

Международная научная конференция  
по механике

**ЧЕТВЕРТЫЕ ПОЛЯХОВСКИЕ ЧТЕНИЯ**

*7-10 февраля 2006 г.  
Санкт-Петербург, Россия*

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

---

---

International Scientific Conference on Mechanics

**FOURTH POLYAKHOV READINGS**

*February 7-10, 2006  
Saint Petersburg, Russia*

**BOOK OF ABSTRACTS**

---

Санкт-Петербург, 2006

УДК 531+532+533+534+539

**Редакционная коллегия:** академик РАН Н.Ф. Морозов (СПбГУ, отв. редактор), проф. Е.В. Кустова (СПбГУ, отв. секретарь), проф. С.К. Матвеев (СПбГУ), ст. научный сотр. А.Ф. Полянский (НИИММ СПбГУ), доц. Е.Н. Поляхова (СПбГУ), засл. деятель науки РФ П.Е. Товстик (СПбГУ), проф. М.П. Юшков (СПбГУ).

**Четвертые Поляховские чтения:** Тезисы докладов Международной научной конференции по механике, Санкт-Петербург, 7-10 февраля 2006 г. - СПб.: Издательство НИИХ С.-Петербургского университета, 2006. – 282 с.

ISBN

В сборник включены тезисы докладов, представленных на Международной научной конференции по механике "Четвертые Поляховские чтения", посвященной 100-летию со дня рождения Николая Николаевича Поляхова (1906-1987). Рассматриваются вопросы теоретической и прикладной механики, динамики космического полета, механики жидкости и газа, механики деформируемого твердого тела, а также истории механики.

Международная научная конференция по механике "Четвертые Поляховские чтения" проводится при финансовой поддержке INTAS (Grant № 05-116-5164), Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 06-01-10009) и НТП "Поддержка ведущих научных школ" (НШ-2259.2003.1)

ISBN

© Коллектив авторов, 2006

© Мат.-мех. факультет  
С.-Петербургского  
университета, 2006

## ОТ ОРГКОМИТЕТА

Сборник включает в себя тезисы докладов, представленных на Международной научной конференции по механике "Четвертые Поляховские чтения", посвященной 100-летию со дня рождения Николая Николаевича Поляхова (1906-1987). Конференция проводится 7-10 февраля 2006 года в Санкт-Петербурге на базе Санкт-Петербургского Дома ученых РАН и математико-механического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

В программу конференции включены пленарные и секционные доклады по следующим направлениям:

- I. Теоретическая и прикладная механика*
- II. Динамика космического полета*
- III. Гидроаэромеханика*
- IV. Механика деформируемого твердого тела*
- V. История механики*

---

---

## ORGANIZING COMMITTEE NOTE

The book includes the abstracts of papers presented at the International Scientific Conference on Mechanics "Fourth Polyakhov Readings" dedicated to the 100<sup>th</sup> anniversary of Nikolai N. Polyakhov (1906-1987). The conference is held at the Saint Petersburg House of Scientists (Russian Academy of Sciences), and the Department of Mathematics and Mechanics, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, February 7-10, 2006.

Conference program includes plenary lectures and oral presentations in the following scientific areas:

- I. Theoretical and Applied Mechanics*
- II. Dynamics of Space Flight*
- III. Mechanics of Fluids and Gases*
- IV. Mechanics of Solids*
- V. History of Mechanics*

## **ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

Министерство образования и науки РФ

Российский фонд фундаментальных исследований

Санкт-Петербургский государственный университет

INTAS: International Association for the Promotion of Co-operation with Scientists from the New Independent States of the Former Soviet Union

Санкт-Петербургский дом ученых РАН

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

НИИ математики и механики им. ак. В.И. Смирнова СПбГУ

Институт проблем машиноведения РАН

Балтийский государственный технический университет («Военмех»)

ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова

**Председатель конференции:** Морозов Никита Федорович, академик РАН

---

---

## **CONFERENCE ORGANIZERS**

Ministry of Education and Science of Russian Federation

Russian Foundation for Basic Research

Saint Petersburg State University

INTAS: International Association for the Promotion of Co-operation with Scientists from the New Independent States of the Former Soviet Union

Saint Petersburg House of Scientists, RAS

Saint Petersburg State Polytechnic University

Smirnov Scientific Research Institute of Mathematics and Mechanics, Saint Petersburg University

Institute of Problems of Mechanical Engineering, RAS

Baltic State Technical University “Voenmech”

Central Scientific Research Institute named by A.N. Krylov

**Conference chairman:** Nikita F. Morozov, academician of RAS

Международная научная конференция по механике "Четвертые Поляховские чтения" проводится при финансовой поддержке:

The International Scientific Conference on Mechanics "Fourth Polyakhov Readings" is held under financial support of:

**INTAS** (Grant № 05-116-5164)



**Российского фонда фундаментальных исследований**

(грант РФФИ № 06-01-10009)

**Russian Foundation for Basic Research** (Grant № 06-01-10009)



**НТП "Поддержка ведущих научных школ" (НШ-2259.2003.1)**

**STP "Support of Leading Scientific Schools" (НШ-2259.2003.1)**

## **НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:**

Белецкий Владимир Васильевич (Россия)  
Блехман Илья Израилевич (Россия)  
Вуйичич Велько (Югославия)  
Григорян Самвел Самвелович (Россия)  
Енфло Бенгт (Швеция)  
Журавлев Виктор Филиппович (Россия)  
Карпетян Александр Владиленович (Россия)  
Каспер Роланд (Германия)  
Климов Дмитрий Михайлович (Россия)  
Козлов Валерий Васильевич (Россия)  
Маркеев Анатолий Павлович (Россия)  
Михайлов Глеб Константинович (Россия)  
Мэй Фунсян (Китай)  
Пашин Валентин Михайлович (Россия)  
Радев Стефан (Болгария)  
Ризито Коррадо (Италия)  
Румянцев Валентин Витальевич (Россия)  
Степанов Сергей Яковлевич (Россия)  
Товстик Петр Евгеньевич (Россия)  
Трогер Ханс (Австрия)  
Тхай Валентин Николаевич (Россия)  
Шевалье Доминик (Франция)  
Шень Цинь (Китай)  
Шперлинг Лутц (Германия)

## **SCIENTIFIC ORGANIZING COMMITTEE:**

Beletsky Vladimir V. (Russia)

Blekhman Ilya I. (Russia)

Chevallier Dominique (France)

Ching Shen (China)

Enflo Bengt (Sweden)

Grigoryan Samvel S. (Russia)

Karapetyan Alexander V. (Russia)

Kasper Roland (Germany)

Klimov Dmitry M. (Russia)

Kozlov Valery V. (Russia)

Markeev Anatoly P. (Russia)

Mei Fengxiang (China)

Mikhailov Gleb K. (Russia)

Pashin Valentin M. (Russia)

Radev Stefan (Bulgaria)

Risito Corrado (Italy)

Rumyantsev Valentin V. (Russia)

Sperling Lutz (Germany)

Stepanov Sergey Ya (Russia)

Tkhai Valentin N. (Russia)

Tovstik Petr Ye. (Russia)

Troger Hans (Austria)

Vujicic Veljko (Yugoslavia)

Zhuravlev Viktor F. (Russia)

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ**

Леонов Геннадий Алексеевич (сопредседатель), СПбГУ  
Матвеев Сергей Константинович (сопредседатель), СПбГУ  
Юшков Михаил Петрович (сопредседатель), СПбГУ  
Кустова Елена Владимировна (ученый секретарь), СПбГУ  
Полянский Александр Федорович (ученый секретарь), СПбГУ  
Буравцев Анатолий Иванович, СПбГУ  
Даль Юрий Михайлович, СПбГУ  
Жилин Павел Андреевич, СПбГПУ  
Зегжда Сергей Андреевич, СПбГУ  
Индейцев Дмитрий Анатольевич, ИПМаш РАН  
Нагнибеда Екатерина Алексеевна, СПбГУ  
Никитин Григорий Васильевич, Дом Ученых РАН  
Пасынкова Инна Анатольевна, СПбГУ  
Поляхова Елена Николаевна, СПбГУ  
Рыдалевская Мария Александровна, СПбГУ  
Рябинин Анатолий Николаевич, СПбГУ  
Трифоненко Борис Владимирович, СПбГУ  
Троян Владимир Николаевич, СПбГУ  
Усков Владимир Николаевич, БГТУ «Военмех»  
Цибаров Валерий Афанасьевич, СПбГУ

## **LOCAL ORGANIZING COMMITTEE**

Leonov Gennady A. (co-chairman), Saint Petersburg State University  
Matveev Sergey K. (co-chairman), Saint Petersburg State University  
Yushkov Mikhail P. (co-chairman), Saint Petersburg State University  
Kustova Elena V. (scientific secretary), Saint Petersburg State University  
Polyansky Alexander F. (scientific secretary), Saint Petersburg State University  
Buravtsev Anatoly I., Saint Petersburg State University  
Dahl Yury M., Saint Petersburg State University  
Indeitsev Dmitry A., Institute of Problems of Mechanical Engineering, RAS  
Nagnibeda Ekaterina A., Saint Petersburg State University  
Nikitin Grigory V. Saint Petersburg House of Scientists, RAS  
Pasyukova Inna A., Saint Petersburg State University  
Polyakhova Elena N., Saint Petersburg State University  
Ryabinin Anatoly N., Saint Petersburg State University  
Rydalevskaya Marya A., Saint Petersburg State University  
Trifonenko Boris V., Saint Petersburg State University  
Troyan Vladimir N., Saint Petersburg State University  
Tsibarov Valery A., Saint Petersburg State University  
Uskov Vladimir N., Saint Petersburg State University  
Zegzhda Sergey A., Saint Petersburg State University  
Zhilin Pavel A., Saint Petersburg State Polytechnic University



Николай Николаевич Поляхов

Nikolai N. Polyakhov

## **NIKOLAI NIKOLAEVICH POLYAKHOV (1906 - 1987)**

(short scientific biography)

Nikolai Nikolaevich Polyakhov was a well-known scientist in the field of Aerohydrodynamics, Classical Analytical Mechanics and History of Mechanics, Professor of the Department of Mathematics and Mechanics of Saint Petersburg State University, Russia.

He was born on December 17, 1906, in Kiev, in an engineer family. In 1923 he entered the Physics-Mathematics Department of Moscow University and graduated in 1929. He began his professional scientific activity and career in Moscow at Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI) named after Professor N.Ye. Zhukovsky, the widely known center of the aeronautical science, under the guidance of Academician S.A. Chaplygin and Professor W.P. Wetchinkin. Simultaneously he taught at several Moscow high schools and lectured widely.

He moved to Leningrad (now St.Petersburg, as before 1914) in 1932. Since 1932 he worked at the Chair of Theoretical Mechanics of Leningrad University and since 1938 at the Chair of Aerohydrodynamics of Leningrad Polytechnical Institute while continuing to co-operate actively with TsAGI. During the Great Patriotic War 1941-1945 he lived and worked in Leningrad. Since 1952, for 25 years and until his death he continued to be Professor of Leningrad, later St.Petersburg State University: 1952-1977 as Head of Chair of Theoretical and Applied Mechanics; since 1977 as Head of Chair of Hydroaerodynamics and Head of the Section of Mechanics of the Department of Mathematics and Mechanics of this University. In 1954-1965 he was Dean of this Department. Being a Candidate of Technical Sciences since 1937 (without dissertation defense), Doctor of Technical Sciences since 1948, Professor since 1950, he was awarded the Honour Degree "Honoured Scientist of Russian Federation" in 1968.

International Scientific Mechanics Conference "Polyakhov's Readings" devoted to N.N. Polyakhov's memory is founded now and takes place traditionally every third year at St. Petersburg State University (1997, 2000). Last time the Conference "Third Polyakhov's Readings" took place in 2003, February, and had attracted many scientists. Five scientific sections worked successfully. Following topics were presented: Theoretical and Applied Mechanics, Mechanics of Fluids and Gases, Theory of Elasticity and Mechanics of Solids, Dynamics of Space Flight, History of Mechanics. The importance of N.N. Polyakhov's scientific legacy and new developments of his ideas were discussed as well.

The scientific legacy of N.N. Polyakhov consists of about 90 publications, several books including: about 60 in Aerohydrodynamics and about 30 in Classical Mechanics together with History of Mechanics. 16 basic publications of N.N. Polyakhov (as, to our opinion, of the most importance) are given below in References List.

## I. Aerohydrodynamics

N.N. Polyakhov's contribution to Aeromechanics is highly significant; his main scientific results in the field of Aerodynamics refer to air screw propeller theory and wing theory on the basis of vortices systems in cases of stationary and nonstationary motions.

In the field of screw propeller theory development, N.N. Polyakhov began his work under the guidance of V.P. Wetchinkin, a widely known specialist in this area. Their work in coauthorship began in 1930s when they wrote the book "Theory and computation of air propeller". Its first edition was realized in 1939 and the final version appeared in 1940 [1].

In 1930s N.N. Polyakhov generalized the N.Ye. Zhoukovski's theory of uniform distribution of the circulation through a polar angle at constant circulation along the blade radius. As is known, the general theory of screw propeller did not yet exist in 1930s. Several particular cases were considered in 1920s and at the beginning of 1930s by A. Betz, H.B. Helmbold, L. Prandtl, Th. von Karman and E. Trefftz in Germany, R.M. Wood, S. Goldstein, W. Sears and H. Glauert in England, T. Moriya in Japan. All these cases were developed mainly using the N.Ye. Zhoukovsky's theory of the simplest approximate treatment of a propeller blade as a single joint vortex. The results of N.N. Polyakhov in screw propeller theory development can be shortly classified below as follows:

1. N.N. Polyakhov proposed to approximate the blade as a system of several joint vortices, the idea being important for practical applications.
2. He generalized the Zhoukovsky's theory of air propeller to the case of any variable arbitrary circulation. The conventional integro-differential equation was derived and solved by a new simple method.
3. He developed the method of air propeller computation similar to the well known Glauert-Trefftz 's method for wing theory, the blade being considered as of finite size and of finite length span.
4. The practical method of optimal propellers computation proposed and developed by N.N. Polyakhov was based on his exact and correct proof of the Betz's principle of minimum energy loss.
5. N.N. Polyakhov's new method was proposed to consider the main term of inductive velocity expression, this term being linear respectively to the local circulation. The additional rest term, depending on the circulation distribution law, was proved to be comparatively small. This small term can be then successfully found by simple approximations sequence. This method had given the important mathematical foundation of the propeller theory, being used for its practical applications.
6. He investigated the mutual influence and interactions between wing and screw propeller and between aircraft body parts and propeller.
7. N.N. Polyakhov's method allowed one to solve the problem of several co-axial air propellers and to find their optimal combination by use of variational principles.
8. This kind of velocity approximation was generalized by him later to the case of a hydrodynamical grid consisting of several profiles of a given shape, the

interference between profiles was analyzed. The grid method was successfully applied later to study an interaction between the airscrew and the wing.

9. Hydrodynamical cavitation theory at flow disruption was developed as well.
10. Applications of the grid theory and especially grid conformal mappings to a screw propellers system intensified the arising of N.N. Polyakhov's interest to aerodynamic wing theory in 1950-60s.

These results on air propeller theory were published in 1930s in TsAGI- Reports: 1935 (N.184), 1937 (N.324), 1939 (N.N. 366,455). They were included by N.N. Polyakhov to the above mentioned book [1] appeared in 1940. Later, in 1945, these results were published in USA by National Advisory Committee for Aeronautics [2]. Then he described both this unified theory and its practical applications possibilities in his doctoral dissertation "Vortex theory of air propeller with final blades number". It was successfully defend in 1947 in Moscow at N.Ye. Zhoukovsky's Military Aviation Academy and N.N. Polyakhov was awarded the Doctoral degree.

The second stage of N.N. Polyakhov's investigations in Aerodynamics belongs to 1950s-70s and is connected with lifting-surface wing theory for low-aspect-ratio wings and with non-stationary theory of wings. The publications of N.N. Polyakhov in these topics can be subdivided into two large groups. Within these groups the following results can be shown:

1. The first group contains the results in the lifting-surface theory, which was developed for the arbitrary plan of a wing by integration of two singular integral equations: the equation of the first kind with two variables and the equation of the second kind with the regular nucleus.
2. The simple computation method was developed for a lifting-surface as the successful generalization of the well-known Multhopp's method for a lifting-line approximation. This new method permitted to N.N. Polyakhov to correctly complete the lifting-surface theory.
3. The second group of works concerns the non-stationary wing theory. Main results were successfully obtained for the non-stationary motion of three-dimensional wing profiles instead of infinitely thin profiles, as usually.
4. The pressure distribution was determined for obtained vortices, the active forces being found with account of induction forces according to the Prandtl's theory. The detailed analysis of a vortices cloud-like system escaped from the wing surface was given, the cloud shape and circulation distribution in it were obtained analytically.
5. The non-stationary harmonic oscillations of a wing of finite sweep and of a three-dimensional profile were researched by use of the Birnbaum's vortex scheme for a stationary case.
6. The new result of this general non-stationary theory was the solution for a wing thin profile developed in the frame of the Karman-Sears's vortex scheme. It was done for wings with both low-aspect and non-low-aspect ratios.
7. Many of these results were collected by N.N. Polyakhov in 1960 at his book [3], which later, in 1997, was included to the Edition of his "Selected Works /

- Aerohydrodynamics" (see below). Some of his results were presented to International Ships Building Symposium [4].
8. N.N. Polyakhov was interested in the history of aerodynamics in Russia, especially in basic results of his colleagues in TsAGI - the Institute devoted to studies on aviation and aerospace [5].
  9. In 1980s-90s N.N. Polyakhov together with his pupils and colleagues developed new numerical methods for describing the stationary and nonstationary flow behaviour around the wing. The boundary problem was successfully solved by the use of transformation of Cauchy's integral equation of the first kind into Fredholm's equation of the second kind for the aim of iterative process effective application to its solution at singularity. The flow around the wing profile oscillating harmonically with finite amplitudes was studied in details by using this developed method [6].
  10. In 1997 N.N. Polyakhov's "Selected Works / Aerohydrodynamics" were edited in St. Petersburg University [7]. His book [3] and more than 20 most important papers were collected and included to the edition.
  11. In 2001 the results of N.N. Polyakhov (in coauthorship) were published as "Registered Patent of Ukraina" [8]. This was the invention of the non-planar ship wheel steering on the basis of the N.N. Polyakhov's nonstationary theory of constant circulation for a wing with a tilted part, the theory being applied to a ship screw. New geometrical shape of a non-planar curvilinear wheel-steer construction for a ship was found and proposed. Their invention was presented by its coauthors to Patent Committee of former USSR in 1991 but realized as Ukraina-Patent only ten years later.

## **II. Classical Analytical Mechanics.**

In the field of Classical Mechanics, especially Analytical Mechanics, N.N. Polyakhov investigated in 1960-1980s non-holonomic systems with constraints of arbitrary orders. He succeeded to find a new variational principle, which can be regarded as the generalization of the well-known classical Gauss's principle [9, 10]. The obtained principle is the most general differential principle of modern Mechanics and can be named as Gauss-Polyakhov's Principle.

N.N. Polyakhov's results develop the general method of both holonomic and non-holonomic equations derivations and can be shortly classified as follows:

1. The system of the conventional Lagrange's equations of the second kind describing the mechanical system motion before the constraints applications is considered as the single vector equality. This equality is written in the space which is tangential to the manifold of all possible positions of the moving system at a given instant of time.
2. This tangential space is divided into two orthogonal subspaces by the constraints equations. In one of these subspaces the motion, i.e. the acceleration components, is determined by constraints equations only, in the other the motion

is described by the Newton's Second Law at ideal constraints condition. Such subdivision of the motion space was proposed by N.N. Polyakhov in 1981.

3. Newton's Second Law, written in the whole space contains Lagrange's multiples. It is shown that in cases of both holonomic and non-holonomic constraints including up to second orders, these multiples can be found as some functions of time, positions and velocity of the system. In a particular case, this method allows one to obtain an interesting geometrical interpretation of the so-called Poincare'-Chetaev-Rumyantzev's equations.
4. Lagrange's multiples applied to holonomic systems allow one to develop new methods for both description of elastic systems oscillations and for derivation of solid bodies system equations in a special form. When linear non-holonomic constraints order is higher than second Lagrange's multiples can be considered as the unknown functions of time. The closed system of equations for the determination of these multiples and simultaneously of generalized lagrangian coordinates is derived.
5. The consideration of Lagrange's multiples as desired functions of time allows one to determine and successfully solve the new class of controlled motion problems, especially when the control program is given as the additional system of differential equations of high orders. These multiples can be used for non-holonomic systems investigations, for space flight dynamics problems and for dynamical problems of elasticity theory.

Thus, N.N. Polyakhov studied the differential equations of controlled motion with non-linear non-holonomic constraints and derived new relationships between these equations and variational principles. His unified general theory for both linear and non-linear non-holonomic systems of arbitrary order is developed in the arbitrary non-orthogonal basis. It was shown that the main property of Analytical Mechanics is the linear transformation of forces similar to the transformation of covariant vector components.

Many of N.N. Polyakhov's results in Analytical Mechanics were included to his famous Textbook Manual on Classical Mechanics, which was created by him together with his former pupils and later St. Petersburg University colleagues S.A. Zegjda and M.P. Yushkov. They all began to write this book in 1975 in coauthorship based on the University course of Classical Mechanics, which N.N. Polyakhov taught regularly since 1953. Two editions of the book were done, in 1984 and 2000 [11]. The Textbook is written for high schools students of mathematical and mechanical majors.

### **III. History of Mechanics.**

N.N. Polyakhov was interested in History of Classical Mechanics and successfully developed an excellent course of lectures on the History of Mechanics for students of mechanical majors of the University. He lectured between 1952 and 1977, later he decided to prepare this course to be published as a Textbook Manual but he did not succeed in it because of his death. N.N. Polyakhov's program of these lectures is now widely used in educational curricula in other high schools.

Since he knew Latin as well as the main European languages, N.N. Polyakhov was able to study the scientific literature of historical importance in the original language of print. He investigated the scientific legacies of many famous scientists and creators of modern Classical Mechanics. Some results of his historical investigations were published; some others exist till now only as manuscripts. During his activity in History of Mechanics, N.N. Polyakhov had many useful scientific contacts with colleagues from Institutes of History of Natural Sciences and Technics at Academies of Sciences of former USSR and Ukraina.

N.N. Polyakhov had published about 10 papers in History of Mechanics, his first publication being dedicated to the memory of the famous scientist, Academician Mikhail Wassiliewich Ostrogradsky (1800-1861) whose papers on Analytical Mechanics translated from French were to be then widely commented. This "Commentarium" necessity was connected with the preparation the new academical edition of M.W. Ostrogradsky's Selected Works, (Academician W.I. Smirnow Editor) in 1960s. N.N. Polyakhov was invited by W.I. Smirnow to help with preparation of this edition and to write the comments to Section of Mechanics [12]. As it is known, the first edition of Ostrogradsky's Collected Works was initiated by Academician A.N. Krylov (1863-1945) in Leningrad in 1940s. Because of the Great Patriotic War this edition was not completed: first in 1940 Volume II ("Lectures on Algebraic and Transcendent Analysis", 464 p.) appeared, then in 1946 only Volume I, Part 2 ("Lectures on Analytical Mechanics", 288 p.) appeared. Since Ostrogradsky's scientific papers were written mainly in French they were not included at all. Because of it the Second Edition as "Selected Works" was initiated in 1960s again.

As to Polyakhov's investigations in Ostrogradsky' Classical and Applied Mechanics and his preparing of the Comments to Ostrogradsky's results, this scientific work generated then his arising interest to study more deeply the process of Ostrogradsky's scientific school creation and development and its obvious influence on Classical Mechanics of XIX century in Russia (St. Petersburg Academy of Science, University and other high schools, Moscow University) and in Europe. The conventional classification of scientific schools as it was given by N.N. Polyakhov (rested unpublished), shows very descriptively the Russian scientific and pedagogical schools success due to Ostrogradsky's pupils and colleagues activities [13, 14]. Shortly, it can be presented here as follows:

1. In the first line of development, the classical school of St.Petersburg Academy of Sciences was presented, namely: Ostrogradsky, Tchebyshev, Kovalevskaya, Lyapunov, Steklov, Krylov, Kolossov.
2. The classical school of St. Petersburg University, namely: Somov, Bobylev, Souslov, Mestchersky, Steklov, Kolossov.
3. The technical school of Railways Engineers Institute, namely: Lame', Betancourt, Ostrogradsky, Jastrjembsky, Zhuravsky, Pauker, Petrov, Bobylev.
4. The technical ballistic school of Prince Mikhail's Academy of Artillery: Ostrogradsky, Wyshnegradsky, Maiyevsky, Gadolin, Zabudsky, Bobylev.
5. The technical shipbuilding school of Naval Corpus and Academy: Ostrogradsky, Krylov, Bubnov.

6. Moscow University line of Ostrogradsky's colleagues and pupils: Brashman, Tsinger, Davydov, Orlov, Chebyshev, Sludsky, Somov, Maiyevsky, Gromeka, Zhoukovsky, Chaplygin.

N.N. Polyakhov studied widely the L. Euler's scientific legacy in Mechanics [15], especially the so-called Euler's "First St.-Petersburg's Period" of activity. He noted the basic importance of Euler's results in Analytical Mechanics for the next development of Russian mathematical and mechanical schools. Some of N.N. Polyakhov's works in History of Mechanics are lost, for example, his investigations in the Leonardo ad Vinci's scientific and engineering legacy (N.N. Polyakhov's report of 1953 in Academy of Science of USSR occasionally to 500 Anniversary of Leonardo ad Vinci), in Mestchersky's scientific and pedagogical activity in St.Petersburg University (paper about 1960), in Lagrange's "Analytical Mechanics" (N.N. Polyakhov's report in Academy of Science of USSR about 1970). Recently the remake of the lost report "Leonardo ad Vinci as scientist and engineer" was presented to "Third Polyakhov's Reading".

As to N.N. Polyakhov's methodological work in Mechanics, he studied the relationships between both Special Relativity Theory (and Quantum Mechanics) and Newtonian Mechanics. His main ideas about this discussional methodological problem were developed in [16]. It was shown that new theories propose many new interesting problems for modern Mechanics enlarging it infinitely but nevertheless prove once more again the greatness of fundamental principles of Newtonian Classical Mechanics.

## References

(the most important N.N. Polyakhov's scientific works)

1. Theory and Computation of Air Propeller (Aerodynamics and Stability). Moscow. 1940. In coauthorship with Professor W.P. Wetchinkin. 520 p.
2. The minimum energy loss propeller. Techn. Memoranda of National Advisory Committee for Aeronautics (N.A.C.A.). USA. 1945. Report N.1067. P.25-29.
3. Theory of Nonstationary Movements of Lifting-Surface. Leningrad State University Press. 1960. 84 p.
4. Theorie der instationaeren Bewegung eines Fluegel kleiner Spannweite mit einem Profil endlicher Dicke // Experim. und Mathem. Methoden der Grundlagenforsch. in der Schifftechnik: Schifftechn. Symp., Rostock Universitaet. 1975. S. 231-236 (In coauthorship with W.N. Trezchewsky).
5. Wing Aerodynamics in S.A. Chaplyigin's works. In: History of Mechanics in Russia. A.N. Bogolyubov et al. Eds., Kiev. 1987. C. 355-358.
6. Flow around of a profile oscillating harmonically with finite amplitudes. In coauthorship with O.F. Melnikova and Z.N. Shesternina. Vestnik of St.Petersburg University. Part: Mechanics. Allerton Press Inc. N.Y. 1995. V.28. N.1. P.89-94. (In English)
7. Selected Works/Aerohydrodynamics. St.-Petersburg University Press. 1997. 381 p.

8. Non-planar ship steer/Invention. In coauthorship with V.I. Nikolaev. Registered Patent of Ukraina. 2001. N. UA-43381-C2. Certificate N. 7-B63H25/38. 2001, December 17.
9. Generalization of Gauss's principle to the case of nonholonomic systems of high orders. (In coauthorship with S.A. Zegjda and M.P. Yushkov). Doklady Akademii Nauk USSR. 1983. V.269. N.6. P.1328-1330.
10. Special form of equations of solid bodies system dynamics. (In coauthorship with S.A. Zegjda and M.P. Yushkov). Doklady Akademii Nauk USSR. 1989. V.309. N.4. P.805-807.
11. Theoretical Mechanics. Educational Textbook Manual. (In coauthorship with S.A. Zegjda and M.P. Yushkov). 1st Ed.: Leningrad University Press. 1984. 536p., 2nd Ed.: Moscow, "Vyschaya Schkola". 2000. 592 p.
12. Comments to M.W. Ostrogradsky's works on Mechanics. In: Selected Works of M.W. Ostrogradsky. Academician V.I. Smirnov Ed., Serie: "Classics of Science". Moscow. Academy of Sciences Press. 1958. P.512-540.
13. Development of Mechanics in St.Petersburg University. In: History of Mechanics in Russia. A.N. Bogolyubov et al. Eds. Kiev. 1987. P.177-178.
14. Scientific legacy of D.K. Bobilev. Items. P. 229-232.
15. Leonhard Euler's investigations in Analytical Mechanics during his first St.Petersburg's period. In: "Leonard Euler's Ideas Development and Modern Science". A.N. Bogolyubov et al. Eds., Moscow. 1988. P.229-232.
16. What new added Relativity Theory and Quantum Mechanics to Classical Mechanics? Institute of Problems of Mechanics of Academy of Sciences of USSR. Moscow. 1988. Preprint N.330. 38 p.

**ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ**

**PLENARY SESSION**



**НАУЧНАЯ, ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ И ОБЩЕСТВЕННАЯ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРОФЕССОРА Н.Н. ПОЛЯХОВА. ТРУДЫ ПО  
АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ (К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
НИКОЛАЯ НИКОЛАЕВИЧА ПОЛЯХОВА)**

**С.А. Зегжда, М.П. Юшков**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Приводятся краткие сведения из жизни Николая Николаевича Поляхова. Освещается его работа в Центральном научно-исследовательском институте аэродинамики под руководством С.А. Чаплыгина, в Ленинградском университете и в Политехническом институте, в Центральном научно-исследовательском институте им. А.Н. Крылова, в Ленинградском Доме ученых АН СССР. Дается обзор основных работ Н.Н. Поляхова по аналитической механике.

**Scientific, Pedagogical and Social Activity of Professor N.N. Polyakhov. Works  
on analytical mechanics (dedicated to the centenary of the birthday of Nikolai  
Nikolaevich Polyakhov)**

S.A. Zegzhda, M.P. Yushkov

*Saint Petersburg State University, Russia*

Brief information on the life of Nikolai Nikolaevich Polyakhov is presented. His work in the Central Research Institute of Aerodynamics under the supervision of S.A. Chaplygin, in the Leningrad University and in the Polytechnical Institute, in the Central Research Institute named after A.N. Krylov, in the Leningrad House of Scientists of the USSR Academy of Sciences is described. The main works by N.N. Polyakhov are reviewed.

## **НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ ПОЛЯХОВ И ГИДРОАЭРОМЕХАНИКА**

**Е.А. Нагнибеда, В.С. Сабанеев**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В докладе освещается научная и педагогическая деятельность Н.Н. Поляхова в области гидроаэромеханики. Приводится краткий обзор его основных научных трудов в этой области. Рассказывается о работе Николая Николаевича на посту заведующего кафедрой гидроаэромеханики Ленинградского (Санкт-Петербургского) государственного университета.

## **Nikolai Nikolaevich Polyakhov and Hydroaeromechanics**

**E.A. Nagnibeda, V.S. Sabaneev**

*Saint Petersburg State University, Russia*

This presentation is concerned with the scientific and pedagogical activity of N. N. Polyakhov in hydroaeromechanics. A brief review of his main publications in this field is given. The work of N. N. Polyakhov as a Chief of the Chair of Hydroaerodynamics in Leningrad (Saint-Petersburg) State University is described.

## **I N T A S: MISSION AND ACTIVITIES**

**Yu. Melnikov**

*International Association for the promotion of co-operation with scientists from the New Independent States of the former Soviet Union, Brussels, Belgium*

Mission, history, and structure of INTAS are presented. Information on INTAS instruments, regulations, and funding opportunities is provided. Current and near future activities are discussed in more detail. Possible scenaria for INTAS future and corresponding perspectives of scientific collaboration between researchers from INTAS member states and from the Former Soviet Union countries are presented

## **PERIODIC SOLUTIONS AND STABILITY OF PIECEWISE-LINEAR VIBRATORY SYSTEMS**

**M. Pascal, S.Ia. Stepanov\***

*Université d'Evry Val d'Essonne, France*

*\*A.A.Dorodnitsyn Computational Center RAS, Moscow, Russia*

The problem of steady and periodic solutions for ordinary differential equations with piecewise-linear second members is discussed. A two-degree of freedom oscillator colliding with obstacles is considered. Free and forced oscillations and their stability are investigated in the cases of infinite and finite stiffness of obstacles. When external excitation is absent in the case of the hard impact, a family of periodic solutions is found in analytical form. Further, in case of the soft impact of finite duration, and without the external excitation, an existence of periodic solutions with an arbitrary value of the period is proved. Periodic motions are also obtained for the system undergone to harmonic excitation for both cases of the hard and soft impact. Stability conditions of these periodic motions are found in analytical form for all cases. Several other examples are also under consideration.

# INFLUENCE OF THE KINETICS OF PROCESSES ON THE BEHAVIOR OF THIN STRUCTURES IN A CONTINUOUS MEDIUM

**D.A. Indeitsev**

*Institute of Problems of Mechanical Engineering, RAS*

A phase-transitional flow takes place during the filling stage by injection molding of short-fiber reinforced thermoplastics. The mechanical properties of the product are highly dependent on the flow induced distribution and orientation of particles. Therefore, modeling of the flow which allows to predict the formation of fiber microstructure is of particular importance for analysis and design of load bearing components.

After a brief overview of existing theoretical concepts we discuss a model which treats the filling process as a phase-transitional flow of the binary medium consisting from fluid particles (liquid constituent) and immersed particles-fibers (solid-liquid constituent). The particle density and the mass density are assumed to be independent functions in order to account for the phenomenon of sticking of fluid particles to fibers. The liquid constituent is assumed to be a non-polar viscous fluid with non-symmetric stress tensor. The state of the solid-liquid constituent is described by the ant symmetric stress tensor and the ant symmetric moment stress tensor. The forces of viscous friction between the constituents are taken into account. The equations of motion are formulated for open physical systems in order to consider the phenomenon of sticking. The chemical potential is introduced based on the reduced energy balance equation. The second law of thermodynamics is formulated by means of two inequalities under assumption that the constituents may have different temperatures. In order to take into account the phase transitions of the liquid-solid type which take place during the flow process a model of compressible fluid and a constitutive equation for the pressure are proposed. Finally the special cases of our approach are discussed by introduction of restricting assumptions.

# МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ УСТОЙЧИВОСТИ С ПРИЛОЖЕНИЯМИ В МЕХАНИКЕ

**А.П. Сейранян, А.А. Майлыбаев**

*Институт механики МГУ, Москва, Россия*

Теория устойчивости является одной из наиболее интересных и важных областей прикладной математики, имеющей многочисленные приложения, как в естественных науках, так и в промышленности. В последние десятилетия необходимость исследования устойчивости различных процессов возникла также в биологии, экономике и социологии. Поскольку любая физическая система содержит параметры, основной целью настоящей работы является ответ на вопрос: как устойчивое состояние равновесия или стационарное движение системы становится неустойчивым при изменении параметров. Пространство параметров, таким образом, разбивается на области устойчивости и неустойчивости. Оказывается, что граница между этими областями состоит из гладких поверхностей, но может иметь различного рода особенности. Одна из основных идей настоящей работы состоит в развитии и использовании теории бифуркаций и катастроф для качественного и количественного исследования пространства параметров. Это позволяет придать теории особенностей конструктивный вид, удобный для использования в приложениях. В работе показано, как граница области устойчивости и ее особенности могут быть описаны по информации о спектральных свойствах системы в отдельных регулярных и сингулярных точках границы. Авторами разработана новая многопараметрическая теория бифуркаций собственных значений матричных и линейных дифференциальных операторов, являющаяся ключевым средством для исследования устойчивости и неустойчивости как систем с конечным числом степеней свободы, так и распределенных. Изучены важные случаи сильного и слабого взаимодействий (столкновений) собственных значений и дана их геометрическая интерпретация. Этот анализ, осложненный наличием нескольких параметров и недифференцируемостью кратных собственных значений, удалось провести, изучая бифуркации собственных значений при изменении параметров вдоль гладких кривых, выпущенных из особых точек границы области устойчивости. С использованием этой теории авторами исследованы особенности границ областей устойчивости различных типов механических систем (консервативных, неконсервативных, гамильтоновых, гироскопических, циркуляционных) и дано подробное описание и объяснение таких механических эффектов, как гироскопическая стабилизация, динамическая (флаттер) и статическая (дивергенция) неустойчивость, перехлест частотных кривых и скачок критической нагрузки, смена критического тона потери устойчивости, стабилизация и дестабилизация неконсервативных систем малыми диссипативными и гироскопическими силами, параметрический резонанс и др. Значительная часть работы посвящена сложным задачам устойчивости периодических систем, зависящих от многих

параметров. Эти проблемы оставались неразрешенными более 100 лет с момента появления работ таких ученых, как Матье, Флоке, Хилл, Рэлей, Ляпунов и Пуанкаре. С самого начала эти задачи содержали два или три параметра. В настоящей работе с использованием многопараметрической теории бифуркаций собственных значений дано геометрическое описание областей параметрического резонанса и их особенностей для периодических систем. В качестве приложений развитой теории рассмотрены задачи об устойчивости различных механических систем, включая трубы, по которым течет жидкость, стержни при различных условиях нагружения, вращающиеся валы и системы связанных тел, пластинки и крылья в потоке газа и др. Авторами проведен детальный многопараметрический анализ устойчивости, показывающий, как развитая теория бифуркаций и особенностей используется при решении конкретных практических задач. Совместно с японскими учеными выполнены эксперименты по параметрическому резонансу маятников с колеблющейся точкой подвеса и упругих стержней, которые подтвердили высокую точность теоретических расчетов.

## **Литература**

1. Seyranian, A. P., and Mailybaev, A.A. (2004) *Multiparameter Stability Theory with Mechanical Applications*, New Jersey, London: World Scientific.

## **Multiparameter stability theory with mechanical applications**

Alexander P. Seyranian and Alexei A. Mailybaev

*Institute of Mechanics Moscow State Lomonosov University, Russia*

Stability theory is one of the most interesting and important fields of applied mathematics having numerous applications in natural sciences as well as in aerospace, naval, mechanical, civil and electrical engineering. Stability theory was always important for astronomy and celestial mechanics, and during last decades it is applied to stability study of processes in chemistry, biology, economics, and social sciences. Since every physical system contains parameters, the main goal of the present work is to study how a stable equilibrium state or steady motion becomes unstable or vice versa with a change of problem parameters. Thus, the parameter space is divided into stability and instability domains. It turns out that the boundary between these domains consists of smooth surfaces, but can have different kind of singularities. One of the motivations and challenges of the present work is to bring some qualitative results of bifurcation and catastrophe theory to the space of problem parameters making the theory also quantitative, i.e., applicable and practical. It is shown how the stability boundary and its singularities can be described using information on spectrum of the system at regular and singular points of the boundary. A new multiparameter bifurcation theory of eigenvalues of matrix and linear differential operators is presented which is a key point for stability study of systems with finite degrees of

freedom as well as distributed systems. Two important cases of strong and weak interactions (collisions) are distinguished and geometrical interpretation of these interactions is given. The presence of several parameters and the absence of differentiability of multiple eigenvalues constitute the main mathematical difficulty of the analysis. We could overcome this difficulty studying bifurcations of eigenvalues along smooth curves in the parameter space emitted from singular points of the stability boundary. With presented multiparameter bifurcation theory of eigenvalues we analyze singularities of stability boundaries and give a consistent description and explanation for several interesting mechanical effects like gyroscopic stabilization, flutter and divergence instabilities, transference of instability between eigenvalue branches, destabilization and stabilization by small damping, disappearance of flutter instability, parametric resonance in periodically excited systems etc.

A significant part of the work is devoted to difficult stability problems of periodic systems dependent on multiple constant parameters. This subject has been a challenge for more than one hundred years since Mathieu, Floquet, Hill, Rayleigh, Lyapunov, Poincare. From the very beginning these problems were multiparameter. In the present work, with the bifurcation theory of multipliers, geometrical description of the stability boundary and its singularities for periodic systems is given. Then we formulate and solve parametric resonance problems for one- and multiple degrees of freedom systems in three-dimensional space of physical parameters: excitation frequency, amplitude, and viscous damping coefficient assuming that the last two parameters are small. The main result obtained here is that we find the instability (parametric and combination resonance) domains as half-cones in three-parameter space with the use of eigenfrequencies and eigenmodes of the corresponding conservative system. Finally, stability boundaries for non-conservative systems under small periodic excitation are investigated. As applications of the presented theory, we consider a number of mechanical stability problems including pipes conveying fluid, beams and columns under different loading conditions, rotating shafts and systems of connected bodies, panels and wings in airflow etc. For these systems we perform the detailed multiparameter stability analysis showing how the developed bifurcation and singularity theory works in specific problems. The experiments on parametric resonance of elastic beams done in cooperation with professor H. Yabuno and his group confirm accuracy of the obtained theoretical results.

## References

1. Seyranian, A. P., and Mailybaev, A.A. (2004) *Multiparameter Stability Theory with Mechanical Applications*, New Jersey, London: World Scientific.

## ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР (К 300-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

**Глеб К. Михайлов**

*Российский Национальный комитет по теоретической и прикладной механике,  
Москва, Россия*

15 апреля 2007 года исполняется 300 лет со дня рождения одного из величайших математиков и механиков мира Леонарда Эйлера. Он родился в Базеле, где изучал математику под руководством Иоганна Бернулли, проявив при этом незаурядные способности. В 1727 году Эйлер был приглашен в Петербургскую Академию наук, где стал вскоре полноправным профессором (академиком). В эти годы Эйлер приобрел всемирную известность как крупнейший математик и механик и прославил тем самым Петербургскую Академию наук. В условиях осложнения внутривосточной обстановки в России, после 14 лет успешной работы в Петербурге, Эйлер принял приглашение Фридриха II и переехал в Берлин в воссоздававшуюся там Академию наук и изящной словесности. Здесь он провел 25 лет, на которые приходится расцвет его научной деятельности. Однако отношения с королем у Эйлера не сложились, и в 1766 году он вновь вернулся в Петербург, где и скончался 18 сентября 1783 года.

Научное наследие Эйлера колоссально как по его значению для последующего развития математического естествознания, так и по объему. «Полное собрание трудов» Эйлера, изданию которого было положено начало около 100 лет тому назад, составит свыше 80 томов, из которых 72 приходятся на уже ранее изданные его труды и около 10 – на научную переписку, неопубликованные заметки и пр.

Эйлер, по существу, создал современный стиль изложения точных наук, так что его сочинения читаются сегодня без всяких затруднений, в отличие от работ его предшественников и современников. Эйлеру принадлежит знаменитая «математическая трилогия»: «Введение в исчисление бесконечно малых», «Дифференциальное исчисление» и три тома «Интегрального исчисления». Однако особое место в его творчестве занимала механика. Он дал первое последовательно аналитическое изложение механики точки (1736), широко применил аналитическую запись второго закона Ньютона, используя ее для построения гидродинамики идеальной жидкости (1755) и динамики твердого тела (1765).

**LEONHARD EULER (on the occasion of the tercentenary of his birth)**

G.K. Mikhailov

*Russian National Committee on Theoretical and Applied Mechanics, Moscow, Russia*

Review of his life and his contribution to the formation of mathematical analysis and rational mechanics is given.

**СЕКЦИЯ I: ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ  
МЕХАНИКА**

**SECTION I: THEORETICAL AND APPLIED  
MECHANICS**



# THE APPLICATION OF MAGGI'S EQUATIONS FOR QUASI-COORDINATES FOR SOLVING PROBLEMS OF PARAMETRICAL IDENTIFICATION OF MECHANICAL SYSTEMS

**A.B. Byachkov, V.M. Suslonov**

*Perm State University, Russia.*

There are many approaches for deriving the equations of motion of mechanical systems. One of them is based on the use of Maggi's equations [1]. Application of the Maggi's equations is advantageous when we are dealing with problem of obtaining the equations of motion for constrained mechanical systems. Taking into account the important role of quasi-coordinates in multibody dynamics we have earlier suggested the generalization of classical Maggi's equations for occasion of quasi-coordinates application [2].

The application of this form of dynamical equations to some problems of parametrical identification of the mechanical systems is discussed.

1. Polyakhov N.N., Zegzhda S.A., Yushkov M.P. Theoretical Mechanics: Moscow: High School, 2000 (Russian).
2. A B Byachkov, V M Suslonov, "Maggi's equations in terms of quasi-coordinates", *Reg. Chaot. Dyn.*, 2002, 7 (3), 269-279.

## WAVE MOTION IN A MEDIUM WITH A CUBIC NONLINEARITY

**B.O. Enflo, C.M. Hedberg\* and O.V. Rudenko\***

*Department of Mechanics, Kungl. Tekniska högskolan, S-100 44, Stockholm, Sweden*

*\*Blekinge Institute of Technology, S-371 79 Karlskrona, Sweden*

A physical example of a cubic nonlinear wave is a transverse finite-amplitude elastic wave in an isotropic solid. The corresponding wave equation is derived by E.A. Zabolotskaya (Sov. Phys. Acoust. 32, 296-299 (1986)), who shows that there is no quadratic nonlinearity in this case. The cubic nonlinearity parameter is expressed in terms of elastic constants. In the present investigation Zabolotskaya's expression for the cubic nonlinearity parameter is rederived and corrected.

For propagating waves the wave equation is a modified Burgers' equation with a cubic nonlinearity. Approximate solutions to this equation are given by I.P. Lee-Bapty and D.G. Crighton (Trans. R. Soc. Lond. A 323, 173-209 (1987)). In the present investigation their results for an original N-wave are developed further using asymptotic matching technique. New analytic expressions in the lowest approximation are derived for the left tail of the deformed N-wave profile and its connection to the rest of the profile. These results agree qualitatively with numerical calculations.

For a resonator filled by a cubic nonlinear medium a simplified approach resulting in nonlinear functional equations is used. The Q-factor shows how many times the "amplitude" of a standing wave is higher than the boundary vibration amplitude. The frequency response (FR) considers the dissipation of energy and the difference between one of eigenfrequencies and the driving frequency. Distinct from quadratic nonlinear waves containing only shocks of compression, the cubic waves contain both shocks of compression and shocks of rarefaction. Consequently the mathematical description and real behavior of cubic Q and FR functions are completely different from the ones for quadratic media.

