброблюваного матеріалу і умовного напруження різання.

Ключові слова: сила різання, умовне напруження різання, енергоємність, зсув матеріалу, точіння, інструмент, тертя.

A theoretical approach to the calculation of the parameters of mechanical processing from the standpoint of the law of energy conservation is proposed. The decisive role of the conditional cutting stress in the formation of the parameters of the power intensity of the cutting process is shown. By calculation and experimentally it is established that the conditional cutting voltage during blade processing is up to 10 times or higher than the compressive strength of the material being processed. This is due to the fact that the main part of the energy balance of the process is the energy of friction of the tool with the material being processed. In this regard, an assessment was made of the fraction of the energies of "clean" cutting and friction in the overall energy intensity of the machining process. It is shown that the conditional shear angle of the material being processed is quite uniquely determined by the ratio of the compressive strength of the material being processed to the conditional cutting stress.

Key words: cutting force, conditional cutting stress, energy intensity, material shear, turning, tool, friction.

*В. П. ОЛЬШАНСЬКИЙ***ПОРІВНЯННЯ НАБЛИЖЕНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ ІНТЕГРАЛЬНОГО РІВНЯННЯ СИЛИ УДАРУ ТІЛ В ТЕОРІЇ ГЕРЦА**

Проведено порівняльний аналіз наближених аналітичних розв'язків інтегрального рівняння сили удару пружних тіл, обмежених поверхнями другого порядку в області їх взаємодії. Для порівняння використано як відомі розв'язки, так і нові, побудовані методом послідовних наближень. Завдяки наближеному обчисленню сум повільно збіжних функціональних рядів способом Шенкса, вдалося одержати компактну форму розв'язку, відносна похибка якого менше одного відсотка. Для оцінки похибок було використано результати числового інтегрування диференціального рівняння удару на комп'ютері. Показано, що одержані наближені аналітичні розв'язки можна використовувати і для апроксимації деяких періодичних Атеб-функцій.

Ключові слова: теорія Герца, сила удару, інтегральне рівняння, аналітичні розв'язки, метод Шенкса, апроксимація Атеб-функцій.

Проведен сравнительный анализ приближенных аналитических решений интегрального уравнения силы удара упругих тел, ограниченных поверхностями второго порядка в области их взаимодействия. Для сравнения использованы как известные решения, так и новые, построенные методом последовательных приближений. Благодаря приближенному суммированию медленно сходящихся функциональных рядов способом Шенкса, удалось получить компактную форму решения, относительная погрешность которого меньше одного процента. Для установления погрешностей были использованы результаты численного интегрирования дифференциального уравнения удара на компьютере. Показано, что полученные приближенные аналитические решения можно использовать и для аппроксимации некоторых периодических Атеб-функций.

Ключевые слова: теория Герца, сила удара, интегральное уравнение, аналитические решения, метод Шенкса, аппроксимация Атеб-функций.

Analytical solutions to the integral equation describing the strength of impact of elastic bodies bounded by second order surfaces in the area of the impact were compared. Previously known solutions to the integral equation as well as the new ones, constructed by the method of successive approximations, were considered. Approximate summation of slowly converging functional series by Shanks's method allowed to derive a compact form of the solution which relative error is less than one percent. The errors were computed by using the results of numerical integration of the impact differential equation. It was shown that the analytical solutions obtained could also be applied for approximating some periodic Ateb-functions.

Key words: Hertz theory, strength of impact, integral equation, analytical solution, Shanks's method, approximation of Ateb-functions.

*В. П. ОЛЬШАНСЬКИЙ, С. В. ОЛЬШАНСЬКИЙ, М. В. СЛІПЧЕНКО***НЕСТАЦІОНАРНІ КОЛИВАННЯ МЕМБРАНИ НА ОДНОБІЧНІЙ ПРУЖНІЙ ОСНОВІ, СПРИЧИНЕНІ СИЛОВИМ ІМПУЛЬСОМ**

Розглянуто динамічне деформування прямокутної та круглої мембран, односторонньо підкріплених двопараметричною пружною основою, що чинить опір лише стисканню, в умовах силового імпульсного навантаження. Показано, що внаслідок несиметрії характеристики пружності системи, після відриву та віддалення мембрани від основи її прогин може бути більший за той, що вона мала при контакті з основою за дії імпульсу. Визначено умови, коли можлива така нерівність. Вони пов'язані з натягом мембрани, пружними характеристиками основи і тривалістю дії прямокутного імпульсу, а величина динамічного тиску на мембрану не входить до цих умов, що є наслідком кусково-лінійної силової характеристики коливальної системи, поданої відрізками двох прямих. Наведено приклади розрахунків і проведено аналіз числових результатів.

Ключові слова: прямокутна і кругла мембрана, одностороння пружна основа, прямокутний силовий імпульс.

Рассмотрено динамическое деформирование прямоугольной и круглой мембран, односторонне подкрепленных двухпараметрическим упругим основанием, которое сопротивляется только сжатию, в условиях силового импульсного нагружения. Показано, что в результате несимметрии характеристики упругости системы, после отрыва и отдаления мембраны от основания её прогиб может быть больше того, который она имела при контакте с основанием при действии импульса. Определены условия, когда возможно такое неравенство. Они связаны с натяжением мембраны, упругими характеристиками основания и продолжительностью действия прямоугольного импульса, а величина динамического давления на мембрану не входит в этих условия, что является следствием кусочно-линейной силовой характеристики колебательной системы, представленной отрезками двух прямых. Приведены примеры расчетов и проведен анализ числовых результатов.

Ключевые слова: прямоугольная и круглая мембраны, одностороннее упругое основание, прямоугольный силовой импульс.

Dynamic deformation of rectangular and round membranes unilaterally supported by a two-parameter elastic base, which resists only compression, under conditions of force impulse loading is considered. It is shown that as a result of asymmetry of the elasticity characteristics of the system, after separation and removal of the membrane from the base, its deflection may be larger than that which it had in contact with the base under the action of the impulse. Conditions are determined when such an inequality is possible. They are related to the membrane tension, the elastic characteristics of the base, and the duration of the rectangular pulse, that is, the value of the dynamic pressure on the membrane is not one of these conditions, which is the result of the piecewise-linear force characteristic of the oscillatory system given by segments of two straight lines. Examples of calculations are given and analysis of numerical results is carried out.

Key words: rectangular and round membranes, unilateral elastic base, rectangular force impulse.

*I. I. PERSHYNA, I. A. TOKMAKOVA, YE. A. DUMYCH***CONSTRUCTION OF DISCONTINUOUS INTERLINEATION POLYNOMIAL SPLINES FOR FUNCTIONS OF TWO VARIABLES**

The article suggests a general method for constructing discontinuous interlineation polynomial splines, which, as a partial case, include discontinuous and continuously differentiable splines. The theorems on interlineation and approximation properties of such discontinuous structures are formulated and proved. On the basis of the constructed discontinuous splines, a method for restoration of functions of two variables with first kind discontinuities is created. The theorems on the error of the approximation of discontinuous functions by the constructed discontinuous interlineation splines are proved. Examples are given.

Key words: discontinuous function, spline, interlineation, first kind discontinuity, interpolation.

Запропоновано загальний метод побудови розривних інтерлінаційних поліноміальних сплайнів, які як частинний випадок включають в себе розривні та неперервно-диференційовні сплайни. Сформульовані та доведені теореми про інтерлінаційні та апроксимаційні властивості таких розривних конструкцій. На основі побудованих розривних сплайнів створений метод відновлення функцій двох змінних, що мають розриви першого роду. Доведені теореми про похибку наближення розривних функцій побудованими розривними інтерлінаційними сплайнами. Наведені приклади.