## NON-HOLONOMIC MODELS OF THE NON-CLASSICAL LOCOMOTION

**A.V. Karapetyan\***, **M. Pivovarov**, **Ya.V. Tatarinov\***,  
**I. Zeidis\*\***, **K. Zimmermann\*\***

*\*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*\*\*Technische Universitaet Ilmenau, Germany*

The movement of biologically inspired locomotion systems is discussed.

In Ref. [1] the worm-like motion systems in form of straight chains of interconnected mass points was considered. The ground contact can be described by non-symmetric dry friction, i.e., the frictional force is taken to be different in magnitude depending on the direction of motion. A limiting case of non-symmetric friction is the case, when any motion is possible only in one direction (realized by means of scales that prevent backward displacement of the points of ground contact).

In other models, frictional forces taken to be different in magnitude depending on the direction of motion are present. We also need some elements (like e.g. constructions with wheels), which lead to non-holonomic constraints.

We show the principles of studying of such models on examples with two or three degrees of freedom. Some non-holonomic geometry on the euclidian torus appears.

1. Zimmermann K., Zeidis I., Steigenberger J., Pivovarov M.: An Approach to Worm-Like Motion. 21-st International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, Warsaw, Poland, August 15-21, Abstracts Book, p.371, 2004.

# COMPARISON OF SIMULATION OF CONSTRAINED MULTIBODY DYNAMICS USING RELATIVE AND ABSOLUTE COORDINATES

**Roland Kasper, Dmitry Vlasenko**

*Institute of Mechatronics and Drives, Otto-von-Guericke-University, Magdeburg, Germany*

Simulating software requirements are: numerical efficiency, stability, flexibility, interaction with other tools, distributed development, etc. In general, the methods, implemented in simulating tools, can be divided in two main approaches. In the first approach (implicit joint formulation), the configuration of the system is identified using absolute coordinates, describing position and orientation of bodies relative to inertial frame. In the second approach (explicit joint formulation), relative or joint coordinates are used to formulate a minimum number of dynamic equations, which are written in terms of the system degree of freedom.

Despite of some disadvantages of implicit joint formulation (e.g. larger dimension of equations in motion, necessity of stabilization of systems with tree structure), it seems to be more practical to develop a software based on the implicit joint formulation. In this paper we discuss the main advantages of this approach:

- The modelling time is less, integration with other tools and incorporation of general forcing functions is much easier.
- It is possible to keep the block-module concept during simulation. Therefore, it is feasible a separate testing of subsystems, encapsulation of critical effects inside of subsystems and distributed simulation of subsystems.
- The matrices in equations of motion of motion are sparse. The multibody dynamics can be efficiently simulated using sparse solvers or using the symbolic decomposition of matrices.
- Users do not need to translate models, developed in CAD tools, from implicit to explicit joint formulation. For some models this translation can significantly reduce the accuracy of models' simulation.

We have developed efficient simulating tool, based on the implicit joint formulation. It uses the fast object-oriented method, whose time complexity is comparable with the fastest available parallel algorithms. Integration of the software with Autodesk Inventor minimizes the models' development cost and instruction of end-users.

## **NONLINEAR MODEL APPLICATION IN ULTRASONIC HEATING OF BIOLOGICAL TISSUES**

**Alexey Lopatukhin**

*National Taiwan University, Institute of Biomedical Engineering, Taipei, Taiwan, Republic of China*

Utilization of high-intensity focused ultrasound for therapy is a rapidly developing field of modern medical science. One of the mechanisms of ultrasonic action on a tissue is its heating due to the absorption of the energy of the ultrasonic waves. There are different models exist. It can be divided into two groups: linear models and nonlinear ones. In this research nonlinear model for simulating the nonlinear focusing of ultrasound based on Khokhlov–Zabolotskaya–Kuznetsov-type equation was used. The spatial distributions of thermal sources and the corresponding temperature increments caused by ultrasonic absorption are analyzed. To cover whole tumor area mechanical scanning was applied. It was obtained that nonlinear model gives much stronger distribution for ultrasound intensity and higher temperature raise compare with linear model. These theoretical results could be applied to practical situation and used in breast, liver or other tissue tumor therapy.

# **THE INVERSE PROBLEM OF EXISTENCE AND STABILITY OF STEADY MOTIONS OF THE GYROSTAT WITH EQUAL MOMENTS OF INERTIA IN AN AXISYMMETRIC FORCE FIELD**

**Revaz Sulikashvili**

*Razmadze Mathematical Institute Of the Georgian Academy of Sciences, Tbilissi, GEORGIA*

The problem on motion of the gyrostat with equal moments of inertia in an axisymmetric force field is studied. The inverse problem on determination of gyrostatic moments providing a given steady motion is solved. The stability of this steady motion is investigated.

## **О КОЛЕБАНИЯХ ОДНОЙ ТРЕХСТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ**

**С.В. Алмазова**

*Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия*

Изучаются колебания системы стержней, два из которых совершают поперечные колебания, а один – продольные. Применяется приближенный метод С.А.Зегжды и М.П.Юшкова. Приводятся результаты расчетов для конкретной системы.

### **On vibrations of a three-beamed system**

**S.V. Almazova**

*Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia*

Vibrations of a beam system are studied. Two beams of the system execute lateral vibrations and one executes longitudinal vibrations. The approximate method of S.A. Zegzhda and M.P. Yushkov is used. The computational results for the concrete system are presented.

## **К ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ТВЕРДОГО ТЕЛА В СЛУЧАЕ ГОРЯЧЕВА-ЧАПЛЫГИНА**

**Б.С. Бардин**

*Московский авиационный институт, Россия*

Рассматривается движение тяжелого твердого тела с одной неподвижной точкой в однородном поле тяжести. Геометрия масс тела и начальные условия его движения соответствуют случаю интегрируемости Горячева-Чаплыгина. Исследуется задача об орбитальной устойчивости периодических движений, отвечающих колебаниям и вращениям твердого тела вокруг экваториальной оси эллипсоида инерции.

В [1] была доказана орбитальная неустойчивость данных периодических движений в линейном приближении и установлено, что для решения задачи об устойчивости в нелинейной постановке недостаточно анализа членов до четвертой степени в разложении функции Гамильтона в ряд по каноническим переменным.

В настоящей работе показано, что в данной задаче имеет место особенный случай, когда стандартная методика анализа устойчивости по коэффициентам нормальной формы гамильтониана неприменима. В нелинейной постановке задачи доказана орбитальная неустойчивость указанных периодических движений. В доказательстве существенным образом используется дополнительный первый интеграл задачи Горячева-Чаплыгина.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки ведущих научных школ № НШ – 1477.2003.1.

### **Литература**

1. Маркеев А.П. О тождественном резонансе в одном частном случае задачи об устойчивости периодических движений твердого тела // Изв. РАН. МТТ. 2003. № 3. С. 32 - 37.

### **On the stability problem of periodic motions of rigid body in Goryachev-Chaplygin's case**

B.S. Bardin

*Moscow Aviation Institute, Russia*

We deal with the problem of orbital stability of rigid body planar periodic motions in Goryachev-Chaplygin's case. The planar periodic motions are oscillations and rotations of the rigid body about an equatorial axis of the inertia ellipsoid. We show that the usual approach to the stability study based on the analysis of Hamiltonian normal form coefficients is not applicable in this problem. We prove the orbital instability of the above periodic motions in the nonlinear sense. The proof is based on the fact that in Gorychev-Chaplygin's case the equations of motion have an additional first integral.

## **ОБ ОГРАНИЧЕННЫХ ЗАДАЧАХ В МЕХАНИКЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

**А.А. Буров**

*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, Москва, Россия*

Изучается задача о движении твердого тела, все три размера которого существенно отличаются друг от друга – «длина» много больше «ширины», а «ширина», в свою очередь, может существенно отличаться от «толщины». В качестве такого тела можно рассматривать, например, ученическую линейку. Обсуждаются вопросы о разделении движений, об интегрируемости и интегрировании уравнений движения для задач

- о движении тяжелого твердого тела вокруг неподвижной точки,
- о движении твердого тела в идеальной несжимаемой жидкости.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант 05-01-00454.

### **The Restricted Problems in Rigid Body Dynamics**

A.A. Burov

*Dorodnitsyn Computing Center of the RAS, Moscow, Russia*

The problems on motion of a ruler-like heavy rigid body about a fixed point and a slender rigid body in the ideal incompressible fluid are examined. The questions of separation of motions and of integrability and integration of equations of motion are discussed. The investigation is supported by RFBR, Grant No. 05-01-00454.

## **О ДВИЖЕНИИ ГАНТЕЛИ ПО СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

**А.А. Буров, И. Мотт, Я.Е. Славяновский, С.Я. Степанов**

*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, Москва, Россия*

Постановка задачи о движении тел в пространствах постоянной кривизны восходит к работам Лобачевского, Жуковского, Больяи, Дирихле, Липшица, Бельтрами, Киллинга. В последнее время почти одновременно вышли публикации Я.Е. Славяновского, В.В. Козлова, А.О. Харина, П. Домбровского, Ю. Циттербарта, в которых изучена задача Бертрана для поверхностей постоянной кривизны, найдены потенциалы, для которых траектории материальной точки замкнуты, найдены аналоги законов Кеплера, зависимость периода движения от уровня интеграла энергии, методом разделения переменных проинтегрирована задача о движении точки в поле двух притягивающих центров, получены другие результаты.

В настоящей работе рассматривается сферический аналог плоской задачи о движении гантели под действием обобщенного ньютоновского потенциала, пропорционального котангенсу углового расстояния на сфере. Методом Рауса изучена структура множества установившихся движений и условия их устойчивости. Доказано, что помимо коллинеарных и круговых стационарных конфигураций, имеются наклонные конфигурации, реакция связи на которых обращается в нуль.

### **On motion of a dumbbell in a spherical surface**

A.A. Burov, I. Motte, J.J. Sławianowski, S.Ya. Stepanov

*Dorodnitsyn Computing Center of the RAS, Moscow, Russia*

In this paper the spherical analogue of the planar problem on motion of a dumbbell is considered. It is assumed that the system moves under the action of the generalized Newtonian potential, which is proportional to cotangent of angular distance on the sphere. The structure of the set of steady motions and the conditions of their stability are studied with the method of Routh. It is proved that besides the collinear and circular stationary configurations, there exist the inclined configurations such that the reaction of the constraint over them vanishes.

# ДИНАМИКА РОТОРА С АВТОБАЛАНСИРОВОЧНЫМ МЕХАНИЗМОМ

**В.Г. Быков**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматриваются стационарные и нестационарные режимы движения вращающегося неуравновешенного ротора, оснащенного шариковым автобалансирующим механизмом. Для исследования динамики ротора используются три системы уравнений: в неподвижной системе координат, во вращающейся системе координат и в полярной системе координат.

Для случая вращения ротора с постоянной угловой скоростью получены аналитические формулы, выражающие условия существования различных стационарных режимов движения ротора. Исследование стационарного сбалансированного режима проведено во вращающейся системе координат. Несбалансированные стационарные и нестационарные режимы движения ротора рассматриваются в полярной системе координат. Условия устойчивости стационарных режимов получены при помощи критерия Рауса путем анализа уравнений в вариациях. Построены двухпараметрические диаграммы устойчивости в плоскостях изменения различных параметров системы.

Нестационарные режимы движения ротора, в случае вращения с постоянным угловым ускорением, исследуются численно. Показано, что, величина углового ускорения является существенным параметром, влияющим на качественный характер движения ротора при прохождении через критическую скорость.

## **Dynamics of a rotor with the automatic balancer**

V.G. Bykov

*Saint Petersburg State University, Russia*

The stationary and non-stationary behavior of unbalanced rotor equipped with the ball automatic balancing device is analyzed. The equations of motion are derived both with respect to the fixed frame, and to the rotating frame.

For the rotor spinning with a fixed angular velocity we obtain the conditions of existence and stability of stationary regimes. The research of the stationary balanced mode is carried out to a rotation frame. The unbalanced stationary and non-stationary regimes of a motion are considered to a polar coordinate system. The conditions of steady conditions are obtained through criterion Routh by the analysis of the equations in variations. The two-parameter diagrams of stability are designed for the changing of different parameters of the system

The non-stationary behavior of a rotor, in case of spinning with a fixed angular acceleration, is investigated numerically. We show the influence of an angular acceleration on the qualitative character behavior of a rotor at passing through critical speed.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ-МАНИПУЛЯТОРАМИ

**В.Г. Быков, А.А. Ломакин**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Последовательно рассматриваются задачи позиционирования захватного устройства манипуляционного робота в целевую точку. Для плоского п-звенного манипулятора в среде без препятствий проведено сравнение решений задачи позиционирования, полученных обычным численным методом (покоординатный спуск) и с использованием методов нечеткой логики. Сравнение показывает, что при определенных условиях методы нечеткой логики имеют алгоритмические преимущества. Для плоского трехзвенного манипулятора разработан нечеткий алгоритм решения задачи позиционирования при наличии точечных препятствий.

Для управления пространственным манипулятором с тремя степенями свободы применяется гибридный подход: система нечеткого логического вывода представляется в виде нейронной сети специальной структуры без обратных связей, для которой существуют механизмы обучения. Для проведения обучения в рабочем пространстве манипулятора с помощью решения прямой задачи кинематики строится обучающая выборка. Для уменьшения суммарного времени обучения и повышения точности управления применяется разбиение рабочего пространства на части, в каждой из которых строится и обучается отдельная система нечеткого вывода. Используя совокупность этих систем можно решать задачу позиционирования во всем рабочем пространстве манипулятора. В качестве примера рассматривается решение траекторной задачи. Проведенные численные эксперименты показали, что для трехзвенного пространственного манипулятора при выборе одинаковой требуемой точности, система нечеткого вывода позволяет решать траекторную задачу значительно быстрее, чем традиционный метод, требующий на каждом шаге обращения матрицы Якоби.

Для описания манипуляционной системы и процесса позиционирования используется среда MatLab с пакетом Fuzzy Logic Toolbox. Для наглядности формируется пошаговая анимация.

## **The application of Fuzzy Logic for Control of Robot Manipulators**

V.G. Bykov, A.A. Lomakin

*Saint Petersburg State University, Russia*

The application of fuzzy logic to solution of some problems on control of the robot manipulators is considered. The algorithm for solution of the positioning problem with the obstacles is developed for a plane three-links manipulator. For a space manipulator the fuzzy controller is tuned by means of the neural network. The proposed control method is compared with the traditional ones.

# СИММЕТРИЧНЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО МАЯТНИКА С ВИБРИРУЮЩЕЙ ТОЧКОЙ ПОДВЕСА

Ю.Д. Глухих, К.В. Тхай

*Московская государственная академия приборостроения и информатики,  
Россия*

Исследуются колебания сферического маятника в предположении, что точка подвеса совершает гармонические колебания вдоль вертикали. Задача содержит циклическую координату, с учетом которой получим уравнение приведенной системы с одной степенью свободы

$$\ddot{\theta} + a^2 \left( \sin \theta - \frac{\kappa \cos \theta}{\sin^3 \theta} \right) = \varepsilon^2 \cos \tau \sin \theta$$

(дифференцирование проводится по времени  $\tau$ ). Это уравнение инвариантно относительно двух преобразований:  $(\theta, \tau) \rightarrow (\pm\theta, -\tau)$ . Поэтому имеем обратимую механическую систему с двумя неподвижными множествами:

$$M_1 = \{\theta, \dot{\theta}, \tau : \sin \theta = 0, \sin \tau = 0\}$$

$$M_2 = \{\theta, \dot{\theta}, \tau : \dot{\theta} = 0, \sin \tau = 0\}$$

В докладе изложены результаты исследования симметричных периодических движений задачи типа колебаний и вращений. Используется развитая недавно теория колебаний обратимых механических систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (03-01-00052) и программы "Государственная поддержка ведущих научных школ" (НШ-2000.2003.01).

## **Symmetrical periodic motions of the spherical pendulum with vibrating point of suspension**

Yu. D. Glukhikh, K.V. Tkhai

*Moscow State Academy of Instrument Making and Computer Science, Russia*

Symmetrical oscillations and rotations of the spherical pendulum with vibrating point of suspension are investigated.

## **САМОСОГЛАСОВАННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛ В СИЛЬНО РАЗРЕЖЕННОЙ ПЛАЗМЕ**

**Ю.Ф. Гунько, О.В. Сидорова**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
Россия*

На основе решения задачи Коши, построенного в работе [1], рассмотрено решение граничной задачи с заданием значений электрического потенциала на границах приповерхностного слоя. На их основе проведен расчет и построение вольтамперных характеристик, определяющих зависимость плотности тока в плоском слое от приложенного напряжения.

Кроме того, исследованы особенности движения заряженных частиц в приповерхностном слое. Самосогласованный характер электрического поля и поля скоростей сказывается и на характере движения частиц, которые «подстраиваются» к движущемуся потоку. Эта особенность движения частиц объясняет механизм формирования различных режимов течения, которые выделены и проанализированы в работе [1].

1. Гунько Ю.Ф. Структура экранирующего электрического поля вблизи проводящей поверхности в разреженной плазме. Третьи Поляховские чтения. Тезисы докладов. СПб, 2003. С. 132 - 133.

### **Self-consistent electric and gasdynamic fields in rarefied plasma near by solid surface**

**Yu.F. Gunko, O.V. Sidorova**

*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

The connection between the charged particle motion and electric field near by solid surface is studied.

## **ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЧЕТЫРЕХМЕРНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, АНАЛОГИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМ ЛОРЕНЦА**

**В.К. Дацук**

*Санкт-Петербург, Россия*

Введена четырехмерная система координат с одинаковым углом между всеми осями. С помощью введенных тригонометрических функций двух переменных выведены преобразования координат. Они не накладывают ограничений на величину скорости.

### **On the derivation of new transformations of four-dimensional coordinates system, similar to the Lorentz transformation**

V.K. Dacuk

*Saint-Petersburg, Russia*

The four-dimensional coordinates system is introduced with an identical angle between all axes. The transformations of coordinates are derived with the use of introduction of trigonometrical functions of two variables. They do not impose restrictions on the value of speed.

## **ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ ПО ПЛОСКОСТИ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПНОГО ТРЕНИЯ**

**Н.Н. Дмитриев**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

Анизотропное трение встречается достаточно часто, и описанию этого явления посвящено уже достаточно много работ (см., например, [1,2,3]). Теперь, по всей видимости, следует четко определить влияние этого трения на динамику различных систем. Для этого необходимо рассмотреть большое количество задач, в которых учитывается трение с анизотропными свойствами.

Классические задачи о скольжении однородного диска, однородного кольца и двухмассовой системы (скамьи Жуковского) рассмотрены в [4,5]. Усложним эти задачи неравномерностью давления в зоне контакта, которая возникает при размещении некоторой массы на диске или кольце. Рассмотрен ряд вопросов связанных со скольжением по инерции. В частности, построены траектории центра масс этих систем, исследовано изменение отношения линейной скорости центра масс к угловой скорости и найдено положение мгновенного центра скоростей в момент остановки. Исследовано движение диска при переходе его из полуплоскости с одним трением в полуплоскость с трением характеризующимся другими коэффициентами.

### **Литература**

1. Ванторин В.Д. Движение по плоскости с анизотропным трением // Трение и износ в машинах. Сб. 16. 1962. С. 81-120.
2. Zmitrowicz A. A theoretical model of anisotropic dry friction // Wear. 1981. Vol. 73. P. 9-39.
3. Александрович А.И., Векшин Б.С., Потапов И.Н. Тензор коэффициентов трения анизотропных поверхностей // Трение и износ, 1985, №6, с. 996-1004.
4. Аргатов И.И., Дмитриев Н.Н. Основы теории упругого дискретного контакта. – СПб.: Политехника, 2003. – 233 с.
5. Дмитриев Н.Н. Движение диска и кольца по плоскости с анизотропным трением // Трение и износ. 2002. Т.23. №1. С.10-15.

### **Influence of the load distribution on the motion of bodies along a plain with respect to anisotropic friction**

N. N. Dmitriev

*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

Anisotropic friction appears sufficiently often and already sufficiently many works have been dedicated for description of this phenomenon (see, for example, [1,2,3]).

Now, as it seems to be, we should precisely define the influence of such friction on dynamics of different systems.

Classical problems of a sliding of homogeneous disc, homogeneous ring, and two-mass system (Zhukovsky's bench) are considered in [4,5]. Let us complicate these problems by the assumption of the non-uniform contact pressure that appears due to dislocation of a mass on a disc or a ring.

A series of questions connected with a sliding due inertia is considered. In particular, trajectories of centre of gravity for these systems are constructed. The variation of the ratio of the linear velocity to the angular velocity is investigated and a location of the momentary centre of velocities at the stop moment is found.

The motion of a disc during its passage from a half-plane with some anisotropic friction into a half-plane with different friction coefficients is investigated.

### **References**

1. Vantorin V.D. Motion along a plane with anisotropic friction // Friction and Wear in Machines. V. 16. 1962. P. 81-120.
2. Zmitrowicz A. A theoretical model of anisotropic dry friction // Wear. 1981. V.73. P. 9-39.
3. Alexandrovich A.I., Vekshin B.S., Potapov I.N. Tensor of friction coefficients for anisotropic surfaces // Friction and Wear, 1985, No.6, P. 996-1004.
4. Argatov I.I., Dmitriev N.N. Fundamentals of the Theory of Elastic Discrete Contact. St. Petersburg: Polytechnics, 2003. 233 pp.
5. Dmitriev N.N. Motion of a disc and a ring along a plane with anisotropic friction // Friction and Wear. 2002. V.23. No.1. P.10-15.

## **К ВОПРОСУ ОБ ОДНОМ НОВОМ КЛАССЕ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ**

**С.А. Зегжда, Ш.Х. Солтаханов\*, М.П. Юшков**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

*\*Чеченский государственный университет, Россия*

В докладе обсуждается возможность формулирования одного нового класса задач управления. Программа движения задается в виде дополнительной системы дифференциальных уравнений высокого порядка. Строится совместная система уравнений относительно обобщенных координат и управляющих сил. Приводятся примеры. Вводится понятие идеального управления.

### **On a new class of control problems**

S.A.Zegzhda, Sh.Kh. Soltakhanov\*, M.P.Yushkov

*Saint Petersburg State University, Russia*

*\*Chechnya State University, Russia*

The possibility of formulating a new class of control problems is discussed. The motion program is set as an additional system of the high order differential equations. The combined system of equations with respect to the generalized coordinates and control forces is built. The examples are given and the notion of the ideal control is introduced.

## УСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЛИНЕАРНЫХ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ В ФОТОГРАВИТАЦИОННОЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОГРАНИЧЕННОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ТЕЛ

**А.С. Зимовщиков, В.Н. Тхай**

*Московская государственная академия приборостроения и информатики,  
Россия*

Изучается движение пассивно гравитирующей частицы в фотогравитационной ограниченной задаче трех тел (ФГОЗТТ), в которой частица кроме силы гравитации подвергается воздействию репульсивной силы светового давления от одного или сразу от обоих основных тел. Характер действия отталкивающей частицу репульсивной силы сводится к уменьшению массы излучающего тела и появлению эффективной массы  $Qm$ , где  $Q$ - коэффициент редукции - определяет суммарное действие сил гравитации и светового давления на частицу. Чем меньше абсолютные размеры частиц, тем сильнее проявляется влияние не гравитационных факторов на их движение, обусловленных световой энергией, исходящей от звезд.

Так же, как и в классическом варианте ограниченной задачи трех тел, уравнения движения в ФГОЗТТ допускают семейства положений относительного равновесия, к которым принадлежат коллинеарные точки либрации (КТЛ). Положение КТЛ, при данном значении отношения масс основных тел  $\mu$ , зависит от коэффициентов редукции  $Q_1$  и  $Q_2$ . Так как отдельные частицы имеют свой индивидуальный коэффициент редукции, независящий от свойств излучающих основных тел, то в точках либрации образуются газопылевые облака, изучение которых интересно в рамках ФГОЗТТ.

Основной задачей исследования является вопрос об устойчивости положений относительного равновесия в эллиптической ФГОЗТТ. На основе линеаризованной системы уравнений возмущенного движения для различных значений эксцентриситета  $e$  и массового параметра  $\mu$ , получены условия устойчивости КТЛ, определено максимальное числовое значение  $e$ , при котором существует устойчивая точка либрации. Показано, что параметрический резонанс приводит КТЛ к неустойчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (03-01-00052), программы Университеты России ведущие научные школы (НШ 2000.2003.1).

## **Stability of libration points in the photogravitational elliptic restricted three-body problem**

A.S. Zimovshchikov, V.N. Tkhai

*Moscow State Academy of Instrument Making and Computer Science*

The stability of collinear libration points is investigated in the photogravitational elliptic restricted three-body problem, in which two primary bodies emit light energy simultaneously. The conditions of stability of the collinear libration points are obtained based on a linearized set of equations of perturbed motion for various values of the eccentricity of the Keplerian orbits and the mass ratio of the primary bodies. It is demonstrated how the parametric resonance cause an instability of collinear libration points; the evolution of the origination of the instability zones is traced.

# **ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ НА АБСОЛЮТНО ШЕРОХОВАТОЙ ПЛОСКОСТИ**

**А.А. Зобова**

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия*

В докладе рассматривается классическая задача о движении тяжелого динамически симметричного тела вращения по абсолютно шероховатой горизонтальной плоскости на примере однородного сплюснутого эллипсоида. Показано, что в этой задаче помимо интеграла энергии существует еще два линейных интеграла, неизвестных в явном виде. Исследован вопрос о существовании и устойчивости стационарных движений, построены бифуркационные диаграммы Пуанкаре-Четаева и Смейла, указаны некоторые свойства этих диаграмм (симметрии, характерные точки). Дан качественный анализ движения тела, результаты проиллюстрированы с помощью визуализации движения. Рассмотрен вопрос о физических условиях осуществимости качения тела без проскальзывания и условия схода с неударяющей голономной связи (опора на плоскость).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (04-01-00398).

## **The motion of a solid of revolution on an absolutely rough surface**

A.A. Zobova

*Moscow State University, Russia*

The problem of motion of a heavy, rigid, dynamically symmetrical body of revolution on a rough horizontal plane is discussed. By means of bifurcation diagrams we investigate the existence, stability and bifurcation of the steady motions. The results are illustrated by visualization of motion. Also it is discussed the conditions of physical applicability of the assumptions (absolutely rough plane).

This research was supported financially by the RFBR (04-01-00398).

## **АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

**Ю.К. Зотов, Б.М. Соколов**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматривается нелинейная математическая модель движения судна по курсу (по горизонтальной водной поверхности) под действием продольной тяги, осуществляемой гребным винтом [1]. Предполагается, что на корпус судна действуют гидродинамические силы сопротивления и неизвестные внешние возмущения, рулевое устройство имеет электропривод на базе двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

Построено неособое преобразование координат пространства состояний уравнения исходной модели движения судна по курсу в отклонения (от программного движения (ПД) и соответствующего ему программного управления), приводящее его к уравнению специального вида, удобному для синтеза и анализа стабилизирующих законов управления движением судна.

С использованием построенного преобразования на основе метода функций Ляпунова синтезированы законы управления с обратной связью по состоянию модели движения судна по курсу, обеспечивающие стабилизацию ПД судна с заданными показателями качества переходных процессов в замкнутой системе.

Построенное управление использует оценки неизвестных параметров внешних возмущений, полученные при решении бесконечного числа неравенств по методу, разработанному В.А.Якубовичем [2], что позволяет компенсировать внешние возмущения (влияние ветра и морского волнения).

### **Литература**

1. А.М. Басин. Теория устойчивости на курсе и поворотливости судна. Л.-М.: Гостехиздат, 1949. 228 с.
2. В.Н. Фомин, А.Л. Фрадков, В.А. Якубович. Адаптивное управление динамическими объектами. М.: Наука, Физ.-мат., 1981. 448 с.

### **Adaptive control of the ship at presence of external disturbances**

*Yu. K. Zotov, B.M. Sokolov.*

*Saint Petersburg State University, Russia*

The mathematical model of course movement of a ship is investigated. The stabilizing control compensating external disturbances and using a method of recurrent target inequalities is constructed.

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАТФОРМЫ СТЮАРТА С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ.**

**С.М. Зуев, Б.В. Трифоненко**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия.*

В докладе рассматривается подвижная платформа, с тремя степенями свободы, соединяемая с неподвижной платформой тремя стержнями переменной длины. Подвижная платформа моделируется плоской пластиной в форме правильного шестиугольника, центр масс находится в центре шестиугольника, стержни предполагаются невесомыми. Движение платформы управляется тремя стержнями, соединенных сферическими шарнирами с подвижной платформой в точках крепления с верхним основанием и цилиндрическими шарнирами с основанием. Исследования таких конструкций важны при конструировании различных частей радиотелескопов, в том числе активных поверхностей зеркал. Первые такого рода телескопы работают на Гавайских островах и строятся в Мексике. Для решения прямой и обратной задачи кинематики были найдены матрицы поворота и проведен численный расчет методом покоординатного спуска. Исследована устойчивость горизонтального положения равновесия платформы в случае управления с линейной обратной связью. Введено управляющее воздействие и найдены необходимые достаточные условия равновесия.

Создано приложение для ЭВМ, моделирующее платформу и решающую задачи кинематики в режиме анимации.

1. Б.А. Ершов, Б.В. Трифоненко. Движение твердого тела при действии управляющих связей. Вестн. Ленингр. Ун-та. 1985. №8. С. 52-56
2. В.В. Александров, В.Г. Болтянский, С.С. Лемак, Н.А. Парусников, В.М. Тихомиров. Оптимизация Динамики управляемых систем. Издательство Московского университета. 2000.

### **The stability of Stewart Platform with 3 degree of freedom**

S. M. Zuev, B.V. Trifonenko.

*Saint Petersburg State University, Russia*

The motion of dynamic Stewart Platform with 3 degree of freedom is discussed. Motion of mobile platform is controlled by three rigid rods. The rotation matrix for the solution of direct kinematical problem is derived; the reverse kinematical problem is solved by the method of coordinate-wise descent. Necessary and sufficient conditions of stability of the horizontal position are found. A computer program modeling the motion of the platform is created.

## **О КРУТИЛЬНЫХ АВТОКОЛЕБАНИЯХ СВЕРЛА**

**Г.Е. Иванов**

*Санкт-Петербургский государственный университет растительных полимеров, Россия*

В докладе рассматривается возможность возникновения крутильных автоколебаний сверла при наличии у момента сил сопротивления снятию металла характеристики, имеющей график ниспадающей части с перегибом.

### **On torsional self-oscillations of a drill**

G.E. Ivanov

*Saint Petersburg State University of vegetate polymers, Russia.*

The possibility of onset of the drill torsional self-oscillations is considered in the case when the forces moment of resistance to the metal taking-off has a characteristic with a graphic of the decreasing part with a bend.

# **ВРАЩЕНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОЙ ЭЛЛИПСОИДАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ, ЗАПОЛНЕННОЙ СЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТЬЮ, ОКОЛО НЕПОДВИЖНОГО ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ**

**Л.П. Ильина**

*ОАО НПК "Высокие технологии", Санкт-Петербург, Россия*

В результате построения полных субстанциональных производных по времени от составляющих вектора вращательного импульса  $S_i(t) = A_i(t)\omega_i(t)$  получены уравнения Эйлера, описывающие вращение жёсткой эллипсоидальной оболочки конечной толщины, заполненной сжимаемой вязкой жидкостью, из которых определяются составляющие момента сил, вращающих жидкость, содержащуюся внутри оболочки, вокруг осей, относительно коих определено её вращение как твёрдого тела, но в противоположную сторону, и угловые скорости вращения жидкости относительно движущихся (неподвижных) осей, то есть решение задачи, поставленной Г.П.Дирихле и затем продвинутой Б.Риманом.

Но движение жидкости, определённое этими угловыми скоростями, является лишь "затравочным", так как при обтекании внутренней поверхности оболочки частицы жидкости с необходимостью вращаются относительно двух систем осей, из которых первые суть оси, соприкасающиеся с эволютными поверхностями внутренней поверхности оболочки, а вторые суть оси им полярные относительно последней.

Снятие требования жёсткости оболочки позволяет найти описание её колебаний и порождённых ими напряжений и деформаций, вызванных центробежными силами и движением жидкости внутри неё.

Полученные результаты приводят к переопределению критериев устойчивости поверхностей равновесия вращающейся жидкости.

## **Rotation of deformable ellipsoidal shell with real compressible liquid inside around fixed centre of gravity**

L.P. Ilyina

*ОАО НПК "High Technologies", Saint Petersburg, Russia*

Euler equations describing rotation of deformable ellipsoidal shell with real compressible liquid inside around fixed center of gravity by time differentiation of components of rotating impulse vector  $S_i = A_i(t)\omega_i(t)$ , where  $A_i$  – moments of inertia,  $\omega_i$  – angular velocity, is obtained.

## **ИНВАРИАНТНЫЕ МНОЖЕСТВА ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПЕРВЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ**

**А.В. Карапетян**

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия*

Обсуждаются вопросы существования, устойчивости и ветвления инвариантных множеств динамических систем, допускающих первые интегралы.

Общие положения иллюстрируются многочисленными примерами из динамики твердого тела. В частности, рассматриваются задачи о движении тяжелого твердого тела с неподвижной точкой и твердого тела в идеальной жидкости, задачи о движении тяжелого твердого тела, заполненного вязкой жидкостью, и задача о движении твердого тела по плоскости с трением.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (04-01-00398).

### **Invariant sets of dynamic systems with first integrals.**

**A.V. Karapetyan**

*Moscow State University, Russia*

The problem of the existence, stability and bifurcation of invariant sets of dynamic systems is discussed. General conclusions are illustrated by numerous examples from the dynamic of the solid.

This research was supported financially by the RFBR (04-01-00398).

## ОБЛАСТИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ С ПЕРИОДИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ

**К. Каттани, А.П. Сейранян\***

*Университет г. Салерно, Италия*

*\*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия*

Рассматривается задача отыскания областей неустойчивости механической системы с периодически изменяющимся моментом инерции. Впервые эта задача была поставлена в книге [1]. Выведено уравнение, описывающее малые крутильные колебания системы с периодическими коэффициентами, зависящими от четырех параметров, включая демпфирование. Изложен метод исследования устойчивости, основанный на анализе поведения мультипликаторов Флоке. Получены аналитические выражения для областей неустойчивости (параметрического резонанса) в пространстве параметров. Приведены численные примеры.

1. Пановко Я. Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. Современные концепции, парадоксы и ошибки. 2-е изд. М.: Наука, 1967. 352 с.

### **Instability regions for a system with periodically varying moment of inertia**

Carlo Cattani, Alexander P. Seyranian\*

*Universita di Salerno, Italia*

*\*Moscow State Lomonosov University, Russia*

The problem of finding instability regions for a system with periodically varying moment of inertia is considered. For the first time this problem was formulated in [1]. The equation describing small torsional oscillations of the system with periodic coefficients dependent on four parameters including damping is derived. A new method of stability study based on behaviour of the Floquet multipliers is presented. Analytical results for instability (parametric resonance) regions in parameter space are obtained. Numerical examples are presented.

1. Panovko Ya.G., and Gubanov I.I. *Stability and Vibrations of Elastic Systems*. Second edition. Moscow: Nauka, 1967. 352 p.

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИНХРОННЫХ МАШИН

**Н.В. Кондратьева, Я.А. Макаров, Ф.Ф. Родюков, А.И. Шепелявый**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Для ряда известных математических моделей синхронных машин проведён сравнительный анализ устойчивости. Рассмотрена электромеханическая модель синхронной машины, в которой ротор представлен в виде двух рамок с током, одна из которых подключена к источнику постоянного напряжения, другая является короткозамкнутой (фантомной), ортогональна первой и имеет те же параметры. Роль статора при этом выполняет постоянный магнит, который вращается с постоянной скоростью в плоскости, перпендикулярной оси вращения ротора. На основе традиционного для аналитической механики подхода с помощью уравнений Лагранжа-Максвелла получена её математическая модель.

Показано, что к такой модели с помощью специального выбора подвижных координат (обобщённое преобразование Парка) и подходящего выбора гибридных переменных может быть сведена полная математическая модель синхронной машины (см., например, David C. White, Herbert H. Woodson (1959)) при установившихся электромагнитных процессах в статоре и при естественном в ряде случаев предположении о независимости этих процессов от аналогичных процессов в роторе.

С помощью квазистатического подхода и линеаризации получены упрощённые уравнения синхронных машин и проанализирована адекватность широкоизвестного уравнения маятника для описания динамики синхронных машин и их систем, которое часто упоминается или используется в этой связи в литературе (Ф. Трикоми, Дж. Стокер, М.Я. Вайман и др.).

Для рассмотренных математических моделей синхронных машин в ряде частных случаев с помощью методов качественной теории дифференциальных уравнений и функций Ляпунова проведён нелокальный анализ. В частности доказано существование бифуркационного значения параметра. Получены новые результаты по определению формы области притяжения устойчивого положения равновесия. Для определенных значений параметров исследована качественная картина расположения траекторий системы во всем фазовом пространстве.

Приведен краткий обзор результатов, имеющих в этой области.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта 00-15-96028 Совета по грантам Президента РФ и государственной поддержке ведущих научных школ

## **The analysis of stability of synchronous machines**

N.V. Kondrat'eva, Ya.A. Makarov, F.F. Rodyukov, A.I. Shepeljavyi  
*Saint Petersburg State University, Russia*

For a number of known mathematical models of synchronous machines the comparative analysis of stability is carried out.

## **ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПОСТРОЕНИЯ ИНВАРИАНТНЫХ МНОЖЕСТВ КАНОНИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ**

**Д.П. Лебедин, А.С. Шмыров**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Исследование многих уравнений механики с периодической зависимостью от времени сводится с помощью метода, предложенного Пуанкаре [1], к изучению траекторий канонического отображения. При этом дифференциальные уравнения превращаются в систему разностных уравнений. Несмотря на их кажущуюся простоту и более удобную форму для численного анализа, разностная система уравнений представляет собой более сложный объект, чем система дифференциальных уравнений, что видно уже из теории существования и единственности решения таких систем [2]. Однако и для таких систем можно ставить вопрос о построении инвариантных многообразий. При построении инвариантных многообразий учитывается специфика уравнений механики, которая заключается в том, что разностная схема задается с помощью канонического отображения в фазовом пространстве. Это позволяет представить разностную схему в довольно удобном виде с помощью производящей функции подходящего вида [3].

Данный метод является одним из вариантов общей популярной идеи о включении диффеоморфизма в поток [4]. Суть идеи заключается в том, что разностная схема заменяется на близкую в определенном смысле к ней систему дифференциальных уравнений. Причем замена должна быть такой, чтобы сохранялись специфические свойства канонического отображения. В результате получается система дифференциальных уравнений, обладающая интегралом. В плоском случае этого оказывается достаточно для интегрирования такой системы.

### **Литература**

1. Пуанкаре А. Новые методы небесной механики // Избранные труды: В 3 т. Т. 1,2. М.: Наука, 1971.

2. Мартынюк Д.И. Лекции по качественной теории разностных уравнений. Киев: Наукова думка, 1972. 246 с.
3. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. М.: Наука, 1979. 432 с.
4. Шмыров А.С. Устойчивость в гамильтоновых системах. СПб.: Изд. СПбГУ, 1995. 128 с.

### **On the method of construction of invariant sets of the canonical mapping**

D.P. Lebedin, A.S. Shmyrov  
*Saint Petersburg State University, Russia*

Investigation of equations of mechanics with periodic dependence on time reduces to the analysis of trajectories of the canonical mapping according to a method that was proposed for the first time by H. Poincare. The idea is that differential scheme is replaced by the similar system of differential equations. The replacement should maintain all specific properties of the canon mapping. In result we have the system of differential equations having an integral. In the planar case, that will be enough for an integration of this system.

## К ВОПРОСУ О ДИНАМИКЕ БОЛИДОВ

**Б.Я. Локшин, Ю.М. Окунев**

*Институт механики МГУ, Москва, Россия*

В последнее время обозначился интерес к такому классу объектов, как болиды, метеоры, метеороиды [1]. Они представляют собой бесформенные тела (куски льда, камней, металлов и т.д.) и, как правило, обладают очень низким аэродинамическим качеством. Когда эти тела влетают в атмосферу Земли и других планет с высокой скоростью (свыше 10 км/сек), многие из них разрушаются, но некоторые из них достигают поверхности Земли. Возникает необходимость обсудить общие свойства движения в среде таких тел «неправильной» формы (то есть тел, не имеющих специальных форм). В настоящей работе рассмотрена задача о торможении тела в покоящейся однородной среде (под действием сил со стороны среды в отсутствие сил иной природы).

При описании аэродинамического воздействия на тело учтены главные качественные особенности его формирования. В сообщении эта задача обсуждается в рамках предположения о существовании плоско-параллельного движения тела. Показано, что для тел с формой «общего положения» режим поступательного прямолинейного торможения, практически, невозможен. В частных случаях, когда он все-таки существует, он оказывается неустойчивым.

В общем случае для рассматриваемого тела существует режим установившегося криволинейного торможения, но этот режим также неустойчив. Показано, что аэродинамика может вызвать гораздо большие искривления траектории, чем гравитация.

Для неоднородного шара за счет более детального описания аэродинамического воздействия удалось провести глобальный качественный анализ траекторий движения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 03-01-00190 и 04-01-00505-а) и Программы «Университеты России».

1. Б.Я. Локшин, Ю.М. Окунев, В.А. Самсонов. Влияние несимметрии тела на траекторию его движения в среде. В сб. научно-метод. статей «Теоретическая механика». Изд-во Московского университета, 2004, № 25, с. 133-139.

### **Dynamics of bolides**

**B.Ya. Lokshin, Yu.M. Okunev**

*Institute of Mechanics of Moscow State University, Russia*

The problem of dynamics of a rigid body in resisting medium is considered. It is shown that direct motion of body of any form is not exist. For bodies of special forms with low aerodynamic quality this motion can exist, but it is not stable.

## ТОЧНОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАЯТНИКА В СОПРОТИВЛЯЮЩЕЙСЯ СРЕДЕ

**К.В. Мануйлов**

*ОАО НПК "Высокие технологии", Санкт-Петербург, Россия*

Ввиду того, что функция

$$\varphi = 2 \arcsin [\varepsilon \operatorname{sn}(u)], \quad (1)$$

представляющая собой решение дифференциального уравнения, описывающего периодическое движение маятника по инерции при движении маятника в сопротивляющейся среде, становится функцией двух переменных аргумента  $u(t)$  эллиптического синуса и эксцентриситета кинематического эллипса  $\varepsilon(t)$ , для построения дифференциального уравнения, описывающего движение маятника в сопротивляющейся среде, то есть под действием силы сопротивления, пропорциональной частью первой, а частью второй степени скорости, необходимо и достаточно построить полную вторую производную по времени от функции (1) с последующим положением  $\varepsilon$  постоянной величиной.

Полученное таким образом дифференциальное уравнение даёт точное аналитическое описание баланса сил и позволяет дать точный ответ на вопрос, через какое время остановится маятник. Все слагаемые, входящие в уравнение движения, выражаются через известные нам параметры свободного движения.

### **The exact analytical description of the motion of pendulum under the action of resistant forces**

**K.V. Manuylov**

*OAO NPK "High Technologies", Saint Petersburg, Russia*

The exact analytical description of motion of mathematical pendulum under the action of resistant forces is given by defining angle function as the function of two variables depending on time – argument  $u(t)$  and eccentricity  $\varepsilon(t)$  expressed from initial requirement. Analysis of obtained analytical description is given as well.

# УСТОЙЧИВОСТЬ И СТАБИЛИЗАЦИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ДВИЖЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО КЛАССА НЕГОЛОНОМНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**В.М. Морозов, В.И. Каленова, М.А. Салмина**

*Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия*

При исследовании механических систем с неголономными связями принципиальное значение имеет задача выбора обобщенных координат. При этом важным является способ разрешения уравнений неголономных связей.

На примере одной достаточно сложной модели трехколесного экипажа обсуждаются различные возможности разрешения уравнений неголономных связей. Отмечается, что при традиционном способе разрешения этих уравнений оказывается невозможным исследование простейшего прямолинейного стационарного движения (СД) системы. Предлагается другой способ разрешения этих уравнений, позволяющий изучить всю совокупность СД системы. Показано, что СД этой системы относятся к специальному классу СД неголономных систем, отличающихся от известных ранее. Исследованы СД этого класса, сформулирована теорема об устойчивости и рассмотрены возможности их стабилизации. На основе полученных теоретических результатов подробно проанализированы СД трицикла.

1. В.И.Каленова, В.М.Морозов, М.А.Салмина. Об устойчивости и стабилизации установившихся движений неголономных механических систем одного класса // ПММ, 2004, Т.68, Вып.6, С.914-924.

Работа проведена при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 03-01-00194) и Программы «Университеты России».

## **Stability and Stabilization of Steady-State Motions of Nonholonomic Mechanical Systems of Special Class**

V.M. Morozov, V.I. Kalenova, M.A. Salmina

*Institute of Mechanics of Moscow State University, Russia*

The problems of the choice of the general coordinates and the solution of the nonholonomic constraints equations are discussed. The steady-state motions of the nonholonomic systems of special class are considered. The stability and stabilization problem of steady-state motions for threecycle is discussed as an example.

## **ДВИЖЕНИЕ СИСТЕМЫ С ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ**

**М.А. Муницына**

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия*

Рассматривается задача о движении твердой гантели с прикрепленным к ней на двух невесомых нерастяжимых тросах грузом в центральном ньютоновском поле сил. Влиянием относительного движения системы на движение ее центра масс пренебрегается, считается, что центр масс системы движется по круговой Кеплеровой орбите. Выписываются уравнения движения, находятся относительные равновесия системы и исследуется их устойчивость для случаев связного, полусвязного и свободного движений. Для случая связного движения результаты представлены в виде фазового портрета, на котором выделена область схода со связи.

Работа выполнена при поддержке гранта НШ 2000.2003.1.

### **Motion of the system with unilateral constraints in central gravitation field**

**M.A. Munitsyna.**

*Moscow State University, Russia*

The motion of the rigid dumb-bell with bullet attached by two inextensible massless tether in the central Newtonian field of forces considered. The relative equilibrium positions have been found and their stability in cases of connected, half connected and free motions have been investigated.