Ключові слова: розривна функція, сплайн, інтерлінація, розрив першого роду, інтерполяція.

Предложен общий метод построения разрывных интерлинационных полиномиальных сплайнов, которые как частный случай включают в себя разрывные и непрерывно-дифференцируемые сплайны. Сформулированы и доказаны теоремы об интерлинационных и аппроксимационных свойствах таких разрывных конструкций. На основе построенных разрывных сплайнов создан метод восстановления функций двух переменных, имеющих разрывы первого рода. Доказаны теоремы о погрешности приближения разрывных функций построенными разрывными интерлинационными сплайнами. Приведены примеры.

Ключевые слова: разрывная функция, сплайн, интерлинация, разрыв первого рода, интерполяция.

UDC 65.012

R. V. PETROVA, O. I. LIUBICHEVA, A. I. MOROZOVA

MATHEMATICAL MODELS AND INFORMATIONAL TECHNOLOGIES OF INNOVATIVE PROJECT ARRANGEMENT IN THE STAKEHOLDERS' SYSTEM

During the involvement of innovative projects into knowledge-intensive high-tech enterprises, the process of creating a system of interested stakeholder management becomes vital. The given work contains the results of conducted analysis concerning the problem of innovative potential management of high-tech enterprises. The necessity of the analysis of informational technologies in the conditions of the non-equilibrium economy is considered. Various models of project management in the system of stakeholders are presented in the work. The stages of Nicholas model are considered. A mathematical model is proposed for the management and investors of the project, in terms of maximizing profits under specified constraints.

Key words: innovative project, stakeholders, Mitchell's model, ASC model, informational technologies.

При залученні інноваційного проекту в наукомісткі високотехнологічні підприємства актуальним процесом стає створення системи управління зацікавленими учасниками. Проведено аналіз проблеми управління інноваційним потенціалом наукомістких підприємств. Розглянуто необхідність аналізу інформаційних технологій в умовах нерівноважної економіки. Розглянуто різні моделі управління проектами в системі зацікавлених осіб. Розглянуто етапи використання моделі Ніколаса. Запропоновано математичну модель для керівництва та інвесторів проекту, в умовах максимізації прибутку при заданих обмеженнях.

Ключові слова: інноваційний проект, стейкхолдери, модель Мітчелла, ASC модель, інформаційні технології.

При вовлечении инновационного проекта в наукоемкие высокотехнологические предприятия актуальным процессом становится создание системы управления заинтересованными участниками. Проведен анализ проблемы управления инновационным потенциалом наукоемких предприятий. Рассмотрена необходимость анализа информационных технологий в условиях неравновесной экономики. Рассмотрены различные модели управления проектами в системе заинтересованных лиц. Рассмотрены этапы использования модели Николаса. Предложена математическая модель для руководства и инвесторов проекта, в условиях максимизации прибыли при заданных ограничениях.

Ключевые слова: инновационный проект, стейкхолдеры, модель Митчелла, ASC модель, информационные технологии.

UDC 517.521.1; 511.26

I. A. TOKMAKOVA

REPRESENTATION OF REAL NUMBERS BY FIBONACCI SEQUENCE

The paper deals with imaging of real numbers by the Fibonacci sequence. An algorithm for changing from decimal representation of a number to its F -image is developed. The application of the algorithm is demonstrated by considering several specific examples. The correlation between binary numbers and numbers given as their F -images is analyzed.

Key words: Fibonacci sequence, recurrence formulae, F -image of a real number, decimal number system, binary number system.

У даній роботі описано зображення дійсних чисел за допомогою послідовності Фібоначчі. Запропоновано алгоритм переходу від десяткового представлення числа до F -зображення. Продемонстровано дію алгоритму на декількох конкретних прикладах. Проаналізовано зв'язок двійкового зображення з F -зображенням дійсного числа.

Ключові слова: послідовність Фібоначчі, рекурентні співвідношення, F -зображення дійсного числа, десяткова система числення, двійкова система числення.

В данной работе описано изображение действительных чисел с помощью последовательности Фибоначчи. Предложен алгоритм перехода от десятичного представления числа к F -изображению. Работа алгоритма продемонстрирована на нескольких конкретных примерах. Проанализирована связь двоичного и F -изображения действительного числа.

Ключевые слова: последовательность Фибоначчи, рекуррентное соотношение, F -изображение действительного числа, десятичная система счисления, двоичная система счисления.

УДК 519.6

N. V. CHEREMSKAYA

DEPENDENCE OF PROGNOSIS AND FILTRATION FAILURE ON DIFFERENT VALUES OF PARAMETERS FOR SOME CLASSES OF NON-STATIONARY RANDOM SEQUENCES

The article continues the study of estimates of random functions at a future moment of time, linear with respect to the values of pre-histories of processes. The article considers the dependence of the mean square of the forecast error of a random sequence on the last value at different values of the parameters. For non-stationary random sequences, even with correlation functions of the simplest form, such studies haven't been conducted. To obtain representations of correlation functions, a Hilbert approach is used to calculate correlation functions as scalar products in the corresponding Hilbert space. Investigations of the dependence of the mean square of the prediction error of a random sequence on the last value at various values of the parameters discussed in the article can be used to simulate filtration and prognosis processes in real systems in the case of non-stationary random signals.

Key words: correlation function, mathematical expectation, prognosis and filtering of non-stationary random sequences and processes, mean square error.

Продовжуються дослідження оцінок випадкових функцій в майбутній момент часу, лінійних відносно значень передісторій процесів. У статті розглядається залежність середнього квадрату помилки прогнозу випадкової послідовності за останнім значенням при різних значеннях параметрів. Для нестационарних випадкових послідовностей, навіть з кореляційними функціями найпростішого вигляду, такі дослідження не проводились. Для отримання зображень кореляційних функцій використовується гільбертів підхід, який дозволяє обчислювати кореляційні функції як скалярні добутки у відповідному гільбертовому просторі. Дослідження залежності середнього квадрату помилки прогнозу випадкової послідовності за останнім значенням при різних значеннях параметрів, яка була розглянута в статті, може бути використано для моделювання процесів фільтрації та прогнозу в реальних системах у випадку нестационарних випадкових сигналів.

Ключові слова: кореляційна функція, математичне очікування, прогноз та фільтрація нестационарних випадкових послідовностей і процесів, середня квадратична помилка.

Продолжается исследование оценок случайных функций в будущий момент времени, линейных относительно значений предысторий процессов. В статье рассматривается зависимость среднего квадрата ошибки прогноза случайной последовательности по последнему значению при различных значениях параметров. Для нестационарных случайных последовательностей, даже с корреляционными функциями простейшего вида, такие исследования не проводились. Для получения представлений корреляционных функций используется гильбертов поход, позволяющий вычислять корреляционные функции как скалярные произведения в соответствующем гильбертовом пространстве. Исследование зависимости среднего квадрата ошибки прогноза случайной последовательности по последнему значению при различных значениях параметров, рассмотренное в статье, может быть использовано для моделирования процессов фильтрации и прогноза в реальных системах в случае нестационарных случайных сигналов.

Ключевые слова: корреляционная функция, математическое ожидание, прогноз и фильтрация нестационарных случайных последовательностей и процессов, средняя квадратическая ошибка.