## **ПРИНЦИП НАИМЕНЬШИХ ИЗДЕРЖЕК И НЕКОТОРЫЕ ЭКОМЕХАНИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКЕ**

**М. А. Нарбут**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Вариационные принципы играют основополагающую роль в механике и физике. В экономической теории вариационные принципы могут быть сформулированы в теории оптимального управления, а также при анализе пространственных и пространственно-временных экономических структур. В работе прослеживается замечательная аналогия между принципом наименьших издержек и принципом Ферма геометрической оптики. В обоих случаях уравнения экстремалей (лучей) принимают вид уравнений Гамильтона классической механики. Отмечается также аналогия между центрами производства или потребления с одной стороны и истоками или стоками идеальной жидкости с другой. Картина товарных потоков в целом оказывается гомеоморфной картине плоских потенциальных течений идеальной несжимаемой жидкости.

### **The least costs principle and some ecomechanical analogies in mathematical economics**

M. A. Narbut

*Saint-Petersburg State University, Russia*

One can see a remarkable analogy between the least costs principle in the spatial economics and the famous Fermat principle of geometrical optics. Another analogy exists between centers of production or consumption and sources or sinks in the potential flow of ideal fluid.

## **О ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЯ НА ПОВОРОТЕ**

**А.А. Нездеров**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Для изучения движения автомобиля на повороте как неголономной задачи механики применяется модель Линейкина. Составляются уравнения Маджи движения автомобиля. Расчеты проводятся с помощью пакета Mathematica.

### **On car motion on the curve**

A.A. Nezderov

*Saint Petersburg State University, Russia*

To investigate car motion on the curve as a nonholonomic problem of Mechanics Lineikin's model is used. Maggi's equations for car motion are deduced. Calculations are realized using software packet Mathematica.

# ТОЧНОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА С ТРЕНИЕМ В ТОЧКЕ ПОДВЕСА

**Д.В. Несмачный**

*ОАО НПК "Высокие технологии", Санкт-Петербург, Россия*

Положение функции, являющейся решением дифференциального уравнения, описывающего движение маятника по инерции,

$$\varphi = 2 \arcsin[\varepsilon \operatorname{sn}(u)], \quad (1)$$

функцией двух переменных, аргумента  $u(t)$  эллиптического синуса, и пропорционального отклонению маятника от положения равновесия эксцентриситета  $\varepsilon(t)$  кинематического эллипса, на который отображается движение маятника, позволяет построить дифференциальное уравнение, описывающее движение математического маятника при сопротивлении трения.

Для этого необходимо и достаточно найти полную вторую производную по времени от функции (1) с последующим положением  $\varepsilon$  постоянной величиной и удержать в её выражении члены, пропорциональные первой степени скорости и производной от неё.

Полученное таким образом дифференциальное уравнение даёт точное аналитическое описание баланса сил и позволяет дать точный ответ на вопрос, через какое время остановится маятник. Все слагаемые, входящие в уравнение движения, выражаются через известные нам параметры свободного движения.

## **The exact analytical description of the motion of mathematical pendulum under the action of friction force in rotating point**

D.V. Nesmachniy

*ОАО НПК "High Technologies", Saint Petersburg, Russia*

The exact analytical description of motion of mathematical pendulum under the action of friction force in rotating point is given by defining angle function as the function of two variables depending on time – argument  $u(t)$  and eccentricity  $\varepsilon(t)$  expressed from initial requirement. Analysis of obtained analytical description is given as well.

## **О КОЛЕБАНИЯХ АВТОМОБИЛЯ НА ТОРМОЗНОМ СТЕНДЕ**

**С.А. Панова**

*Северо-западный заочный государственный технический университет, Санкт-Петербург, Россия*

В докладе рассматривается движение автомобиля на тормозном стенде с качающимися коромыслами и влияние колебаний корпуса на величину тормозной силы.

### **On the Vibrations of a Car on the Brake Stand**

S.A. Panova

*North-Western Correspondence State Technical University, Saint Petersburg, Russia*

The car motion on the brake stand with rocking shafts and the influence of the body vibrations on the value of the decelerating force are considered.

# КОНИЧЕСКИЕ ПРЕЦЕССИИ РОТОРА ДЖЕФФКОТТА С ЧЕТЫРЬМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ УПРУГИХ ОПОРАХ

**И.А. Пасынкова**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматривается модель ротора Джеффкотта с четырьмя степенями свободы, т.е. твердое динамически симметричное тело, прикрепленное к линейно упругому валу, массой которого можно пренебречь. Предполагается, что ротор имеет только динамический дисбаланс, который характеризуется углом  $\delta$  и фазовым сдвигом  $\varepsilon$ . Относительно опор предполагается, что упругие силы изменяются по закону Герца. Учитываются также силы внешнего и внутреннего трения, пропорциональные соответственно абсолютной и относительной скорости конца вала (шипа).

Показано, что для динамически несбалансированного ротора могут существовать конические прецессии. Для ротора, укрепленного посередине между опор, построены амплитудно- и фазово-частотные характеристики конической прецессии, по уравнениям линейного приближения исследована устойчивость. С применением элементарной теории катастроф исследованы бифуркации в критических точках. Показано, что потеря устойчивости может сопровождаться как классическим явлением скачка амплитуды, так и качественным изменением вращения: коническая прецессия может переходить в гиперболоидальную, при этом вовлекается в движение центр масс ротора.

## **Литература:**

1. Пасынкова И.А. Устойчивость конической прецессии жесткого неуравновешенного ротора. // Вестник С.-Петербург.ун-та, сер.1, вып.1 (N 1), 1998, с.82-86.
2. Pasynkova I.A. Whirling motion of an unbalanced rotor in linear and nonlinear bearings // 7. Magdeburger Maschinenbau-Tage. 11.-12. Oktober 2005 an der Otto-von-Guericke Universitaet Magdeburg. Tagungsband. 2005. p. 143-148.

## **Conic precession of a four-degrees-of-freedom Jeffcott rotor in nonlinear elastic bearings**

I.A. Pasynkova

*Saint Petersburg State University, Russia*

A four-degrees-of-freedom Jeffcott rotor is assumed to be dynamically unbalanced with parameters of imbalance  $\delta$  and  $\varepsilon$ . The shaft is assumed to be linear elastic. But the bearings are nonlinear elastic and restoring forces vary according to Hertz's formula. The resistance forces, both external and internal, are taken into account. Dynamic response, stability and bifurcations of a conic precession are investigated.

## **О ПРОСТРАНСТВЕННОМ ДВИЖЕНИИ РАКЕТЫ, ДВИЖУЩЕЙСЯ ПО КРИВОЙ ПОГОНИ**

**Т.Н. Погребская**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматривается пространственное движение ракеты, принимаемой в виде материальной точки, когда она преследует цель по методу погони. Закон наведения рассматривается как наложение двух неголономных связей, реакция которых создает искомую управляющую силу.

### **On spatial motion of the rocket moving along a curve of pursuit**

T.N. Pogrebskaya

*Saint Petersburg State University, Russia*

Spatial motion of the rocket chasing a target by the pursuit method is considered, the rocket being taken as a mass point. The law of guidance is considered as imposition of two non-holonomic constraints the reaction of which gives the control force required.

## **РАЗЛИЧНЫЕ МОДЕЛИ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И ТЕОРИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Ф.Ф. Родюков**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Дается вывод полной корректной математической модели синхронного двигателя (СД). Под корректностью модели понимается адекватность ее решений физическим процессам, происходящим в реальных СД, а также закону сохранения энергии. Исследованы условия локальной устойчивости полученной модели как при синхронных режимах работы СД, так и при асинхронных.

Показано, каким образом из полной корректной модели СД могут быть получены широко известные уравнения математического маятника, которые вплоть до настоящего времени используются для изучения как локальной, так и глобальной устойчивости СД, а также и электроэнергетических систем (ЭЭС). Приводятся очень ограниченные условия, при которых подобные исследования допустимы.

Далее приводится алгоритм, позволяющий на основе корректных уравнений СД получить корректную математическую модель большой ЭЭС. На основе этой модели исследуются малые колебания такой ЭЭС и условия ее локальной устойчивости.

### **Different models of the synchronous motor and the theory of the stability of the electropower systems**

**F.F. Rodyukov**

*Saint Petersburg State University, Russia*

Development of a full correct mathematical model of the synchronous engine is presented. This model is used for the building of the mathematical model of a big electropower system. Its small oscillations are studied, and conditions of its local stability are obtained.

## **О РЕШЕНИИ ОДНОЙ ЗАДАЧИ БЕЛЕЦКОГО В.В.**

**Н.Ю. Сабурова**

*Архангельский государственный технический университет, Россия*

В 1959 г. Белецким В.В. было получено уравнение (уравнение Белецкого), описывающее вращение трехосного спутника в центральном гравитационном поле. При этом предполагалось, что центр масс спутника движется по кеплеровской эллиптической орбите. Такая постановка задачи была названа ограниченной. Однако, как показано в работе [2], в рамках общей постановки задачи о поступательно-вращательном движении двух твердых тел кеплеровское эллиптическое движение твердого тела (не шара) в поле тяготения шара невозможно.

В данной работе исследуется задача о движении твердого тела в поле тяготения шара, поставленная Белецким В.В. [1], но без предположения о кеплеровской орбите центра масс тела. Орбита центра масс тела предполагается плоской. Тело вращается вокруг одной из осей инерции, перпендикулярной плоскости орбиты. Указываются условия, которые должны быть наложены на форму тела, чтобы такое движение имело место. Находится связь между углом Эйлера, характеризующим вращательное движение тела, и величинами, описывающими поступательное движение центра масс.

### **Литература.**

1. Белецкий В.В. Движение искусственного спутника относительно центра масс. – М.: Наука, 1965. – 217 с.
2. Сабурова Н.Ю. Условия существования кеплеровских движений двух твердых тел // Труды кафедры прикладной математики АГТУ, вып 4., Архангельск: Солти, 2005. – С. 6-40.

## **On the solution of one problem of V.V. Beletsky**

N.Yu. Saburova.

*Arkhangelsk State Technical University, Russia*

In the present work the problem of translational-rotational motion of a rigid body in the gravitational field of a sphere is investigated. It is supposed that the orbit of the centre of mass of the body is plane. The body rotates around one of the axes of inertia, perpendicular to the plane of the orbit.

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ТЕЛА В ПОТОКЕ СРЕДЫ

**В.А. Самсонов, Ю.Д. Селюцкий**

*Институт механики МГУ, Москва, Россия*

В работах [1, 2] предложена модель взаимодействия среды с телом-пластиной, совершающим поступательное движение в направлении «поперек» потока среды. На основе этой модели обсуждается задача об управлении движением (торможением) как пластины, так и «последствием» потока после остановки тела. Задача осложняется тем, что информация о состоянии среды недоступна прямому измерению и должна быть восстановлена с помощью «наблюдателя». Кроме того, управляющее воздействие может быть приложено непосредственно только к телу. Анализ показал, что построенная динамическая система наблюдаема и управляема. В качестве примера решены две задачи об остановке тела: при «кинематическом» (заданная по величине кусочно-постоянная скорость тела) управлении и при силовом (заданная по величине кусочно-постоянная сила). В обоих случаях требуемое управление содержит три момента переключения, не считая последнего «отключения» управления. Для тела малой массы силовое управление более эффективно, чем кинематическое, то есть требуется меньшее время для остановки системы «тело-среда».

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 03-01-00190) и Программы «Университеты России».

1. Самсонов В.А., Селюцкий Ю.Д. К задаче о колебаниях пластины в потоке сопротивляющейся среды // Третьи Поляховские чтения (избранные труды). С-Пб.: НИИХ С-ПбГУ. 2003, с.220-225.
2. Самсонов В.А., Селюцкий Ю.Д. О колебаниях пластины в потоке сопротивляющейся среды // Изв. РАН. МТТ. 2004, №4, с.25-32.

### **Control of bodies motion in a flow of medium**

V.A. Samsonov, Yu.D. Seliutsky

*Institute of Mechanics of Moscow State University, Russia*

The problem of dynamics of a rigid body in a flow of medium is considered. There was constructed such a control of body motion that at a certain finite instant of time the body would stop and the force of flow-body interaction would vanish simultaneously. In other words, flow aftereffect would be absent.

## **ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕРЕВЕРНУТОГО МАЯТНИКА С ВИБРИРУЮЩЕЙ ТОЧКОЙ ПОДВЕСА**

**А.А. Сейранян, А.П. Сейранян\***

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Россия*

*\*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия*

Рассматривается задача о стабилизации верхнего вертикального (перевернутого) положения маятника с помощью вибрации точки подвеса. Периодическая функция, описывающая колебания точки подвеса, считается произвольной и учитывается малое вязкое трение. Получена формула для области устойчивости решений уравнения Хилла с демпфированием в окрестности нулевой собственной частоты, представляющей собой четверть конуса в трехмерном пространстве параметров. Выведена асимптотическая формула для области стабилизации верхнего вертикального положения маятника. Показано, что учет вязкого трения приводит к возрастанию критической частоты стабилизации. Приведены примеры и проведено сравнение аналитических и численных результатов.

### **On stability of an inverted pendulum with vibrating suspension point**

**Andrei A. Seyranian, Alexander P. Seyranian\***

*Moscow Bauman State Technical University, Russia*

*\*Moscow Lomonosov State University, Russia*

A problem of stabilization of the upper vertical position of a pendulum with vibrating suspension point is considered. A periodic function describing vibrations of the suspension point is assumed to be arbitrary and small viscous damping is taken into account. A new formula for the stability region of Hill's equation, representing quarter of a cone in three-parameter space, is obtained. An asymptotic formula for stabilization region of the vertical inverted position of the pendulum is derived. It is shown that small viscous damping leads to an increase of the critical stabilization frequency. Some examples are presented and comparison between analytical and numerical results is given.

## О СТАЦИОНАРНЫХ ДВИЖЕНИЯХ ВОЛЧКА С ВЯЗКИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ НА ПЛОСКОСТИ С ТРЕНИЕМ

**С.А. Стефанова**

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия*

Рассматривается задача о стационарных движениях волчка, ограниченного сферической поверхностью, опирающегося на горизонтальную плоскость. Волчок имеет осесимметричную сфероидальную полость, целиком заполненной вязкой несжимаемой жидкостью, совершающей простое движение. В точке опоры на волчок действуют нормальная сила реакции и сила трения скольжения. Предполагается, что центр полости совпадает с геометрическим центром сферической оболочки.

Найдены три типа стационарных движений исследуемой системы: I) вращения волчка вокруг вертикально расположенной оси симметрии полости; II) вращения волчка вокруг вертикально расположенного диаметра экваториального сечения полости; III) вращения волчка вокруг вертикали.

Получены условия их устойчивости.

Стационарные движения типа I.) устойчивы, когда выполнено неравенство  $(\delta^2 - 1)(r^3\varepsilon - \delta^2) > 0$ . Стационарные движения типа II.) устойчивы, когда выполнено неравенство  $(\delta^2 - 1)(r^3\varepsilon - \delta^2) < 0$ . Наконец, стационарные движения типа III.) существуют при  $\delta^2 \leq r^2$  (из постановки задачи) и притом всегда устойчивы. Здесь  $a_1, a_2 = a_1$  и  $a_3$  – полуоси сфероидальной полости,  $R$  – радиус сферической оболочки,  $\delta = a_1/a_3$ ,  $r = R/a_3$ ,  $\varepsilon$  – отношение массы жидкого наполнителя к массе всей системы.

### **On stationary motions of a top filled with viscous fluid on a horizontal plane with friction**

**S.A. Stefanova**

*Moscow Lomonosov State University, Russia*

Let us consider a top with a spherical boundary on a horizontal plane. The top contains the spheroidal cavity filled with incompressible viscous fluid performing simple motion. Let us suppose that the cavity center concludes with the geometrical center of the spherical covering. The normal reaction and the sliding friction force act on the top in the fulcrum.

Three types of stationary motions are found. Stability conditions of those stationary motions are obtained.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КЭЛИ-КЛЕЙНА К ИССЛЕДОВАНИЮ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ВИНТОВОГО ДВИЖЕНИЙ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

**Н.А. Стрелкова**

*Пермский государственный университет, Россия*

Кватернионам и векторам ставятся в соответствие комплексные кватернионные матрицы Кэли-Клейна порядка  $n$ . Определяются свойства введенных матриц и устанавливаются правила преобразования кватернионных выражений в матричные. Показано, что с помощью кватернионных матриц удобно описывать ортогональные преобразования и уравнения сферического движения твердого тела. В матричном виде, с использованием параметров Кэли-Клейна, исследуются кинематические уравнения сферического и винтового движений твердого тела. Рассматривается задача о вращении осесимметричного твердого тела около неподвижной точки под воздействием произвольного внешнего момента. С привлечением аппарата параметров Кэли-Клейна выводится матричное уравнение движения твердого тела и для некоторых частных случаев осуществляется точное интегрирование данного уравнения. Исследуется задача оптимального по быстродействию кинематического разворота твердого тела. Проводится обобщение данной задачи на случай произвольного пространственного движения двух объектов, когда в конечный момент времени происходит совпадение систем координат, неизменно связанных с твердыми телами. При помощи принципа максимума Л.С. Понтрягина найдено время винтового перемещения, получены траектории оптимального движения и управления в виде функций, зависящих от дуальных матриц Кэли-Клейна. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 04-01-96031), НОЦ (грант № PE-009-0).

### **Application of Cayley - Klein parameters to the study of rotational and spatial motions of a rigid body**

**N.A. Strelkova**

*Perm State University, Russia*

Cayley - Klein parameters are applied to research the kinematic and dynamic equations of rigid body motion and to a solution of a time-optimal control problem of joining the two rigid bodies.

# **ОБ УСТОЙЧИВОСТИ И ВЕТВЛЕНИИ СТАЦИОНАРНЫХ ДВИЖЕНИЙ ТЕЛА НА СТРУНЕ, ИМЕЮЩЕГО ПОЛОСТЬ, ЦЕЛИКОМ ЗАПОЛНЕННУЮ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ**

**Т.С. Сумин**

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия*

Рассматривается задача о движении динамически симметричного тяжелого тела, подвешенного на струне и имеющего осесимметричную эллипсоидальную полость, целиком заполненную вязкой жидкостью.

С использованием феноменологической модели внутреннего вязкого трения Самсонова В.А. составлены уравнения движения динамической системы. Найдены некоторые стационарные движения и выписаны условия их устойчивости.

Показано, что при любом стационарном движении прямая, содержащая струну, ось симметрии тела и вертикаль лежат в одной плоскости.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (04-01-00398) и программы «Ведущие научные школы» (НШ-2000.2003.1).

## **On stability and bifurcation of steady motions of a body suspended on the string with liquid-filled cavity**

T. S. Sumin

*Moscow Lomonosov State University, Russia*

The motion of a dynamically symmetric body suspended on the weightless string with the axially symmetrical ellipsoidal cavity is considered. The cavity is full-filled with the viscous liquid. For the modeling of the internal friction between walls of cavity and liquid, the phenomenological model of Samsonov V.A. was used. Stability and bifurcation of the steady motions of this dynamical system are investigated.

## **НОВАЯ ФОРМА УРАВНЕНИЙ НЕГОЛОНОМНОЙ МЕХАНИКИ И СИСТЕМЫ С СЕРВОСВЯЗЯМИ**

**Я.В. Татаринов**

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия*

Рассказывается о новом, принадлежащем автору способе составления уравнений движения механических систем с кинематическими (пусть даже нелинейными) связями. Слагаемые уравнений движения не выписываются полностью в громоздком общем виде, а разворачиваются поэтапно путем применения нескольких общепринятых операций к исходным данным. Наиболее непривычная черта нового способа - вычисление скобок Пуассона ранее того, как будут использованы выражения канонических импульсов как производных лагранжиана.

Этот способ эффективно замещает все известные способы получения уравнений движения, в которых система характеризуется кинетической энергией или лагранжианом, элементарной работой заданных сил и выражениями (необязательно линейными) лагранжевых скоростей через псевдоскорости, используемые явно или под другим именем: обычные уравнения Лагранжа для голономных систем, уравнения Маджи, Чаплыгина-Воронца-Больцмана, Пуанкаре-Гамеля-Четаева.

В том случае, когда связи реализуются не дополнительными силами, которые удовлетворяют требованию идеальности связей (и, как следствие для твердых тел и мест соприкосновения - третьему закону Ньютона), а посредством следящих устройств, от деталей процесса слежения можно абстрагироваться и получить так называемые сервосвязи.

Для систем с сервосвязями автором предложена аксиоматика, основанная на использовании неклассического принуждения в принципе Гаусса.

Новый способ получения уравнений распространяется и на сервосвязи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (04-01-00398).

### **The new form of equations of non-holonomic mechanics and systems with servoconstraints**

Ya.V. Tatarinov

*Moscow State University, Russia*

The new approach to obtain equations of classical dynamics developed by the author (cf. Vestn. Mosk. Univ. Matem. Mekhan., 1989, No 2, 2003, No 3) is generalized up to systems with servoconstraints via an appropriate generalisation of Gauss principle. The calculating of almost all terms of the equations is done by using formal Poisson brackets; only after this use the canonical momenta are substituted in the standard way. This form of equations is compact and easy to teach.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

**К.К. Тверев**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Аварии в больших энергосистемах, приводящие к массовому отключению электроэнергии, не обязательно связаны со значительными физическими повреждениями оборудования. Системы управления имеют высокую надежность и отлично работают. Поэтому важная причина аварий — изменение параметров энергетической системы. Для анализа системы строятся упрощенные энергетические модели потребителей энергии. Результаты согласуются с известными фактами.

Однако для практического применения полученных результатов необходимо определять параметры системы. Сложность состоит в том, что в нормальном режиме динамика системы подчинена автоматическому управлению (а когда параметры достигнут критических значений и начнут проявляться, то будет поздно).

### **Experimental identification of some parameters of electro-energetical system**

**K.K. Tverev**

*Saint Petersburg State University, Russia*

Global energy system fall down is under consideration

## МЕТОД ОСРЕДНЕНИЯ В ЗАДАЧЕ О ВОЛНОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА МОРСКУЮ СТАЦИОНАРНУЮ ПЛАТФОРМУ

П.Е. Товстик, Т.М. Товстик, В.А. Шеховцов

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

Рассматривается движение морской стационарной платформы под действием синусоидальных или случайных гравитационных волн [1]. Задача сводится к системе с одной степенью свободы

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\delta}{\omega} \frac{dx}{dt} + f(x) = C_i W + C_v V^e |V^e|, \quad V^e = V - v, \quad v = \frac{dx}{dt}. \quad (1)$$

Здесь  $x(t)$  – неизвестное перемещение,  $V(t)$  и  $W(t)$  – заданные скорость и ускорение воды,  $V^e$  – относительная скорость. Уравнение (1) содержит две нелинейные функции: нелинейную упругость  $f(x)$  и скоростную составляющую волнового воздействия  $V^e |V^e|$ . Для построения установившегося приближенного решения уравнения (1) эти нелинейные функции заменяются линейными, после чего уравнение (1) принимает вид

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\delta}{\omega} \frac{dx}{dt} + A_1 x = C_i W + C_v \left( A_2 V - A_3 \frac{dx}{dt} \right). \quad (2)$$

При синусоидальном волнении  $V = v \sin(\nu t)$ , и для определения коэффициентов  $A_k$  используется метод гармонической линеаризации. При случайном волнении функция  $V(t)$  – это стационарный случайный процесс с известной спектральной плотностью, и коэффициенты  $A_k$  определяются с помощью метода статистической линеаризации.

Известно, что методы гармонической и статистической линеаризации [2] дают результаты, удовлетворительно согласующиеся с точным численным решением, однако они не улавливают некоторых качественных эффектов. В докладе проводится сравнение точного и приближенного решений уравнения (1). Основное внимание уделяется обсуждению погрешности, возникающей при линеаризации волнового воздействия.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 01.04.00257).

### Литература

1. В.А.Шеховцов. Случайные нелинейные колебания опорных блоков морских стационарных платформ. – С.Петербург. 2004. 246 с.
2. П.Е.Товстик, Т.М.Товстик. Уравнение Дуффинга при стационарном случайном возбуждении // Вестник С.-Петербургского университета. 1997. Сер. 1. Вып. 1. 95-102.

## The averaging method in the problem of the waves excitation on the mariner offshore platform

P.E. Tovstik, T.M. Tovstik, V.A. Shekhovtsov  
*Saint Petersburg State University, Russia*

The stationary motion of the mariner offshore platform under the gravity waves action is investigated. The problem is reduced to the non-linear equation of the 2d order. The methods of the non-linear functions linearization in this equation are discussed. As the harmonic excitation so the random stationary excitation is studied.

## ДИНАМИКА КЕЛЬТСКОГО КАМНЯ ПРИ НАЛИЧИИ СОПРОТИВЛЕНИЙ

**Т.П. Товстик**

*Институт проблем машиноведения РАН, Россия*

Классический кельтский камень представляет собой выпуклое гладкое твердое тело, движущееся без проскальзывания по горизонтальной поверхности. Динамика кельтского камня порождает интересные эффекты из области нелинейной неголономной механики [1]. Исследуются малые нелинейные колебания камня около вращательного движения вокруг вертикальной оси. В работе [1] при отсутствии трения методом осреднения система сведена к системе уравнений третьего порядка для амплитуд поперечных колебаний  $p$  и  $q$  и угловой скорости  $\Omega_3$ . Траектория  $L = \{p(t), q(t), \Omega_3(t)\}$  в фазовом пространстве располагается на поверхности трехосного эллипсоида.

В настоящей работе исследуется эволюция траектории  $L$  при наличии малого трения. После осреднения задача сводится к системе уравнений (1)

$$\begin{aligned}\frac{dp}{dt} &= -a v_1^2 p \Omega_3 - k_{air1} p - k_{rot} I_1(p, q), \\ \frac{dq}{dt} &= a v_2^2 q \Omega_3 - k_{air2} q - k_{rot} I_2(p, q), \\ \frac{d\Omega_3}{dt} &= \frac{a}{A_{33}} (v_1^4 p^2 - v_2^4 q^2) - k_{air3} \Omega_3 - k_{roll} \frac{\Omega_3}{|\Omega_3|},\end{aligned}\tag{1}$$

где  $k_{air}$  - коэффициенты вязкого трения о воздух,  $k_{rot}$  - коэффициент трения качения о плоскость,  $k_{roll}$  - коэффициент трения верчения. Система (1) при отсутствии трения имеет два интеграла с константами  $C_1, C_2$ , которые полностью определяют траекторию. При наличии трения величины  $C_1, C_2$  становятся медленно меняющимися функциями времени. Для их определения

методом повторного осреднения получена система уравнений второго порядка. Аналитические результаты сравниваются с результатами численного интегрирования исходной системы.

## **Литература**

1. А.П.Маркеев. Динамика тела, соприкасающегося с твердой поверхностью. – Москва, Наука. 1992. 336 с.
2. Т.Р.Товстик. Analytical research of the Celt stone dynamics // XXXI Summer School. Advanced Problems in Mechanics. APM 2003, St.Petersburg.

## **The Celt rattleback dynamics with the friction influence**

Т.Р. Товстик

*Institute of Problems of Mechanical Engineering, RAS, Saint Petersburg, Russia*

The Celt rattleback dynamics is investigated. The various kinds of resistance are introduced in the examined system of equations, namely the roll friction, the rotating friction, and the viscous friction on the air. The motion near the equilibrium state is investigated analytically and numerically. The evolution of the trajectory in the phase space is investigated by the double averaging.

## **ОБРАТИМЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ПЕРВЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ**

**В.Н. Тхай**

*Московская государственная академия приборостроения и информатики, Россия*

Задача трех тел и тяжелое твердое тело с одной неподвижной точкой являются наиболее яркими примерами обратимых механических систем с первыми интегралами. В первой из задач известен интеграл Якоби, во второй задаче - интегралы энергии, кинетического момента и геометрический. Интеграл Якоби является симметричным первым интегралом. Для уравнений Эйлера-Пуассона интегралы энергии и геометрический являются симметричными, а интеграл кинетического момента - асимметричным. Классификация первых интегралов естественным образом следует из наличия неподвижного множества обратимой механической системы.

В докладе излагаются результаты для обратимых механических систем с первыми интегралами: 1) произвольный первый интеграл всегда состоит из суммы симметричного и асимметричного первых интегралов; 2) на симметричных движениях постоянные асимметричных интегралов равны нулю; 3) размерность семейства симметричных периодических движений определяется числом асимметричных интегралов; 4) число симметричных и асимметричных интегралов в типичной ситуации определяет количество нулевых характеристических показателей и число жордановых клеток, им соответствующих; 5) в типичной ситуации нет дополнительного первого интеграла; 6) в типичной ситуации выделяется один - симметричный первый интеграл (в приложениях - это интеграл энергии); 7) в типичной ситуации имеем грубый случай в теории продолжения по параметру симметричных периодических движений.

Самостоятельный интерес представил анализ указанных выше двух задач Эйлера, в которых, в частности, доказано отсутствие дополнительных гладких первых интегралов почти во всем пространстве параметров; интегрируемые случаи задач относятся к множеству "почти".

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (03-01-00052) и программы "Государственная поддержка ведущих научных школ" (НШ-2000.2003.01).

### **Reversible mechanical system with first integrals**

V.N. Tkhai

*Moscow State Academy of Instrument Making and Computer Science, Russia*

Theory of reversible mechanical systems with first integrals is developed. Applications to three body problem and to the motions of heavy rigid body around fixed point is considered.

# СИСТЕМЫ С ПЕРЕМЕННОЙ ДИССИПАЦИЕЙ В ДИНАМИКЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО СО СРЕДОЙ

**М. В. Шамолин**

*Институт механики МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия*

Динамика твердого тела, взаимодействующего со средой, — как раз та область, где часто приходится исследовать либо диссипативные системы, либо системы с так называемой антидиссипацией (подкачкой энергии). После некоторых упрощений общая система уравнений движения твердого тела приводится к маятниковым системам, в которых присутствует линейная диссипативная сила с переменным коэффициентом, имеющий при разных углах атаки разный знак. В данном случае будем говорить о системах с так называемой переменной диссипацией. В среднем за период по имеющейся в системе периодической координате (в частности, углу атаки) диссипация может быть как положительной, так и отрицательной, а также равной нулю. В последнем случае будем говорить о системах с переменной диссипацией «с нулевым средним» [1,2].

Как известно, (чисто) диссипативные динамические системы, которые в нашем случае могут принадлежать к системам с переменной диссипацией с ненулевым средним, являются, как правило, структурно устойчивыми, а вот системы с переменной диссипацией с нулевым средним являются либо структурно неустойчивыми, либо только лишь относительно структурно устойчивыми.

## **Литература**

1. Самсонов В. А., Шамолин М. В. К задаче о движении тела в сопротивляющейся среде // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Математика. Механика. 1989. No. 3. С. 51–54.
2. Shamolin M. V. New integrable cases and families of portraits in the plane and spatial dynamics of a rigid body interacting with a medium, In: Journal of Mathematical Sciences, Vol. 114, No. 1, 2003, p.p. 919–975.

## **Systems with variable dissipation in the dynamics of a solid interacting with the media**

M.V. Shamolin

*Institute of Mechanics Moscow State Lomonosov University, Russia*

In this activity we consider a class of motions of a system that is constrained in such a way that the velocity of certain characteristic point of a rigid body can be assumed to be constant throughout the whole time of motion. We carry out a complete qualitative analysis of the obtained dynamical system in the quasi-velocity space. The symmetries in the systems are pointed out, the explicit formula of the first integral as a transcendental function of quasi-velocities is presented.

# УСТОЙЧИВОСТЬ МАЯТНИКОВЫХ ДВИЖЕНИЙ МЛОДЗЕЕВСКОГО ТЯЖЕЛОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА С ОДНОЙ НЕПОДВИЖНОЙ ТОЧКОЙ

**А.Л. Швыгин**

*Московская государственная академия приборостроения и информатики,  
Россия*

Тяжелое твердое тело с одной неподвижной точкой с центром тяжести, расположенном в главной плоскости эллипсоида инерции для неподвижной точки ( $y_0=0$ ), допускает маятниковые движения Млодзеевского [1].

Задача об устойчивости маятниковых движений рассматривалась в работах [2-5]. Проведено исследование устойчивости колебаний малой амплитуды [2]. Для тела, когда центр тяжести тела находится на одной из главных осей инерции ( $y_0=z_0=0$ ), задача решена для быстрых вращений и вращений, близких к постоянным решена в [3], результаты для произвольных вращений изложены в [4]. Доказано [5], что маятниковые движения обязательно содержат четыре нулевых характеристических показателя, из которых два – простые, а остальные образуют жорданову клетку, плюс пару характеристических показателей противоположного знака

В статье излагаются результаты по вычислению характеристических показателей маятниковых движений Млодзеевского. Используется метод [6], впервые примененный для прецессий Гриоли. В пространстве параметров задачи строятся области, где выполняются необходимые условия устойчивости, и области неустойчивости.

Маятниковые колебания являются наиболее общими симметричными периодическими движениями тяжелого твердого тела с одной неподвижной точкой [5, 7]. Наличие их тесно связано с проблемой неинтегрируемости задачи, решение которой требует знания Характеристических показателей.

1. Млодзеевский Б.К. О перманентных осях в движении тяжелого твердого тела около неподвижной точки // Тр. отд. физ. наук о-ва любит. естеств., антропол. и этногр. М.: 1894. Т. 7. Вып. 1. С. 46 - 48.
2. Архангельский Ю.А. Об устойчивости движения тяжелого твердого тела, вокруг неподвижной точки в одном частном случае // Прикл. математика и механика. - 1960. - Т. 24. - Вып. 2. - С. 294 - 302.
3. Маркеев А.П. О плоских и близких к плоским вращениях тяжелого твердого тела вокруг неподвижной точки // Изв. АН СССР. ММТ. 1988. №4. С. 29 - 36.
4. Тхай В.Н., Швыгин А.Л. Об устойчивости вращений вокруг горизонтальной оси тяжелого твердого тела с одной неподвижной точкой // Задачи исследования устойчивости и стабилизации движения. М.: ВЦ РАН, 2000. Ч. 2. С.149-157.

5. Тхай В.Н. О характеристических показателях симметричного периодического движения тяжелого твердого тела вокруг неподвижной точки // Механика твердого тела. - 2004. - Вып. 34. - С. 3-8.
6. Тхай В.Н. Об устойчивости регулярных прецессий Гриоли // Прикл. математика и механика. - 64, Вып. 5. - 2000. - С. 848-857.
7. Тхай В.Н. Семейства симметричных периодических движений в задаче Эйлера // ДАН РАН. – 2005. – Т. 401. – N.4 – С. 483 – 485.

## **The stability of pendulum motions in the problem of motion of a rigid body with one fixed point**

A.L. Svygin

*Moscow State Academy of Instrument Making and Computer Science, Russia*

The problem of motion of a rigid body with one fixed point (Euler-Poisson problem) is under consideration. In the case when the fixed point lays on a principal plane, the equations of motions admit the particular solution which represents the pendulum motions (Mlodzeevsky solution). In terms of the theory of dynamical systems, this motion represents the solution which is symmetric with respect to the set of fixed points of reversible system. This fact allows us to research the stability of mentioned precessions. For this purpose we apply the special theory of stability for reversible systems which was developed during last years. The problems of stability in the case when the fixed point lays on a principal axis of ellipsoid of inertia were investigated before [1].

The work is supported by RBFI (03-01-0052) and by grant SS-2000.2003.1.

1. Tkhai V.N., Shvyghin A.L. On the stability of rotation of rigid body with one fixed point about a horizontal axis // The problem of research of stability and stabilisation of motion. 2000. Part 2. P. 149-151.

## **О СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА С УПРУГОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СТЕНКОЙ, ОРЕБРЕННОЙ УПРУГОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ПЛАСТИНОЙ**

**Л.М. Юферева\*, Ю.А. Лавров\*\***

*\*Петербургский государственный университет путей сообщения, Россия*

*\*\*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Конструктивной особенностью системы «двухфазный термосифон» (ДТС), предназначенной для охлаждения силовых полупроводниковых приборов большой мощности, является наличие испарителя и конденсатора. Конденсатор представляет собой заполненную парожидкостной смесью тонкостенную металлическую трубку, оребренную тонкими плоскими пластинами охлаждения.

Находясь на движущемся транспортном средстве, ДТС может подвергаться внешним вибрационным воздействиям. В то же время, в силу периодичности мощных и коротких тепловых импульсов от охлаждаемых приборов, в ДТС возможны и внутренние термоупругие колебания. Для продления срока службы ДТС необходимо предсказывать и предотвращать резонансные явления в конденсаторе, представляющем собой консольный элемент конструкции.

Постановка задачи в настоящей работе соответствует упрощенной модели гармонических колебаний конденсатора. Модель может представлять самостоятельную ценность и при проектировании прочих технических конструкций.

Область в форме прямого кругового цилиндра заполнена идеальной сжимаемой жидкостью, акустическое давление в которой подчиняется уравнению Гельмгольца. Цилиндрическая граница представляет собой тонкую упругую стенку, колебания которой описываются уравнениями технической теории оболочек. Края оболочки жестко закреплены. Внутренние поверхности торцевых стенок цилиндра предполагаются идеально жесткими. В плоскости, лежащей между торцевыми плоскостями, располагается тонкая упругая кольцевая пластина, изгибные и продольные колебания которой описываются уравнениями Кирхгофа и Файлона. В зоне контакта оболочки и внутреннего края пластины ставятся условия сая. Внешний край пластины свободен.

Разыскиваются формы и частоты собственных совместных механических колебаний жидкости и стенок.

В работе построены представления для акустического поля жидкости и вибрационного поля упругих стенок. Численное и аналитическое исследование уравнения для собственных частот позволяет сформулировать следующие выводы.

Частоты совместных собственных колебаний, порожденных преимущественно продольными движениями цилиндрической стенки, мало отличаются от соответствующих частот системы «оболочка–пластина» без

жидкости. Отличие мало даже для случая легкого материала оболочки и пластины (алюминий) и тяжелой жидкости (ртуть).

Собственные частоты изучаемой системы близки к частотам резонатора, цилиндрическая стенка которого жестко закреплена в окружности контакта с ребром.

Низшие частоты совместных собственных колебаний, порожденных преимущественно изгибными движениями тонкой цилиндрической стенки, примерно пропорциональны корню квадратному из толщины цилиндрической стенки. Построенная в работе приближенная частотная формула содержит коэффициент пропорциональности, зависящий от места закрепления ребра.

### **On natural oscillations of a cylindrical acoustic resonator with an elastic cylindrical shell, ribbed by an elastic annular plate**

L.M. Yufereva\*, Yu.A. Lavrov\*\*

*\*Petersburg State University of Railway Communications, Russia*

*\*\*Saint Petersburg State University, Russia*

The area having the shape of the circular cylinder is filled with compressible irrotational fluid. The acoustic pressure in fluid satisfies the Helmholtz equation. The cylindrical wall is represented by thin elastic shell, whose oscillations are described by the equations of the technical theory of shells. The edges of the shell are clamped. The internal surfaces of round face walls of the cylinder are rigid. The thin elastic annular plate takes a plane lying between face planes. The bending and the extensional oscillations of the plate are described by the Kirchhoff and Fylon equations. In a zone of contact of the shell and inner edge of the plate conditions of a junction are set. The outer edge of the plate is free.

The pulse forms and frequencies of natural simultaneous mechanical oscillations of fluid and walls are searched.

The submissions for the acoustic field in fluid and vibrational field of the elastic walls are constructed. Some conclusions are formulated on the base of numerical and analytical research of the frequency equation.

**СЕКЦИЯ II: ДИНАМИКА КОСМИЧЕСКОГО  
ПОЛЕТА**

**SECTION II: DYNAMICS OF SPACE FLIGHT**



# INFLUENCE OF THE 'LEIER' CONSTRAINT ON THE MOTION OF THE SPACECRAFT HAVING DUMB-BELL FORM

**A.V. Rodnikov**

*Bauman Moscow State Technical University, Russia*

We consider the motion of a spacecraft having dumbbell form with a material point that can move along a weightless nonextensible cable that is fixed on the ends of dumbbell. Such cable can be named “leier constraint” (from Dutch maritime term “leier” - a cord with both fixed ends). In essence, the investigated mechanical system is the some generalization of classical system of two tethered artificial space bodies [1].

We are restricted to a case, when the common mass center of a dumbbell and a material point goes on a circular geocentric orbit, and all motions occur on the plane of this orbit, and also we count, that the mass of the point is small enough in comparison with mass of the dumbbell. It is possible to show, that motion of small mass along the leier cannot be neglected because in some cases it can lead to tumbling and to a rotation of a dumbbell, in particular, at destruction of equilibrium configurations of the system. Some other effects of motion on “leier constraint” are also considered. In this report the results from [2] are developed.

The author is grateful V.V.Beletsky and I.I.Kosenko for useful consultations.

## References

1. Beletsky V.V., Levin E.M. Dynamics of Space tether systems. Moscow. "Nauka", 1990.
2. Rodnikov A.V. About positions of equilibrium of weight on a cable fixed on dumb-bell shaped space station, moving on circular geocentric orbit. // Cosmic Researches. (In Press)

## **ВЫБОР КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**К.А. Антипов, К.Г. Петров, А.А. Тихонов**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Силы электродинамического взаимодействия космического аппарата с геомагнитным полем оказывают существенное влияние на динамику вращательного движения аппарата вокруг его центра масс и могут использоваться при построении систем управления ориентацией космического аппарата. Можно выделить два основных класса таких систем: магнитные и электростатические. При использовании только магнитной (или только электростатической) системы управления возникают ограничения по направлению вектора управляющего момента, поэтому возможны случаи, когда система управления не справляется со своей задачей. Совместное применение электростатической и магнитной систем управления ориентацией космического аппарата снимает указанное ограничение и позволяет управлять ориентацией космического аппарата при более общих условиях.

### **Electro dynamical attitude control systems for artificial Earth's satellites. Choosing a concept**

**K.A. Antipov, K.G. Petrov, A.A. Tikhonov**

*Saint Petersburg State University, Russia*

The forces of electro dynamical interaction between the satellite and the Earth's magnetic field influences significantly on the attitude dynamics of the satellite rotational motion and can be used for the construction of the satellite attitude control systems. There are two main classes of such systems: magnetic and electrostatic. The usage of the only one of the mentioned systems raises the restriction on the direction of the force momentum vector. So the cases when the attitude control system doesn't work are possible. The simultaneous usage of magnetic and electrostatic systems vanishes the mentioned restriction and allows the attitude control of the satellite at more general conditions.

## УПРАВЛЕНИЕ ВРАЩЕНИЕМ СПУТНИКА

**Л.К. Бабаджаниянц, И.Ю. Потоцкая, Ю.Ю. Пупышева**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматривается управляемое вращательное движение спутника в окрестности любого из четырех его устойчивых положений относительного равновесия на круговой орбите. Допустимым считается кусочно-постоянное управление, которое в последний момент  $T$  своего действия обращает в нуль избранные частотные компоненты решения линейных уравнений движения. Предлагаются формулы и алгоритмы нахождения точек переключения управления, соответствующего необходимым условиям экстремума функционала – интеграла от суммы модулей координат управления вдоль  $[0, T]$ .

### **Control of satellite's rotational motion**

L.K. Babadzanjan, I. Yu. Pototskaya, Yu.Yu. Pupyшева

*Saint Petersburg State University, Russia*

In the neighborhood of any of its four stable equilibrium points, the controlled rotational motion of a satellite whose centre of mass moves along a circular orbit is considered. The admissible control is a bang-bang control that blanks selected frequency components of the solution of linear equations at the moment  $T$ . As a functional we use the integral of the sum of the modules of coordinates of the control along the interval  $[0, T]$ . The formulae and algorithms to find the switching points of the control that satisfy the necessary conditions of the functional having an extremum are proposed.

## **ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКИХ КОЛЕБАНИЙ СПУТНИКА НА КРУГОВОЙ ОРБИТЕ**

**Б.С. Бардин, А.М. Чекин**

*Московский авиационный институт, Москва, Россия*

Рассматривается движение спутника относительно центра масс в центральном ньютоновском гравитационном поле на круговой орбите. Спутник представляет собой твердое тело, обладающее геометрией масс пластинки (т.е.  $C=A+B$ , где  $A, B, C$  – главные центральные моменты инерции). Целью работы является исследование орбитальной устойчивости плоских колебаний спутника, при которых наименьшая ось эллипсоида инерции лежит в плоскости орбиты центра масс, а средняя или наибольшая ось эллипсоида инерции перпендикулярна плоскости орбиты.

Задача об орбитальной устойчивости плоских колебаний исследована в строгой нелинейной постановке. Для всех возможных значений амплитуды колебаний и инерционного параметра получены выводы о формальной устойчивости, устойчивости для большинства начальных условий или неустойчивости. В случаях введения малого параметра (при малых амплитудах колебаний) исследование выполнено аналитически. При произвольных значениях параметров проведен численный анализ. Результаты исследования представлены в виде диаграмм устойчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 05-01-00386) и гранта Президента Российской Федерации для поддержки ведущих научных школ № НШ – № НШ – 1477.2003.1.

### **On stability of planar oscillations of a satellite in a circular orbit**

**B.S. Bardin and A.M. Chekin**

*Moscow Aviation Institute, Russia*

We deal with the stability problem of planar oscillations of a satellite about its center of mass. The satellite is a rigid body moving in a circular orbit. Its principal moments of inertia  $A, B, C$  satisfy the relation  $C=A+B$ . By using normal form method and KAM theory we perform nonlinear study of the orbital stability of the planar oscillations. In the case of small amplitude of oscillations we solve the stability problem analytically. In general case, numerical calculations of Hamiltonian normal form have been done. The results of the study are represented in the form of stability diagrams.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРБИТ В ЗАДАЧЕ ВСТРЕЧИ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛ**

**Н.Б. Батуева, Е.Н. Поляхова**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В околоземном пространстве рассматривается заданное число орбит искусственных спутников (ИСЗ) с известными параметрами (никаких ограничений на эксцентриситеты и наклоны не накладывается). Активный космический аппарат (КА), стартующий в известный момент с заданной начальной орбиты, должен встретиться последовательно с каждым из ИСЗ. Запас топлива на борту КА ограничен. Решается задача проектирования орбиты космического аппарата для последовательного облета ИСЗ в условиях ограниченного времени. Используются классические небесномеханические методы определения орбит - Гаусса, Эйлера-Ламберта и Ласкоди.