НАУКОВІ ГІПОТЕЗИ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ SCIENTIFIC HYPOTHESES AND PERSPECTIVE TECHNOLOGIES

УДК 539.1

А. Л. ГРИГОРЬЕВ

ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦЕЛЕЙ И ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЯЕМОЙ ЭВОЛЮЦИИ БЕЛКОВЫХ ТЕЛ

Для объяснения свойств информационного поля и его связи с движением материи использованы уравнения Коссера несимметричной теории упругого континуума. На уровне структурного моделирования и определения основных принципов рассматривается задача репродукции биосферы на другие планеты. Особенностью предлагаемого решения является научная гипотеза об управляемости этого процесса со стороны компьютерной сети, размещенной в информационном поле и являющейся координационным центром ноосферы планеты. В развитие гипотезы выделены основные этапы решения этой задачи и установлена их идентичность тем событиям, которые описываются в древних рукописях. С тех же позиций проанализирован современный этап развития биосферы Земли (как единого макроорганизма) и показано, что она уже полностью созрела и готовится к началу репродукции. Что приводит к необходимости переключить общественное сознание с междоусобных войн за ресурсы и геополитическое влияние на решение глобальных проектов в космосе. Первым проектом такого плана является создание ракетной системы для защиты Земли от астероидов. Причем, безотносительно к правоте или ошибочности выдвинутой гипотезы, к решению этой актуальной проблемы нужно приступать без промедления и запустить первую очередь системы в предельно сжатые сроки (через 15 – 20 лет).

Ключевые слова: упругий континуум, информационное поле, информационно-энергетический обмен, вихревые трубки, биосфера, ноосфера, биологическая эволюция, компьютерные сети, астероидная опасность.

Для пояснення властивостей інформаційного поля і його зв'язку з рухом матерії використані рівняння Коссера несиметричною теорії пружного континууму. На рівні структурного моделювання та визначення основних принципів розглядається задача репродукції біосфери на інші планети. Особливістю запропонованого рішення є наукова гіпотеза про керуваність цього процесу з боку комп'ютерної мережі, яка розміщена в інформаційному полі і є координаційним центром ноосфери планети. У розвиток цієї гіпотези виділені основні етапи вирішення цього завдання і встановлена їх ідентичність до тих подій, які описуються в древніх рукописах. З цих же позицій проаналізовано сучасний етап розвитку біосфери Землі (як єдиного макроорганізму) і показано, що вона вже повністю дозріла і готується до початку репродукції. Що призводить до необхідності переключити суспільну свідомість з міжусобних воєн за ресурси і геополітичний вплив на вирішення глобальних проектів в космосі. Першим проектом такого плану є створення ракетної системи для захисту Землі від астероїдів. Причому, безвідносно до правоти чи помилковості висунутої гіпотези, до вирішення цієї актуальної проблеми потрібно приступати негайно і запустити першу чергу системи в гранично стислі терміни (через 15 - 20 років).

Ключові слова: пружний континуум, інформаційне поле, інформаційно-енергетичний обмін, вихрові трубки, біосфера, ноосфера, біологічна еволюція, комп'ютерні мережі, астероїдна небезпека.

To explain the properties of the information field and its connection with the motion of matter, the Cosserat equations of the asymmetric theory of the elastic continuum are used. At the level of structural modeling and definition of basic principles, the task of reproducing the bio-sphere to other planets is considered. The peculiarity of the proposed solution is the scientific hypothesis about the controllability of this process by the computer network located in the information field and being the focal point of the noosphere of the planet. In the development of this hypothesis, the main stages of solving this problem are highlighted and their identity is established to the events described in ancient manuscripts. From the same standpoint, the modern stage of the development of the Earth's biosphere (as a single macroorganism) is analyzed and it is shown that it is already fully matured and is preparing for the beginning of reproduction. Which fact leads to the need to switch the public consciousness from internecine wars for resources and geopolitical influence to the solution of global projects in space. The first project of such a plan is the creation of a rocket system to protect the Earth from asteroids. Moreover, regardless of the correctness or inaccuracy of the hypothesis put forward, the humanity should get to solving this actual problem without delay the solution to this actual problem should be started without delay and the first stage of the system should be started within the shortest possible time (in 15-20 years).

Key words: elastic continuum, information field, information-energy exchange, vortex tubes, biosphere, noosphere, biological evolution, computer networks, asteroid danger.