### **Литература**

1. Эскобал П. Методы определения орбит. М. Мир. 1970.
2. Батуева Н.Б. Инспекция ИСЗ в космосе. Межвузовский сборник. Пермь. 1990

### **Application of Classical Methods of Orbit Determination in the Problem of Celestial Bodies Encounter**

N.B. Batueva, E.N. Polyakhova

*Saint Petersburg State University, Russia*

The given number of geocentric orbits of the Earth artificial satellites at given orbital parameters are considered. There are no restrictions to eccentricities and inclinations. The problem is to design the trajectory of a spacecraft for these satellites encounter fly-by sequence. The start time from the known initial orbit is given. The main restriction is the fixed time interval of the encounter sequence at restricted both time of manoeuver and fuel quantity.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЖОРБИТАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ПЕРЕЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**И.С. Григорьев, И.А. Данилина\***

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия*

*\*Московский авиационный технологический университет им.*

*К.Э. Циолковского, Россия*

Решаются задачи оптимизации траекторий перелетов двухступенчатого космического аппарата и космического аппарата с дополнительным топливным баком с опорной (низкой круговой) орбиты искусственного спутника Земли на геостационарную орбиту. Максимизируется полезная масса КА при ограниченном времени перелета. Рассматриваемая задача оптимизации формализуется как задача оптимального управления совокупностью динамических систем и решается на основе принципа максимума [1]. Краевая задача принципа максимума решается численно методом стрельбы. Выбор эффективного начального приближения осуществляется с использованием метода продолжения по параметру исходя от решения задачи оптимального управления перелетом одноступенчатого КА.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 04-01-00346.

[1] Григорьев И.С., Григорьев К.Г. Об условиях принципа максимума в задачах оптимального управления совокупностью динамических систем и их применении к решению задач оптимального управления движением космических аппаратов. // Космические исследования. 2003. Т. 41. N 3. С. 307-331.

### **Optimization of interorbital flight trajectories of a various designs spacecraft**

**I.S. Grigoriev, I.A. Danilina\***

*Moscow State University, Russia*

*\*K.E. Tsiolkovsky Moscow Aviation Technological University, Russia*

Problems on trajectories optimization of flights of a two-stage spacecraft and a spacecraft with the expendable extra fuel tank with low circular orbit of artificial earth satellite in geostationary orbit are solved. Mass expenditure under constraint on the flight time is minimized. The considered optimization problem is formalized as the problem of optimal control over an aggregate of dynamic systems and is solved on the basis of the maximum principle [1]. The boundary-value problem of the maximum principle is solved numerically by the shooting method. The choice of effective initial approach is achieved with the use of a method of continuation on parameter proceeding from the solution of the optimal control problem of flight single-stage SC.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant no. 04-01-00346.

1. K.G. Grigoriev and I.S. Grigoriev Conditions of the maximum principle in the problem of optimal control over an aggregate of dynamic systems and their application to solution of the problems of optimal control of spacecraft motion, *Cosmic Research*, 2003, vol. 41, No. 3, pp. 285-309.

## **МЕХАНИЧЕСКАЯ АНАЛОГИЯ В НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКЕ ТЕЛА С ЖИДКИМ НАПОЛНЕНИЕМ**

**Л.В. Докучаев, О.В. Соболев**

*Московский государственный университет леса, Королёв, Россия*

Рассмотрена задача о немалых колебаниях космического аппарата с жидким топливом в полете. Показано, что с точностью до членов второго порядка малости перемещения жидкости совершенно строго описываются уравнениями механического аналога. Предлагается этот аналог использовать для оценки гидродинамических сил и моментов и на переходных участках траектории. При составлении дифференциальных уравнений движения используется общее уравнение динамики в форме Кейна. Рассмотрена задача динамики космического аппарата при существенно нелинейных изменениях вектора тяги двигательной установки.

### **Mechanical analogy in non-linear dynamics of a body with liquid filler**

L.V. Dokuchaev, O.V. Sobolev

*Moscow State Forest University, Korolyov, Russia*

The problem on non-small oscillations of a flying spacecraft with liquid filler is considered. It is shown that the fluid displacement is rigorously described by the mechanical analog equations accurate to the second-order terms. It is proposed to use the analog for estimation of hydrodynamic forces and moments in the transition sections of the trajectory. When making up motion differential equations the general equation of dynamics in the Kane form is used. The dynamic problem on a spacecraft with essentially non-linear variations of the thrust vector of the engine installation is considered.

# НОВЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СУБОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ

**А.П. Иванов, Ю.Я. Остов**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Задача оптимального управления движением центра масс (ЦМ) летательного аппарата (ЛА) в атмосфере является задачей внешней баллистики и теории управления. Однако, управление, найденное как результат решения трудоемкой краевой задачи на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина в его классической формулировке, является программным управлением, и при наличии всякого рода возмущений оказывается неэффективным, т.е. не обеспечивает оптимум заданного критерия качества. Поэтому целесообразнее построить субоптимальное управление с обратной связью, при котором значение оптимизируемого функционала отличается от его оптимального значения не более, чем на заданную величину  $\varepsilon$ .

Предлагаемая методика синтеза субоптимального управления складывается из трех этапов решения исходной вариационной задачи. На первом этапе производится упрощение модели, описывающей реальный управляемый процесс и заданной в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Это упрощение возможно за счет рационального выбора фазового пространства, независимой переменной интегрирования, замены исходных связей и функционала эквивалентными и т.п. Однако такое упрощение модели не дает желаемого результата в виде управления с обратной связью.

Поэтому осуществляется второй этап упрощения модели на основе принципа расширения (частичного снятия ограничений), приводящий к вырожденной задаче теории оптимального управления. Конструктивность решения задачи на этом этапе достигается за счет двойственности выпуклой функции  $C_y = f(C_x)$ , где  $C_y, C_x$  - коэффициенты подъемной силы и лобового сопротивления соответственно.

Третий этап решения задачи (восстановление связи, исключенной на втором этапе) приводит к конечному результату в виде управления с обратной связью.

Эта методика применена для решения следующей задачи: оптимизировать траекторию продольного движения ЦМ ЛА, совершающего полёт из начальной точки атмосферного пространства в заданную конечную точку на поверхности Земли. Критерием оптимальности управления (траектории) является максимум кинетической энергии ЛА в конечной точке траектории.

Результатом решения задачи является субоптимальное управление в виде угла атаки  $\alpha$ , которое находится как корень полинома 3-ей степени и является функцией фазового состояния ЦМ ЛА и констант, зависящих от заданного конечного фазового состояния ЦМ ЛА. Численные результаты подтверждают эффективность данной методики.

## **A new method for solving the problem of suboptimal flight control**

A.P. Iwanov, Y.J. Ostov

*Saint Petersburg State University, Russia*

A new method is proposed for solving the problem of suboptimal control of the flying apparatus mass centre motion in the atmosphere. Numeric estimations are presented of the synthesized control quality for various variants characterized by atmosphere parameters and boundary conditions.

# НЕРЕЗОНАНСНОЕ ДВИЖЕНИЕ ДВУХЧАСТОТНОЙ ГАМИЛЬТОНОВОЙ СИСТЕМЫ В НЬЮТОНОВСКОМ ПОЛЕ СИЛ

**Л.И. Конкина**

*Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, Россия*

Изучается нерезонансное движение двухчастотной гамильтоновой системы под действием возмущающих моментов. Функция Гамильтона, описывающая движение системы задается в виде

$$H = H_0(I_1, I_2) + \varepsilon H_1(I_1, I_2, I_3, w_1, w_2, w_3)$$

Где  $H_0$  – невозмущенный гамильтониан, описывающий движение твердого тела в случае Эйлера-Пуансо в канонических переменных действие-угол,  $H_1$  – возмущающая функция, вызванная наличием центра притяжения.

При  $\varepsilon \neq 0$  система канонических уравнений движения системы интегрируется, и общее решение системы является условно-периодическим с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$  явно, зависящими от канонических переменных действия. Предполагается, что частота собственного вращения тела  $\omega_1$  и частота прецессии  $\omega_2$  не удовлетворяют резонансному соотношению  $k_1\omega_1 + k_2\omega_2 = 0$  ни при каком значении  $k$ . Построена приближенная система уравнений движения тела, эллипсоид инерции которого отличен от сферы, а вращение тела вокруг центра масс происходит под действием гравитационных моментов. Основное внимание уделяется нерезонансным областям движения нелинейной двухчастотной системы, для которой получены приближенные эволюционные уравнения, исследования которой проводится методами теории возмущений.

## **Non-resonant motion of a two-frequency Hamiltonian system in the Newton force field**

L.I. Konkina

*State agriculture academy, Velikie Luki, Russia*

The motion of a Hamiltonian system with two degrees of freedom is investigated. The inducing system is defined by a condition of existence of the known conditional-periodic solution. Are considered not resonant the areas of movement of system, for which are received the approached evolutionary equations.

## ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ

**В.С. Королев**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматриваются преобразования уравнений движения космических управляемых аппаратов или спутников Земли с учетом действующих сил на основе устранения особенностей и приведения к каноническим регулярным элементам.

Многие задачи оптимального управления движением механических систем, в том числе в космической динамике, приводятся к сложным нелинейным уравнениям для совокупности необходимых условий стационарности функционала. Поэтому особого внимания требует преобразование уравнений к виду, удобному для качественного исследования или численного интегрирования.

Определение траекторий движения в центральном гравитационном поле с учетом основных действующих возмущений можно выполнить регуляризирующим преобразованием уравнений движения и переходом к линейным уравнениям в конфигурационном пространстве увеличенной размерности или каноническим уравнениям для регулярных элементов. Замена для фазовых координат и независимой переменной в пространственном случае реализуется в рамках задачи двух тел KS-преобразованием, а для ограниченной задачи двух тел используется обобщенное регуляризирующее преобразование Биркгофа. Это позволяет привести уравнения к каноническому виду с учетом зависимости от малого параметра. Функция Гамильтона допускает разделение на основную часть, которая порождает общее решение для нулевого приближения, и на возмущение малого порядка при выбранной реализации управления. Получено общее решение системы уравнений в нулевом приближении, зависящее от времени и набора произвольных постоянных  $c$ , а также общее решение уравнений Эйлера-Лагранжа и функция Гамильтона задачи оптимизации дифференцированием по произвольным постоянным. Фундаментальная матрица решений системы уравнений возмущенного движения определяется через решения системы уравнений в вариациях. Это позволяет определить выражения для параметров оптимального перехода. Решение получается последовательным удовлетворением уравнений, полученных при соответствующей степени малого параметра из общей совокупности условий стационарности. При этом используется полученное на основе принципа максимума явное представление лагранжевых множителей на участках активного и пассивного полета космического аппарата, а также совместной системы дифференциальных уравнений движения и уравнений Эйлера-Лагранжа.

1. Королев В.С. Уравнения возмущенного движения регуляризованной задачи трех тел. // Вопросы механики и управления движением. Л., изд. ЛГУ, 1991, с.71-78.
2. Королев В.С. Об управлении движением в гравитационном поле с учетом возмущений. // Тез. доклада на конф. «3 Поляховские чтения». СПб, изд. СПбГУ. 2003.

### **Transformation of motion's equation for control systems**

V.S. Korolev

*Saint Petersburg State University, Russia*

Transformation of motion's equation for spacecraft with perturbations are described on the basis of eliminating uniqueness and bringing to canonical regular elements.

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ СВЯЗКИ С УЧЕТОМ УДАРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ. НЕОГРАНИЧЕННАЯ ЗАДАЧА**

**И. И. Косенко , С. Я. Степанов\***

*Московский государственный университет сервиса, Россия*

*\*Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН, Москва, Россия*

Полностью решается пространственная задача об устойчивости положений относительного равновесия орбитальной связки. Задача рассматривается в неограниченной постановке. Материальные точки, составляющие связку, считаются соединенными гибким невесомым нерастяжимым тросом и независимо совершающими каждая кеплеровское движение, прерываемое время от времени выходом на связь. Связью является гибкий нерастяжимый и невесомый трос постоянной длины.

Применяется редукция по Раусу и вычисляются положения относительного равновесия, соответствующие радиальному расположению троса. Проверяется условие натянутости связи, а также условия теоремы А. П. Иванова об устойчивости положения равновесия лагранжевой механической системы с неударяющими связями.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 05-01-00454, НШ-2000.2003.1.

## **Stability of Tethered Satellite System Relative Equilibrium with Account of Impacts. Unrestricted Problem**

**I.I. Kosenko, S.Ya. Stepanov\***

*Moscow State University of Service, Russia*

*\*Dorodnitsyn Computing Center of RAS, Moscow, Russia*

A sparse problem of stability for the relative equilibrium of an orbital tethered system is completely resolved. The problem is formulated as an unrestricted one. Material points the system consists of supposed connected by the tether assumed as one being flexible, massless, and inextensible. Each of the points performs independently Keplerian motion interrupted from time to time by the tether as a constraint. The tether itself supposed to have a constant length.

The Routh reduction is applied, and relative equilibria corresponding to radial tether configuration are computed. The condition for constraint tension and conditions of the A.P. Ivanov theorem concerning stability of equilibrium for the Lagrange mechanical system with unilateral constraints are verified.

## К ПРОБЛЕМЕ УРАНА

**П.С. Красильников**

*Московский авиационный институт, Россия*

Вращения Урана интригуют своей необычностью: ось вращения составляет малый угол (7 градусов и 55 минут) с плоскостью эклиптики, т.е. Уран вращается лежа на боку, при этом характер вращения - обратный. Уран имеет квадрупольное магнитное поле, состоящее из двух северных и двух южных магнитных полюсов. Его магнитный диполь сильно наклонен к оси вращения планеты, имеет большое смещение по отношению к центру планеты.

Научный мир вплотную подошел к объяснению этих эффектов. Численное моделирование процессов формирования планет из плоского протопланетного облака (Т.М. Энеев, Козлов Н.Н., 1977, 1979) обнаружило эффект кольцевого сжатия его субстанции и образование планет в результате аккумуляции газопылевых сгустков в зонах сгущения. Эта теория объясняет обратное вращение Урана как результат ударного взаимодействия протоурана с массивными телами облака, при котором «скользящие» удары превалируют и приводят к изменению кинетического момента планеты в область отрицательных значений. Соответствие закона геометрической прогрессии эмпирическому закону распределению планетных расстояний (закон Боден-Тиддиуса) также находит объяснение в рамках этой теории.

Сильное наклонение оси вращения Урана по отношению к нормали к плоскости эклиптики нельзя объяснить в рамках теории аккумуляции. Учет приливных моментов (линейных по скоростям) также не дает ответа на этот вопрос, так как под действием приливных моментов движение планеты стремится к прямому вращению вокруг нормали к плоскости орбиты (В.В. Белецкий, 1975).

Исследования «аномального» наклона оси магнитного диполя Урана (А.А. Ruzmaikin and S.V. Starchenko, 1991) показали, что его можно объяснить тем, что область динамо, генерирующая магнитное поле планеты, является тонким проводящим слоем, окружающим стратифицированные недра планеты. В результате компьютерного моделирования (S. Stanley, J. Bloxham, 2004) полечено магнитное поле Урана, содержащее два северных и два южных полюса, и вполне совпадающее с результатами наблюдений космического аппарата Voyager 2. Основная причина сложной морфологии магнитного поля – тонкая область динамо, принадлежащая мантии планеты.

Особенность движения этой планеты состоит также в следующем. Известно, что под действием Солнца ось вращения Урана медленно прецессирует вокруг нормали к плоскости орбиты планеты (Тиссеран, Грей, Голдрайх, Белецкий). Однако близость оси вращения Урана к структурно неустойчивому многообразию, расположенному в плоскости орбиты Урана и состоящему из континуума положений относительного равновесия этой оси, означает, что ось может быть захвачена в зоны колебаний, возникающие вблизи

этой плоскости в результате разрушения многообразия под действием притяжения Юпитера.

В работе исследованы вращения Урана с помощью метода осреднения в рамках ограниченной эллиптической задачи трех тел (Солнце-Юпитер-Уран) при условии, что центр масс планеты описывается условно-периодическими функциями времени. Малый параметр – отношение угловой скорости орбитального движения Урана к угловой скорости собственного вращения. Осреднение проводилось по быстрым переменным вращательного и орбитального движений планеты.

Построена полная картина возможных движений оси вращения Урана на юпитероцентрической небесной сфере, когда основной плоскостью является плоскость орбиты Юпитера (элементы орбит отнесены к эпохе 1900 г. и к эклиптике и равноденствию 1950 г.). Показано, что ось вращения Урана описывает движения типа испорченной прецессии вокруг нормали к основной плоскости. Вблизи основной плоскости возникают либрационные колебания шириной  $0.0243805$  рад. как результат разрушения особого многообразия. Положение относительного равновесия оси находится внутри этой зоны и составляет угол  $0.0124953875$  рад. с основной плоскостью. Это значение равно углу наклона  $i$  плоскости орбиты Урана к плоскости орбиты Юпитера.

В проекции на ураноцентрическую небесную сферу, отнесенную к плоскости орбиты Урана, предыдущая картина движения поворачивается на угол  $i$  вокруг линии узлов орбиты Урана по отношению к орбите Юпитера.

Захват оси вращения Урана в зоны либрационных колебаний не происходит, так как наклон оси вращения Урана превосходит ширину этой зоны.

Таким образом, проблема наклона оси вращения Урана остается открытой

## **On the Uranus's problem**

P.S. Krasilnikov

*Moscow Aviation Institute, Russia*

The retrospective analysis of the basic problems connected with Uranus is given. There are the formation of a planet, the return rotation, "anomaly" of a magnetic field of a planet and the large tilt of a rotation axis for a planet. The influence of Jupiter on rotation of Uranus is investigated.

## ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОГО ДВИЖЕНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ

**Г.А. Кутеева, Л.Л. Соколов**

*Астрономический институт им. В.В.Соболева, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Открытие внесолнечных планет и планетных систем ведет к рассмотрению ряда классических проблем небесной механики с новых позиций. В частности, большой интерес представляет возможность существования устойчивых орбит планет сравнительно небольшой массы, как Земля, и пока ненаблюдаемых, в «зонах жизни». Последние определяются как области в окрестности звезды, где возможно существование жидкой воды. В настоящей работе для ряда экзопланетных систем получены области устойчивых движений в «зонах жизни», а также некоторые характеристики орбит, например диапазоны колебаний эксцентриситета. При этом использовалось аналитическое представление возмущений от массивных планет с большими эксцентриситетами орбит. Кроме того, численно получены ограничения на характеристики близких звезд, при которых сохраняется эллиптическое движение экзопланеты. Обсуждаются некоторые свойства возмущений планет близкими звездами, например условия стабильности большой полуоси, условия захвата планеты звездой и распада системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 05-02-17408), Программы «Университеты России» (проект ур.02.01.301), и Ведущей научной школы (грант НШ-1078.2003.2).

### **Regions of exoplanets stable motion**

G. Kuteeva, L. Sokolov

*Sobolev Astronomical Institute, Saint Petersburg State University, Russia*

For several known extrasolar planetary systems we found regions of stable orbits in the habitable zones, with the range of eccentricity oscillations. Conditions of extrasolar planet's motion without escape and exchange under the influence of nearby stars are derived numerically, as well as some properties of perturbations.

## **ЭВОЛЮЦИЯ ВРАЩЕНИЙ СПУТНИКА ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА МАСС ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВОЗМУЩАЮЩИХ МОМЕНТОВ**

**Д.Д. Лещенко, А.Л. Рачинская**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина*

Исследуется быстрое вращательное движение динамически несимметричного спутника относительно центра масс под действием гравитационных моментов при наличии внешнего сопротивления. Момент сил сопротивления предполагается линейной функцией угловой скорости. Анализируется система, полученная после усреднения по движению Эйлера-Пуансо, в случае быстрых вращений.

В первом приближении метода усреднения на изменение величины кинетического момента  $G$  и кинетической энергии тела  $T$  оказывает влияние только сопротивление среды. Показано, что переменные  $G$  и  $T$  строго убывают.

Изменение углов  $\lambda$  и  $\delta$ , определяющих направление вектора  $G$  в пространстве, определяется с помощью модифицированного метода усреднения. Отклонение вектора  $G$  от вертикали  $\delta$  остается постоянным в указанном приближении.

При малых значениях модуля эллиптических функций  $k^2$  угол  $\lambda$  выражается через неполные гамма-функции.

## **Evolution of Rotations of a Satellite about its Center of Mass under the Action of Perturbation Torques**

**D.D. Leshchenko, A.L. Rachinskaya**

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine*

We investigate fast rotational motion of dynamically asymmetric satellite about its centre of mass under the action of gravitational torque when external resistance is present. The moment of the resistive forces is assumed to be a linear function of the angular velocity. The system obtained after averaging with respect to Euler-Poinsot motion is analyzed in the case of fast rotations.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ РЕЗОНАНСА 2:1 С ЮПИТЕРОМ В ОГРАНИЧЕННОЙ ПЛОСКОЙ КРУГОВОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ТЕЛ

**Н.А. Петров**

*Научно-исследовательский Астрономический институт им. В.В.Соболева,  
Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В работе [1] получены семейство периодических орбит для резонанса 2:1 с Юпитером и предварительные данные о границе области устойчивости движения в окрестности этого семейства. Масса Юпитера равна 0,000955 массы Солнца. С помощью комплекса программ на основе интегратора по методу Эверхарда исследована указанная область.

Исследуется поверхность двумерной функции в плоскости начальных кеплеровских элементов орбиты третьего тела, а именно большой полуоси и эксцентриситета, при этом начальные значения долготы перигелия и средней аномалии равны нулю. Если фиксировать одну переменную, например, эксцентриситет, то получим линейное сечение поверхности в зависимости от большой полуоси. Получен большой ряд таких линейных сечений, а затем построена двумерная поверхность. В качестве функции взяты ширина кольца, усредненное среднее движение и период либрационного движения.

Характер изменения геометрических и динамических параметров движения третьего тела позволил отождествить семейство периодических орбит и уточнить границы области устойчивости. При малых значениях начального эксцентриситета орбиты третьего тела границы области определяются однозначно уверенно. При увеличении эксцентриситета границы области размываются в результате хаотического изменения орбиты третьего тела вследствие сближений с Юпитером и определяются неуверенно.

## **Литература**

1. Петров Н.А. Семейства периодических орбит в ограниченной плоской круговой задаче трех тел в резонансной зоне 2:1. // Пятый международный симпозиум по классической и небесной механике, 23-28 августа 2004 года, Великие Луки, Россия. Тезисы докладов. Москва-Великие Луки. ВЦ РАН, 2004.:С.156-158.

## **Investigations of Regions of Stability Motion near the Resonance 2:1 with Jupiter in Frame of the Restricted Planar Circular Three-Body Problem**

N.A. Petrov

*Sobolev Astronomical Institute, Saint Petersburg State University, Russia*

The stability region for the family of periodical orbits in resonance 2:1 with Jupiter is investigated numerically by Everhardt-integrator for the plane "Semi-major axis - Eccentricity". The geometrical behaviour of the third body motion permits to find such dynamical parameters as averaged mean motion and libration period. The sequence of linear sections of the surface depending on the semi-major axis value is found taking into account the width of the ring of possible orbits, the two-dimensional surface is then constructed. At small initial eccentricities the boundary of stable region is determined by sharp variation of the surface gradient. At larger eccentricities the orbit behavior is chaotical because of close encounter with Jupiter and stability boundaries became undetermined.

## **МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗЕМЛИ ОТ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА (ОКО)**

**Е.Н. Поляхова**

*Астрономический институт им. В.В.Соболева, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Одна из наиболее сложных проблем человечества - проблема обеспечения энергией для предотвращения астероидно-кометной опасности для Земли. На коротких сроках позднего обнаружения ОКО вблизи Земли устранить угрозу можно будет только с применением ядерного взрыва для полного уничтожения или для существенной фрагментации ОКО. На длительных интервалах времени, т.е. при заблаговременном обнаружении ОКО, острота этой проблемы может быть снижена за счет использования таких неядерных контактных методов воздействия на ОКО как энергия мощных ракет при кинетическом соударении, длительная работа пришвартованных к ОКО двигателей малой тяги (электрореактивный двигатель, солнечный парус), сдвиг ОКО с орбиты путем транспортировки к нему малого астероида, искусственное усиление реактивных эффектов сублимации путем кинетического удара в ядро кометы и нарушения целостности ледяной корки. Что касается неконтактных методов взаимодействия с ОКО, следует упомянуть зависание над ОКО лазерной или оптической установки для выпаривания вещества ОКО и создания реактивной тяги, а также искусственное увеличение альбедо ОКО (окрашивание, покрытие) или нанесение ориентирующих черно-белых покрытий, воздействующих на

режим стабильного осевого вращения ОКО. Важна роль возобновляющихся, "вечных" источников энергии. К таким медленно действующим энергоресурсам относится энергия солнечных лучей, как тепловая, так и механическая. Эта "вечная" и к тому же экологически чистая энергия не требует затрат на ее транспортировку к месту потребления и поэтому является заманчивой для применения в качестве движущей силы для предотвращения астероидной опасности (солнечный парус, ориентирующие покрытия, искусственное увеличение альбедо) на длительных интервалах времени.

## **Methods for the Near-Earth-Objects (NEO) Hazard Mitigation**

Elena N. Polyakhova

*Sobolev Astronomical Institute, Saint Petersburg State University, Russia*

The greatest natural threat to the long-term survivability of mankind is an asteroid or comet (NEO) impact with the Earth. Comparison of the various mitigation techniques shows that the non-nuclear propulsive technologies such as chemical jet or electric propulsion of high or low thrust, kinetic energy impacts by a launched rocket or a small asteroid, directed evaporation, etc, would be effective mainly against small NEO. Some technologies of potential mitigation method such as kinetic energy impact only requires the development of delivery and terminal tracking systems, while others such as solar sail, require a lengthy advances in material, guidance systems, tether support structures. The efficiency of the mitigation types is a function of the object size, relative geocentric velocity of the dangerous NEO, its physical properties (asteroid or comet).

Thus, depending on the prediction time of possible collision we consider three basic strategies of hazard situation and discuss several mitigation methods for both contact and non-contact interaction.

## **ВАРИАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧЕ ТРЕХ ТЕЛ. СИММЕТРИЧНЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ОРБИТЫ**

**В.Б. Титов**

*Астрономический институт им. В.В.Соболева, Санкт-Петербургский  
государственный университет, Россия*

Периодические орбиты, эквивариантные относительно конечных групп преобразований, получаются как минимизаторы функционала действия Лагранжа. Задача формулируется на языке AMPL и решается с помощью решателя LOQO, что позволило найти целый ряд периодических решений, которые можно классифицировать в соответствии с применяемыми группами преобразований. Приводятся орбиты для различных наборов масс и угловых значений скорости вращения системы координат. Все орбиты сравниваются с результатами численного интегрирования. Такой подход позволяет сформулировать ограниченную задачу четырех тел.

### **Variational Approach to Three Body Problem. Symmetrical Periodic Orbit**

V.B. Titov

*Sobolev Astronomical Institute, Saint Petersburg State University, Russia*

Periodic orbits, equivariant to some finite transformation groups, are received as minimizer of Lagrangian action functional. The problem is formulated using AMPL language and solved using LOQO solver. The series of periodic solution are found. These solutions may be classified according to applicable group.

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОЙ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ**

**М.С. Чубей, В.Н. Львов, Л.И. Ягудин**

*Главная астрономическая обсерватория РАН (Пулково), Санкт-Петербург, Россия*

Для развертывания долговременной Межпланетной Солнечной Стереоскопической Обсерватории (МССО) требуется выполнить автономные астрометрические наблюдения на гелиоцентрическом переходе и при маневрах формирования орбит эксплуатации. С целью проверить эффективность предложенного бортового астрометрического оборудования, произведены модельные оценки двух процессов: процесса автономной навигации и процесса определения радиус-вектора «близкого» объекта, наблюдаемого впервые или не имеющего еще достаточного числа наблюдений для построения его высокоточной теории, из синхронных наблюдений с помощью инструментов МССО. Точность единичного определения собственного положения космического аппарата характеризуется сферой радиусом от 22 до 154 км в зависимости от положения навигационных объектов. Аналогичный радиус сферы для радиус-вектора объекта составляет 15 км при приблизительно равной дальности от обоих космических аппаратов, не превосходящей 2 а.е.

### **The accuracy estimation of the astrometric measurements in the situation of space stereoscopic observatory**

**M.S. Chubey, V.N. L'vov, L.I. Yagudin**

*Central astronomical observatory of RAS (Pulkovo), Saint Petersburg, Russia*

To explicate the long-live Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory (ISSO) the autonomous astrometric observations should be made at the heliocentric transfer stage and at the final maneuvers of the exploitation orbit formation. To access the efficiency of the on-board astrometric equipment the modeling of two processes have been made: the autonomous navigation process and process of the positional 3D-determination of the “near” object that is detected as the new object or the object, which has not yet the sufficient observational history to calculate its accurate orbit. These observations are supposed to be made in the stereoscopic mode with the ISSO instruments. Accuracy of the single determination of the proper position of spacecraft can be accessed by sphere of radius from 22 to 154 km depending on the navigation situation. Analogous estimation for other process is the sphere of radius 15 km in situation when the distances from the both SC are approximately equal and less than 2 a.e.

## **ОПТИМАЛЬНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КА В ОКРЕСТНОСТИ КОЛЛИНЕАРНОЙ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ $L_1$**

**А. С. Шмыров, В. А. Шмыров**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Неустойчивость коллинеарной точки либрации  $L_1$  круговой ограниченной задачи трех тел делает необходимым для обеспечения длительного пребывания КА в окрестности этой точки применение управляющего воздействия [1]. В качестве своеобразной меры неустойчивости можно взять «функцию опасности» [2], характеризующую расстояние в фазовом пространстве до неустойчивого инвариантного многообразия. Аналитический метод построения таких функций был предложен в классической монографии Биркгофа [3]. Оптимальное демпфирование [4] по отношению к функции опасности приводит к построению эффективных законов управления, стабилизирующих орбитальное движение КА в окрестности  $L_1$ .

### **Литература:**

1. Шмыров В. А. Стабилизация управляемого орбитального движения космического аппарата в окрестности коллинеарной точки либрации  $L_1$  // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер.10. 2005. Вып. 2 . С. 193-199.
2. Шмыров В. А. управление орбитальным движением космического аппарата в окрестности коллинеарной точки либрации. Автореферат канд. диссертации. С-Петербург, 2005.
3. Биркгоф Д. Д. Динамические системы. М., Л., 1941. 320 с.
4. Zubov V. I. Mathematical theory of the motion stability. St. Petersburg, 1997. 339 p.

## **Optimal stabilization of the space vehicle orbital motion in the neighbourhood of the collinear libration point $L_1$**

A.S. Shmyrov, V.A. Shmyrov

*Saint Petersburg State University, Russia*

The collinear libration's point  $L_1$  instability makes necessity of control influences application for spacecraft long stay in a neighbourhood of this point. As the original measure of instability it is possible to take "function of danger", which characterizes distance in phase space up to unstable invariant manifold. The analytical method of construction of such functions was suggested by Birkhoff. Optimal damping in relation to function of danger enables constructions of effective laws of the management stabilizing space craft orbital movement in  $L_1$  neighbourhood.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ГАМИЛЬТОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ С ПЕРЕМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЗАРЯДОМ В ПЛАЗМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

**А.Б. Яковлев**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Находящиеся в космической плазме объекты приобретают электрический заряд, величина которого зависит от целого ряда факторов окружающего пространства. В процессе движения тела этот заряд может меняться, что существенно усложняет описание движения тела. Как показано нами в [Е.К. Колесников, А.Б. Яковлев. Некоторые задачи динамики тела с переменным электрическим зарядом. Третьи Поляховские чтения. С-Петербург, 2003], при определенных условиях и для случая переменного электрического заряда возможно введение функции Гамильтона. В работе указан способ построения обобщенного потенциала и функции Гамильтона и продемонстрировано их использование для исследования движения частицы с переменным электрическим зарядом в плазмосфере Земли.

### **Hamiltonian application for investigation of motion of a particle with variable electrical charge in Earth plasmosphere**

A.B. Yakovlev

*Saint Petersburg State University, Russia*

Results obtained in the present paper demonstrate the method of Hamiltonian construction for body with variable electrical charge and the application of this way for investigation of microparticle motion in Earth plasmosphere.

**СЕКЦИЯ III: ГИДРОАЭРОМЕХАНИКА**

**SECTION III: MECHANICS OF FLUIDS AND  
GASES**



# COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS OF POLLUTANT DISPERSION IN AN INDOOR SPACE

**Nikolay G. Ivanov, Evgueni M. Smirnov, Chris Lacor\***

*Saint Petersburg State Polytechnic University, Russia*

*\*Vrije Universiteit Brussel, Belgium*

Dispersion of airborne pollutants in indoor spaces is an area of continued practical interest. Accurate prediction of pollutant transport is a challenging task because it will help to evaluate ways to reduce human exposures in the event of an airborne toxic pollutant release. To make a decision for using the most appropriate turbulence model, a systematic comparison of computed and experimental data should be performed. The scaled experiment using a water-filled model of an atrium (Thatcher et al., 2004) is an example of a well-documented experimental test case that allows to estimate the capabilities of numerical simulation. The scaled atrium is a rectangular-shaped volume of  $0.028 \text{ m}^3$  with five inlet diffusers and one outlet. Measurements were carried out at the inlet Reynolds number  $Re = 2160$  (built on the diffuser width).

The present work is aimed at 3D numerical simulations of flow and contaminant transport in the scale model atrium using different turbulence models and at a detailed analysis of CFD predictability in comparison with the experimental results.

Numerical simulations have been performed using an in-house multi-block Navier-Stokes code of second order accuracy (named SINF) and the commercial code Numeca Fine Turbo 6.1. The water is assumed to be an incompressible fluid with a constant molecular viscosity. High- and low-Reynolds-number versions of  $k-\varepsilon$  and  $k-\omega$  turbulence models and the Spalart-Allmaras turbulence model were used. The computations have been carried out using two grids: the initial grid of about 400,000 cells and the refined one of more than 1,000,000 cells.

The contaminant release is simulated by a localized source. A detailed analysis of the flow characteristics and spatial distributions of pollutant concentration in the indoor space is presented. All the turbulence models used produce concentration space distributions that are in a fairly good agreement with the measurement data.

1. Thatcher T.L. et al. Pollutant dispersion in a large indoor space: Part 1 – Scaled experiments using a water-filled model with occupants and furniture // *Indoor Air* 2004; 14: 258-271.

## **PRESSURE WAVE PROPAGATION IN MULTILAYERED THICK-WALLED ANISOTROPIC VISCOELASTIC TUBES AT DIFFERENT FASTENING CONDITIONS**

**N.N. Kizilova**

*Kharkov National University, Ukraine*

Wave propagation in the liquid-filled viscoelastic tubes has been investigated in application to the pulse wave propagation in the arteries. In spite of the voluminous literature on both theoretical and calculation aspects of the problem, recent investigations revealed some novel results [1-2]. The multilayered structure, thickness and material parameters of the anisotropic layers significantly influence flow parameters and stability of the system. Variations of the elastic and viscous parameters of one of the layer or a few layers simultaneously exert a great influence on the stable and unstable modes whereas the single-layered isotropic tube does not exhibit that properties [3]. The mechanism is connected with fluid-solid interaction.

Here the computational results [2] are compared to the theoretical calculations. Stability of the Poiseuille flow of a viscous incompressible liquid through the 1-3-layered viscoelastic tubes with modified Kelvin-Voight rheological law is considered. Continuity conditions for the normal and tangential stresses and velocity components at the liquid-solid and solid-solid interfaces have been used. Wave motion of the liquid due to the pressure oscillations at the inlet is calculated using asymptotic analysis of the coupled mechanical system. Ratio of the radial displacement of the wall to the inner radius of the tube is taken as a small parameter. The volumetric rate of the liquid and shear stress at the inner wall of the tube are calculated. The stability (instability) conditions are investigated at different arterial wall parameters and compared for normal subjects and patients with atherosclerosis, hypertension and some other cardio-vascular pathology.

The presented results can shed new light on mechanics of the arterial wall and its role in stability (instability) of the blood flow in normal and pathological cases. The set of the material parameters which stabilize the liquid flow in the compliant tube can be used in the technical applications for elaboration the novel stable multilayered coating and conduits.

1. Kizilova N.N. Wave propagation and reflection in systems of compliant tubes. //Intern.J.Fluid Mech.Res. – 2004. – vol.31,N6. – p.608-620.
2. Hamadiche M., Kizilova N.N. Temporal and spatial instabilities of the flow in the blood vessels as multi-layered compliant tubes. //Int.J.Dyn.Fluids. - 2005. - Vol.1,N1. - P.1-23.
3. Hamadiche M., Gad-el-Hak M. Spatiotemporal stability of flow through collapsible, viscoelastic tubes. //AIAA Journal. – 2004. v.42,N4. - P.772-786.

# NON-EQUILIBRIUM KINETICS IN GAS DYNAMICS OF HIGH-TEMPERATURE AND HIGH-ENTHALPY FLOWS

**E.V. Kustova\*, E.A. Nagnibeda\*, A. Chikhaoui\*\***

*\*Saint Petersburg State University, Russia*

*\*\*Université de Provence, Marseille, France*

In the paper the influence of non-equilibrium physical-chemical kinetics on gas dynamic parameters in different gas flows is studied. This problem is particularly important for strongly non-equilibrium conditions when the characteristic times of kinetic and gas dynamic processes become comparable. Such situations appear in nozzles, jets, expanding tubes and on a space craft trajectory in the re-entry phase. In this case the gas dynamic equations should be coupled to the equations of non-equilibrium kinetics.

The paper presents a comparison of non-equilibrium distributions and gas flow parameters, found by the authors previously [1,2,3,4] using different kinetic theory approaches: the state-to-state one, and three two-temperature models (non-equilibrium Boltzmann distribution of harmonic oscillators, Treanor distribution of anharmonic oscillators and generalized Treanor distribution for a strong non-equilibrium reacting gas mixture). The results are also compared with the ones obtained for thermally equilibrium gas mixture with non-equilibrium chemical reactions.

Gas flows behind shock waves and in nozzles are considered.

The results show that in a nozzle flow, the discrepancy between different non-equilibrium distributions occurs much more noticeable compared to the relaxation zone behind a shock wave. However, gas dynamic parameters, calculated in various approaches, differ much weaker than behind a shock. The reason of this conclusion is discussed in the paper.

The results are important for choosing of an adequate kinetic model for gas dynamic applications.

This study is supported by CNRS (project 16369) and INTAS (Grant N 03-51-5204).

## References

1. *Kustova E.V., Nagnibeda E.A. State-to-State Approach in the Transport Kinetic Theory // Rarefied Gas Dynamics / ed. by R. Brun. 1999. Vol. 1. P. 231-238*
2. *Kustova E.V., Nagnibeda E.A., Alexandrova T.Yu., Chikhaoui A. On the non-equilibrium kinetics and heat transfer in nozzle flows // Chem. Phys. 2002. V. 276. №2. P.139-154.*
3. *Kustova E.V., Nagnibeda E.A., Chikhaoui A. Non-equilibrium Effects in Reacting Gas Flows // Rarefied Gas Dynamics / ed. by M. Capitelli. AIP Conference Proceedings, 2005. Vol. 762, p. 270-275*
4. *Nagnibeda E.A., Kustova E.V. Kinetic Theory of Transport and Relaxation Processes in Nonequilibrium Reacting Gas Flows, Saint Petersburg University Press, Saint Petersburg, 2003, 272 p.*

## NUMERICAL ANALYSIS OF AERODYNAMICS OF REENTRY VEHICLES IN WIDE RANGE OF KNUDSEN NUMBERS

**P.V. Vashchenkov, A.V. Kashkovsky, M.S. Ivanov**

*Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Novosibirsk, Russia*

The orbit of advanced space vehicles lies at altitudes of about 300-400 km. During their reentry to the Earth, the vehicles first experience the action of the free-molecular flow, then enter the transitional zone, and finally, beginning from an altitude of 80 km, descend in the continuum flow. For successful reentry of the vehicle to the Earth, it is necessary to know the behavior of its aerodynamic characteristics in all flow regimes.

Computation of aerodynamic characteristics of reentry vehicles in the free-molecular flow does not involve many difficulties because theoretical approaches have been developed for simple shapes and the DSMC method can be readily used for more complicated shapes. Methods for computing aerodynamic characteristics in the continuum flow have been also adequately developed.

In the transitional regime, the DSMC method is practically the only tool for modeling the flow around reentry vehicles in detail, but application at the initial stage of spacecraft design and trajectory calculations is unreasonably expensive because it is necessary to compute a large number of variants for different angles of attack and sideslip and for different flow parameters.

The only method for solving this problem is to use approximate engineering methods, which offer acceptable accuracy with a short computation time. The approximate method for computations of aerodynamics characteristics based on the local bridging method will be presented in the full paper.

The results of modeling aerodynamic characteristics of the transitional regime of various models of reentry bodies with the use of local bridging approximation [1] are described in the present paper. The accuracy of this engineering method in the transitional regime is estimated by comparisons with aerodynamic characteristics of the transitional regime computed by the DSMC method (SMILE system[2]).

The aerodynamic characteristics of the transitional regime were computed for the EXPERT reentry vehicle model (REV and KHEOPS shapes) and simplified CLIPPER model by the DSMC method and by the local bridging method. The aim of the EXPERT program is to build simple and cheap reentry bodies for making aerodynamic tests in real flight condition. The bodies made in the frame of this program are axisymmetrical bodies. CLIPPER has more complex shape to be able to glide. Comparison of full aerodynamic characteristics and distributions of surface parameters such as friction, pressure, heat flux obtained by the proposed method and the DSMC method will be shown.

Values of axial force, normal force and pitch moment computed by the local bridging and the DSMC methods are shown in the Table. As seen in the Table, the results obtained by the approximate method are close to the DSMC results. This accuracy is quite sufficient for first-stage spacecraft design.

	$C_A$	$C_N$	$C_m$
Kn=100 (H=229 km)			
SMILE	2.6150	0.0036	-0.0873
Local bridging	2.6325	0.0049	-0.0913
Kn=5 (H=146km)			
SMILE	2.5538	0.0041	-0.0837
Local bridging	2.6024	0.0042	-0.0889
Kn=1 (H=125km)			
SMILE	2.4219	0.0102	-0.0814
Local bridging	2.5052	0.0030	-0.0844
Kn=0.5 (H=120km)			
SMILE	2.2974	0.0149	-0.0813
Local bridging	2.3995	0.0036	-0.0806
Kn=0.1 (H=110km)			
SMILE	1.9043	0.0374	-0.0863
Local bridging	1.8238	0.0129	-0.0628

Table 1. Results of computations of aerodynamic characteristics of CLIPPER geometry

### References

1. S.N. Alexeeva, R.N. Miroshin, About dependence of local interaction parameters on Knudsen number [in Russian] Rarefied Gas Dynamics, Publisher of LGU, 1974.
2. Ivanov M.S., Markelov G.N., Gimelshein S.F. Statistical simulation of reactive rarefied flows: numerical approach and applications. AIAA Paper 98-2669.

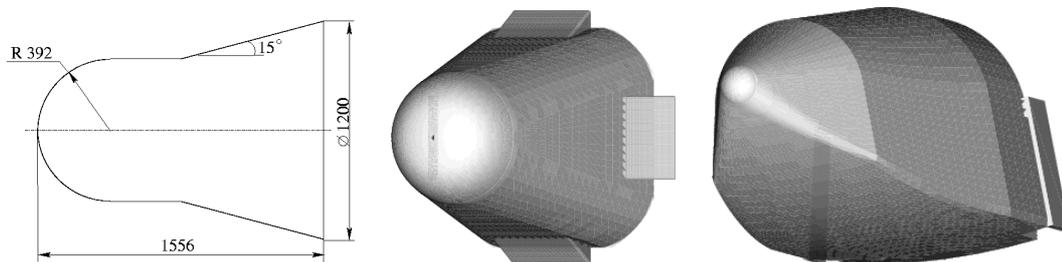


Fig.1 Reentry capsules REV, KHEOPS and CLIPPER.

# HYDRODYNAMIC SIMULATION OF ULTRA-SHORT LASER MELTING AND SPALLATION OF METAL TARGETS

**A.N. Volkov and L.V. Zhigilei**

*Department of Materials Science and Engineering, University of Virginia, USA*

The main difficulty in application of hydrodynamic computational models to short-pulse laser processing and ablation is related to the inability of these models to adequately describe the material behavior under highly non-equilibrium conditions created by fast laser energy deposition. A realistic description of melting, disintegration, and ablation of the target material should account for the effect of strong overheating and high deformation rates on the kinetics and mechanisms of laser-induced phase transformations. While theoretical understanding of these processes is limited, atomistic molecular-dynamics simulations can provide a realistic description of the mechanisms of laser melting, spallation, and ablation. The atomistic simulations, however, are computationally expensive and are not capable of reproducing processes occurring at the length-scale of the whole laser spot. At the same time, the results of atomistic simulation can be formulated at the continuum level and used to design and parameterize the hydrodynamic model. In our work we use this approach for developing of a continuum computational model for simulation of laser-induced processes in metal targets.

A one-dimensional hydrodynamic model based on transport equations and semi-empirical multi-phase equations of state for metals is developed and applied to simulations of short pulse laser melting, resolidification and spallation. The model accounts for both heterogeneous and homogeneous melting mechanisms, which are described with the help of the results of molecular dynamics simulations. New computational algorithms are developed for modeling of two-phase zones of solid-liquid and liquid-gas coexistence, as well as for explicit tracking of interfaces between compressible phases. A series of simulations are performed for bulk aluminum and nickel targets irradiated by a picosecond laser pulse at a wide range of laser fluence. The effect of non-equilibrium conditions on melting/resolidification times and the maximum depth of melting is investigated in the simulations. Computational results are in a good qualitative agreement with the results of recent molecular dynamics simulations of laser melting.

## **PROBLEMS OF DEVELOPMENT AT THE HYDRODYNAMICAL THEORY OF LUBRICANT, SUPPORT OF SLIDING WITH GAS LUBRICANT AND DYNAMIC'S OF HIGH-SPEED ROTORS AT THE SLIDING SUPPORT**

**O. Zavyalov**

*Ural Social Economic Institute, Chelyabinsk, Russia*

Development of mechanical and instrument engineering are leading to increase number of revolutions shaft in support of sliding and puts specific questions of dynamics, which research complex mechanical system. At present separate two characteristic kinds of rotors' fluctuations. Separated which are caused the presence of a lubricant layer and they have the wobble character. One of the shaft wobbling movements is connected with specific property of a lubricant layer in cylindrical support to lose carrying ability at the speed of the centre line rotation, which is equal to half of shaft rotation angular speed. The second periodic wobble movement called synchronous wobble, occurs with frequency equals to frequency of shaft rotation, which observed at any speed of shaft rotation. To avoid these unpleasant phenomena at work of a rotor in sliding support, it is necessary to provide the stability of equilibrium position or periodic movement of a shaft.

More complex is consideration of the same problems for a rotor in support of sliding with gas lubricant. The question about distribution pressure at non-stationary current of viscous gas between two firm walls is reduced to integration in certain regional conditions of nonlinear integral-differential equation in individual derivatives.

**Resume.** Increasing speeds of a shaft on a lubricant layer of sliding support demands the decision of stabilization in equilibrium position of the counterbalanced rotor or periodic movement of the unbalanced rotor. To solve these problems it demands the decision following tasks of the hydrodynamical theory of lubricant:

a) Development the hydrodynamical theory of lubricant high-speed rotors in sliding support taking into account non-stationary spatial current of lubricant at any movement of a thorn in the bearing; b) Finding out the structure forces of a lubricant layer at non-stationary current lubricant and the account elastic, dempfiring, gyroscopic and inertial forces of a lubricant layer, and also non-stationary charges of greasing in a support; c) Development works of different the methods of sliding support synthesis support in view of the principles of the greasing hydrodynamical theory and with the given integrated characteristics of a greasing layer.

## **КВАЗИ-ХИМИЧЕСКАЯ КЛАСТЕРНАЯ МОДЕЛЬ КИНЕТИКИ НУКЛЕАЦИИ**

**А.С. Артюхин, Б.В. Егоров, А.В. Кошечев, Ю.Е. Маркачев, И.А. Озорнов**  
*ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, Жуковский, Московская обл., Россия*

При описании кинетики образования новой фазы в работе используется так называемая квазихимическая модель, в соответствии с которой система состоит из газофазных молекул конденсирующегося вещества (мономеров) и молекулярных агрегатов- кластеров, состоящих из двух и более молекул.

На основе квантово-химических расчетов структуры и энергетических характеристик молекулярных кластеров получены произведения главных моментов инерции, энергии диссоциации и характеристик межмолекулярной колебательной энергии и найдены константы равновесия, образования и диссоциации кластеров.

Сопоставляя квазиравновесные кластерные функции распределения и классические, получен эффективный коэффициент поверхностного натяжения. Эффективный коэффициент поверхностного натяжения, в общем случае, не линейная функция температуры. С ростом размеров кластеров значение эффективного коэффициента паров воды начинает совпадать со значением макроскопического коэффициента для воды. В рамках кластерного квазихимического подхода возможно получение вириального уравнения состояния. Отметим, что кластерный метод дает хорошее совпадение с экспериментальными результатами для второго вириального коэффициента даже в области низких температур в отличие от соответствующего вириального коэффициента для уравнений Редлиха-Квонга и Ван-дер-Ваальса.

Представленная квази-химическая модель нуклеации паров воды, основанная на квантово-статистических расчетах малых кластеров паров воды и кластерной кинетики, демонстрирует большую чувствительность рассчитанной скорости нуклеации от параметра пересыщения, что хорошо соответствует известным экспериментальным результатам.

### **Quasi-chemical cluster model of nucleation kinetics**

**A.S. Artukhin, B.V. Egorov, A.V. Koshcheev, Yu.Ye. Markachev, I.A. Ozornov**  
*Zhukovsky Central Aerohydrodynamics Institute, Moscow region, Russia*

Based on quantum chemical calculations the asymptotic expressions for cluster dissociation energy and potential energy minimum are found and as a result the vapor saturation pressure, saturation parameter, heat of phase transition and cluster distribution function on sizes are obtained. Calculation results based on cluster theory developed demonstrate high sensitivity of calculated water vapor nucleation rate on saturation parameter in good agreement with available experimental data.

## ОБОБЩЕНИЕ ТЕОРЕМЫ Н.Н.ПОЛЯХОВА ОБ ОПТИМАЛЬНОМ КОНЕЧНОЛОПАСТНОМ ГРЕБНОМ ВИНТЕ

**А.Ш. Ачкинадзе**

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
Россия*

Впервые теорему об оптимальном конечнолопастном гребном винте (ГВ) сформулировал Betz в 1919 г. Был рассмотрен слабонагруженный изолированный ГВ. Предложенное доказательство содержало две взаимно компенсирующие друг друга ошибки, на что указал в 1939 г. Ф.И.Франкль. Корректное доказательство указанной теоремы в 1937 г. опубликовал Н.Н.Поляхов (Тр. ЦАГИ вып.324), где показал, что при строгом анализе остается справедливой конечная формулировка теоремы, данная Бетцем. Необходимые инженерам обобщения этой теоремы рассматривались многократно (Prandtl, 1919; А.И.Слущкий, 1940; Burrill, 1944; Г.И.Майкапар, Д.В.Халезов, Л.Я.Крупенин, 1944; Lerbs, 1952; Yim, 1976). Все указанные обобщения оказались следствием более общего результата, полученного в результате строгого анализа проблемы автором настоящей работы в 1985 г. Этот результат получен в рамках теории несущей линии и обобщенной линейной модели вихревого следа, когда имеют место присоединенные вихревые нити по числу лопастей, а свободные вихревые поверхности имеют форму правильных геликоидов, но с шагом, отличающимся от шага переносного движения. Влияние профильного сопротивления рассмотрено для трех различных случаев: с заданными шириной и относительной толщиной цилиндрических сечений лопасти (типично для судового ГВ); с заданными оптимальным для данного типа сечений коэффициентом подъемной силы и относительной толщиной цилиндрических сечений лопасти (типично для авиационного ГВ) и в случае оптимизации ширины лопастей по В.М.Лаврентьеву. Наиболее ценное из полученных это обобщение на случай работы ГВ в заданном радиально неравномерном поле скоростей, содержащем осевую и окружную компоненты (строго говоря заданное поле считается потенциальным, но в инженерной практике приближенно может использоваться для учета попутного потока судна). Например, если ГВ работает в заданном радиально неравномерном поле скоростей и при этом считаются заданными ширина и относительная толщина цилиндрических сечений лопасти, то найденное условие оптимума заключается в постоянстве гидродинамического шага на бесконечности ( $\pi \bar{r} \operatorname{tg} \beta_{\infty} = \text{const.}$ ).

## **Generalization of the Polyakhov's theorem about the optimal finite blade screw propeller**

A.S. Achkinadze

*Saint Petersburg State Marine Technical University, Russia*

Paper considers the state of the art and the generalization of the Polyakhov's theorem on the case of finite blade wake adapted screw propeller. Some practical and experimental results are discussed.

# ОСОБЕННОСТИ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБТЕКАНИЯ ТЕЛА С ИГЛОЙ ПРИ БОЛЬШИХ ЧИСЛАХ МАХА

**К.В. Бабарыкин, В.Е. Кузьмина**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Настоящая работа является продолжением начатого ранее исследования автоколебательных режимов интенсивных пульсаций в потоке, обтекающем затупленное тело с вынесенной вперед иглой. Рассматривается высокоскоростной режим обтекания с числом Маха набегающего потока  $M_\infty = 6$ . Здесь в фазе затекания здесь скорость части газа набегающего на преграду потока за общим волновым фронтом перед преградой вблизи отрывной зоны остается сверхзвуковой. Именно на этом отличии делается акцент в одной из немногих невязких моделей явления – в известной модели Панараса.

Было проведено численное моделирование процесса, достоверность полученных результатов вычислительного эксперимента проверялась сравнением с теневыми фотографиями. Нарботанный ранее опыт в изучении особенностей пульсаций II-го рода в отрывных течениях позволяет описать физику наблюдаемого явления и в данном конкретном случае, учесть основные особенности режимов с большими числами Маха и их роль в общей картине течения.

Наблюдается очень сложный процесс, в разные моменты времени демонстрирующий сходство то с процессами в резонаторах: типа резонатора Гартмана, или резонансной трубы, то с процессами, наблюдающимися при отрыве пограничных слоев под действием падающих ударных волн; то с процессами, возникающими при взаимодействии разрывов; при впрыскивании струи в набегающий поток; в потоках перед движущимися с изменяющейся скоростью поверхностями, сама форма которых со временем меняется. И все это на фоне сильного взаимного влияния процессов, идущих в приосевой и периферийной областях, сопровождающихся возникновением и исчезновением согласованных ударных волн, волн разрежения и т.д. Проведено сопоставление предлагаемой физической модели явления с невязкой моделью Панараса.

## **Peculiarities of self-oscillating regimes in high Mach number flows near a body with a needle**

**K.V. Babarykin, V.E. Kouzmina**

*Saint Petersburg State University, Russia*

The numerical research of the supersonic flowing self-oscillating regimes on the cylindrical body with the needle is carried out. The free stream Mach number is equal to 6. A description of the flow process is given; the most essential structural elements of the flow are investigated. The results of research are compared to Panaras phenomenon model.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ КОШИ-ПУАССОНА В АКВАТОРИИ ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНЫ**

**А.Н. Бестужева**

*Петербургский государственный университет путей сообщения, Россия*

Рассмотрена задача о возникновении и распространении волновых движений жидкости от начального возвышения свободной поверхности в области переменной глубины. Получено аналитическое решение задачи через собственные функции дискретного и непрерывного спектров. Выполнен асимптотический анализ решения. Сформулирован приближенный метод оценки волнового движения в прибрежной зоне. Описана физическая картина движения, вызванная начальным возмущением свободной поверхности. Проанализирована зависимость структуры волнового движения от вида начального возмущения. Получены аналитические решения для различных форм начального возмущения. Численное моделирование задачи Коши-Пуассона выполнено для различных видов начального возвышения свободной поверхности и различных углов наклона дна. Получены картины волнового движения в прибрежной зоне.

### **On the Cauchy-Poisson's problem in the wedge domain**

A.N. Bestuzheva

*Petersburg State University of Railway Communications, Russia*

A problem of wave motions generated by initial shape of free surface over an inclined bottom is studied. Both the exact (analytical) and asymptotic solutions of the problem are obtained. Simulation of the Cauchy-Poisson's problem is carried out for different initial shapes of the free surface and for different inclination angle of the bottoms.

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ИМПУЛЬСНОЙ ГИПЕРЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ**

**А.А. Веревкин, Ю.М. Циркунов**

*Балтийский государственный технический университет "Военмех", Санкт-Петербург, Россия*

Численно исследовано нестационарное течение в гиперзвуковой ударной трубе УТ-1 ЦАГИ с профилированным осесимметричным соплом, расчетное число Маха которого на срезе равно  $M = 6,01$ . Такая труба при введении в камеру высокого давления дисперсных частиц используется для изучения обтекания тел запыленным потоком с большой сверхзвуковой скоростью. Геометрические размеры установки и параметры в камерах высокого и низкого давлений приняты как в эксперименте. В частности, газ в камере высокого давления считается предварительно подогретым, чтобы избежать эффектов конденсации в рабочей камере. В данной работе исследуются газодинамические процессы от момента разрыва диафрагмы до окончания процесса квазистационарного обтекания тела в рабочей камере трубы. Газ считается невязким и нетеплопроводным, а течение – осесимметричным. Численная модель реализует конечно-объемный подход к аппроксимации уравнений Эйлера на неструктурированной сетке с применением метода Годунова-Колгана для расчета потоков на гранях контрольных объемов, обеспечивающего второй порядок аппроксимации по пространству, и схемы типа “предиктор-корректор” на временном шаге, которая обеспечивает второй порядок аппроксимации по времени. Получена подробная картина развития ударного запуска сопла и выхода на режим квазистационарного обтекания тела (сферы). Дана оценка времени квазистационарного течения примеси в рабочей камере в случае запыленного потока. Данное исследование выполнено при поддержке РФФИ (код проекта 05-08-50075).

### **Numerical investigation of a flow in the hypersonic shock tube**

A.A. Veryovkin, Yu.M. Tsirkunov

*Baltic State Technical University "Voenmech", Saint Petersburg Russia*

An unsteady axially symmetric flow in the UT-1 TsAGI shock tube with a hypersonic nozzle (the calculated Mach number  $M = 6.01$ ) was studied numerically. An unstructured grid was used in the calculation domain. The Euler equations were solved with a finite-volume method of the second order. The gas flow structure was investigated in detail from the instant of diaphragm destruction to the end of quasi-stationary flow over a body in the work chamber. This work was supported by the RFBR through grant No. 05-08-50075

## **ПРЯМЫЕ СКАЧКИ УПЛОТНЕНИЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНО НЕРАВНОВЕСНОМ ГАЗЕ. ПЕРЕХОД К ЛОКАЛЬНОМУ РАВНОВЕСИЮ**

**Ю.Н. Ворошилова, М.А. Рыдалевская**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматриваются прямые скачки уплотнения в колебательно неравновесном двухатомном газе из ангармонических осцилляторов. Показано, что при переходе через ударную волну определенной интенсивности неравновесный набегающий поток становится равновесным.

## **Plane shock waves in a vibrationally nonequilibrium gas. Conversion to local equilibrium**

**Yu.N. Voroshilova, M.A. Rydalevskaya**

*Saint Petersburg State University, Russia*

The plane shock waves in vibrationally nonequilibrium diatomic gas of anharmonic oscillators are considered. It showed that non-equilibrium covered flow became equilibrium under conversion through the shock wave with definite intensity.

## О ВОЗДЕЙСТВИИ ПОТОКА НА ДВИЖУЩИЙСЯ ДИПОЛЬ

**В.И. Гончаренко**

*Авиационный Научно-Технический Комплекс им. О.К. Антонова, Киев, Украина*

Если диполь движется в набегающем потоке, то кроме восстанавливающего момента на диполь действует поперечная сила. Восстанавливающий момент совпадает со значением «квазистатического» момента и пропорционален мгновенному углу скоса потока. Поперечная сила действует в сторону движения источника диполя относительно его стока, и ее величина пропорциональна скорости поворота оси диполя.

Рассмотрим случай, когда ось диполя (от стока к источнику) направлена навстречу набегающему потоку (со скоростью  $V_\infty$ ). Диполь представим в виде стока и источника, имеющих равные мощности  $Q$ . Расстояние  $h$  между источником и стоком в дальнейшем устремим к нулю, сохраняя при этом постоянным произведение  $\mu=Qh$ . Угол  $\varphi$  поворота диполя будем отсчитывать от оси, направленной против набегающего потока. На источник со стороны потока действует сила притяжения, на сток - сила отталкивания, пропорциональные их мощности. При малых возмущениях положения диполя местный угол скоса потока равен  $\alpha=V/V_\infty$  в точке стока и  $\beta=(V+h\varphi)/V_\infty$  в точке источника. Поэтому на диполь, движущийся в поперечном направлении со скоростью  $V$ , действует момент сил  $M=\rho\mu V_\infty(V/V_\infty-\varphi)$  и поперечная сила  $F=\rho\mu\varphi'$ , направленная в сторону движения источника диполя относительно стока.

В задаче о вынужденных колебаниях и при оценке запасов устойчивости от автоколебаний крыла с воздушным винтом в режиме реверса его тяги выявленный факт играет существенную роль. Это объясняется тем, что момент внешних аэродинамических сил имеет составляющую, которая по фазе совпадает с угловой скоростью поворота оси воздушного винта. Такая обратная связь обуславливает подвод энергии в систему и может вызвать автоколебательный режим ее поведения. Интенсивность подвода энергии вдвое больше, чем по оценкам для «квазистатического» случая, которые приведены автором ранее.

### **On the action of a forward flow to the dipole moving across**

V.I. Goncharenko

*Antonov ASTC, Kiev, Ukraine*

When in a forward flow a dipole is moving, there is a lateral force acting to the dipole in addition to the moment of forces. The moment of forces is the same as the quasistatic moment. Force acts along the direction of the dipole source motion in relation to the sink of the dipole. This force is proportional to a velocity of turn of the dipole axis.

## **ТЕЧЕНИЕ НЕНАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ВОДЫ И АЗОТА В СКИММЕРЕ МАСС-СПЕКТРОМЕТРА**

**А.А. Горбунов, С.И. Иголкин, И.В. Шаталов**

*Балтийский государственный технический университет "Военмех", Россия*

Согласно [1], в воздухе практически всегда имеется заметное число «легких», «тяжелых» и «промежуточных» ионов. С помощью масс-спектрометров возможна надежная регистрация подобных частиц. Вопрос корректного измерения состава смесей с протекающими физико-химическими реакциями с помощью масс-спектрометрических методов упирается в надежную оценку параметров сверхзвукового течения в скиммере и последующее нахождение скоростей протекающих реакций.

В настоящей работе представлена зависимость функции распределения водяных кластеров и аэрозолей по размерам для разной степени влажности среды, полученная методами дискретной модели конденсации. Исследована трансформация этого распределения при расширении такой смеси в скиммере. С помощью ранее разработанной газодинамической методики в рамках одномерной модели проведено исследование параметров течения вдоль оси скиммера. Получены характеристики изменения основных газодинамических параметров и параметров функции распределения по размерам кластеров и малых капель воды.

Установлено, что при начальных условиях, близких к условиям нормальной атмосферы, в скиммере за время движения до точки замораживания всех внешних воздействий существенного изменения состава не происходит. Скорость испарения неизбежно замерзающих малых капель в ниже расположенном измерительном тракте масс-спектрометра, согласно оценкам, также не может быть существенна.

1. Таблицы физических величин. Под ред. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976, 1008 с.

### **Unsaturated Water Steam in a Nitrogen Flow at the Skimmer of Mass-Spectrometer**

A.A. Gorbunov, S.I. Igolkin, I.V. Shatalov

*Baltic State Technical University "Voenmech", Saint Petersburg Russia*

Size distribution of small water clusters and drops in unsaturated mixture of steam and nitrogen in expanded flow was investigated by means of discrete model of condensation. Mass-spectrometric measurements are correctly reflecting the real aerosol particles composition in normal Earth atmosphere.

## НЕСТАЦИОНАРНЫЕ СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В СТЕСНЕННЫХ ПОЛОСТЯХ

**В.Н. Елисеенко, В.Н. Емельянов, Н.А. Мордынский**

*Балтийский государственный технический университет "Военмех", Россия*

Проведено математическое моделирование истечения из насадков различной формы импульсных струй и их взаимодействие со стенками полости, в которую происходит истечение. Расчетная область представлялась сочетанием двух каналов постоянного разного сечения, между которыми находилась вставка, имеющая различную форму поперечного сечения соплового вкладыша. Сопловая вставка оформлялась в виде одного или нескольких отверстий круглой, крестообразной, квадратной или серповидной формы.

В одном из каналов инициируется процесс, моделирующий подвод массы и энергозаклад. Процесс рассматривается, начиная с момента образования ударных волн в области высоких параметров. Трехмерный характер течения и существенная нестационарность процесса приводят к сложной картине формирования, взаимодействия и эволюции ударных волн. Исследовались процессы истечения газа и выхода волновых структур в широкую часть и образование нестационарных полей давления на ограничивающих поверхностях.

Образование и воздействие таких потоков на ограничивающую поверхность зависит от вида сопловой вставки, формирующей импульсную струю с заданным поперечным сечением. С помощью выбора формы соплового вкладыша можно усилить локальные характеристики силового воздействия импульсной струи на поверхность.

### **Non-stationary jet gas flows in restraint regions**

V.N. Eliseenko, V.N. Emelyanov, N.A. Mordinsky

*Baltic State Technical University "Voennmech", Saint Petersburg Russia*

Mathematical modeling of the gas expiration from different form nozzles is carried out. Non-stationary flows in the restraint form cavities are investigated

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОЛОСОПЛОВОГО ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ

**В.Н. Емельянов, И.В. Якимова**

*Балтийский государственный технический университет "Военмех", Россия*

Проводится исследование внутренних двухфазных течений в околосопловом пространстве. Рассматриваются предсопловые объемы с утопленным во внутреннюю полость входом в сопло. Исследуемые процессы рассматриваются с позиции возможности их описания в рамках квазистационарной постановки. Задача решается без учета обратного влияния частиц на газовое поле. Отличительной чертой данной работы является детальное описание всех особенностей геометрии расчетной области, учет реального распределения частиц по размерам и их представительства в потоке, учет турбулентности внутреннего течения, а так же реальные схемы подвода газа в систему от массоподводящих поверхностей, моделирующих горение.

Используются криволинейные согласованные с границами области системы координат и порожденные ими криволинейные разностные сетки. Газовое поле строится на последовательности расчетов, в которой фрагменты с тонкой газодинамической структурой уточняются на вводимых сеточных блоках с более подробной структурой. В частности, такие сеточные блоки строятся в области сопловой поверхности, что позволяет отследить процессы выпадения частиц на стенки сопла.

Созданы эффективные вычислительные схемы для массовых траекторных расчетов частиц в построенном газовом поле. Влияние турбулентности на движение частиц учитывается введением в расчет мгновенного значения скорости газа, пульсации которого моделируются исходя из местных характеристик турбулентности.

Исследованы особенности инерционного выпадения частиц на стенки сопла и влияние на массовые потоки выпадения геометрических и расходных факторов.

### **Modeling of a two-phase internal flow around advanced nozzle entrance**

V.N. Emelyanov, I.V. Yakimova

*Baltic State Technical University "Voenmech", Saint Petersburg Russia*

Two-phase internal flow around advanced nozzle entrance is investigated. Zonal approach for calculating of flow field is used. New effective numerical algorithms for numerical simulation of particle paths are developed.

## **ИНТЕГРАЛЫ ДВИЖЕНИЯ И СКОРОСТЬ ЗВУКА ИЗОЭНТРОПИЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ ДИССОЦИИРУЮЩЕГО ГАЗА**

**О.В. Жаркова, М.А. Рыдалевская**

*Санкт-Петербургский государственный университет. Россия*

Для разных стадий релаксации получены предельные решения кинетических уравнений, исследованы интегралы движения и рассчитана скорость звука для соответствующих изоэнтروпийных течений.

### **Integrals of Gas Movement and Sound Velocity for Isentropic Dissociated Gas Flows.**

O.V. Zharkova, M.A. Rydalevskaya

*Saint Petersburg State University, Russia*

We have obtained the limiting solutions of the kinetic equations for various relaxation stages of dissociated diatomic gases. We have studied the integrals of gas movement and the computed the sound velocity for respective isentropic flows.

# ТЕЧЕНИЕ СМЕСИ $O_2/O$ С НЕРАВНОВЕСНОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ РЕЛАКСАЦИЕЙ И ДИССОЦИАЦИЕЙ ВБЛИЗИ ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНЫ

Л.Г. Иванов, Е.В. Кустова

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматривается двумерное течение реагирующей газовой смеси  $O_2/O$  в пограничном слое при условии, что характерные времена обменов поступательной и вращательной энергией много меньше характерных времен обмена колебательной энергией и диссоциации (модель поуровневой кинетики). Следуя модифицированному методу Энскога-Чепмена для пограничного слоя, выписываются макроскопические уравнения переноса. Производится расчет зависимости коэффициентов переноса и коэффициентов скоростей реакции от макропараметров, используя алгоритм, предложенный в [1]. Система уравнений газо-динамики решается численно с использованием метода Пасконова с вычислением всех необходимых коэффициентов в каждом узле расчетной сетки. Производится сравнение результатов с результатами, полученными ранее в случае однотемпературного приближения. Производится оценка влияния неравновесности на газодинамические параметры и тепловой поток у поверхности обтекаемого тела.

## Литература

1. Нагнибеда Е.А., Кустова Е.В. Кинетическая теория процессов переноса и релаксации в потоках неравновесных реагирующих газов. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2003. 272 с

## **A flow of $O_2/O$ mixture with non-equilibrium vibrational relaxation and dissociation near a semi-infinite plate**

L.G. Ivanov, E.V. Kustova

*Saint Petersburg State University, Russia*

A two-dimensional flow of a reacting gas mixture  $O_2/O$  in a boundary layer under the conditions of rapid equilibration of translation and rotational energies compared with vibrational relaxation and dissociation-recombination processes is considered (state-to-state model). Transport coefficients and chemical reaction rate coefficients are calculated. The numerical computation using the scheme of Pasconov to solve the gas-dynamic equations is carried out. The comparison with the results obtained when using one-temperature model is performed. The influence of the nonequilibrium approach is shown.

## **ЯВЛЕНИЕ ГИСТЕРЕЗИСА ПРИ ОТРАЖЕНИИ УДАРНЫХ ВОЛН**

**М.С. Иванов, Д.В. Хотяновский, А.Н. Кудрявцев, С.Б. Никифоров,  
А.В. Троцюк**

*Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирск,  
Россия*

Настоящая работа посвящена новым результатам, полученным в ИТПМ СО РАН при исследовании отражения сильных ударных волн. В 1995 г. нами было численно установлено, что переход между регулярной и маховской конфигурациями скачков уплотнения может сопровождаться гистерезисом. Это вызвало новый всплеск интереса исследователей к старой проблеме отражения ударных волн и привело к появлению многочисленных публикаций, посвященных данной задаче. Мы рассматриваем в докладе различные аспекты явления гистерезиса в течениях с взаимодействующими газодинамическими разрывами, включая:

- численные наблюдения неединственности стационарных конфигураций ударных волн и гистерезиса при переходе между ними;
- экспериментальную демонстрацию гистерезиса в малотурбулентной сверхзвуковой аэродинамической трубе, в условиях, когда уровень возмущений потока минимален;
- численное моделирование перехода, индуцированного искусственными возмущениями, особенно взрывными волнами, возникающими при введении в сверхзвуковой поток энергии в виде сфокусированного лазерного импульса;
- существование ударно-волновых конфигураций с отраженной волной сильного семейства при несимметричном взаимодействии скачков уплотнения;
- маховское отражение в химически реагирующих течениях с маховской ножкой в виде стационарной детонационной волны;
- гистерезис при переходе между регулярным и маховским отражением стационарных боров (косых гидравлических прыжков) на мелкой воде.

При рассмотрении подчеркивается универсальный характер гистерезисных явлений при взаимодействии газодинамических разрывов в самых различных физических системах.

## **Hysteresis phenomenon in the shock wave reflection**

M.S. Ivanov, D.V. Hotyanovsky, A.N. Kudriavtsev, S.B. Nikiforov, A.V. Trotsuk  
*Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Novosibirsk, Russia*

The results of our recent numerical and experimental investigations of hysteresis-related phenomena in the shock wave reflection transition are presented. It is demonstrated that the existence of more than one stable configuration and the hysteresis seem to be a universal feature of the interaction of flow discontinuities. A wide range of problems is considered, including various aspects of shock wave reflection in supersonic gas flows, shock and detonation wave interaction in chemically reacting flows, and reflection of steady bore waves (hydraulic jumps) in supercritical shallow water flows.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ПРИМЕСИ ВИХРЕВЫМ КОЛЬЦОМ

**И.Е. Капранов**

*Балтийский государственный технический университет "Военмех", Россия*

Изучались процессы формирования, перемещения и транспортировки пассивной газообразной примеси вихревым кольцом. Интерес к этой проблеме обусловлен имеющимися у вихревых колец, как и, в общем, у вихревых структур, полезными для практического применения свойств, таких как высокая устойчивость и транспортирующая способность.

Посредством современных вычислительных технологий (CFD пакет FLUENT) проведено численное моделирование с учетом основных особенностей задачи таких, как нестационарный характера явления, вязкость среды и осевая симметрия. Конфигурация расчетной области представляет собой половину продольного сечения и состоит из области генерирующей трубки и области внешнего пространства. Сетка была подготовлена на основе четырехугольных ячеек в сеточном генераторе Gambit.

Полученные результаты численного моделирования позволили пронаблюдать выявленные в ранее проведенных экспериментах три характерных стадии эволюции вихревого кольца. Первый этап соответствует процессу формирования вихревой структуры, на втором этапе кольцо характеризуется устойчивостью своей конфигурации и проходит основную часть своего пути. На третьем этапе происходит остановка и разрушение кольца. На основе результатов была исследована газодинамическая структура вихревого кольца. Построенные в безразмерной форме распределения осевой и радиальной компонент скорости сравниваются с экспериментальными распределениями. Для изучения транспортировки примеси вихревым кольцом моделировалась двухкомпонентная среда. Полученные распределения массовых долей компонентов позволили выявить ряд аспектов, связанных с влиянием начального распределения переносимого компонента на эффективность переноса.

## **Simulation of vortex ring moving**

I.E. Kapranov

*Baltic State Technical University "Voenmech", Saint Petersburg Russia*

Results of numerical simulation of vortex ring dynamic presented. Simulation was made by means of CFD software FLUENT. Inner structure of vortex ring was investigated. Distribution of axial and radial components of velocity compared with experimental data. The problem of passive gaseous component transport within vortex ring was also studied.

## ТЕЧЕНИЯ ДВУХТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВ ЗА УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

**К.И. Каракулько, Е.А. Нагнибеда**

*Санкт-Петербургский государственный университет. Россия*

Работа посвящена изучению неравновесных течений за ударными волнами смесей атмосферных газов ( $N_2, N$ ), ( $O_2, O$ ), ( $NO, N, O$ ). В работе исследовано влияние колебательных распределений, интенсивности ударной волны, а также реакций диссоциации и рекомбинации на изменение макропараметров потока за фронтом ударной волны. Для расчетов структуры релаксационной зоны за ударной волной использовались двухтемпературное неравновесное распределение Тринора и термически равновесное бoльцмановское распределение. Коэффициенты скоростей колебательных переходов и диссоциации вычислялись на основе аппроксимационных формул, предложенных Капителли, и модели Тринора-Маррона. Уравнения неравновесной газовой динамики решались численно совместно с уравнениями кинетики, соответственно, в двухтемпературном и одготемпературном приближениях [1]. Для рассмотренных смесей приведен анализ полученных результатов, их сравнение с данными работ [1,2], а также сравнение результатов, полученных для разных смесей. Дана оценка влияния колебательной неравновесности и условий в набегающем потоке на макропараметры в релаксационной зоне за фронтом волны.

Работа выполнялась при поддержке INTAS (N 03-51-5204) и программы «Поддержка ведущих научных школ» (НШ-2259.2003.1).

1. Е.А. Нагнибеда, Е.В. Кустова. Кинетическая теория процессов переноса и релаксации в потоках неравновесных реагирующих газов. // СПб. Издательство С.-Петербургского университета, 2003. 270 с.
2. К.И. Каракулько, Е.А. Нагнибеда. Двухтемпературная колебательная и химическая кинетика за ударными волнами. //Аэродинамика./ Под ред. Р.Н.Мирошина. С.Петербург: НИИХ СПб ун-та, 2004. С. 32 -46.

### **Two-temperature gas flows behind shock waves**

**K.I. Karakulko, E.A. Nagnibeda**

*Saint Petersburg State University, Russia*

Non-equilibrium gas flows of ( $N_2, N$ ), ( $O_2, O$ ) and ( $NO, N, O$ ) mixtures behind shock waves are studied on the basis of two-temperature Treanor and one-temperature Boltzmann vibrational distributions. The influence of vibrational non-equilibrium, chemical reactions and free stream conditions on gas flow parameters in relaxation zone are discussed.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПАДНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПУЧКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЛАЗМЕННОМ КАНАЛЕ ПРИ НАЛИЧИИ СИЛЬНОГО ВЕДУЩЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

**Е.А. Кийски**

*Балтийский государственный технический университет “Военмех”, Россия*

Методом крупных частиц-КП проведено исследование распадной неустойчивости пучка релятивистских электронов-РЭП в плазменном канале при наличии сильного ведущего магнитного поля. Проанализирован предельный переход к модели пространственно-неограниченной плазмы. Рассмотрены модели КП: дисковая, треугольная и экспоненциальная. Показано, что каждая модель КП дополняет информацию о состоянии РЭП при его распространении в плазменном канале, позволяет контролировать адекватное непрерывной модели РЭП число КП при переходе к дискретной модели РЭП. На рис.1 изображено электрическое поле пучка и фрагмент его распада на сгустки, соответствующее моменту безразмерного времени  $t=1200$ .

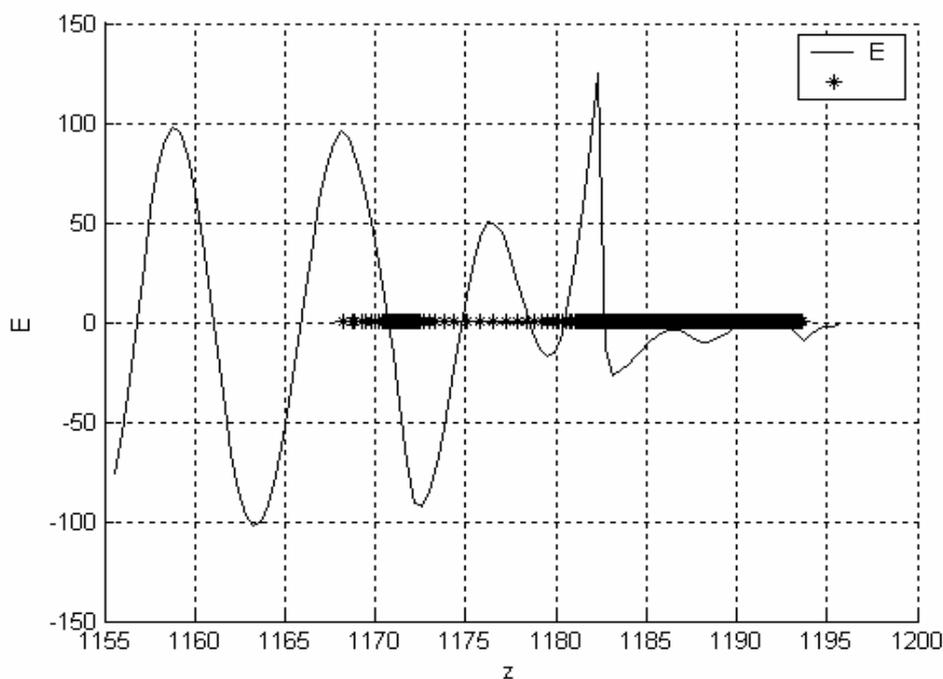


Рис.1

Полученные результаты позволяют определять необходимые энергетические характеристики, такие как полная энергия, плотность потока полной энергии РЭП в процессе его распространения в плазме. Результаты исследований могут быть использованы, в частности, в проблеме передачи энергии посредством РЭП на большие расстояния, в СВЧ-электронике, проблеме коллективного ускорения сгустков заряженных частиц в кильватерных полях и др.

## **Investigation of relativistic electron transient beam decay in plasma channel under the applied strong external magnetic field**

Ye.A. Kiiski

*Baltic State Technical University "Voenmech", Saint Petersburg Russia*

Using large particle method the investigation of relativistic electron transient beam decay in plasma channel under the applied strong external magnetic field is carried out.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ГАЗОСТРУЙНОГО ТЕЧЕНИЯ В СВЕРХЗВУКОВОМ ЭЖЕКТОРЕ**

**М.П. Котикова, В.Н. Усков, М.В. Чернышов**

*Балтийский государственный технический университет, Россия*

Целью данного исследования было моделирование работы сверхзвукового эжектора, используемого в научной работе и учебном процессе лаборатории газовой динамики БГТУ «Военмех», и оптимизация действия этого устройства на основании результатов вычислительного эксперимента. Расчет движения и смешения высоконапорного и низконапорного газов производился с помощью учебной версии программного пакета STAR-CD, предназначенного для моделирования турбулентных течений. Рассматривались практически все возможные режимы работы устройства: от дозвукового режима при давлении высоконапорного газа, почти равном атмосферному, до режима запираания при истечении в камеру смешения сильнонедорасширенной эжектирующей струи. Параметры потока газовой смеси, получаемой на выходе из камеры смешения, усреднялись по методу, предложенному Л.И. Седовым и Г.Г. Черным, с использованием законов сохранения в интегральной форме. Обработка результатов вычислительного эксперимента привела к установлению зависимостей двух основных интегральных характеристик эжектора (коэффициента эжекции и полного давления получаемой смеси) от давления торможения высоконапорного газа. Корреляция между этими двумя параметрами отрицательна: повышение эжекции низконапорного газа из окружающего пространства ведет к уменьшению полного давления смеси, и наоборот. Однако результаты численного моделирования все же позволяют установить оптимальные режимы работы эжектора, наиболее приемлемые для использования в учебном процессе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 04-01-00713).

### **Simulation and analysis of a gas jet flow in a supersonic ejector**

M.P. Kotikova, V.N. Uskov, M.V. Chernyshov

*Baltic State Technical University, Saint Petersburg, Russia*

Turbulent gas flow in supersonic ejector was studied computationally. Parameters of supersonic ejector operating in the Laboratory of Gas Dynamics of Baltic State Technical University were accepted for simulation. Two integral flow parameters (full pressure at the exit section and the factor of low-pressure gas ejection) were analyzed after the processing of computational results. Dependencies of these integral parameters on the stagnation pressure of the ejecting gas allow us to find most convenient compromise between full pressure of the mixture and the mass of low-pressure ejected gas. The authors used financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project code 04-01-00713).

# **ВЛИЯНИЕ ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ НЕРАВНОВЕСНОСТИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ И СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ**

**М.М. Кузнецов**

*Московский Государственный Областной Университет, Россия*

В работе дан краткий обзор исследований поступательной неравновесности, основанных на применении асимптотической ньютоновской теории к решению моментных уравнений кинетической теории газов.

Известно, что из различных областей применимости рассматриваемый подход оказался наиболее успешным в применении к расчетам тонких гиперзвуковых ударных слоев на поверхностях затупленных и острых тел. В 80-х годах на основе предельного ньютоновского перехода в моментных уравнениях кинетической теории газов было впервые показано, что т.н. режимы полностью вязкого ударного слоя при обтекании затупленных тел являются чисто кинетическими, когда конвективная и столкновительная части в уравнениях переноса Максвелла имеют одинаковый порядок величины. Ранее подобное рассмотрение в рамках уравнений Навье-Стокса всегда позволяло считать режимы вязкого ударного слоя сплошнородовыми, оставляя открытым вопросам о границах применимости ньютоновской асимптотики в динамике разреженного газа. К выводу о ненавье-стоксовском описании гиперзвукового вязкого ударного слоя пришли также за рубежом (в 90-х годах) Г.К.Ченг с сотрудниками, исследуя ньютоновский переход в 13-ти моментной системе уравнений Г. Грэда.

В данной работе помимо упомянутой кинетической теории тонких ударных слоев обсуждается также возможность распространения ньютоновской теории на решение задач о структуре прямой и криволинейной сильных ударных волн. Приводятся результаты аналитического вычисления констант поступательно – неравновесных химических реакций, основанных на предельном асимптотическом представлении Г. Грэдом функции распределения молекул в сильной ударной волне.

## **The influence of translational non-equilibrium on rheological relations and chemical reaction rates**

M.M. Kuznetsov

*Moscow State Regional University, Russia*

The brief review of researches of advancing nonequilibrium is given. The researches are based on application of the Newton asymptotic theory to the decision of the moment equations of the kinetic theory of gases.

## 5-ТЕМПЕРАТУРНАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ РЕЛАКСАЦИИ И ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА В СМЕСИ $CO_2 / N_2$

Е.В. Кустова, Л.А. Пузырева

Санкт-Петербургский государственный университет. Россия

В настоящей работе исследовано течение смеси  $CO_2 / N_2$  при условии

$$\tau_{tr} < \tau_{rot} < \tau_{VV_m} \ll \tau_{VV'_{m-k}} \sim \tau_{VT_m} < \tau_{react} \sim \theta, \quad m, k = 1, \dots, 4,$$

где  $\tau_{tr}$ ,  $\tau_{rot}$ ,  $\tau_{VV_m}$ ,  $\tau_{VV'_{m-k}}$ ,  $\tau_{VT_m}$ ,  $\tau_{react}$  - характерные времена релаксации поступательных, вращательных степеней свободы, внутримодового  $VV$  обмена,  $VV'$  обмена колебательными квантами между модами,  $VT$  переходов и химических реакций,  $\theta$  - среднее время изменения макропараметров. В таких условиях в каждой колебательной моде устанавливаются квазистационарные распределения с различными колебательными температурами. При учете ангармоничности колебаний распределения имеют вид обобщенных распределений Тринора с температурами первых колебательных уровней каждой моды.

Выписаны функции распределения нулевого и первого приближений обобщенного метода Энскога-Чепмена; замкнутая система уравнений для макропараметров, состоящая из уравнений для концентраций химических компонентов, уравнений сохранения импульса и полной энергии и дополнительных релаксационных уравнений для средних чисел колебательных квантов; выражения для потоковых членов и коэффициентов переноса. Потоковые члены определены градиентами температуры газа и колебательных температур (температур первого колебательного уровня) молекулярных компонент, давления, концентраций химических компонент.

Построена процедура расчета коэффициентов переноса в 5-температурном приближении для смеси  $CO_2 / N_2$ . В результате все коэффициенты переноса выражены через решения систем линейных алгебраических уравнений, коэффициентами которых являются интегральные скобки от сечений быстрых процессов: упругих столкновений,  $RT$  переходов и внутримодовых  $VV$  обменов в каждой колебательной моде. Интегральные скобки выражены через интегралы упругих столкновений и экспериментально измеряемые величины: времена вращательной и колебательной релаксации.

Проведен расчет коэффициентов переноса как функций температуры газа и температур колебательных мод, оценивается влияние неравновесности на теплоперенос в смеси  $CO_2 / N_2$ .

Работа выполнялась при поддержке INTAS (N 03-51-5204) и программы «Поддержка ведущих научных школ» (НШ-2259.2003.1).

## **5-temperature model of vibrational relaxation and transport processes in the mixture $CO_2 / N_2$**

E.V. Kustova, L.A. Puzyreva

*Saint Petersburg State University, Russia*

In the present paper, the algorithm of the calculation of the transport coefficients in the 5-temperature approach for the mixture  $CO_2 / N_2$  is presented. The zero and first order distribution functions of the generalized Chapman-Enskog method and the closed system for macroscopic parameters are derived.

Calculation of the transport coefficients as functions of the gas temperature and vibrational temperatures of the first level in each mode is performed. The influence of the nonequilibrium on the coefficients of thermal conductivity is estimated.

# **ВЛИЯНИЕ ИНТЕРЦЕПТОРА НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЦИЛИНДРОВ МАЛОГО УДЛИНЕНИЯ**

**И.В. Луценко**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Хорошо известно, что установка интерцептора на цилиндр приводит к существенному снижению лобового сопротивления [1]. В настоящей работе это явление было изучено экспериментально в дозвуковой аэродинамической трубе для цилиндров с удлинением от 1 до 5.

В работе содержатся в виде графиков зависимости коэффициента лобового сопротивления цилиндров с интерцептором и без него при различных скоростях и углах атаки, фотографии визуализации обтекания цилиндра с интерцептором в дымовой трубе. Анализируется влияние удлинения на аэродинамические коэффициенты цилиндров с интерцептором.

1. Белов И.А., Исаев С.А., Коробков В.А. Задачи и методы расчета отрывных течений несжимаемой жидкости. Ленинград, 1989.

## **The effect of interceptor on the aerodynamics coefficients of cylinders of small elongation**

Ivan V. Lushtchenko

*Saint-Petersburg State University, Russia*

It is well known that interceptor mounted on cylinder decreases drag coefficient [1]. In this work such phenomenon was explored by experiment for cylinders of elongation from 1 to 5. Work contents test graphs of aerodynamics coefficients of cylinder with and without interceptor depending on speed and angle of attack, photos of visualization of flow along cylinder with interceptor in smoke pipe and the effect of elongation on the aerodynamics coefficients of cylinder with interceptor is examined.

1. I.A. Belov, S.A. Isaev, V.A. Korobkov, Problems and methods of calculation of incompressible separation flows [in Russian], Leningrad, 19

## **КАЙТИНГ И ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**Р.С. Любимцев, А.Н. Рябинин**

*НИИ математики и механики им. ак. В.И. Смирнова СПбГУ, Россия*

Катание на лыжах на буксире за воздушным змеем (кайтинг) становится все более популярным видом спорта. Один из авторов занимается созданием спортивных кайтов. Выступая на мировых чемпионатах и других соревнованиях высокого уровня с кайтами собственного изготовления он неоднократно занимал призовые места. Опыт эксплуатации кайтов позволил выявить недостатки используемых конструкций. В частности при некоторых режимах полета кайта, не имеющего жесткого каркаса, возможно сминание передней кромки, последующее сворачивание и падение кайта. Одним из способов предсказать нежелательные эффекты и увеличить надежность и эффективность кайта является моделирование движения. Получена система уравнений движения кайта и лыжника (пилота). Система включает уравнение, описывающее действия пилота, который с помощью двух лееров управляет полетом. Создана программа расчета движения, которая позволяет предсказать поведение кайта в различных ситуациях, например при порыве ветра или при преодолении участка рыхлого снега.

### **Kiting and its mathematical simulation**

R.S. Lubimtsev, A.N. Ryabinin

*Smirnov Scientific Research Institute of Mathematics and Mechanics, Saint Petersburg University, Russia*

The motion of the kite and pilot is described with the system of the equations. The system includes the pilot operation equation. Computer program is written for the simulation of the kite motion.

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА ВО ВХОДНОЙ СТУПЕНИ ТУРБОМАШИНЫ**

**А.А. Малинин, Ю.М. Циркунов**

*Балтийский государственный технический университет “Военмех”, Россия*

Рассматривается трансзвуковое течение газа во входной ступени компрессора турбореактивного двигателя современного пассажирского самолета. Ступень состоит из роторного (движущегося) и статорного (неподвижного) венцов. С помощью общепринятых допущений осуществлен переход от трехмерной постановки задачи к двумерной. В качестве математической модели течения используются полные двумерные нестационарные уравнения Навье–Стокса. В численной модели используются блочные подвижные криволинейные сетки, согласованные с границами расчетной области и метод расщепления по физическим процессам для решения исходных уравнений. Расчет “невязкой” части уравнений Навье–Стокса производится по TVD-схеме Хартена. “Вязкие” слагаемые аппроксимируются центральными разностями. На основе результатов численного моделирования течения произведен анализ газодинамической картины течения в системе “роторная решетка–статорная решетка”. В межлопаточных каналах выявлены слабые ударные волны и установлен отрыв пограничного слоя в хвостовой части лопаток роторного венца. Построены распределения коэффициента давления, коэффициента трения и числа Стантона вдоль поверхности лопаток. Данное исследование было выполнено при поддержке РФФИ (код проекта 05-08-50075).

### **Numerical study of an unsteady gas flow in the inlet stage of a turbo-compressor**

**A.A. Malinin, Yu.M. Tsirkunov**

*Baltic State Technical University "Voenmech", Saint Petersburg Russia*

Transonic gas flow in the inlet stage of a turbo-compressor of an aircraft turbo-jet engine is studied. The stage includes a moving rim (rotor) and a stationary rim (stator). The flow is described by the complete Navier–Stokes equations, and the two-dimensional setting of the problem is used. Computational simulation of flow is based on the splitting procedure of physical processes into “inviscid” and “viscous” ones. Moving blocks of structured grids fitted to the boundaries of the calculation domain are used. The fine flow structure was investigated, and the distributions of pressure and friction coefficients and the Stanton number along airfoils have been obtained. This work has been supported by the RFBR through grant No. 05-08-50075.

## **О ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОДЪЕМНОЙ СИЛЫ ПРИ ОБТЕКАНИИ КОНЕЧНОГО КРЫЛА (ЛОПАСТИ ВИНТА)**

**К.В. Мануйлов**

*ОАО НПК "Высокие технологии", Санкт-Петербург, Россия*

Решение задачи об обтекании сплошной средой твёрдого тела, ограниченного алгебраической (механической) поверхностью порядка  $N$ , полученное в результате решения задачи о качении этого тела по плоскости, позволяет определить составляющие силы, действующие на сплошную среду (частицу сплошной среды), обтекающую это тело со стороны тела и наоборот, составляющие силы, действующие на тело в каждой точке его поверхности.

В связи с этим для объяснения механизма возникновения подъемной силы и ее численного определения необходимо и достаточно поместить в поток сплошной среды конечное крыло или лопасть винта под соответствующим углом атаки и найти значения трех составляющих ускорения во всех точках — верхней и нижней, по отношению к плоскости симметрии, частях поверхности, ограничивающей крыло, или же на подветренной и наветренной сторонах лопасти.

Проинтегрировав их по площади крыла и сложив, получим его подъемную силу.

Такое интегрирование можно произвести численно, если неизвестно аналитическое выражение поверхности ограничивающей крыло (лопасть).

### **On the origin of aerodynamic lift in the airflow near the finite aircraft wing (propeller blade)**

**K.V. Manuylov**

*OAO NPK "High Technologies", Saint Petersburg, Russia*

An analytical description of the mechanism explaining the origin of aerodynamic lift due to airflow of aircraft wing (propeller blade) is given in this study. Method of numerical solution of the problem is given as well.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИЙ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА**

**С.К. Матвеев, А.Г. Морозов**

*Санкт-Петербургский государственный университет. Россия*

Рассматривается разделение фракций сыпучего материала, подаваемого сверху в ступенчатый канал прямоугольного сечения. Снизу в канал подается воздух, который взвешивает и уносит вверх мелкие частицы, в то время как крупные частицы ссыпаются вниз. Поскольку концентрация частиц может быть значительной, необходимо одновременное моделирование взаимозависимых движений воздуха и дисперсной среды.

Дисперсная среда представляется, как совокупность фракций с разными размерами сферических частиц. Частицы не дробятся и не слипаются, и потому массообмен между компонентами смеси отсутствует. Движение считается изотермическим со скоростями много меньшими скорости звука, поэтому воздух считается малосжимаемым, а уравнения энергии исключаются из анализа.

Учитывается возможность образования зон с плотной упаковкой частиц. Уравнения напряженного состояния дисперсной среды в плотной упаковке не используются, но на уровне конечно-разностного алгоритма формулируется некоторое правило “запрещения движения в сторону плотной упаковки”.

Расчет производился для 3-х компонентной смеси. Анализ расчета показывает, что предложенная математическая модель правильно в качественном отношении описывает основные закономерности движения полидисперсной смеси. Замечено сильное влияние фракций друг на друга за счет межфракционного взаимодействия, а также кардинальное перестроение течения воздуха в зонах с большой концентрацией частиц.

Работа выполнена при поддержке гранта НШ-2259.2003.1.

### **Mathematical modelling of fractions separation in a loose material**

**S.K. Matveev, A.G. Morozov**

*Saint Petersburg State University, Russia*

Separation of fractions in a loose material in the step channel of rectangular cross-section is considered. Air flows into the channel from below. It carries fine particles upward, whereas large particles are poured downwards. The possibility of formation of high-density packaging of particles is taken into account. The equations of stress state of dispersive medium are not used, but in the numerical algorithm the rule of "prohibitions of movement towards high-density packaging" is assumed.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЛАКСАЦИИ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ МОЛЕКУЛ В ОДНОРОДНОМ ГАЗЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ГЕНЕРАТОРОВ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

**В.П. Мемнонов**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

Статистические методы Монте-Карло широко применяются для численного моделирования различных задач в науке и технике. Важной, частью этих методов является интенсивное использование псевдослучайных последовательностей для моделирования различных статистических распределений и исходов событий. Обычно эти последовательности вырабатываются специальными компьютерными программами, генераторами случайных чисел. Поэтому они являются только некоторыми приближениями к последовательностям настоящих случайных чисел. Степень этого приближения проверяется с помощью различных тестов. Но необходимы также и специальные проверки путем решения типичных задач, допускающих независимую оценку результатов с помощью аналитических или численных методов. Именно с этой целью в докладе рассматривается задача о релаксации вращательной энергии молекул из первоначального неравновесного состояния посредством межмолекулярных столкновений, для расчета которых интенсивно используются псевдослучайные последовательности испытываемых генераторов. Конкретно рассматриваются молекулы, равномерно распределенные в объеме с зеркально отражающими стенками и имеющие только поступательные и вращательные степени свободы. Причем в начальный момент создается неравновесное состояние системы, когда вся энергия сосредоточена только на поступательных степенях свободы. В конечном состоянии молекулы должны иметь распределение Больцмана для всех степеней свободы. Отклонения поступательной и вращательной температур между собой и от известного теоретического значения в равновесии могут существовать, но при идеальных генераторах это возможно только вследствие ограниченного размера статистической выборки  $N$ . Такие отклонения оцениваются известным выражением  $r_N$  для ошибок методов Монте-Карло:  $r_N = x(D(T)/N)^{1/2}$ , где  $D(T)$  – дисперсия, равная для распределения Больцмана  $T^2$ ,  $N$  – величина выборки, а параметр  $x$  был взят равным 3, соответствуя коэффициенту доверия 0.997. Поэтому, если в результате релаксации со статистической выборкой  $N$  получаются отклонения, например, вращательной температуры  $\delta T_r$ , больше чем  $r_N$ , то это значит, что испытываемый генератор с вероятностью 0.997 нехорош. Для расчета вращательной релаксации использовалась модель Ларсена – Боргнаике, уже применявшаяся для этой цели Бердом. Выполнив распараллеливание его последовательной программы, был получен удобный инструмент испытания генераторов для параллельных вычислений.

Тестировались линейные мультипликативные генераторы вида  $Z_{i+1}=A*Z_i$  (*modulo M*) с различными множителями  $A$ , и начальными значениями  $Z_0$ . В докладе приводятся результаты тестирования генераторов и рекомендации по их использованию для последовательных и параллельных вычислений.

### **Testing of random number generators via numerical simulation of rotational energy relaxation in a homogeneous gas**

V.P. Memnonov  
*Saint Petersburg State University, Russia*

The approximation of pseudorandom sequences produced by random number generators to the true random sequences is studied in the paper by numerical simulation of a problem with exact solution - energy redistribution from an initially nonequilibrium state between translation and rotational degrees of freedom for molecules via their collisions in a homogeneous gas. Several multiplicative linear congruential generators with different multipliers were tested being especially intended for parallel computations

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МОМЕНТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ РАССЕЯНИЯ АТОМОВ ГАЗА ПОВЕРХНОСТЬЮ

**Р. Н. Мирошин**

*НИИ математики и механики им. ак. В.И. Смирнова СПбГУ, Россия*

Метод моментов зародился в конце XIX века в трудах математиков Петербургской школы (П. Л. Чебышов, А. М. Ляпунов, А. А. Марков и др.) и снискал славу "чуда анализа". В докладе кратко излагается сам метод (для функций одномерного аргумента) и перечисляются задачи, которые можно решить с его помощью [1]. Для функций многомерного аргумента математическая теория находится в зачаточном состоянии. Мы показываем, как многомерный случай можно свести к одномерному, если использовать метод разделения переменных. Эта процедура демонстрируется при построении самых простых моделей функции рассеяния атомов газа поверхностью по коэффициентам обмена, а именно, лучевых моделей (когда лучи подлета и вылета лежат в одной плоскости с нормалью к поверхности в точке удара и с вероятностью единица атом вылетает в одном определенном направлении)[2] и на некоторых других [3]. Построенные модели обладают интересными экстремальными свойствами.

## Литература

1. Мирошин Р. Н. Случайные процессы и поля (учебное пособие). СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 2003. 284 с.
2. Мирошин Р. Н. О лучевой модели взаимодействия атомов разреженного газа с поверхностью // Вестн. С.-Петербург. ун - та. Сер. 1. 1997. Вып. 4. № 22). С. 74-79.
3. Мирошин Р. Н. О построении моделей функции рассеяния атомов газа поверхностью по коэффициентам обмена // Аэродинамика: Сб. статей / Под ред. Р. Н. Мирошина. - СПб.: ВВМ, 2004. С. 114-125.

## Application of the moment method to the modelling of gas-surface interaction function

R.N. Miroshin

*Smirnov Scientific Research Institute of Mathematics and Mechanics, Saint Petersburg University, Russia*

It is derived the gas-surface interaction function with both change division method and moments one while the exchange coefficients being known.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВИХРЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ К РАСЧЕТУ ПОЛЯ СКОРОСТИ И ФОРМЫ ВИХРЕВЫХ ПЕЛЕН ЗА РАБОТАЮЩИМ ГРЕБНЫМ ВИНТОМ**

**Л.А. Мухина, А.Ю. Яковлев**

*ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, Санкт-Петербург, Россия*

При расчете современных движительных комплексов возникает необходимость численной оценки поля скорости в следе за работающим гребным винтом (ГВ). Подобная задача требует с одной стороны – разработки теоретических положений и алгоритмов расчета скорости вблизи поверхности вихревых пелен, сходящих с лопастей ГВ, а с другой стороны – определения реальной формы этих пелен, которая, как показывают исследования, отличается от принятой в большинстве расчетных схем правильной геликоидальной поверхности. В данной работе для расчета гидродинамических характеристик ГВ используется метод несущей поверхности. Вычислительные трудности, связанные с возможностью появления бесконечно больших скоростей в точках вблизи поверхности вихревых пелен, решены путем введения специальных асимптотик. Форма вихревых пелен определяется в процессе последовательных приближений. На каждом шаге этого процесса форма вихревой пелены выбирается таким образом, чтобы составляющие ее вихревые частицы переносились по направлению потока. Это направление определяется с учетом скоростей, создаваемых вихревой пеленой, построенной на предшествующем шаге итерационного процесса. Достоверность оценки скоростей в следе ГВ подтверждена сопоставлением с экспериментальными данными. Показано, что учет формы вихревых пелен позволяет повысить точность оценки скоростей. Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант № МК-2675.2004.8).

### **Calculation of velocity field and vortex sheets shape in propeller wake by the vortex surfaces theory**

**Liudmila A.Moukhina, Aleksey Yu.Yakovlev**

*Krylov Central Scientific Research Institute, Saint Petersburg, Russia*

It is important to compute velocity field in propeller wake on modern propulsors. There are two parts of the subject: calculation of velocity near the vortex sheets behind the blades and determination of vortex sheet distortion. The lifting surface theory is applied to calculate propeller characteristics. The asymptotic formulas are supplied to calculate velocity near the vortex sheets. The vortex sheets shape is determined by iteration way. It is supposed there are no lifting forces on the vortex sheets at each step. The calculation result correlates with experimental data well. The reported research was carried out with financial support from the Russian Federation Presidential Grant Council (Grant No.МК-2675.2004.8).

## **О РЕЛАКСАЦИИ НАЧАЛЬНЫХ НЕРАВНОВЕСНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ В ДИССОЦИИРУЮЩЕМ ДВУХАТОМНОМ ГАЗЕ**

**Е.А. Нагнибеда, К.А. Новиков**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В работе изучается поуровневая колебательная и диссоционная кинетика в бинарных смесях молекул и атомов. Несмотря на то, что этой важной проблеме в последние годы уделялось большое внимание (см. библиографию в [1], Гл.2,6), некоторые ее аспекты оставались недостаточно изученными до настоящего времени. Рассмотрению ряда таких эффектов посвящена данная работа.

На основе численного решения системы уравнений детальной поуровневой колебательной кинетики, диссоциации и рекомбинации показано влияние многоквантовых переходов энергии, начальной колебательной неравновесности и состава смеси на характер распределений, температуру газа и скорость релаксации.

Также дана оценка влияния диссоциации и рекомбинации на колебательную кинетику при разных начальных распределениях.

Результаты показали важную роль многоквантовых переходов колебательной энергии при столкновениях молекул с атомами. Учет только одноквантовых переходов может привести к заметным ошибкам при вычислении заселенностей колебательных уровней и температуры газа.

Работа выполнена при поддержке INTAS (03-51-5204) и НТП “Поддержка научных ведущих школ” (НШ - 2259.2003.1)

1. *Е.А.Нагнибеда, Е.В.Кустова. Кинетическая теория процессов переноса и релаксации в потоках неравновесных реагирующих газов. // Издательство СПбГУ 2003, 669 с.*

### **On the relaxation of initial nonequilibrium vibrational distributions in a dissociating diatomic gas**

E.A. Nagnibeda, K.A. Novikov.

*Saint-Petersburg State University, Russia*

Some aspects of vibration–dissociation–recombination kinetics in binary mixtures of molecules and atoms are studied on the basis of a numerical solution of the equations for state-to-state distributions. The influence of multi-level jumps, initial vibrational nonequilibrium and mixture composition on vibrational level populations, gas temperature and relaxation time is demonstrated. The impact of dissociation and recombination on the vibrational kinetics is estimated for different initial conditions

## КОЭФФИЦИЕНТЫ СКОРОСТИ ДИССОЦИАЦИИ В ДВУХТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗАХ

**Е.А. Нагнибеда, К.А. Сеницын, С.С. Базылевич**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В работе исследуются коэффициенты скоростей диссоциации в двухатомных газах на основе квазистационарных колебательных распределений [1]. Расчеты проводились для пяти газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ) на основе нескольких распределений (термически равновесного, неравновесного больцмановского распределения гармонических осцилляторов, триноровского распределения ангармонических осцилляторов и сильнонеравновесного составного распределения, обобщающего распределение Тринора). При этом использовались разные модели для поуровневых коэффициентов скорости диссоциации. Приведены результаты большого числа расчетов и дан анализ температурной зависимости неравновесного фактора, представляющего собой отношение коэффициентов скорости диссоциации в неравновесном и термически равновесном газах. Показано сильное влияние колебательного возбуждения и характера колебательных распределений на скорость диссоциации и неравновесный фактор. Отмечается возможность диссоциации в сильно возбужденном газе даже при невысоких температурах и немонотонная зависимость коэффициента скорости диссоциации от температуры газа. Обсуждается сравнение результатов, полученных для разных газов.

Работа выполнена при поддержке НТП "Поддержка ведущих научных школ" (НШ-2259.2003.1) и INTAS (N 03-51-5204).

1. *Е.А. Нагнибеда, Е.В. Кустова. Кинетическая теория процессов переноса и релаксации в потоках неравновесных реагирующих газов / СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003.*

### **Dissociation rate coefficients in multi-temperature gases**

**E.A. Nagnibeda, K.A. Sinitsyn, S.S. Bazilevich**

*Saint-Petersburg State University, Russia*

Averaged dissociation rate coefficients and non-equilibrium factors have been calculated for five gases ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ) using different models of non-equilibrium distributions. The influence of different vibrational distributions, anharmonism of molecular vibrations and various models of dissociation on reaction rates and non-equilibrium factor is shown.

Comparison of results obtained for different gases is discussed.

## **ВЯЗКОСТЬ КРОВИ КАК НЕНЬЮТОНОВСКОЙ СРЕДЫ**

**С.С. Нагорный, В.А. Цибаров, С.В. Цой**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Проблема реологии крови до сих пор не решена. В медицинской литературе кровь часто рассматривается как ньютоновская среда. В гемодинамике используется и модель Кэссона. В [1] предлагается считать кровь степенной неньютоновской жидкостью. Последнее более предпочтительно, т.к. кровь является концентрированной гидровзвесью.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния концентрации и безразмерного момента инерции на показатель степени в степенной модели крови. При этом привлекаются экспериментальные данные из [1]. Исследования базируются на стохастических моделях, предложенных в [2–4], и выражении для эффективной вязкости степной жидкости, полученном в [5].

### **Литература**

1. Левтов В.А., Регирер С.А., Шадрин Н.Х. Реология крови. М.: Медицина, 1982. 272 с.
2. Цибаров В.А. Кинетический метод в теории газозвесей. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1997. 192 с.
3. Цибаров В.А. Кинетика и гидродинамика крови. I // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 1. 1997. Вып. 4. (№ 22). С. 101–107.
4. Цибаров В.А. Стохастические законы сохранения в теории неньютоновских сред // Аэродинамика / Под ред. Р.Н. Мирошина. СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2000. С. 93–119.
5. Фомина О.Н., Цибаров В.А. Гемодинамика отрезка сосуда // Вторые Поляховские чтения: Избранные труды. СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2000. С. 179–189.

### **Blood Viscosity as Non-Newton Medium**

S.S. Nagorni, V.A. Tsibarov, S.V. Tsoy

*Saint Petersburg State University, Russia*

The dependence of power (on the power-viscosity model) from the moment of inertia and from hemoglobin concentration is researched.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛОСКИХ ДЛИННЫХ ВОЛН В КАНАЛЕ ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНЫ

С.И. Перегудин, С.Е. Холодова

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

В статье представлена математическая модель, описывающая процесс распространения двумерных длинных волн на поверхности скачка плотности в канале с деформируемым основанием.

Дно естественных акваторий не всегда твердо и недеформируемо. Если это смесь, состоящая из песка, глины, или гравия, дно представляет собой сложную трехмерную поверхность, на которой под воздействием потока жидкости образуются волнообразные наносы. Аналогичную картину можно наблюдать и в канале, на изначально ровное дно которого с течением времени оседают частицы органического и неорганического происхождения, в результате чего образуется изменяющийся донный слой.

Рассмотрим в вертикальной плоскости  $Ox_1z_1$  трехслойную среду — два слоя однородной несжимаемой идеальной жидкости, слой грунта. Жидкость ограничена сверху твердой крышкой  $z_1 = H_2^* + \eta_2^*(x_1)$ , снизу — поверхностью раздела нижний слой-грунт  $z_1 = -H_0^* + \eta^*(t_1, x_1)$ . Горизонтальная ось совпадает с невозмущенной поверхностью жидких слоев  $z_1 = \eta_1^*(t_1, x_1)$ , ось  $z_1$  направлена вертикально вверх. Уравнения, описывающие данную математическую модель, имеют вид [1]

$$\begin{aligned} \varphi_{jx_1x_1}^* + \varphi_{jz_1z_1}^* &= 0, \\ \eta_{2x_1}^* \varphi_{2x_1}^* &= \varphi_{2z_1}^*, \quad p_2^* = p_0^*, \quad z_1 = H_2^* + \eta_2^*(x_1), \\ \eta_{1x_1}^* + \eta_{1x_1}^* \varphi_{jx_1}^* &= \varphi_{jz_1}^*, \quad p_1^* = p_2^*, \quad z_1 = \eta_1^*(t_1, x_1), \\ \eta_{x_1}^* + \eta_{x_1}^* \varphi_{1x_1}^* &= \varphi_{1z_1}^*, \quad \eta_{t_1}^* + Q_{x_1}^* = 0, \quad z_1 = -H_0^* + \eta^*(t_1, x_1), \end{aligned}$$

здесь  $\varphi_j^*$  — потенциал скорости,  $Q^*(t_1, x_1)$  — расход донного вещества через поперечное сечение донного слоя. Если данную задачу решать, используя преобразования теории длинных гравитационных волн, можно получить ряд краевых задач, а именно, задачу о распространении волн малой амплитуды без учета и с учетом дисперсии, задачу о распространении нелинейных волн в приближении Кортевега-де Вриза.

## Используемая литература

1. Перегудин С.И. *Длинные волны в неоднородной жидкости над деформируемым дном.* // Математическое моделирование. 2005, Т. 17, № 4, С. 3-9.

## **Modeling of process of propagation plane long waves in the channel with variable depth**

S.I. Peregudin, S.E. Kholodova  
*Saint Petersburg State University, Russia*

This article presents the mathematical model of the process of propagation two-dimension long waves in the jump density surface in the channel with a deformable bottom.

## **СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОЙ КОНДЕНСИРУЮЩЕЙ ГАЗОВЗВЕСИ**

**Д.А. Петров, В.А. Цибаров**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Математическое моделирование трехфазных взвешенных сред актуально для ряда задач химической технологии, при решении экономических проблем, а также при исследовании природных явлений, таких, например, как торнадо. В настоящей работе рассматривается трехфазная среда (влажный воздух, капли воды, твердые взвешенные макроскопические частицы). На основе уравнений стохастической теории газовзвесей [1] выписываются кинетические уравнения для фаз. Учитываются процессы испарения и конденсации. На основе стохастической модели выписываются макроскопические уравнения переноса. Выводятся замыкающие соотношения с использованием наиболее общего вида равновесной функции распределения, приведенного в [2].

1. Цибаров В.А. Кинетический метод в теории газовзвесей. СПб., 1997. 192 с.
2. Цибаров В.А. Модель сред с особыми свойствами // *Аэродинамика* / под ред. Р.Н. Мирошина. СПб, 2004. С 83 – 113.

### **The stochastic model of three-phase condensing dusty gas**

**D.A. Petrov, V.A. Tsibarov**

*Saint Petersburg State University, Russia*

The three-phase medium (air with water vapor, water droplets, solid particles) is considered. The kinetic equations of phases, based on stochastic theory of dusty gas, are written. The processes of evaporation and condensation are taken into account. The macroscopic translational equations, based on kinetic equations, are constructed. Enclosing expressions is derived.

# **МЕХАНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И ЛИНЕЙНО-АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ ПРЯМОГО ТЕНЗОРНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ.**

**М.Е. Подольский**

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
Россия*

Представлены некоторые результаты исследований по разработке методологии тензорного исчисления, максимально доступной широкому кругу специалистов. В основу соответствующих определений и понятий положена теория напряженного состояния.

Рассмотрены диады, тензоры, операции суммирования диад, тензорного умножения векторов, скалярного умножения вектора на тензор и др.

Легко выясняется, что формально математически тензор может быть определен как сумма базисных диад с соответствующими скалярными коэффициентами, а с физической точки зрения он представляет собой совокупность векторов напряжений в точке.

Даны примеры приложений к задачам гидроаэромеханики, а также к задачам механики абсолютно твердого тела и теории упругости.

Помимо анализа, выполненного на основе физических подходов, исследован, с позиций линейной алгебры, общий случай построения тензоров второго ранга в  $n$ -мерных пространствах. В частности, показано, что множество тензоров образует линейное пространство, и получены необходимые и достаточные условия независимости диад от порядка сомножителей.

## **Mechanical interpretation and linear-algebraic analysis of the main direct tensor calculus notions**

M.Ye. Podolsky

*Saint Petersburg State Marine Technical University, Russia*

Some results of investigations on the problem of working out the tensor calculus version, which can be accessible for wide range of specialists, are represented. As the base of corresponding definitions and notions the theory of stress state was used.

Besides of physical way mentioned above the solutions based on linear algebra methods were obtained.

## **ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННОЙ ПРЕЦЕССИИ РОТОРА В КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ**

**М.Е. Подольский\*, Т.О. Назарикова\*\***

*\*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет*

*\*\*ОАО “Невский завод”, Санкт-Петербург, Россия*

В связи с необходимостью создания быстроходных роторных машин все большую актуальность приобретает поиск путей подавления так называемых масляных вибрации, которые возникают под действием гидродинамических сил, развивающихся в зазорах подшипников скольжения.

Рассматривается один из аспектов этой проблемы – изучение вибраций статически неуравновешенного ротора, «плавающего» на масляной пленке в подшипнике с круглоцилиндрической расточкой. С учетом результатов, полученных в ранее выполненных работах, решение гидродинамической части задачи проводилось с помощью уравнений, аналогичных уравнениям нестационарного пограничного слоя с отброшенными конвективными членами, а поле давлений представлялось в виде суммы квазистатической и инерционной составляющих.

Для случая сплошного заполнения зазора смазкой получены аналитические выражения для гидродинамической реакции и составлены уравнения движения ротора. Найдено простое решение этих уравнений и выполнено его исследование на устойчивость. Оказалось, что с ростом дебаланса устойчивость синхронной прецессии возрастает. При этом локальные силы инерции играют принципиальную роль.

### **Influence of hydrodynamical forces on the stability of synchronous precession of rotors in slide bearings**

**M.Ye. Podolsky\*, T.O. Nazarikova\*\***

*\*Saint Petersburg State Marine Technical University, Russia*

*\*\*“Nevsky Zavod” Ltd, Saint Petersburg, Russia*

Investigation of hydrodynamical forces in nonstationary thin viscous films was fulfilled. Local inertia forces were taking into account. The equations for rotor motion under centrifugal force action were obtained, and their solution was found. It's shown that the stability of synchronous precession increases with the increase of unbalanced mass, and the role of local inertia forces is essential.

## **ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИИ НА ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ СПЛОШНЫХ СРЕД**

**Э.В. Прозорова**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В предыдущих работах были выведены уравнения механики сплошной среды с учетом изменения момента количества движения в элементарном объеме. Рассматривались бесструктурные частицы. Ранее полученные из модифицированного уравнения Больцмана модифицированные уравнения движения и неразрывности дополнены уравнением сохранения энергии. Обосновывается необходимость построения уравнения момента количества движения для структурных частиц. Предложен вид нестационарного оператора и даны примеры решения простейших задач для малых времен. В теории упругости также обычно изменением касательных напряжений внутри элементарного объема пренебрегают. При значительных градиентах напряжений внутри элементарного объема возникает момент, приводящий к его кручению. Величина момента пропорциональна градиенту касательного напряжения. Изменение момента приводит к дополнительной силе, которую необходимо учитывать. На примере задачи о кручении и изгибе проведен анализ роли дополнительных слагаемых. Представляется вероятным, что ответственность за то, что критериями напряженности, отвечающими за зарождение трещин в хрупких материалах, является момент. Основой теоретического анализа прикладных задач обработки металлов давлением является задача Прандтля о сжатии слоя из идеального жесткопластического материала шероховатыми плитами. Рассматривается аналитическое асимптотическое решение модифицированной задачи о сдавливании слоя толщиной  $2r$  шероховатыми плитами для плоского случая.

### **Influence of the dispersion on the conservation equations in continuous in mechanics**

E.V. Prozorova

*Saint Petersburg State University, Russia*

The principle difference between ours and classical equations for the description of the continuous mechanics consists in consideration of the angular momentum variation in an elementary volume, as usually it is disregarded. The main attention will be given to interaction of nonstationary and dispersion effects in the laminar boundary layer for classical equation of density and classical nonstationary operator. Such problem as compression of ideal hard plastic (the Prandtl problem) will be considered.

## О СТРУКТУРЕ СИЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

**А.А. Райнес**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Консервативный метод дискретных ординат (проекционный метод) для простого газа [1] был обобщен для бинарной смеси газов и для случая цилиндрической симметрии в импульсном пространстве [2]. Консервативность обеспечивается без ограничения на допустимые значения переменных интегрирования (для всевозможных столкновений). Первоначально метод был опробован на задаче о структуре ударной волны в двухкомпонентной смеси газов, состоящей из твердых упругих сфер. Задача решалась методом установления на базе процедуры расщепления. Интегралы столкновений вычислялись с помощью модифицированного алгоритма, основанного на включении “обратных столкновений”. В качестве узлов интегрирования использовались сетки Н. М. Коробова. Переходный режим от состояния вверх по течению до состояния вниз по течению представлен с помощью как функции распределения, так и ее моментов. Точность вычислений и сходимость по внутренним параметрам задачи при вычислении интегралов столкновений были изучены для  $M=1.5, 2, 3$ , для отношения масс  $m_2/m_1=0.1, 0.25, 0.5$  и концентраций  $\chi_{2-}=0.07, 0.1, 0.5, 0.9, 0.95, 0.999$  (приведена концентрация второго компонента). Точность вычислений равна  $10^{-2}-10^{-3}$ . Метод позволяет получать результаты на грубых сетках, которые хорошо согласуются с более подробными результатами. Проводилось сравнение полученных результатов с результатами [3] и экспериментом. Наблюдалось хорошее согласие. В настоящее время возник интерес к рассмотрению ударных волн при больших числах Маха [4]. В данной работе рассматривалась задача об ударной волне для простого газа, состоящего из твердых упругих сфер для чисел Маха  $M=4, 8, 12, 15, 20, 25$ . Используется код из [2] для простого газа, т.е. программа для смеси, работающая как один газ. Исследуется поведение функции распределения, плотности, скорости, температуры (продольной, поперечной, суммарной) и их соотношение для различных чисел Маха. Наблюдаются сильные ударные волны. В дальнейшем представляет интерес перенести это исследование на смесь газов, включая рассмотрение реальных газов.

### Литература

1. Черемисин Ф.Г. Консервативный метод вычисления интеграла столкновений Больцмана. // Докл. РАН. 1997. Т.357. No.1. С.53-56.
2. Райнес. А.А. Метод решения уравнения Больцмана для смеси газов в случае цилиндрической симметрии в пространстве скоростей // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 2002. Т.42. No.8. С.53-56.

3. Kosuge S., Aoki K., Takata S. Shock wave structure for a binary gas mixture finite-difference analysis of the Boltzmann equation for hard-sphere molecules // *European J.Mech.B.Fluids*. 2001. V.20. No.1. P.87-126.
4. Cercignani C., Frezotti A., Grosfils P. The structure of an infinitely strong shock wave // *Physics of fluids*.V.1.No.9.P.2767-2764

### **On the structure of strong shock waves**

A.A. Raines

*Saint Petersburg State University, Russia*

The structure of a shock wave propagating through a hard-sphere gas is obtained by the discrete ordinate method for the Boltzmann equation, in the limit of infinitely large Mach number. The transition from upstream to downstream uniform state is presented by macroscopic values and by distribution function.

## **МЕХАНИЗМЫ РЕЛАКСАЦИИ И ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА НАНОЧАСТИЦ В ГАЗАХ И ЖИДКОСТЯХ**

**В.Я. Рудяк**

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,  
Россия*

В данной работе рассмотрены механизмы релаксации наночастиц в газах и жидкостях. Показано, что эти механизмы существенно отличны от соответствующих механизмов и обычных молекул, и броуновских частиц. Такие специфические механизмы релаксации обуславливают и необычные свойства переноса наночастиц. В частности, (i) исследована диффузия наночастиц в разреженных и плотных газах и в жидкостях; (ii) показано, что традиционные методы измерения размеров наночастиц и коэффициентов диффузии, в которых для интерпретации экспериментальных данных используется известная корреляция Милликена–Дэвиса, приводит к систематическим ошибкам; (iii) установлено, что в отличие броуновских частиц, коэффициент диффузии наночастиц существенно зависит от температуры; (iv) показано, что добавление наночастиц в разреженный газ может, как увеличивать, так и уменьшать его вязкость; (v) впервые приводятся данные о силах, действующих на наночастицу в газах и жидкостях.

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ (грант № 04-01-00106) и гранта Президента РФ поддержки ведущих научных школ (проект № НШ-964.2003.1).

### **Relaxation mechanisms and transport processes of nanoparticles in gases and liquids**

V.Ya. Rudyak

*Novosibirsk State University of Civil Engineering and Architecture, Russia*

The present paper is devoted to the analysis of relaxation mechanisms and transport processes of nanoparticles in gases and liquids. In particular, we considered (i) diffusion of nanoparticles in rarefied and dense gases and in liquids, (ii) effective viscosity of rarefied gas nanosuspensions (gas+solid nanoparticles), (iii) relaxation mechanisms of nanoparticles in the condensed media, (iv) the average force acting on a nanoparticle.

## **СКОРОСТЬ ЗВУКА И КОЭФФИЦИЕНТ ОБЪЕМНОЙ ВЯЗКОСТИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ДВУХАТОМНОМ ГАЗЕ**

**М.А. Рыдалевская, О.Я. Скиба**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

Рассматриваются слабо неравновесные течения двухатомных газов из гомоядерных молекул. Исследуются связи между коэффициентом объемной вязкости и скоростью звука и влияние на эти параметры внутренних степеней свободы молекул, процессов рекомбинации и диссоциации.

## **The sound velocity and the volume viscosity coefficient in a high-temperature diatomic gas**

**M.A. Rydalevskaya, O.Ya. Skiba**

*Saint Petersburg State University, Russia*

The weakly non-equilibrium flows of the diatomic gases of homonuclear molecules are considered. The relations between the rate of volume viscosity and the sound velocity and the influence of molecules' degrees-of-freedom on these parameters are investigated.

## РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЛАМИНАРНО-ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕХОДА

**М.Е. Рябков**

*ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, Санкт-Петербург, Россия*

Формализована вероятностно-волновая модель ламинарно-турбулентного перехода. Аналитические спектры турбулентности получены в форме второго начального момента двумерной функции плотности распределения вероятности текущих значений размахов и длин волн колебаний. Двухслойная модель пограничного слоя подчиняется  $\chi$ -распределению параметров случайных нормальных процессов с  $n$  степенями свободы, обобщающему законы Гаусса и Релея для  $n=1$  и  $n=2$ , соответственно. Число степеней свободы колебаний в зоне перемежаемости для плоской волны Толмина-Шлихтинга равно  $n=2$ , а для трехмерных волн или вихрей Бенни-Линя в резонансной области  $n=4$ . Решение нелинейного дифференциального уравнения общего вида с помощью двойных рядов Фурье-Маклорена включает «скрытую переменную» - начальную фазу возмущения. Анализ решения позволяет установить связь между спектральными характеристиками турбулентности с флуктуирующей фазой и начальными условиями возмущения потока с фиксированным значением фаз. Прием обращения причинно-следственных зависимостей и использование  $\zeta$ -функций Римана обеспечивает достаточную точность расчета параметров потока без решения прямой гидромеханической задачи и привлечения эмпирических соотношений. Экспериментальные спектры колебаний скорости, полученные с помощью лазерного доплеровского анемометра на модели тела вращения в опытовом бассейне, хорошо согласуются с данными теории.

### **On the solution of an inverse problem of laminar-turbulent transition**

**M.E. Ryabkov**

*Krylov Central Scientific Research Institute, Saint Petersburg, Russia*

The probabilistic-wave model of two-layer turbulent boundary layer is formalized. Physical turbulence model generalizes data of known experiments in different conditions. Mathematical model is built on methods probabilistic theory of random nonlinear fluctuations. Such approach has ensured sufficient accuracy of calculation of all necessary parameters of flow in the area of transition without attraction of some additional empirical data. The experimental spectra of turbulence, received in the towing tank, correlates well with theory data.

## КОНТАКТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ СЛАБОГО РАЗРЫВА И ВИХРИ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОВОЙ СТРУИ

**В.Д. Серова**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

В работе автора, опубликованной в ДАН [1], было показано, что при наличии осевой симметрии только в случае постоянной вдоль геодезической линии  $l$  скорости движения  $v_n$  контактной поверхности слабого разрыва возможно безвихревое движение частиц, составляющих эту поверхность. В противном случае движение частиц контактной поверхности вихревое с завихренностью, равной удвоенному значению производной  $\frac{\partial v_n}{\partial l}$  в

соответствующей точке поверхности. Там же была получена зависимость кривизны геодезической линии  $l$  от величины касательной к поверхности составляющей скорости и завихренности частицы, находящейся в этой точке. В работах [3-6] рассматривались отдельные частные случаи приложения указанных выше зависимостей и отмечено качественное совпадение результатов с экспериментом [6].

В настоящем докладе представлен важный для практики пример поведения контактной поверхности слабого разрыва при отрывном течении на начальной стадии формирования газовой струи. Для осесимметричного нестационарного движения сжимаемой жидкости доказана теорема, основанная на результатах работ автора [1,2], позволяющая определять форму траекторий частиц поверхности слабого контактного разрыва. Эта теорема используется для определения формы начального участка контактной поверхности вблизи кромки трубы при выходе ударной волны из круглой трубы.

Кроме того, здесь же приводятся результаты математического обоснования найденных в предыдущих работах автора приближенных решений нелинейных задач, возможность сведения их решения к решению линейных задач.

### **Литература:**

1. Серова В.Д. // Докл. РАН. 1996. т. 350. N1. С. 49-51.
2. Серова В.Д. // Вестн. ЛГУ. 1988. сер. 1. В. 1. N1. С. 42-46.
3. Серова В.Д. // Вестн. ЛГУ. 1979. сер. 1. В. 4. N1. С. 88-94.
4. Серова В.Д. Опыт применения метода Годунова с подвижными и неподвижными сетками к расчету начальной стадии формирования струи. Л., 1975. 50 с. - Деп. в ВИНТИ. 25.02.75. N 1914--75.
5. Серова В.Д. // Вестн. ЛГУ. 1991. сер. 1. В. 2. N8. С. 104-109.
6. Серова В.Д. // Теплофизика высоких температур. 2001. т. 39. N6. С. 939-943.

## **Weak Contact-Discontinuities and Vortices at the Initial Stage of a Gas-Jet Shape**

V.D. Serova

*Saint Petersburg State University, Russia*

This paper deals with a form of the weak contact- discontinuities at the initial stage of a gas jet. The proof of the theorem on a form of the trajectory of weak contact-discontinuities particles was constructed.

## **КВАЗИАКУСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ОТРАЖЕНИЯ ВЗРЫВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ОТ МНОГОСЛОЙНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

**М.В. Сильников, А.И. Михайлин, М.В. Чернышов**

*ЗАО «НПО Специальных материалов», Санкт-Петербург, Россия*

Защита сапера от воздействия взрывной ударной волны – актуальная научно-техническая проблема. Современные бронекостюмы достаточно успешно обеспечивают защиту человека от осколочного и теплового воздействия взрыва. Однако защита от фугасного действия (избыточного давления и импульса взрывной ударной волны) является явно недостаточной. Известно, что структуры из пористых материалов и слоев баллистической ткани способны скорее увеличивать, чем уменьшать амплитуду ударной волны. Возникает вопрос о подборе защитной структуры, ослабляющей взрывные ударные волны, и о достоверном описании ее взаимодействия с ударной волной.

В данной работе предлагается простая качественная модель отражения ударной волны от многослойного покрытия, в основе которой лежат уравнения линейной акустики. Ударная волна рассматривается как слабое возмущение с треугольным профилем избыточного давления, характерным для наземного взрыва. Результаты ее отражения и преломления на границе двух сред зависят от отношения их акустических сопротивлений. Для анализа численных результатов также сопоставляются акустические сопротивления слоев защитной структуры. Согласно модели, покрытия с многочисленными переходами от более высоких к более низким акустическим сопротивлениям материалов эффективно уменьшают амплитуду проходящей ударной волны. Расположение слоев с различным сопротивлением должно быть оптимизировано. К примеру, неудачный выбор чередования слоев металла и пенопласта может увеличить пиковое давление на защищаемой поверхности на 67%, а успешное использование шестислойного покрытия той же суммарной толщины – уменьшить на 14%. Уточнение данной модели требует экспериментальных исследований и учета пластических деформаций.

### **Quasi-acoustical model for the analysis of blast shock wave reflection from a multi-layer surface**

**M.V. Silnikov, A.I. Mikhailin, M.V. Chernyshov**

*Special Materials Ltd., Saint Petersburg, Russia*

Simple qualitative approach to the interaction of weak blast shock wave with multi-layer protection surface based on the system of linear acoustics is proposed. Surfaces with numerous transitions from the larger acoustical resistance of the media to the smaller one proved to be most effective according to this model.

# УЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ ТЕЧЕНИЙ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**В.Б. Синильщиков**

*Балтийский государственный технический университет «Военмех», Россия*

Проблема решения нестационарных задач гидравлики, в которых необходимо учитывать сжимаемость, в том числе волновые процессы, является актуальной. Достаточно назвать такие проблемы, как гидроудар в длинных гидравлических трактах или вибропроводимость гидродемпферов на высоких частотах. Использование для подобных расчетов численных методов решения двух- и трехмерных уравнений динамики сжимаемой жидкости затруднено необходимостью резкого уменьшения пространственного размера ячеек (а с ним и шага интегрирования) вследствие влияния схемной вязкости перекоса на течения в районе клапанов и дросселей. В результате продолжительность расчета становится неприемлемо большой. Более целесообразным представляется использование одномерных уравнений, которые давно апробированы для расчета течения на участках с постоянным сечением гидравлического тракта. Проблема возникает при расчете элементов гидравлического тракта, в которых площадь сечения изменяется: расширений, сужений, дросселей, клапанов и т.д., т.е. гидравлических сопротивлений. Предлагается скорость течения в таких элементах представить в виде суммы гидродинамической и акустической составляющих. Первая -  $u_{\xi r}$  учитывает инерцию жидкости и описывается уравнением вида  $m_{\xi} \dot{u}_{\xi r} = (\Delta p - \xi \rho u_{\xi r}^2 / 2) F$ , где  $m_{\xi}$  – приведенная масса истекающей жидкости,  $\Delta p$  – перепад давления на сопротивлении,  $\xi$  – коэффициент гидравлических потерь,  $F$  – характерная площадь сечения. Вторая учитывает распространение волн и определяется из уравнений для распада разрыва, в которые подставляются разности полных и гидродинамических давлений и скоростей. Данная модель автоматически совпадает с уравнениями акустики при распространении волн по неподвижной жидкости и с уравнениями гидравлики для стационарных процессов.

## **Consideration of non-stationary effects in computing the wave processes and unsteady flows in hydraulic systems**

V.B. Sinilshchikov

*Baltic State Technical University "Voenmech", Saint Petersburg Russia*

The phenomenological model describing unsteady flows of fluid in the elements of hydraulic systems is considered. Separation of the velocity and pressure into hydrodynamic and acoustic components is in the basis of the model. The equations are written in the form providing automatic realization of the basic relations of stationary hydraulics and acoustics.

## **МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТСОЕДИНЕННЫХ ВИХРЕЙ В ПРИЛОЖЕНИИ К ЗАДАЧАМ ОТРЫВНОГО ОБТЕКАНИЯ РЕШЕТОК ТУРБОМАШИН**

**Е.М. Смирнов, С.А. Якубов**

*Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет*

Метод моделирования отсоединенных вихрей (МОВ), представленный, в частности, в работе [Стрелец М.Х., Травин А.К., Шур М.Л., Спаларт Ф.Р. “Метод моделирования отсоединенных вихрей для расчета отрывных турбулентных течений: предпосылки, основная идея и примеры применения” // НТВ СПбГПУ. 2004. №2(36). С.22-33] вызывает все больший интерес исследователей и инженеров. К настоящему времени положительный опыт применения метода МОВ накоплен, преимущественно, для внешних задач аэродинамики. Вместе с тем, применительно к целому ряду сложных задач аэродинамики турбомашин, метод МОВ способен обеспечить не только повышение точности предсказаний интегральных/осредненных характеристик, но и получение качественно новой информации о вихревой структуре течения и нестационарных силовых нагрузках, действующих на элементы конструкции. В настоящей работе иллюстрируются и обсуждаются потенциальные возможности метода МОВ в приложении к широкому классу отрывных турбулентных течений в турбомашинах. На примере течения через плоскую компрессорную решетку рассматриваются вопросы, связанные с неоднозначностью выбора числа межлопаточных каналов, одновременно рассчитываемых на основе нестационарных постановок. Приводятся и сопоставляются с экспериментами результаты численного моделирования трехмерного течения в рабочем колесе осевого компрессора с сильными эффектами, обусловленными перетеканием газа через радиальный зазор. Особое внимание уделяется нерасчетным режимам с уменьшенным расходом.

### **Detached Eddy Simulation of Separated Flows in Turbine Blade Rows**

E.M. Smirnov, S.A. Yakubov

*Saint Petersburg State Polytechnic University, Russia*

Potential capabilities of the Detached Eddy Simulation (DES) technique in application to a wide class of separated flows in turbine blade passages are illustrated and discussed. With a typical axial compressor blade cascade, the questions concerning the lack of uniqueness in choice of a number of blade-to-blade passages to be computed simultaneously with unsteady formulation are considered. Numerical simulation results for three-dimensional flow in an axial compressor rotor are presented and compared with experiments. Strong effects caused by the tip-clearance leakage are studied, focusing on off-design operation conditions with a reduced flow rate.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СФЕРИЧЕСКОГО СЛОЯ МАКСВЕЛЛОВСКОЙ ЖИДКОСТИ**

**В.Н. Старков, Е.В. Пилат**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

Рассмотрена динамика жидкого сферического слоя. Считалось, что полностью отсутствует сила тяжести. Моделирование базируется на системе уравнений механики сплошной среды. Численно исследованы радиальные колебания сферического слоя максвелловской жидкости.

### **Investigating of radial oscillations of the spherical layer of Maxwell fluid**

V.N. Starkov, E.V. Pylat

*Saint Petersburg State University, Russia*

Dynamics of spherical fluid flow is considered. It is supposed that the gravity is completely absent. The modelling is based on the system of equations of the solid medium. Numerical investigation of radial oscillations of the spherical layer of Maxwell fluid is performed.

## ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА КОСОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ, БЕГУЩЕЙ ПО ПОТОКУ ГАЗА

**В.Н. Усков, П.С. Мостовых**

*Балтийский государственный технический университет, Россия*

В работах [1,2] установлено существование особых и экстремальных параметров за газодинамическими разрывами в однородном совершенном газе. В частности, показано, что при определенных значениях числа Маха исходного невозмущенного течения и интенсивности скачка уплотнения параметры потоков приобретают особые значения, например, становятся критическими, или отношения некоторых из них имеют экстремумы [1]; при определенных скоростях распространения нормальной ударной волны по потоку с заданным числом Маха параметры за волной также имеют особые значения [2].

В данной работе аналитически определены экстремальные значения параметров потока в общем случае распространения ударной волны под произвольным углом к потоку. В качестве независимых переменных рассматриваются три параметра из следующих четырех: интенсивность ударной волны  $J$ , равная отношению статических давлений за и до волны, число Маха потока перед волной  $M_1$ , отношение скорости распространения ударной волны к скорости звука перед волной  $M_D$  и угол между направлением скорости газа перед волной и фронтом волны. Результаты [1,2] вытекают из полученных решений как частные случаи. Найдены новые оптимальные волны и исследованы параметры за ними в пространстве  $(J, M_1, M_D)$ .

1. Омельченко А.В., Усков В.Н. Оптимальные ударно-волновые системы // Изв. РАН. МЖГ.1995. №6. С. 118-126
2. Усков В.Н. Бегущие одномерные волны. СПб.: Изд-во БГТУ, 2000. 220 с.

### **Extreme properties of an oblique shock wave expanding in a gas flow**

V.N. Uskov, P.S. Mostovyykh

*Baltic State Technical University, Saint Petersburg, Russia*

In this work extreme values of the flow parameters in a general case of an oblique shock wave expanding in a homogenous flow of a perfect gas have been found. Any three of the four values: the shock wave intensity  $J$ , the Mach number of the flow in front of the shock  $M_1$ , the ratio of the velocity of the shock wave to the acoustic velocity of the gas in front of the wave  $M_D$  and the angle between the direction of the flow velocity and the shock front  $\sigma_e$  adding an adiabatic index  $\gamma$ , give the independent variables for this problem. Surfaces of points in a  $(J, M_1, M_D)$  space which bring extreme values of the flow parameters have been plotted and its positions have been investigated.

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАДЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ СКАЧКОВ УПЛОТНЕНИЯ В ПЕРЕРАСШИРЕННЫХ ГАЗОВЫХ СТРУЯХ**

**В.Н. Усков, М.В. Чернышов**

*Балтийский государственный технический университет, Россия*

Произведен теоретический анализ поля течения двумерной (плоской или осесимметричной) перерасширенной газовой струи, истекающей в затопленное пространство (главным образом – в окрестности кромки сопла Лавалья). При анализе течения используются дифференциальные условия совместности, связывающие пространственные производные параметров потока на сторонах скачка уплотнения, падающего с кромки сопла. Исследовано изменение геометрической кривизны падающего скачка и связанных с ней величин (кривизны границы струи, изменения интенсивности скачка по мере его падения, различных свойств потока в сжатом слое) в зависимости от числа Маха и нерасчетности струи, угла полураствора сопла и показателя адиабаты газа. Выявлено различие между свойствами скачка уплотнения, а также параметров течения в сжатом слое за ним: с одной стороны – при малых, а с другой – при умеренных и больших числах Маха истекающей струи. Во втором случае скачок уплотнения, как правило, является выпуклым вверх, а его интенсивность убывает по мере падения на плоскость или ось симметрии. При числах Маха, близких к единице, падающий скачок обычно выпукл вниз в окрестности кромки сопла; присутствует участок уменьшения его интенсивности. Ослабление скачка при его падении представляет интерес в связи с проблемой поиска решения, описывающего его отражение при малых числах Маха.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 04-01-00713).

### **Some special features of shock incidence and reflection in overexpanded gas jets**

V.N. Uskov, M.V. Chernyshov

*Baltic State Technical University, Saint Petersburg, Russia*

Overexpanded jet flow, primarily at the vicinity of the edge of de Laval nozzle, was studied analytically and numerically. Dependencies of both incident shock and jet boundary curvatures on Mach number, jet incalculability, and the ratio of gas specific heats were investigated. Difference of shock behavior at small Mach numbers (incident shock is exactly curved downside and weakens at the part of its way to the plane or the axis of symmetry) and at moderate or large Mach numbers (shock is curved upside and strengthens) was proved as well as the associated features of flow at the compressed layer. Such peculiarities of shock incidence force us to draw attention to the problem of shock reflection at small Mach numbers where stationary decision neither for regular nor for Mach reflection sometimes exists.

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ**

**Н.Б. Федосенко**

*Центр Перспективных Исследований, Санкт-Петербургский Государственный  
Политехнический Университет, Россия*

Рассматривается аналитическое решение краевой задачи для уравнений Стокса. В отличие от известных решений в виде бесконечных рядов, приводится решения в конечном виде. Основное внимание уделяется постановке граничных условий. Основные трудности возникают в трехмерном случае. По аналогии с введением функции тока, уже давно известен подход с введением векторного потенциала. В предлагаемом подходе исходная система преобразуется в три уравнения относительно компонент векторного потенциала. Уравнения системы оказываются связанными только через граничные условия (каждая скорость зависит от производных компонент векторного потенциала по двум направлениям). Это создает основные трудности при замыкании краевой задачи. В данной работе предложен путь преодоления этих трудностей. Получены соответствующие решения не только в двумерном, но и в трехмерном случае.

Предложен метод расчета уравнений с конвективными членами. При этом непосредственно используются результаты, полученные для решения уравнений Стокса. Для этого найдена специальная нелинейная дифференциальная подстановка, которая задает функциональную зависимость решения нелинейной задачи (с конвективными членами) и решения соответствующей линейной задачи. Краевая задача для соответствующих линейных уравнений напоминает систему уравнений Стокса. Единственное отличие состоит в том, что граничные условия для линейных «вспомогательных» уравнений не остаются такими же, как у исходных нелинейных уравнений, а нелинейным образом зависят каждое от каждого. Все результаты распространены на случаи с произвольной геометрией. Для этого получено специальное аналитическое преобразование координат.

### **Analytical solution of the viscous non-compressible fluid flow equations**

**N.B. Fedosenko**

*Center of Perspective Research, St.-Petersburg State Polytechnic University, Russia*

The analytical solution of a boundary value problem for the Stokes equations is esteemed. As against the known solutions of infinite series, the solution in a final form is suggested. The solutions are obtained not only in two dimensional, but also in a three-dimensional case. The method of solving equations with the convective terms is proposed. Thus the results obtained for the solution of Stokes equations can directly be used.

## **ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

**А.Я. Эндер, И.А. Эндер\***

*Физико-Технический Институт им. А.Ф. Иоффе РАН. Санкт-Петербург, Россия*

*\*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

При теоретическом изучении поведения заряженных частиц в сильном электрическом поле, как правило, применяется моментный метод (метод разложения функции распределения по полиномам Эрмита) /1/. Основная трудность при решении уравнения Больцмана – это расчет интеграла столкновений. Авторы доклада получили новые результаты, которые позволяют вычислять матричные элементы интеграла столкновений при больших значениях индексов и при произвольных потенциалах взаимодействия, результаты опубликованы в монографии./2/.

С помощью этих результатов проведены расчеты моментной системы. Построено решение нестационарной задачи о поведении ионов при мгновенном включении электрического поля. Впервые для этого процесса построена функция распределения. Найдено сечение взаимодействия, для которого получены аналитические решения как самого уравнения Больцмана, так и соответствующей моментной системы. Сравнение этих решений позволило провести анализ сходимости моментного метода при различных временах и при различных напряженностях поля.

Для улучшения сходимости в очень сильных полях функция распределения может быть разложена только по сферическим гармоникам. Коэффициенты разложения определяются из изотропных уравнений с симметричными интегральными операторами. Нами построены ядра таких операторов через известные матричные элементы и изучается их асимптотическое поведение

1. R.D. White, E.A. Ness and R.F. Robson, Applied Surface Science 192 (2002) 26.
2. А.Я. Эндер, И.А. Эндер Интеграл столкновений уравнения Больцмана и моментный метод. 2003, Изд. СПбГУ. 224с.

### **The distribution function and transport properties of charged particles at the electric field**

**A.Ya. Ender, I.A. Ender\***

*Ioffe Physico-Technical Institute, RAS. Saint Petersburg, Russia*

*\*Saint Petersburg State University, Russia*

The non-stationary problem of building up the ion distribution function is solved with a new method for calculation of the matrix elements of the collision integral at the

instantaneous switch-on of the electric field. An interaction cross-section is found at which the distribution function and all its moments are successfully built up analitically. A comparison of these solutions gives an opportunity to analyse the convergence of the moment method at different times and various field strenghts.

**СЕКЦИЯ IV: МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО  
ТВЕРДОГО ТЕЛА**

**SECTION IV: MECHANICS OF SOLIDS**



## РАСЧЕТ СОСТАВНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА НА ДЕЙСТВИЕ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ

Г.В. Абушик, В.Я. Павилайнен

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматривается составная оболочка глазного яблока, элементами которой являются сферические сегменты роговицы, имеющей радиус  $R^r$ , толщину  $h^r$ , модуль упругости  $E^r$  и коэффициент Пуассона  $\nu^r$ , и склеры с параметрами  $R^s$ ,  $h^s$ ,  $E^s$ ,  $\nu^s$ . Сферические сегменты соединены посредством упругого кольца, имеющего радиус  $R_k$ , площадь поперечного сечения  $F_k$ , модуль упругости  $E_k$  и работающего только на растяжение. Составная оболочка находится под воздействием внутриглазного давления.

На основе общей линейной теории осесимметричной деформации оболочек вращения получено решение задачи, учитывающее сопряжение сферических сегментов и кольца. При этом анализируется влияние осевой жесткости кольца на напряженно-деформированное состояние системы. Найденные величины тангенциальных и изгибных напряжений в каждой оболочке позволяют оценить допустимость применения безмоментной теории. В случае малости изгибных напряжений по сравнению с тангенциальными рассматривается возможность применения нелинейной безмоментной теории мягких оболочек в рассматриваемой задаче.

### Литература:

В.В. Новожилов. Теория тонких оболочек. – Л.: Судпромгиз, 1962.

### Composite shell of eye-bulbe analysis under action of intraocular pressure

G.V. Abushik, V.Ya. Pavilainen

*Saint Petersburg State University, Russia*

According to solution of common theory of thin spherical shells the tensely-strained state of shell of eye-bulbe, which consists of two spherical segments with different source data and connected by elastic ring element is analysed. The possibility of application of nonlinear momentless theory of soft shells is discussed.

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ С ИЗЛОМОМ С УЧЕТОМ СДВИГА**

**В.Ю. Анисимов**

*Санкт-Петербург, Россия*

Исследуется потеря устойчивости тонкой упругой оболочки вращения при осевом сжатии, которая происходит в результате достижения предельной точки на кривой нагрузка - деформация. Предполагается, что основные деформации сосредоточены в окрестности наиболее слабой параллели, например в месте излома оболочки. Материал считается трансверсально – изотропным, что приводит к необходимости учета сдвига поперечных волокон.

При выводе уравнений состояния используется гипотеза Тимошенко. В результате конечные уравнения усложняются, по сравнению с их классическими аналогами, но позволяют оценить ослабляющее влияние сдвига. Решение системы выполнено численными и асимптотическими методами. Точные результаты сравниваются с асимптотическими оценками. Рассмотрен вариант подкрепления слабой параллели упругим кольцом. Рассчитаны параметры кольца необходимого для того, чтобы устранить ослабляющие влияние излома оболочки.

### **Stability of an axially compressed shell of revolution with breaking**

V.Yu. Anisimov

*Saint Petersburg, Russia*

The problem of stability of a thin elastic transversally - isotropic axially compressed shell of revolution with breaking is studied. Numeric methods and asymptotic analysis were applied. Pure and asymptotic results are compared. The variant of elastic reinforcement of breaking was considered.

## **О ПОТЕРЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИММЕТРИЧНЫХ ФОРМ РАВНОВЕСИЯ НЕОДНОРОДНЫХ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН**

**С.М. Бауэр, Е.Б. Воронкова**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

Исследуется напряженно-деформированное состояние круглых неоднородных по радиусу пластин, находящихся под действием нормального равномерного давления. Известно, что при больших прогибах однородных пологих оболочек и круглых пластин, находящихся под действием нормального давления, в окрестности контура появляются сжимающие напряжения, и возможна потеря устойчивости осесимметричной формы равновесия. Образование «мелких складок, приводящих к отекам и мелким кровоизлияниям» иногда наблюдается и при глаукоме «по периферии или по краю решетчатой пластинки глаза» – круглой пластинки, которая при движении от центра к краю становится более разреженной. Степень неоднородности решетчатых пластинок в различных глазах различна. В связи с этим представляет интерес оценить влияние неоднородности на величину критической нагрузки, соответствующей прощелкиванию в неосесимметричное состояние. При решении задачи предполагается, что форма потери устойчивости пластинки локализована в окрестности края и быстро затухает при удалении от него. Для определения критической нагрузки используются методы асимптотического интегрирования.

### **On buckling of the symmetric state of equilibrium for a non-uniform circular plate.**

S.M. Bauer, E.B. Voronkova

*Saint Petersburg State University, Russia*

The stress-strain state for non-uniform circular plate under the normal uniform pressure is studied. The effect of the non-uniformity on the critical load corresponding to buckling in the non-symmetric state is analysed.

## **ОБ АТТРАКТОРАХ В СИСТЕМАХ, ОПИСЫВАЕМЫХ УРАВНЕНИЕМ ДЮФФИНГА**

**Е.С. Болгар**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

С помощью метода, изложенного в монографии [1], рассматриваются вынужденные поперечные колебания стержня с несмещаемыми опорами. В первом приближении они описываются уравнением Дюффинга. Уточняются зоны возникновения аттракторов, обнаруженные П.Е. Товстиком и Т.М. Товстик [2]. В уравнениях второго приближения эти зоны исчезают.

1. Зегжда С.А., Солтаханов Ш.Х., Юшков М.П. Уравнения движения неголономных систем и вариационные принципы механики. Новый класс задач управления. М.: Наука, Физматлит, 2005. 269 с.
2. Товстик П.Е., Товстик Т.М. Уравнение Дуффинга и странный аттрактор // "Анализ и синтез нелин. механ. систем", т. 2, 1998, С.-Петербург. С.229-235.

### **On attractors in the systems described by the Duffing equation**

**E.S. Bolgar**

*Saint Petersburg State University, Russia*

Forced lateral vibrations of the beam with fixed supports are considered with the help of the method presented in monograph [1]. In a first approximation they are described by the Duffing equation. The attractors onset zones discovered by P.E. Tovstik and T.M. Tovstik [2] are improved. In second approximation equations these zones disappear.

## **НЕЛИНЕЙНЫЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ**

**О.С. Букашкина**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

Исследуются нелинейные осесимметричные колебания тонкой упругой конической оболочки вращения, находящейся под действием осесимметричной гармонической нагрузки. Приближенная система уравнений, описывающих движение оболочки, выписывается с использованием вариационно-энергетического метода Гамильтона-Остроградского. В фокусе внимания находятся субгармонические колебания порядка  $\frac{1}{2}$ . Наряду с численным решением приводится приближенное аналитическое. Зоны устойчивости субгармонических колебаний порядка  $\frac{1}{2}$  определяются с использованием метода Уиттекера.

### **Nonlinear axisymmetric vibrations of a cone shell**

**O. Bukashkina**

*Saint Petersburg State University, Russia*

Nonlinear axisymmetric vibrations of thin elastic cone shell of revolution under the action of axisymmetric harmonic load are investigated. The approximate system of equations describing the shell motion is derived with the help of Hamilton's variational principle. Along with numerical solution an approximate analytical solution is presented. Subharmonics of the order  $\frac{1}{2}$  are in focus. Areas of stability of subharmonic vibrations of the order  $\frac{1}{2}$  are defined with the use of the Whittaker procedure.

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ, АРМИРОВАННЫХ НИТЯМИ.**

**И.В. Викторов**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

Рассматриваются локальные формы потери устойчивости безмоментного осесимметричного напряженного состояния тонкой упругой оболочки вращения. Предполагается, что оболочка подкреплена двумя системами нитей, наклонёнными под углами  $\theta$  и  $-\theta$  к образующим. Проводится сравнение результатов локального подхода и численного интегрирования системы при различных граничных условиях.

В работе рассматривается изменение параметра критического нагружения и формы потери устойчивости в зависимости от угла армирования и распределения волокон по толщине. Обсуждается подкрепляющий эффект нитей в сравнении с изотропной оболочкой. Найдены наилучшее и наихудшее расположения волокон с точки зрения максимальной устойчивости оболочки.

При постоянном угле намотки нитей плотность армирования меняется с изменением расстояния до оси вращения, что является причиной локализации формы потери устойчивости вблизи наиболее слабой параллели. Использование локального подхода позволяет определить зависимость угла армирования от координаты вдоль образующей, при которой наиболее слабых параллелей у оболочки не образуется. Это позволяет уменьшить объём нитей без уменьшения параметра критического нагружения.

### **Stability of shells of revolution reinforced by fibers**

I.V. Viktorov

*Saint Petersburg State University, Russia*

Local forms of the buckling of the momentless axisymmetric stress condition of the fine elastic shells of revolution are considered. It is assumed that the shell is reinforced by two systems of fibres inclined at angles  $\theta$  and  $-\theta$  to the generatrix. The forms of the loss of stability of isotropic and orthotropic shells are regarded and the comparison of these forms is conducted. The optimum reinforcement by fibers is considered.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕРМОУПРУГИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**Н.В. Вовненко**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

В работе рассматриваются корреляционные взаимодействия термоупругих и акустических характеристик твердого тела. Выделение таких эффектов требует разработки соответствующих методов оптико-акустического анализа. В качестве характеристических параметров используются механические свойства материалов, такие как параметры Ламе, плотность и т.д. Основным фактором, влияющим на изменение частотно-амплитудных характеристик спектральной плотности, выбрана термодинамическая температура. Решая совместно систему уравнений распространения волн и теплоты в твердом теле, получены основные характеристики наблюдаемых изменений спектральной плотности.

### **Research of interrelation thermoelastic and mechanical stresses in a rigid body by optical-acoustic method**

N.V. Vovnenko

*Saint-Petersburg State University, Russia*

Solving simultaneously the equations of waves and heats propagation in a firm body, the basic characteristics of observable changes of spectral density are obtained.

## **О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РЕКОНСТРУИРОВАННОГО СРЕДНЕГО УХА ПОСЛЕ УСТАНОВКИ ПРОТЕЗА**

**С.А. Ермоченко, Г.И. Михасев**

*Витебский Государственный Университет им. П. М. Машерова, г. Витебск, Беларусь*

Рассматривается задача о расчете напряженно-деформированного состояния (НДС) колебательной системы среднего уха после его частичной реконструкции. Моделируется случай, когда барабанная перепонка полностью заменяется пластинкой, изготовленной из хрящевой ткани, а молоточек и наковальня заменяются протезом. Последний одним концом естественным образом сращивается с хрящевой тканью, а вторым концом анкируется на головку стремени косточки. Установка протеза вызывает деформации искусственной мембраны, перемещение стремени и приводит к появлению напряжений в соединении «протез-стремя». Целью работы является анализ влияния геометрических параметров протеза и места его установки на НДС восстановленной колебательной системы.

Математическая модель строится с использованием асимптотического метода. В качестве малого параметра выбирается отношение расстояния от центра пластины до точки установки протеза к радиусу самой пластинки. Для различных способов установки протеза и его размеров выполнены расчеты НДС колебательной системы.

### **On strain-stress state of vibrating system of reconstructed middle ear after inserting prosthesis**

S.A. Yermochenko, G.I. Mikhasev

*Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus*

The problem on calculation of the strain-stress state of the reconstructed middle ear after inserting prosthesis is considered. For a construction of the mathematical model the asymptotic method is applied. An eccentricity of the prosthesis position is assumed as a small parameter.

## **ЗАДАЧА О КОЛЕБАНИЯХ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ СОСУДЕ С УПРУГОЙ ВСТАВКОЙ НА СТЕНКЕ**

**Б.А. Ершов, Г.А. Кутеева**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

В монографии Н.Н. Моисеева, В.В. Румянцева “Динамика тела с полостями, содержащими жидкость” (М. 1965) решается задача о колебаниях вязкой жидкости внутри неподвижного жесткого сосуда. В данной работе рассматривается линейная задача о колебаниях вязкой жидкости в прямоугольном сосуде, имеющем упругую вставку на стенке.

### **Problem about vibrations of viscous flow inside a rectangular tank with elastic part on a wall**

**B.A. Ershov, G.A. Kuteeva**

*Saint-Petersburg State University, Russia*

In a monograph by N. N. Moiseev, V.V. Rummyantsev “Dynamics of a body with cutting containing a fluid” (in Russian, 1965) the problem for vibrations of viscous flow inside a rectangular rigid tank is solved. In this report the linear problem for vibrations of viscous flow inside a rectangular tank with elastic part on the wall is presented.

# ВЫБОР КРИТЕРИЯ ТЕКУЧЕСТИ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ СПЛАВОВ

**И.В. Ефимов, Г.В. Павилайнен**

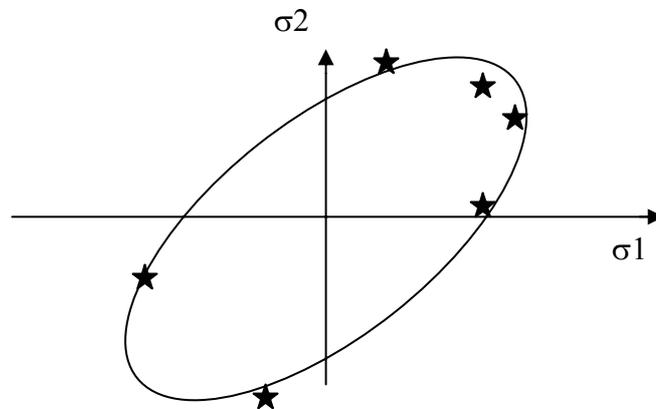
*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

Работа предлагает метод по выбору критерия текучести для пластически несжимаемых анизотропных материалов с учетом разносопротивляемости. На основе использования современных цифровых технологий проведена визуализация процесса подбора критерия на основе экспериментальных данных. По заданным точкам в пространстве напряжений, соответствующим определенным экспериментальным исследованиям, проводится построение поверхности текучести, вида

$$\sqrt{F(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + G(\sigma_2 - \sigma_3)^2 + H(\sigma_3 - \sigma_1)^2} + \alpha_1\sigma_1 + \alpha_2\sigma_2 + \alpha_3\sigma_3 = 1,$$

где  $F, G, H, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  - постоянные коэффициенты, подлежащие определению.

Коэффициенты  $F, G, H$  определяют пластическую ортотропию материала, остальные коэффициенты учитывают разносопротивляемость растяжению и сжатию (эффект SD). На рисунке звездочками отмечены численные результаты экспериментов, а кривая представляет собой искомый критерий для плоского напряженного состояния, построенный в предположении о минимизации суммарного квадратичного отклонения заданных точек от точек кривой.



Визуализация проводится в пакете Delphi 6.0 и использует многооконную модель, при которой каждый параметр может быть подобран наиболее точно. Одновременно проводится корректировка погрешности и определение недостающих параметров, в частности, численных результатов всех пределов текучести, как при растяжении, так и при сжатии по трем осям ортотропии. Модель позволяет сделать прогноз по пределам текучести на растяжение и сжатие в направлении, перпендикулярном плоскости пластины.

Данный критерий предложен О.Г. Рыбакиной для текстурированных металлических сплавов и является обобщением известного критерия Губера-Мизеса. Предложенный метод позволяет с минимальной погрешностью сопоставить экспериментальные данные и критерий текучести, вычислить все коэффициенты и затем решать различные упругопластические задачи, в

частности задачу изгиба круглой тонкой пластины из текстурированного сплава.

### **On the selection of a plastic flow criterion for hardware alloys**

E.V. Efimov, G.V. Pavilaynen  
*Saint-Petersburg State University, Russia*

The incompressible material with SD effect is considered, for which the connection between the intensity of strains and stresses is characterized by the elasto-plastic diagram without consolidation. The selection of a plastic flow criterion is carried out using computer visional program and experiment data.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОГО МЕТОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ТЕРМОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИНЫ**

**А.В. Зайцев**

*Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, Россия*

Рассматриваются термоупругие колебания защемленной по контуру пластины при интенсивном потоке газа, падающего по нормали к ее поверхности. Учитывается зависимость модуля упругости от температуры. Для численного решения строится своеобразный метод последовательных приближений, сходящийся к точному решению.

### **Using a method of successive approximations for defining of non-linear thermoelastic vibrations of a plate**

A.V. Zaitsev

*Saint Petersburg State University of low-temperature and food technologies, Russia*

Thermoelastic vibrations of a plate in an intensive gas flow normal to its surface are considered. The dependence of the elasticity module on the temperature is taken into consideration. For numerical solving of the non-linear problem, a special method of successive approximations converging to the exact solution is constructed.

## **РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ**

**М.А. Зацепин**

*Санкт-Петербургский Государственный Горный Институт, Россия*

Проектирование и строительство подземных горных выработок, добыча полезных ископаемых, сооружение подземных объектов на больших глубинах и в сложных горно-геологических условиях тесно связаны с анализом напряженно-деформированного (НДС) состояния массивов горных пород. Для определения последнего в горной геомеханике используют данные инженерной геологии и геофизики, применяются результаты экспериментальных

исследований, а также различные аналитические и численные методы механики сплошных (дискретных) сред.

В рамках исследований по данной теме были установлены закономерности изменения напряжённого состояния неоднородного слоистого массива в рамках физически нелинейного процесса деформирования горных пород с различными условиями на контактах слоев и деформирования выработок. Разработан численно-аналитический метод определения НДС слоистого неоднородного массива при отработке пологих пластовых месторождений. Применение полученного метода дает возможность находить геомеханические параметры с достаточной для инженерных исследований точностью. Сравнение с результатами, полученными на основе применения эффективных численных методов решения (программа FLAC) позволяет говорить о высокой точности и достоверности основных положений и выводов. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем для прикладных исследований.

## **Calculation of stress and strain state in excavations by numerical and analytical methods**

M.A. Zatsepin

*Saint-Petersburg State Mining Institute (Technical University), Russia*

Design and construction of mines, mining operations and construction underground buildings at great depth under different types of mining and geological conditions are complicated processes. These processes associated with analyze of parameters stress and strain state in excavations. There are many different methods for determine geomechanical parameters. Geological engineering, engineering physics, experimental investigation, continuum mechanics are not even all.

In this paper numerical and analytical method for determining stress and strain state was obtained. Employment of obtained mathematical model makes it possible to calculate geomechanical parameters with adequate accuracy. Analytical methods are proved to be closer towards numerical simulations. Developed methodology can be useful for applied researches.

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАССЛОЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

**Б.А. Зимин**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Исходной информацией для анализа процесса расслоения композитных материалов является диаграмма растяжения, записанная в координатах  $P-l$  (усилие – перемещение). Исследование процесса расслоения сводится к решению операторного уравнения вида:

$$P = Rl(t),$$

где  $P$  - усилие, отклик «черного ящика»,  $l(t)$  - заданные перемещения при расслоении «вход черного ящика»,  $R$  - оператор, описывающий процесс расслоения, ядром которого является характеристика данного композита. Для таких обратных задач не существует жесткого ограничения на единственность, а любые решения носят принципиально статистический характер.

В ходе работы установлено:

а) соответствие между «несущей» частотой процесса расслоения и введенным структурным параметром модели [1,2];

б) использование усредненных прочностных характеристик композита без учета их случайной природы может приводить к занижению коэффициента запаса прочности;

Исследован оператор усреднения, используемый при обработке адгедиаграмм расслоения. Найдены условия корректной процедуры нахождения прочностных характеристик расслоения. Установлен масштабный эффект процесса расслоения. Для «Гауссовых» процессов расслоения построена вероятностная мера. Предложен функционал по этой мере, который может являться характеристикой процесса расслоения композита [3].

### **Литература**

1. Зимин Б.А., Паукшто М.В. К расчету межслойной прочности. Выч. механика деформируемого твердого тела. 1991, вып.2, с.22-30.
2. Zimin B.A. Statistical description of composite laminate structure and damage by delamination. // Theor. and Applied fracture Mechanics, 1996, (24), p. 197-201.
3. Зимин Б.А., Миркин М.А., Темнов О.В. Статистические свойства балочной модели разрушения тонких отслоений. Третьи Поляховские чтения, СПб, 2003, с.257-260.

### **Statistical model of the composite structure delamination**

B.A. Zimin

*Saint-Petersburg State University, Russia*

This work deals with a statistical description of the composite laminate structure. The results based on this statistical analysis are discussed.

## **РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММЫ НЬЮТОНА. УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОБСТВЕННОГО ВЕСА.**

**Д.Н. Иванов**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматривается решение линейных дифференциальных уравнений специального вида с помощью диаграммы Ньютона. Это позволяет легко строить асимптотические решения уравнений выше второго порядка. Рассмотрено несколько примеров.

Рассмотрен также особый случай, при котором не все решения можно построить таким способом. Но и его можно свести к диаграмме Ньютона.

Рассмотрена задача об устойчивости стержня под действием собственного веса.

## **The solution of the equations of a special type with the help of the Newton polygon algorithm. Buckling of a beam under its weight**

D.N. Ivanov

*Saint-Petersburg State University, Russia*

Asymptotic solutions of linear differential equations of a special type with the help of the Newton polygon algorithm are obtained. The buckling of a beam under its weight is considered.

## УКОРОЧЕННЫЕ УРАВНЕНИЯ В ЗАДАЧАХ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

**Б.Н. Квасников**

*Петербургский государственный университет путей сообщения, Россия*

Обсуждаются уравнения теплопроводности (диффузии), телеграфные, Лапласа, волновые (одномерные и двумерные), Шредингера (одномерные и трехмерные) и др., для которых асимптотическими методами с применением аксиоматики [1] обосновываются укороченные уравнения с оценкой их математической (асимптотической) погрешности. Формальные решения представляются в достаточно широком классе функций по [2] в виде бесконечных асимптотических рядов. Определяются общие интегралы и семейства частных интегралов с погрешностью решения равной погрешности уравнений. Для цилиндрических, тороидальных оболочек и трубопроводов строятся области перехода (асимптотические портреты) от исходных неупрощенных уравнений в свои возможные аппроксимации. На основе этих портретов решается серия краевых задач [3] с расчленением полной краевой задачи на главную и дополнительные с определением всех произвольных функций интегрирования.

### Литература

1. Квасников Б.Н. Аксиоматика асимптотически порядкового анализа уравнений теоретической и прикладной механики. Международная конференция «Четвертые Окуневские чтения». Симпозиум «Пуанкаре и проблемы нелинейной механики». Тезисы докладов. Изд. СПбГТУ. СПб.: СПбГТУ, 2004, с.141-142.
2. Квасников Б.Н. Теоремы аппроксимации и существования в теории тонких оболочек // Третьи Поляховские чтения. Избранные труды международной конференции по механике. СПб.: НИИХ СПбГУ, 2003, с.261-266.
3. Квасников Б.Н. Об одном подходе к решению краевых задач в теории тонких оболочек // Прикладная механика. Вып.9, СПб., Изд. СПбГУ, 1995, с.192-209

### The short equations in problems of mathematical physics

B.N. Kvasnikov

*Petersburg State University of Railway Communications, Russia*

The asymptotic analysis of basic equations of mathematical physics is carried out. General integrals and particular integrals family are derived with the same error with which the short equations are constructed. On the basis of asymptotic portraits a series of boundary problems with definition of all arbitrary functions of integration is solved.

## ПЛОСКИЕ ЗАДАЧИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ ДЛЯ СРЕД С УПРОЧНЕНИЕМ

**А. И. Кошелев, М. А. Нарбут**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Для решения нелинейных задач теории упругости применяются различные итерационные процессы, в частности, метод упругих решений. Условия разрешимости основных краевых задач и сходимость метода упругих решений в энергетических пространствах были установлены И. И. Воровичем и Ю. П. Красовским. В работах одного из авторов для широкого класса краевых задач предложен универсальный итерационный процесс, получены условия, обеспечивающие разрешимость задач нелинейной теории упругости как в энергетическом пространстве  $W_2^1(\Omega)$ ,  $\Omega \subset R^m$ , так и в  $C^r(\Omega)$ .

В предлагаемой работе выясняются условия, обеспечивающие существование и единственность обобщенного решения задачи о плоском напряженном состоянии и плоской деформации упрочняющегося тела. Эти достаточные условия устанавливают дополнительные ограничения на функцию  $\Phi(e_i)$ , определяющую зависимость интенсивности напряжений  $\sigma_i$  от интенсивности деформаций  $e_i$ .

Приводятся результаты ряда вычислительных экспериментов по реализации универсального процесса и метода упругих решений.

Работа финансируется грантом РФФИ 03-01-00053.

### **Plane problems in non-linear theory of elasticity for hardening media**

A.I. Koshelev, M.A. Narbut

*Saint-Petersburg State University, Russia*

The conditions for the generalized plane stress and plane strain solutions in the theory of elastic media with hardening to exist and be unique are obtained. These conditions give some additional constraints for the function  $\Phi(e_i)$ , where  $\sigma_i$  and  $e_i$  are so called stress and strain intensities. The results of some computer simulation for the universal iteration procedure and the elastic solutions method are also discussed.

## **НОВЫЙ МЕТОД ГЕНЕРИРОВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ И ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ СТОЛКНОВЕНИЕ ИХ С ПРЕГРАДОЙ**

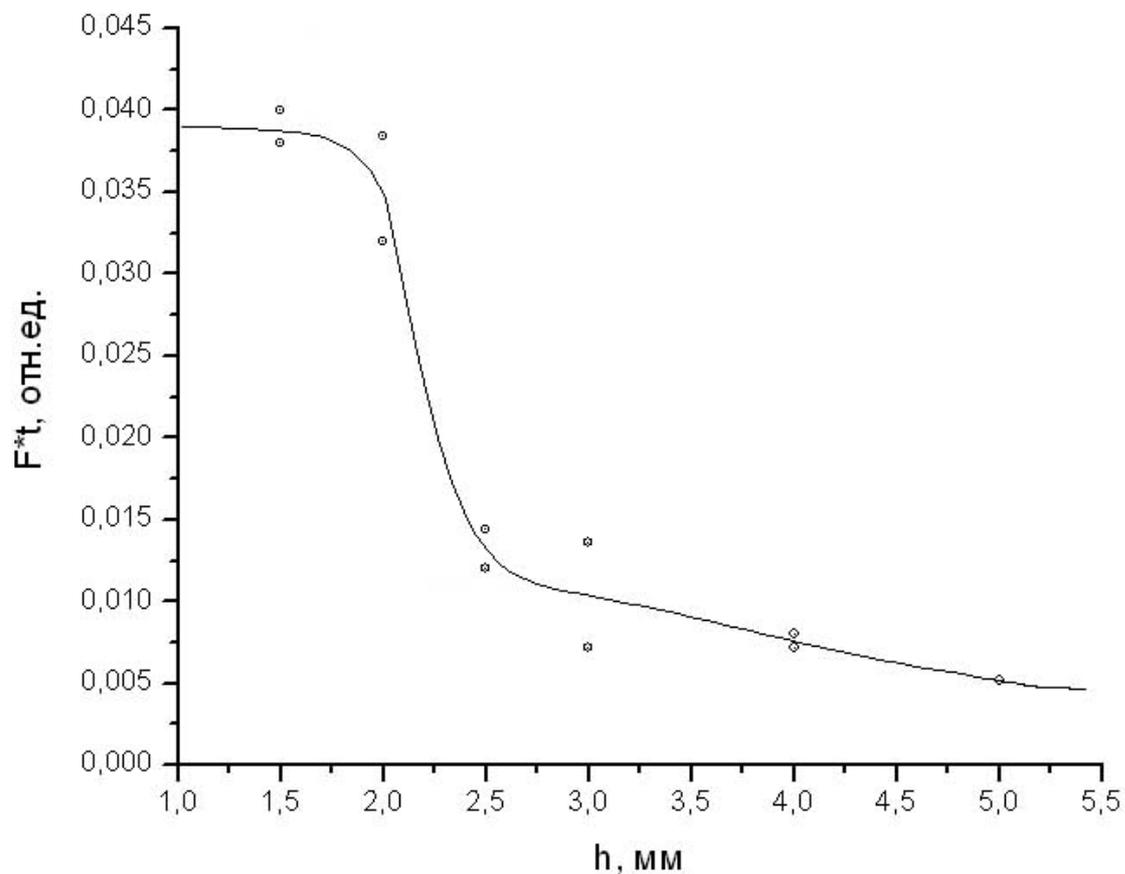
**А.А. Лукин, В.А. Морозов, Ю.В. Судьенков**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В последние годы существенной оказалась проблема антропогенного загрязнения околоземного космического пространства и его воздействия на элементы систем космических аппаратов (КА). Как выяснилось, наибольшую опасность вызывают не крупные фрагменты, вероятность столкновения с которыми крайне мала, а мелкодисперсные частицы (МДЧ) с размерами от десятых долей до нескольких сотен микрон.

В настоящей работе предложен новый, принципиально отличный от известных, метод генерирования МДЧ в вакууме и экспериментального моделирования высокоскоростного соударения частиц с преградой, основанный на электрическом взрыве проводников. Последний инициировался с помощью генератора коротких высоковольтных импульсов с амплитудой до 300 кВ и регулируемой длительностью от 30 до 200 наносекунд. В качестве взрываемого проводника использовалась либо медная проволочка диаметром порядка 0,1 мм и длиной 5 см, либо алюминиевая фольга толщиной несколько микрон, шириной от 1 до 3 мм при той же длине. Источником МДЧ служил как сам взрываемый проводник, так и калиброванные частицы, накладываемые на проводник. Взрыв проводника осуществлялся в вакуумной камере. Преградой для разлетающих частиц служило специально разработанное устройство, внутри которого находилась водяная звуковая линия задержки и датчик давления на основе полимерной пьезоплёнки. В опытах осуществлялось измерение осциллограмм тока, протекающего по проводнику, фронт которого служил началом отсчёта процесса взрыва, и напряжения, подаваемого на проводник. Результаты измерений поступали на цифровой осциллограф Tektronix TDS2022 и далее на ПЭВМ Pentium III (notebook). Расстояние от проводника до преграды регулировалось в пределах от 1 до 4 мм. Размер частиц варьировался от единиц до сотен микрон. Измеренная средняя скорость частиц находилась в пределах 1,5 - 2,0 км/с. На рисунке представлена зависимость импульса давления частиц от расстояния между поверхностью проводника и преградой в настоящих опытах при одинаковых значениях разлетающейся массы и величины энергии.

Таким образом, проведенное экспериментальное исследование показало работоспособность предложенного метода, который выгодно отличается от известных методов, основанных на разгоне частиц с помощью взрывчатых веществ, как с точки зрения безопасности, так и ряда других факторов.



### **A new method of small-dispersed particles generation and their high-speed impact with an obstacle**

A.A. Lukin, V.A. Morozov, Yu.V. Sudyenkov  
*Saint-Petersburg State University, Russia*

In the paper new method based on electrical explosion of conductors for the small dispersed particles generation and the experimental modeling of their high-speed impact with an obstacle is proposed. The measured particles velocity is in the range 1,5-2,0 km/s. The dependence of pulse pressure on the distance between the conductor surface and the obstacle is presented.

# О ВОЗМОЖНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ФОРМАХ КОЛЕБАНИЙ КРУГОВОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ПЛАСТИНКИ С ЭКСЦЕНТРИЧЕСКИМ КРУГОВЫМ ВЫРЕЗОМ

Г.И. Михасев, М.А. Фирсов

*Витебский Государственный Университет им. П. М. Машерова, г. Витебск, Беларусь*

В работе исследуются локальные формы свободных колебаний круглой кольцевой пластинки с круговым эксцентрическим вырезом. Рассматривается случай жесткого защемления внешнего и внутреннего контуров. В предположении о малом эксцентриситете выреза вводится малый параметр  $\varepsilon = \sqrt{\delta/a}$ , где  $\delta$  - расстояние между центром кругового выреза и центром пластинки,  $a$  - радиус пластинки. В качестве исходного используется классическое уравнение колебаний круглой пластинки в полярной системе координат  $(r, \varphi)$  с центром, совпадающим с центром выреза. Предполагается, что форма колебаний локализована вблизи некоторого наиболее “слабого” радиуса  $\varphi = 0$ .

В случае отсутствия узловых диаметров нормальный прогиб  $w$  и частотный параметр  $\lambda$  ищутся в виде

$$w = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n w_n(\rho, \xi), \quad (1)$$

$$\lambda = \lambda_0 + \varepsilon \lambda_1 + \varepsilon^2 \lambda_2 + \dots \quad (2)$$

При наличии узловых диаметров форма колебаний строится в виде

$$w = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^{n/2} w_n(\rho, \xi), \quad (3)$$

а разложение для  $\lambda$  имеет тот же вид (2). В обоих случаях функции  $w_i(\rho, \xi)$  предполагаются убывающими при  $|\xi| \rightarrow +\infty$ .

Исследуется влияние эксцентриситета выреза на собственные формы и частоты колебаний.

## On the possible local forms of vibrations of a circular annular plate with an eccentric circular hole

G.I. Mikhasev, M. Firsov

*Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus*

Free vibrations of a circular annular plate having an eccentric circular hole are studied. It is assumed that eigenmodes are localized in a neighborhood of the “weakest” radius.

## **ВЛИЯНИЕ СДВИГА НА ЛОКАЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ**

**А.В. Михеев**

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет,  
Россия*

В данной работе рассматривается вопрос потери устойчивости для пологих оболочек на упругом основании в модели Тимошенко, где учитывается влияние сдвига поперечных волокон. При такой постановке задачи оказывается применимым так называемый «локальный подход», позволяющий игнорировать граничные условия в системе уравнений устойчивости. Получена зависимость критической нагрузки и параметров волнообразования от коэффициента сдвига и жесткости основания. Подробно рассмотрены несколько частных случаев: однородное сжатие и кручение для сферы и цилиндра.

### **Influence of the shear parameter on stability of shallow shells on elastic base**

**A.V. Miheev**

*Saint-Petersburg State Electrotechnical University, Russia*

In this work we consider the question of stability loss for shallow shells on elastic base. We apply the Timoshenko-Reissner model, with a shear angle. As found, in this case we can use so-called «local approach» where is possible to ignore boundary conditions in the system of stability loss equations. Analytical and graphical dependence of the critical load on the shear parameter and rigidity of base is obtained. Several examples- uniform pressure and torsion of cylindrical and spherical shells are considered in detail.

## **РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ПОДКРЕПЛЕННОЙ ТОНКОСТЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ, ЗАЛЕГАЮЩЕЙ В ГРУНТЕ**

**Т.В. Никонова**

*Витебский Государственный Университет им. П. М. Машерова, г. Витебск,  
Беларусь*

Рассматривается сложная тонкостенная конструкция, находящаяся в грунте и состоящая из трех сопряженных гофрированных панелей и трех сопряженных цилиндрических панелей в качестве подкрепляющих элементов. Считаем, что в точках сопряжения несущая часть скреплена жестко, а в подкрепляющей части рассматриваем жесткое и шарнирное соединение. Гофрированные панели заменяются цилиндрическими панелями с толщиной, обеспечивающей совпадение их изгибной жесткости с аналогичной жесткостью гофрированных панелей. Считаем, что давление, оказываемое грунтом на несущую часть конструкции, носит гидростатический характер. Модель грунта представлена упругим основанием Винклера. Граничные условия на торцах оболочки не рассматриваются в виду предположения достаточно большой длины конструкции в поперечном направлении. Для описания равновесия каждого элемента конструкции использованы безмоментные уравнения равновесия тонких оболочек и уравнения физического состояния. В результате преобразований, для каждого элемента конструкции получено неоднородное линейное дифференциальное уравнение четвертой степени относительно нормального прогиба. Рассмотрение условий сопряжения элементов конструкции приводит к системе из 36 неоднородных алгебраических уравнений относительно 36 неизвестных постоянных. С использованием математической среды MAPLE найдены решения этих уравнений и выполнены расчеты усилий и моментов, возникающих в элементах конструкции для различных вариантов соединения подкрепляющей части конструкции.

### **Calculation of the stress-strain state of a supported thin-walled structure lying in a soil**

T.V. Nikonova

*Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus*

The thin-walled supported structure lying in a soil is investigated. The reaction of the structure on the part of the external elastic filling (a soil) is considered in the scope of Hooke's law. General solutions of the governing equations describing the structure equilibrium are obtained. The substitution of the general solutions into the boundary and conjunction conditions leads to the system of algebraic equations; those are solved by using the MAPLE software. The influence of the deposition depth of the structure on stresses is analyzed.

## **К РАСЧЕТУ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО КУПОЛА И ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЙ ГРАДИРНИ ПО БЕЗМОМЕНТНОЙ ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК**

**В.Я. Павилайнен, А.Н. Тулкина**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

Для оболочек вращения, срединная поверхность которых является поверхностью 2-го порядка, при действии осесимметричных или ветровых нагрузок уравнения равновесия безмоментной теории могут быть проинтегрированы в квадратурах, что показано В.В. Новожиловым в работе [1]. Однако, приведенные в этой книге решения для усилий не могут быть непосредственно использованы для расчета, если срединная поверхность содержит точку  $\Theta=0$  (например, для замкнутого в вершине эллиптического купола).

Для устранения особенности в указанной точке проведено преобразование расчетных формул к виду, позволяющему выполнять расчет во всей области криволинейных координат, включая начальную точку  $\Theta=0$ .

Результаты числовых расчетов для эллиптического купола, диаметром 76 м, и гиперболической градирни промышленного назначения представлены в таблицах и на графиках.

### **Литература**

1. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. – Л. Судпромгиз, 1962.
2. Павилайнен В.Я. К расчету эллиптического купола на ветровую нагрузку по безмоментной теории. Строительная механика и расчет сооружений – М., 1961, №3, стр. 38-42.

### **On the calculation of an elliptic dome and a hyperbolic cooling tower using the momentless shell theory**

V.Ya. Pavilainen, A.N. Tulkina

*Saint Petersburg State University, Russia*

The results for the stress on shells of rotation obtained using the V.V. Novozhilov membrane theory, are reduced to a form, which allows one to perform calculations in the whole area including the initial point  $\Theta = 0$ . Results of calculation are presented in tables and diagrams.

# **ВАРИАЦИОННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ КРУГОВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ НА ОСЕСИММЕТРИЧНУЮ ЛОКАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ**

**В.Я. Павилайнен, М.Ю. Федорова**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия*

Рассматривается круговая цилиндрическая оболочка, на которую в центральной области действует распределенная непрерывная радиальная нагрузка, близкая к сосредоточенной. Интенсивность нагрузки определяется «дельтообразной» функцией, симметричной и имеющей максимальное значение в центральном сечении, быстро убывающей при удалении от него.

Оболочка предполагается достаточно длинной, что позволяет пренебречь влиянием граничных условий на ее торцах. Материал считается идеальным упруго-пластическим.

Для определения области упруго-пластических деформаций при росте суммарной нагрузки или увеличении ее интенсивности в центральном сечении применяется модификация вариационного метода Ритца в форме, предложенной Л.М.Качановым [1].

## **Литература**

Качанов Л.М. Основы теории пластичности. Физматгиз, М., 1969, гл.VIII

## **Variational method for the calculation of elastic - plastic deformation of a circular cylindrical shell at axial-symmetric local loading**

V.Ya. Pavilainen, M.Yu. Fedorova

*Saint Petersburg State University, Russia*

The application of a variational Ritz method in the form suggested by L.M. Kachanov for investigation of elastic - plastic deformation of a circular cylindrical shell at axial-symmetry to the radial loading close to concentrated is considered.

## **О ЗАМКНУТОМ РЕШЕНИИ ОДНОЙ ПЛОСКОЙ МОМЕНТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ**

**Н.Н. Поляхов**

*Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет,  
Россия*

Рассмотрена моментная задача о плоском изгибе прямоугольной пластины под действием распределенных нагрузок, приложенных к боковым сторонам по тригонометрическому закону. Построено замкнутое решение в гармонических функциях для силовых и моментных напряжений, а также для смещений и поворотов. Из полученного решения следует, что средняя линия пластинки приобретает форму цепной линии, а максимальное значение моментных напряжений достигается в ее средней точке. Полученные выражения для моментных напряжений и поворотов не подтверждают гипотезу о том, что моментные напряжения пропорциональны кривизне линий, являвшихся прямыми до деформации.

### **About a closed solution of one problem of planar moment theory of elasticity for a rectangular region**

N.N. Polyakhov

*Saint Petersburg State Polytechnic University, Russia*

The moment problem of a planar band of a rectangular sheet under the action of distributed stresses is considered. The forces are applied to lateral opposite sides of a sheet and distributed according to the trigonometrical law. The closed solution is obtained for forces and moment stresses, harmonical functions being used. The deformation and angles are obtained too. The solution shows that the mean line of the sheet became a chain-line like, the maximal value of moment stress being reach in its middle point. The obtained relationships for moment stresses and angles demonstrate that the hypothesis about the proportionality between moment stresses and curvatures of lines, which were rectilinear before the deformation, is not feasible.

## **МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЧНОСТИ, УСТОЙЧИВОСТИ И ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ СЛОИСТЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**В.М. Рябов<sup>\*</sup>, Л.В. Паршина<sup>\*\*</sup>, Б.А. Ярцев<sup>\*\*</sup>**

*<sup>\*</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

*<sup>\*\*</sup>ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, Россия*

Разработаны алгоритмы расчета прочности, устойчивости и диссипативно-жест-костных характеристик слоистых анизотропных пластин из полимерных композиционных материалов, отличающихся степенью неоднородности по толщине, на основе метода Ритца со специальными координатными функциями, что в итоге позволило: 1) свести задачу определения напряженно-деформированного состояния к решению системы линейных алгебраических уравнений; 2) вычислить величину критического параметра нагрузки на основе решения алгебраической задачи на собственные значения; 3) построить двухэтапный метод определения собственных частот и собственных форм колебаний и модальных коэффициентов механических потерь.

Все программы реализованы на языке программирования C++ в среде VC45.

Приведены оценки сходимости методов решения указанных задач.

### **Methods for solving the problems of strength, stability and dying oscillations of layered anisotropic polymer composite plates**

**V.M.Ryabov<sup>\*</sup>, L.V.Parshina<sup>\*\*</sup>, B.A.Yartzev<sup>\*\*</sup>**

*<sup>\*</sup>Saint Petersburg State University, Russia*

*<sup>\*\*</sup>Krylov Central Scientific Research Institute, Saint Petersburg, Russia*

Methods for solutions the above named problems based on Ritz method are proposed. Especially, the methods for finding the natural frequencies and the natural vibrations forms of dying oscillations just as the modal loss factors are recommended. The critical loading stress is found. The methods' convergence estimations are demonstrated.

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СЛОИСТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**В.М. Рябов<sup>\*</sup>, Н.Н. Федонюк<sup>\*\*</sup>, Б.А. Ярцев<sup>\*\*</sup>**

*<sup>\*</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

*<sup>\*\*</sup> ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, Россия*

Обсуждаются теоретические основы создания слоистых элементов вибропоглощающих конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) с требуемым комплексом прочностных и диссипативно-жесткостных характеристик. На основе вариационных принципов Лагранжа, Трефтца, Гамильтона, уточненных теорий слоистых конструкций Рейсснера и Болотина и принципа упруго-вязкоупругого соответствия в линейной теории вязкоупругости построены математические модели прочности, устойчивости и затухающих колебаний слоистых анизотропных пластин из ПКМ, отличающихся степенью неоднородности по толщине. Разработан алгоритм выбора составов и структур слоистых элементов вибропоглощающих конструкций из ПКМ, основанный на использовании относительных параметров жесткости, прочности, устойчивости и диссипации энергии по отношению к конструкции-прототипу, позволяющий обоснованно выбирать рациональные отношения толщин несущих и вибропоглощающих слоев.

### **A unified method to design layered vibroabsorbing structures from polymer composite materials**

**V.M.Ryabov<sup>\*</sup>, N.N.Fedonyuk<sup>\*\*</sup>, B.A.Yartzev<sup>\*\*</sup>**

*<sup>\*</sup> Saint Petersburg State University, Russia*

*<sup>\*\*</sup> Krylov Central Scientific Research Institute, Saint Petersburg, Russia*

The problem of developing the unified method to design vibroabsorbing polymer composite structures is discussed. The method to construct the multilayered anisotropic plate-type specimens with rectangular cross-section having the desired strength and rigid-dissipative characteristics is suggested.

# **ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА РАССЛОЕНИЕ В ДВУХСЛОЙНОМ КОЛЬЦЕ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

**М.С. Сайкова**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматривается двухслойное круговое кольца, слои которого выполнены из различных материалов. В результате нагрева внутреннего кольца и охлаждения внешнего между кольцами возникает сжимающее усилие взаимодействия, что может привести к локальной потере устойчивости и отслоению внутренней части. На основе энергетического подхода определяются критические температуры. Основные соотношения выведены в рамках теории тонких криволинейных стержней. Получена формула критического контактного давления, при котором происходит потеря устойчивости внутреннего кольца при различных исходных данных задачи. Найдены критическое значение толщины внутреннего кольца  $h_2$  и соответствующий параметр температурного режима  $\Delta F_0$ , при которых наиболее вероятна потеря устойчивости. Рассмотрены задачи отслаивания кольца от жесткой обоймы и круглой пластины. Исследовано влияние механических параметров задачи на критические значения.

## **Литература**

1. Качанов Л.М. Расслоение стекловолоконистых труб при внешнем давлении. – Механика полимеров, 1975, № 6, с.1106-1108.
2. Феодосьев В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов. – М., Наука, 1973, с.260-293.
3. Бугаков И.И. О расслоении колец из волокнистого и слоистого стеклопластика. – Вестник Ленинградского университета, 1977, № 13, с.126-131.

## **Influence of geometrical and mechanical parameters on delamination of two-layered ring under a thermal load**

M.S. Saykova

*Saint-Petersburg State University, Russia*

Thermal delamination of two-layered ring due to snap-buckling of inner layer is explored. Critical values of normal interfacial stress, regime of temperature and thickness of inner layer under different geometrical and mechanical parameters are obtained.

# НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЧНОСТИ И ТЕРМОУПРУГОСТИ МИКРОПОЛЯРНЫХ ПЛАСТИН

**С.О. Саркисян, С.А. Варданыан, А.Ж. Фарманян**

*Гюмрийский государственный педагогический институт. Армения*

В работах [1,2] построена общая прикладная-двумерная теория пластин и теория термоупругости пластин на основе несимметричной теории упругости. Показано, что в зависимости от значений новых упругих моментных констант материала пластинки, возможно построение прикладной-двумерной теории микрополярных упругих и термоупругих пластин, при котором моментные напряжения играют решающую роль, а также, прикладной-двумерной теории, при которой компоненты вектора поворота точек срединной плоскости пластинки выражаются через прогиб пластинки (как в случае классической теории), т.е. фактически имеем прикладную-двумерную теорию микрополярных пластин со стесненным вращением.

В данной работе на основе прикладной-двумерной теории упругости и термоупругости микрополярных пластин (с независимыми полями перемещений и вращений) рассмотрены некоторые конкретные задачи (цилиндрический изгиб пластин, изгиб прямоугольных и круглых пластин). Все изученные задачи доведены до окончательных численных результатов и выполнен анализ полученных результатов. Выявлены особенности микрополярности материала пластинки.

## **Литература**

1. Sargsyan S.H. On Some Interior and Boundary Effects in Thin Plates Based on the Asymmetric Theory of Elasticity// Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics. Vol. 16./ Theories of Plates and Shells. Critical Review and New Applications. Springer. 2004. P.201-210.
2. Sargsyan S.H., Vardanyan S.A. The Theory of Thermoelastic Bending of Micropolar Thin Plates. Proceedings of the Sixth International Congress on Thermal Stresses, TS 2005 26-29 May 2005, Vienna University of Technology, Vienna, Austria. Vol. 1. P. 135-138.

## **Some Problems on Strength and Thermoelasticity of Micropolar Plates**

S.H. Sargsyan, S.A. Vardanyan, A.G. Farmanyanyan

*Gyumri State Pedagogical Institute, Armenia*

In the present work some concrete problems (a cylindrical bending of a plate, a bending of rectangular and round plates) are considered on the basis of the applied two-dimensional theory of elasticity and thermoelasticity of micropolar plates (with the independent fields of displacements and rotation, and with the constraint rotation). All studied problems are brought to the final numerical results and the analysis of the obtained results is realized. The properties of micropolarity of the plate's material are brought out.

## УДАРНОЕ РАСКЛИНИВАНИЕ ТОНКОГО БРУСА

**Г.А. Синильщикова**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассматривается задача динамики расклинивания тонкого бруса при ударном воздействии. В материале бруса имеется технологический надрез, к берегам которого прикладывается импульсная нагрузка, равномерно распределенная по всей длине. Предположение о сохранении симметрии при развитии трещины позволяет ограничиться рассмотрением одного ее берега. Он рассматривается как консоль, заделанная в вершине трещины. Показывается, что эту консоль целесообразно рассматривать как свободную балку, на которую наложены две голономные связи. Их уравнениями выражаются условия заделки в вершине трещины. В нулевом приближении, когда все формы колебаний свободной балки учитываются квазистатически, реакции связей, равные перерезывающей силе  $Q$  и изгибающему моменту  $M$  в вершине трещины, и переменная длина балки  $L$  рассматриваются как обобщенные лагранжевы координаты. Возможность использования переменной длины  $L$  как обобщенной лагранжевой координаты и применимость к подобным механическим системам уравнений Лагранжа II рода обсуждалась в работе [1].

Величиной, определяющей условие начала расклинивания бруса, является изгибающий момент  $M$  в вершине трещины. Расклинивание начинается, когда величина  $M$  превышает критическое значение. Таким образом, до начала развития трещины, модель имеет две степени свободы, а затем – три. Постоянная Гриффица считается постоянной и рассматривается в модели с тремя степенями свободы как величина, пропорциональная обобщенной силе, соответствующей координате  $L$ . Исследована зависимость процесса развития трещины от параметров нагрузки. В дальнейшем предполагается рассмотреть первое приближение, и определить условия применимости нулевого приближения.

### **Литература**

1. С.А.Зегжда, Н.Ф.Морозов, Б.Н.Семенов О “балочном” подходе в задачах распространения трещин. Механика деформируемого твердого тела №3 1999 г.

### **Impact wedging of a thin beam**

G.A. Sinilshchikova

*Saint-Petersburg State University, Russia*

The problem on dynamics of wedging a thin beam at the impact action is considered. The dependence of crack propagation process in the beam on the load parameters is studied.

# СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ОСЛАБЛЕННОЙ ОТВЕРСТИЯМИ

**А.Л. Смирнов**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Настоящий доклад посвящен численному исследованию устойчивости прямых круговых цилиндрических оболочки, ослабленных отверстиями.

Наличие отверстия приводит к расщеплению собственных частот, которые в случае оболочки без вырезов двукратны. Обнаружено значительное падение первой собственной частоты, сопровождающееся сильным искажением формы колебаний в окрестности отверстия с увеличением его размера. Одновременно наблюдались мало изменяющиеся формы даже при больших размерах выреза, для которых падение частоты было также незначительным. Форма отверстия (квадрат или круг) играет слабую роль, так же как и положение отверстия. Рассматривались прямоугольные вырезы, вытянутые вдоль образующей или вдоль параллели. Увеличение размеров отверстия в первом случае сильнее сказывается на значениях собственных частот, чем при увеличении в окружном направлении. Характер влияния вытянутости отверстия различен для разных форм. Наибольшее влияние на частоты наблюдается в случае «взаимодействия» отверстия(й) с формами колебаний («резонансные формы»).

В докладе приведены результаты исследования влияния формы, вида, положения, величины и количества отверстий на устойчивость цилиндрической оболочки под действием гидростатического давления. Для численного анализа был использован метод конечных элементов. В ходе численных экспериментов установлен эффект влияния «резонансных форм» на устойчивость оболочек и нечувствительность критической нагрузки к граничным условиям и смещению отверстия в осевом направлении.

## **Free vibrations and buckling of a cylindrical shell with the cut-offs**

A.L. Smirnov

*Saint-Petersburg State University, Russia*

The effect of the cut-offs on free vibrations and buckling of thin elastic cylindrical shells are analysed by means of the finite element method. The influence of the different parameters of the cut-offs such as their shapes, sizes, positions and numbers on the vibrations frequencies and critical loads is discussed.

## **О ВОЗМОЖНОСТЯХ ТЕОРИЙ ВЯЗКОУПРУГОСТИ И ПОВРЕЖДАЕМОСТИ, БАЗИРУЮЩИХСЯ НА КОНЦЕПЦИИ ОБОБЩЕННОГО ВРЕМЕНИ**

**Г.Д. Федоровский**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Необходимость применения современных теорий вязкоупругости и повреждаемости на базе концепции обобщенного времени обусловлена, прежде всего, кругом задач, где их эффективность и единство подхода наиболее высоки по сравнению с другими теориями. Это задачи, связанные: 1) с потребностями прогнозирования сложного нелинейного механического поведения материалов и изделий из них в условиях жесткой эксплуатации в течение длительного времени; и 2) с технологическими задачами производства изделий, с учетом фазовых переходов происходящих в материалах. В настоящее время, когда наблюдается глубокий спад производства многих, особенно дорогостоящих изделий, а регламентный срок (десятки лет) большинства эксплуатируемых изделий истекает, актуальным является вопрос решения третьей, не менее важной задачи: 3) оценки возможности продления срока эксплуатации, с современным корректным учетом «памяти» материалов на предшествующие воздействия, ведь регламентируемый срок назначался при использовании упрощенных, основанных на концепции упругого поведения подходов, при введении больших коэффициентов запаса прочности, с вероятностью недооценки или переоценки срока. Свежими примерами такой недооценки является по выводам Семенова В.А. недавнее аварийное разрушение Аквапарка в Москве; и, возможно, - отказ продления срока функционирования космической орбитальной станции «Мир». В качестве положительного примера можно назвать сделанную недавно Коротких Ю.Г. с соавторами оценку возможности существенного продления срока эксплуатации работающих в экстремальных условиях теплосмен и облучения дорогих атомных реакторов ледокольного флота нашей страны, проведенную на базе идеологии обобщенного времени, с учетом зарегистрированной бортовом журнале «истории» эксплуатации. Следует отметить, в настоящее время в нашей стране ведется бурное строительство зданий все большей высоты и с большими пролетами. Проектировщики с нарастающей настойчивостью говорят о необходимости учета в расчетах реальных длительных характеристик материалов (прежде всего бетонов) и оснований (грунтов), изменяющихся («стареющих») во времени и подвергаемых фазовым переходам, например, при замораживании и размораживании грунтов, изменении степени их влажности, влиянии агрессивной среды. Такие свойства можно эффективно описывать по концепции обобщенного времени. Проведен анализ применимости к описанному выше кругу задач различных известных теорий с обобщенным временем.

**On the possibility of theories of tenacity-elasticity and the damageability, based on the concept of generalized time**

G.D.Fedorovsky

*Saint-Petersburg State University, Russia*

The analysis of problems and possibilities of effective application of various theories and the damageability, based on a hypothesis of generalized time, is carried out.

## **О ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФУНКЦИЙ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ СРЕД**

**Г.Д. Федоровский**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Известно, что одной из основных проблем построения и применения уравнений состояния термовязкоупругости и повреждаемости является необходимость их грамотной физической и (желательно, сопровождающей ее) математической трактовки определяющих эти уравнения функций: тепловой деформации, функций ползучести (релаксации), повреждаемости (долговечности) и других, - например, коэффициента редукции (масштаба времени), применяемого, в частности, при использовании температурно-временной аналогии. Примерами относительно удачных физических представлений является введение в качестве параметров функций таких величин, как фундаментальные физические постоянные, «времена релаксации», «термодинамическое время», «энергия», «энергия активации» и т.п. Необходимо отметить, что практически все известные описания такого рода обладают определенными достоинствами и недостатками: а) в связи со сложным, как правило, гетерогенным строением сред, применение относительно простых физических моделей возможно лишь в узком интервале изменения времени, напряжений, деформаций и температуры, - строго говоря, лишь для «чистых подструктур» и в области, где отсутствуют фазовые переходы; - такого рода модели можно считать лишь «эскизами» явления (так, в частности, обстоит дело с известной «физической» формулой долговечности Журкова, не описывающей переходы); б) часто кажущаяся хорошей физическая трактовка приводит к неудобным математическим применениям (например, использование для кривых ползучести набора («спектра») «времен релаксации» в значительном интервале времени требует их большого количества, а их математическое определение некорректно (известны простые математические соотношения типа арктангенса с гораздо меньшим числом параметров); формула Журкова для переменных процессов может приводить к трансцендентным уравнениям, кроме того, в эту формулу входит странное с математической точки зрения произведение очень малой ( $10^{-13}$ ) и невероятно большой величин (применение степенного закона упрощает эти проблемы); в) применение эмпирических закономерностей часто является самым оптимальным, поскольку они устанавливаются на базе полученных из (все таки физических) экспериментов данных, с использованием наиболее рационального математического описания. Одним из весьма важных является вопрос: а) о применении единого (физического или (и) математического) описания определяющей функции в широком интервале, захватывающем физические переходы; б) «кусочного» (стадийного, в соответствии с фазовым, структурным состоянием); или в) «смешанного» (путем «добавления» на каждой фазе). В настоящей работе проанализирован ряд известных и новых

применений перечисленных физических, эмпирических и математических, в том числе, аналитических подходов.

**On the physical and mathematical representation of determining functions of the macroscopic equations of state for rheologically complex media**

G.D. Fedorovsky

*Saint-Petersburg State University, Russia*

Problems of physical and mathematical interpretation of determining functions of the equations of thermo-tenacity-elasticity and damageability of not trivial media are considered.

# **НОВЫЕ АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ТЕОРИИ КОЛЕБАНИЙ И УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК**

**С.Б. Филиппов**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Исследования в области теории колебаний и устойчивости тонких оболочек ведутся на кафедре теоретической и прикладной механики математико-механического факультета более 40-ти лет. П.Е. Товстиком и его учениками разработан целый ряд новых эффективных методов приближенного интегрирования уравнений теории тонких оболочек, основанных на использовании асимптотических разложений.

Первые работы в этом направлении были посвящены подробному изучению устойчивости в линейном приближении и малых колебаний оболочек вращения. Указанные проблемы сводятся к решению краевых задач на собственные значения для систем обыкновенных линейных дифференциальных уравнений с малым параметром при старших производных. Асимптотический анализ этих уравнений при наличии точек поворота явился существенным вкладом не только в теорию оболочек, но и в теорию асимптотического интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.

Переменность геометрических параметров оболочки или неравномерность нагрузки может привести к локализации форм колебаний и форм потери устойчивости тонкой оболочки вблизи некоторых линий или точек на срединной поверхности оболочки. В середине 1980-х годов П.Е. Товстик разработал приближенные методы построения локализованных решений систем уравнений в частных производных. С помощью этих методов получены асимптотические решения большого класса задач теории оболочек, для которых ранее были известны лишь отдельные численные результаты.

В последние годы выполнен большой цикл работ по нелинейной теории оболочек. Методом асимптотического интегрирования трехмерных уравнений теории упругости П.Е. Товстик получил соотношения упругости для физически и геометрически нелинейных задач двумерной теории оболочек, находящихся в условиях сильного изгиба. Асимптотическим и численным методами проведено исследование бифуркации осесимметричного равновесия оболочки вращения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 04-01-00257).

## **New asymptotic methods in the theory of thin shell vibrations and buckling**

**S.B. Filippov**

*Saint-Petersburg State University, Russia*

The most important results of asymptotic analysis of thin shell vibrations and buckling of Professor P.E. Tovstik and his pupil are described.

## **ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОВЕДЕНИЯ ТЯЖЕЛОЙ НИТИ ПРИ АБСОЛЮТНО НЕУПРУГОМ ПОПЕРЕЧНОМ УДАРЕ**

**М.В. Черников**

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
Россия*

В докладе рассматривается дискретно-массовая модель описания поведения тяжелой нити при поперечном абсолютно неупругом ударе. Обсуждаются способы учета характеристик жесткости и внутреннего трения нити путем определения соответствующих коэффициентов в дифференциальных уравнениях. Апробация модели производится на решении задачи о продольном ударе по упругому стержню. Проводится сравнение полученных результатов моделирования с результатами компьютерного моделирования поперечного удара по тросу, проведенного в лаборатории при кафедре прикладной механики и процессов управления СПбГТУ имени Петра Великого.

## **The engineering methods of the estimation of the behaviour of heavy thread under absolutely inelastic transversal impact**

M.V. Chernikov

*Saint Petersburg State Marine Technical University, Russia*

In the report is considered discrete-mass model of the description of the behaviour of heavy thread under absolutely inelastic transversal impact. The ways of the account of stiffness and internal friction features of threads by determinations corresponding factors in differential equations are discussed. The approbation of model is produced on decision of the problem of longitudinal impact on springy beam. The comparison of modeling result with the results of computer modeling of the transversal impact on rope that executed in laboratory at the department of applied mechanics and control processes of the Peter the Great SPbSTU is conducted.

## **РАВНОВЕСИЕ УПРУГОЙ БАЛКИ НА ОПОРАХ В ФОРМЕ УПРУГИХ КОЛЕЦ**

**О.Б. Широколова**

*Новгородский Государственный Университет, Великий Новгород, Россия*

Рассматривается статически неопределенная задача о деформации упругой балки, лежащей на нескольких упругих опорах в форме толстых упругих колец. Приближённое решение вспомогательной задачи о действии локальных нагрузок, приложенных на полюсах упругого кольца, строится в рядах Фурье. Определяется так называемый коэффициент жёсткости упругого кольца при локальном нагружении, позволяющий составить уравнение совместности деформаций в упругой системе.

### **Equilibrium of an elastic beam on supports in the form of elastic rings**

O.B. Shirikolobova

*Novgorod State University, Great Novgorod, Russia*

The statically indeterminate problem of the deformation of an elastic beam, lying on several elastic supports in the form of thick elastic rings is considered. An approximate solution to the auxiliary problem of the action of local loads applied at the poles of the elastic ring is constructed by means of the Fourier series. The so-called coefficient of the rigidity of an elastic ring under the local loading is introduced that allows to form an equation of the compatibility of deformations in the elastic system.

## **О ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЯХ БАЛКИ С НЕСМЕЩАЕМЫМИ ОПОРАМИ**

**М.А. Юшкевич**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

По методу Лагранжа выводится уточненное уравнение Дюффинга вынужденных поперечных колебаний балки. Приводятся амплитудно-частотные характеристики при различных значениях коэффициента демпфирования.

### **On lateral vibrations of the beam with fixed supports**

M.A. Yushkevich

*Saint Petersburg State University, Russia*

The improved Duffing equation for forced lateral vibrations of the beam is derived. The amplitude-frequency characteristics for different values of the damping coefficient are presented.

**СЕКЦИЯ V: ИСТОРИЯ МЕХАНИКИ**

**SECTION V: HISTORY OF MECHANICS**



# **METHODS OF ARTERIAL PRESSURE REGISTRATION AND BIOMECHANICAL INTERPRETATION OF THE PULSE WAVE CURVES: HISTORY AND CURRENT STATE**

**N.N. Kizilova**

*Kharkov National University, Ukraine*

Pulse wave examination in purpose of medical diagnostics goes back to the ancient oriental medicine. Arterial blood pressure measurements possess the long and interesting history as well. During the early 1600s William Harvey announced that the finite amount of blood circulated in the body in one direction only. In the mid-1700s, R.S. Hales reported the first invasive blood pressure measurement in horses. In the early 1800s J.-M. Poiseuille elaborated the mercury hydrodynamometer, an instrument to measure the velocity of a liquid flow by the force of its impact, and introduced the mmHg units. Karl von-Vierordt described in 1855 that the arterial pulse could be obliterated by application sufficient pressure. E.-J. Marey invented the sphygmograph, an instrument for recording graphically the features of the pulse and variations in blood pressure. His basic instrument, with modifications, is still used today. In 1881, von Basch created the sphygmomanometer and did the first non-invasive measurements of the blood pressure. In 1896 Scipione Riva-Rocci developed further the mercury sphygmomanometer, almost as we know it today. In 1905 Nikolai Korotkoff discovered the sounds made by the constriction of the artery. Modern devices for blood pressure measurements are based on analysis the Korotkoff sounds.

In modern clinics pressure and flow waves can be registered non-invasively by ultrasound devices. Contour analysis of the registered curves as well as spectral methods, wavelet analysis and some others can be used for evaluation the diagnostically important information. The problem of biomechanical interpretation of the calculated parameters is very important right up to nowadays [1]. Recently some novel methods of pulse wave diagnostics have been proposed [2, 3]. Wave intensity analysis is based on estimation of the propagated and reflected waves in the arterial systems. Here the comparative study of the corresponding biomechanical models is presented and discussed.

1. Regirer S.A. Biomechanics: well known and little known problem formulations. //Isvestija Russian Acad.Nauk. – 1992. – N5. – P.8-19.
2. Kizilova N.N. Pulse wave reflections in branching arterial networks and pulse diagnosis methods //J.Chinese Inst. of Engineers. – 2003. - V.26, N.6. - P.869-880.
3. Kizilova N.N. Reflection of Pulse Waves and Resonance Characteristics of Arterial Beds. //Fluid Dynamics. – 2003. – v.38, N5. - P.772-781.

## **РАЗВИТИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БГТУ**

**Г. А. Акимов**

*Балтийский государственный технический университет, Санкт-Петербург  
Россия*

В конце 1940-х годов в связи с развитием ракетно-космической техники начались интенсивные исследования в различных направлениях прикладной газовой динамики:

1. Сверхзвуковые газовые струи на нерасчётных режимах истечения (осесимметричные, плоские, составные, спутные, встречные).
2. Взаимодействие нерасчётных струй с преградами различных форм (плоская поверхность, конус, сфера).
3. Неустойчивые режимы взаимодействия сверхзвуковых струй с преградами.
4. Течение газа в полузамкнутых объёмах (каналы, шахты).
5. Внутрикамерные процессы при сгорании топлива.
6. Теория ударно-волновых взаимодействий.
7. Сверхзвуковые турбулентные струи.
8. Сверхзвуковые струи плазмы.
9. Тепловое взаимодействие струй с преградами.
10. Двухфазные течения.
11. Применение газовых струй в технологических процессах.
12. Аэроакустика газовых струй.

В последующие годы (1980-90-е) сформировались научные школы в следующих областях: газодинамика старта летательных аппаратов, внутрикамерные процессы в двигателях на твёрдом топливе, теория ударно-волновых взаимодействий.

Современные исследования в различных областях прикладной газовой динамики позволяют утверждать о преемственности исследований.

### **Development of directions of gas dynamics research in BSTU**

G.A. Akimov

*Baltic State Technical University, Saint Petersburg, Russia*

Stages of development of main directions of applied gas dynamics research in 1950-1970 are discussed. Foundation of scientific schools in subsequent years is considered.

## ПРОНИКНОВЕНИЕ ВОЛНЕНИЯ ЧЕРЕЗ ПОРИСТУЮ СТЕНКУ

**Ю.З. Алешков**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Николай Николаевич Поляхов внес большой вклад в различные разделы механики — аналитическая механика, аэродинамика, история механики. Он представил полное понимание законов механики, изложенных Ньютоном.

Работая в ЦАГИ (1929-1932), он познакомился с известным механиком Я.И. Секерж-Зеньковичем, автором работ по нелинейной теории волн и переводчиком V тома сочинений А.М. Ляпунова. Их дружба продолжалась в последующее время.

Автор доклада слушал его лекции по теории несущей поверхности, истории механики. Николай Николаевич был оппонентом по моим кандидатской и докторской диссертациям. Возглавляя Ученый совет по механике, он предложил мне быть его заместителем.

Научная деятельность Н.Н. Поляхова служит образцом творческого подхода к решению сложных задач механики.

В задачах морской гидротехники рассматривают случай взаимодействия с вертикальной стенкой, которая может быть как сплошной, так и пористой. При фронтальном подходе волн имеет место плоское движение слоя жидкости, ограниченного сверху свободной поверхностью, снизу — дном. Пористая стенка частично отражает и пропускает набегающую волну. Рассматривая потенциальное движение жидкости и соответствующий линейный вариант задачи для определения потенциала скорости  $\varphi(x, y, t)$  имеем:

$$\begin{aligned} \varphi_{xx} + \varphi_{yy} = 0; \quad \varphi_{tt} + g\varphi_y = 0, \quad y = 0, \\ \varphi_y = 0, \quad y = -H; \quad m(y) \frac{\partial \varphi_-}{\partial x} = \frac{\partial \varphi_+}{\partial x} = u(t, y), \quad \frac{\partial \varphi_-}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_+}{\partial t}, \quad x = 0, \end{aligned}$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести;  $m(y)$  — коэффициент пористости,  $0 \leq m(y) \leq 1$ ,  $-H \leq y \leq 0$ ;  $H$  — глубина. При  $x \rightarrow \pm\infty$  решение ограничено.

Подставляя  $\varphi = \text{Re} \{ \Phi(x, y) e^{-i\omega t} \}$ ,  $u = \text{Re} \{ U(y) e^{-i\omega t} \}$ , в силу уравнения Лапласа и условия на дне имеем уравнение  $k \text{th} kH = \frac{\omega^2}{g}$ . При заданной частоте  $\omega$  оно имеет корни  $\pm k, \pm i\kappa_n, n = 1, 2, \dots, k > 0, \kappa_n > 0$ .

Функции  $\text{ch} k(y + H), \cos \kappa_n(y + H), -H \leq y \leq 0$  ортогональны.

Используя суперпозицию частных решений с учетом условий на  $\infty$  представим

$$\begin{aligned} \Phi_- &= (A_1 e^{ikx} + A_2 e^{-ikx}) \text{ch} k(y + H) + \sum_n \alpha_n e^{\kappa_n x} \cos \kappa_n(y + H), \quad x < 0, \\ \Phi_+ &= B e^{ikx} \text{ch} k(y + H) + \sum_n \beta_n e^{-\kappa_n x} \cos \kappa_n(y + H), \quad x > 0. \end{aligned}$$

Учитывая условия на стенке, получим

$$(A_1 + A_2 - B) \operatorname{ch} k(y + H) + \sum_n (\alpha_n - \beta_n) \cos \kappa_n (y + H) = 0,$$

$$ik[m(y)(A_1 - A_2) - B] \operatorname{ch} k(y + H) + \sum_n \kappa_n [m(y)\alpha_n + \beta_n] \cos \kappa_n (y + H) = 0.$$

Определяя коэффициенты  $B, \beta_n, A_2, \alpha_n$  через  $U(y)$ , приходим к интегральному уравнению первого рода:

$$\int_{-H}^0 K(y, \eta) U(\eta) d\eta = 2ik m(y) A_1 \operatorname{ch} k(y + H),$$

$$K(y, \eta) = \frac{4k}{2kH + \operatorname{sh} 2kH} \operatorname{ch} k(y + H) + 1[1 + m(y)] \sum_n \frac{\kappa_n}{2\kappa_n H + \sin 2\kappa_n H} \cos \kappa_n (y + H) \cos \kappa_n (\eta + H).$$

## Penetration of the disturbance across a porous wall

Yu.Z. Aleshkov

*Saint-Petersburg State University, Russia*

Contribution of N.N. Polyakhov in the mechanics is discussed. The problem about penetration of the disturbance across a porous wall is reduced to the integral equation of the first kind.

## **ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК “НАУЧНЫЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ”: ПЛАНЫ И РЕАЛЬНОСТЬ**

**Л.И. Брылевская**

*Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники РАН*

В докладе предполагается обсудить цели и задачи издания энциклопедического справочника “Научный Санкт-Петербург”, а также представить результаты работы по формированию раздела “Математика и механика” этого справочника.

### **Encyclopaedical edition “Scientific Saint-Petersburg”: projects and reality**

L.I. Brylevskaia

*Saint Petersburg Branch of the Institute for the History of Science and Technique of the Russian Academy of Sciences, Russia*

The report contains the summary of the results achieved in creation of the chapter “Mathematics and Mechanics” in the Encyclopaedical edition “Scientific Saint Petersburg”.

## **ЭДВАРД ДЖОН РАУС**

**А.А. Буров**

*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, Москва, Россия*

Доклад посвящен жизни и творчеству выдающегося британского математика и механика Эдварда Джона Рауса.

## **Edward John Routh**

A.A. Burov

*Dorodnitsyn Computing Center of the RAS, Moscow, Russia*

The talk is devoted to the biography of the prominent British scientist Edward John Routh.

## **О ПРИБЛИЖЕННОМ РАСЧЕТЕ ТЕЧЕНИЙ В ТРУБАХ, КАНАЛАХ И ЩЕЛЯХ**

**Г.В. Кочерыженков, С.К. Матвеев**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Рассмотрена история «квазистационарного квазиодномерного» подхода к расчету медленно меняющихся течений в трубах, каналах и щелях переменного сечения. Показано, что предложенный в 1946 г. Н.А. Слезкиным и С.М. Таргом метод осреднения инерционных членов уравнения количества движения, широко используемый в гидродинамической теории смазки, эквивалентен квазиодномерному квазистационарному подходу.

Работа выполнена при поддержке гранта НШ-2259.2003.1.

### **On the approximate calculation of flows in tubes, channels and splits**

G.V. Kocheryzhenkov, S.K. Matveev

*Saint-Petersburg State University, Russia*

The history of “quasi-one-dimensional” and “quasi-steady-state” methods of calculation is considered. It is shown, that the method of averaging of inertial terms, proposed in 1946 by N.A. Slezkin and S.M. Targ, is equivalent to the “quasi-one-dimensional” and “quasi-steady-state” methods.

## **О ПОПУЛЯРИЗАЦИИ НАУКИ В ЖУРНАЛЕ «СОВРЕМЕННОК» (СТАТЬИ П. Б. КОЗЛОВСКОГО)**

**И.Е. Лопатухина \*, А.Л. Лопатухин \*\***

*\* Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

*\*\* National Taiwan University, Taiwan*

Петр Борисович Козловский (1783-1840) почти всю свою жизнь провел на дипломатической работе (Сардинское королевство, герцогства Вюртембергское и Баденское, Коллегия иностранных дел), В 1835 году он вернулся в Санкт-Петербург, где познакомился с А. С. Пушкиным - редактором литературного журнала «Современник». Пушкина очень интересовала популяризация науки в русской литературе и в князе Козловском он нашел человека «положительно ученого, в особенности по части чистой и прикладной математики, с умом чрезвычайно ясным он соединял искусство говорить и писать о самых сложных и затруднительных предметах просто, определительно и притом живописно» (комментарии В.Ф. Одоевского на письме к нему Козловского).

И в двух номерах журнала «Современник» № 3 (1836) и № 7 (1837) появились статьи Козловского «О надежде» и «Краткое начертание паровых машин». Первая статья посвящена теории вероятностей, где автор на примере игровых ситуаций излагает основы теории вероятностей, а во второй статье знакомит читателей с физическими явлениями, лежащими в основе действия паровых машин, и их конструкциях.

### **About popularization of Science in magazine “Sovremennik (Contemporary)” (Papers of P. B. Kozlovskii)**

**I.Ye. Lopatukhina\*, A.L. Lopatukhin\*\***

*\*Saint-Petersburg State University, Russia*

*\*National Taiwan University, Taiwan*

Two papers of P. B. Kozlovskii) were published in literature magazine “Sovremennik” in 1836 – 37 years. The first paper “About hope” was dedicated to theory of probability and the second paper “The short inscription of steam-engine” was named.

## **ПУАНКАРЕ И МЕХАНИКА.**

**К.В. Мануйлов**

*ОАО НПК "Высокие технологии", Санкт-Петербург, Россия*

Проводится анализ научного наследия А.Пуанкаре с целью определить значение для развития механики всех его трудов. В первой части проведено сопоставление результатов, полученных предшественниками А.Пуанкаре от античности до конца XIX столетия в областях механики:

- 1) небесной, состоящей из двух отделов:
  - а) задачи N тел,
  - б) классическая теория потенциала,
- 2) механики твёрдого и деформируемого тела,

с мемуарами Пуанкаре.

Вторая часть посвящена краткому обзору тех разделов современной математики, которые имеют своим началом различные теоремы, положения и задачи, впервые рассмотренные А.Пуанкаре, и определяются в настоящее время либо как разделы механики, либо как области математики, составляющие основание механики.

## **Poincare and mechanics**

**K.V. Manuylov**

*ОАО НПК "High Technologies", Saint Petersburg, Russia*

The influence of Poincare's scientific heritage on theoretical mechanics is analysed. First part of analysis contains comparison Poincare's works with results obtained in period from antiquity to XIX century in theoretical mechanics. Second part is devoted to review of sections of modern theoretical mechanics, which are based on Poincare's works.

## **ИСТОРИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЖИВОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ НАУКИ.**

**М.А. Миркин**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

Основные исторические этапы развития живой математики, рассматриваются как упорядоченные последовательности. Анализ базируется на формировании числовых систем. Показано, что моделирование и познание процессов, наблюдаемых нами явлений природы, основано на особенностях нашего восприятия материального мира. Рациональность отображения и формирование картины окружающей среды происходят в ограниченной области обобщенного многомерного ортогонального пространства, так как в основе взаимодействия лежит ближний порядок, определяемый линейностью упорядоченного характера взаимодействий. С этой областью связаны индивидуальные особенности материальных систем. Основное противоречие при формировании таких систем связано с экстремальными характеристиками природы. С одной стороны стремление к формированию видов, с другой - наделение их индивидуальными особенностями. Показано, что в силу различия материальных систем они имеют ограниченное время жизни. При этом чем разнообразнее система, тем больше вероятность ее разрушения.

### **Historical stages of the development of an alive mathematical science**

**M.A. Mirkin**

*Saint-Petersburg State University, Russia*

The basic historical stages of development of alive mathematics are considered as the ordered sequences. The analysis is based on formation of numerical systems. It is shown that modelling and knowledge of processes of natural phenomena observable by us is based on features of our perception of a material world.

**КОНСТАНТИН ИВАНОВИЧ СТРАХОВИЧ  
(К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

**Р.Н. Мирошин, М.П. Юшков**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В докладе излагаются основные этапы жизни и научно–педагогической деятельности известного ученого-механика профессора К.И.Страховича (1904-1968), заведовавшего до Великой Отечественной войны кафедрой гидроаэромеханики Ленинградского университета.

**Konstantin Ivanovich STRAKHOVICH (devoted to the 100<sup>th</sup> birthday anniversary)**

**R.N. Miroshin, M.P. Yushkov**

*Saint Petersburg State University, Russia.*

Basic periods of life and scientific and pedagogical activity of the famous scientist and specialist in mechanics, Professor K.I. Strakhovich who was the head of the department of fluid mechanics before the Great Patriotic War are covered.

## **БИОГРАФИЧЕСКИЕ СПРАВОЧНИКИ ЗА РУБЕЖОМ И В РОССИИ: ЗЕРКАЛО УЧЕНОГО МИРА**

**Глеб К. Михайлов**

*Российский Национальный комитет по теоретической и прикладной механике,  
Москва, Россия*

### **I. Международные и зарубежные национальные справочники.**

I-1. Международные общие биографические словари и источники (Биографические указатели мюнхенского издательства K.G.Saur и биографические архивы на микрофишах; различные Who is / was Who; Американский Biography Index).

I-2. Международные специализированные словари (Биобиблиографический словарь точных наук Поггендорфа; Dictionary of Scientific Biography и его новое издание; итальянские справочники издательства Mondadori, специализированные биографические словари)

I-3. Международные специализированные библиографические указатели.

I-4. Зарубежные национальные биографические словари.

I-5. Биографические справки в Интернете.

### **II. Биографические словари в дореволюционной России**

II-1. Незавершенный «Русский биографический словарь» А.А.Половцева.

II-2. Биографии в «Энциклопедическом словаре» Брокгауза и Ефрона

II-3. Некрополи, инициированные Великим князем Николаем Михайловичем: Петербургский, Московский и Провинциальный некрополи.

### **III. Биографические словари в СССР**

III-1. Серия «Наука и научные работники СССР» Академии наук СССР.

III-2. Биографические словари Киевской школы истории науки.

### **IV. Биографические словари в новой России.**

IV-1. Академии наук и высшая школа.

IV-2. Специализированные Who's Who.

IV-3. Некрополи; Мартирологи; Книги памяти; Генеалогия.

IV.4. Биографические энциклопедии «Гуманистики» и план «Нового Русского биографического словаря» (50 томов на 50000 имен).

## **Foreign and Russian biographical dictionaries: Scientific world mirror**

G.K. Mikhailov

*Russian National Committee on Theoretical and Applied Mechanics, Moscow, Russia*

Review of biographical dictionaries published abroad and in Russia with emphasis on the works of the 20<sup>th</sup> century is presented. The prospects of a Russian National Biographical Dictionary are discussed.

## **О РАЗВИТИИ МЕХАНИКИ В РОССИИ В XVIII В.**

**Н.М. Панькина**

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия*

Состояние науки и образования в России до XVIII в. находилось на весьма низком уровне.

Во времена правления Петра I стремительно стали развиваться строительство, мореходство, кораблестроение, военное искусство. Все эти отрасли требовали большого числа специалистов: архитекторов, географов, морских офицеров, штурманов, военных специалистов, учителей и т. д. Для подготовки всех этих кадров в России понадобилось открытие технических школ, университетов, академий.

Мало кому известно, кто был первым русским академиком: Петр I был избран в почетные члены Парижской королевской академии наук с 1717 г. В качестве научного исследования Государь представил в 1719 г. существенно уточненную карту Каспийского моря.

### **Литература**

1. Маяк современного просвещения и образованности. СПб.:, 1840 – 1845 гг. Год первый. 1840. Части 1 и 3. с. 1-7.
2. Ломоносов М. В. Полное собрание сочинений. Т. 11, дополнительный, справочный. Письма, переводы, стихотворения, указатели. Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1983г.
3. Поляхов Н. Н. Исследования Леонарда Эйлера по аналитической механике первого петербургского периода. – Развитие идей Эйлера и современная наука. Под ред. А. Н. Боголюбова и др. М.: Наука, 1988.

### **About the development of mechanics in Russia in the XVIII century**

N. M. Pankina

*M.V. Lomonosov Moscow State University, Russia*

The epoch of Peter the Great is marked by surge in development of science, technology and education. At this period the first technical schools, universities, academies were organized. The fact that the first Russian academician of Paris Royal Academy of Sciences was Peter the First is not generally known. As a scientific research he sent to the Academy a considerably adjusted map of the Caspian Sea.

## ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ДИНАМИКИ РОТОРОВ

**И.А. Пасынкова, В.С. Сабанеев**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В 1869 г. в журнале “The Engineer” появилась статья Rankine “On the Centrifugal Force of Rotating Shafts”, в которой впервые было показано, что начиная с некоторой угловой скорости вал значительно изогнется и его ось будет вращаться в таком изогнутом состоянии. А в 1889 г. шведский инженер Лаваль создал паровую турбину с тонким гибким валом, которая работала на сверхкритических скоростях. Эти работы положили начало изучению специфических вопросов, связанных с колебаниями вращающихся гибких валов, или динамике роторов. В 1919 г. Джеффкотт создал модель ротора, которая состояла из точечной массы, укрепленной на гибком валу посередине между шарнирными опорами. Он подтвердил возможность устойчивого вращения ротора в закритической области. Модель ротора Джеффкотта и ее модификации широко используются в современных научных исследованиях.

В 1924 г. Стодола опубликовал труд, в котором были теоретически и экспериментально изучены такие явления, как гироскопическое действие дисков, насаженных на вал, вторичные резонансные явления, устойчивость вала с одним диском и др. В двадцатых-тридцатых годах XX века задачи колебаний и устойчивости роторов с сосредоточенными и распределенными массами привлекали внимание многих крупных ученых-механиков. Кимбал и Ньюкирк исследовали неустойчивость вала в закритической области в результате действия сил трения. В России в то время по динамике роторов опубликованы работы Н.Г. Жуковского, Е.Л. Николаи, П.Л. Капицы.

В послевоенное время число исследований и публикаций по динамике роторов стремительно росло во всем мире. В настоящее время создан Комитет по динамике роторов в составе Международной федерации машин и механизмов, который, начиная с 1982 г., регулярно проводит международные конференции

### **Литература:**

1. Nelson F.C. A brief history of early rotor dynamics.  
[http://www.findarticles.com/p/articles/mi\\_qa4075/is\\_200306.ai\\_n9296359](http://www.findarticles.com/p/articles/mi_qa4075/is_200306.ai_n9296359)
2. Диментберг Ф.М. Изгибные колебания вращающихся валов. М., 1959. 248с.

### **On the history of rotor dynamics theory**

I.A. Pasynkova, V.S. Sabaneev

*Saint Petersburg State University, Russia*

A brief review of rotor dynamics formation from the first theoretical and practical investigations to the well-known monographs of the middle of the XX-th century is presented.

## **РЕАЛИЗАЦИЯ И РАЗВИТИЕ ИДЕЙ ПИОНЕРОВ КОСМОНАВТИКИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СОЛНЕЧНЫХ ПАРУСОВ**

**А.А. Пережогин**

*Московский государственный открытый университет, Россия*

На симпозиуме «Будущее Земли и человечества: роль и место космонавтики», который предшествовал открытию XL Циолковских Чтений, были поставлены две проблемы, мешающие развитию космонавтики: «отношения людей внутри своего единства (социальные отношения) и отношения людей с окружающей их природой (глобальная экология)» (Б.Н. Кантемиров, В.И. Флоров, 2005).

Представляемый доклад о реализации идей пионеров космонавтики по использованию солнечных парусов, очевидно, в значительной степени относится к решению экологической проблемы. Световое давление не требует расхода горючего, это экологически чистый источник движения в космосе. Кроме того, есть актуальные проекты по очистке с помощью солнечных парусов ближайшего космоса от технологических осколков, по космической защите Земли от астероидов и комет, по защите от торнадо, по защите сейсмически неблагоприятных участков Земли от Солнца, по освещению участков земной поверхности и др.

Большинство из развиваемых ныне идей по использованию солнечных парусов были предложены пионерами космонавтики: Ю.В. Кондратюком, К.Э. Циолковским, Ф.А. Цандером и Г. Обертом. В докладе приводятся интересные высказывания пионеров космонавтики по этим вопросам и представлена современная картина попыток и перспектив реализации предложенных ими идей.

### **The realization and development of the astronautics pioneers' ideas to make use of solar sails**

**A.A. Perezhogin**

*Moscow State Open University, Moscow*

The interesting statements of the pioneers of astronautics (Yu. V. Kondratyuk, K. E. Tsiolkovsky, F.A. Tsander, H. Oberth) have been cited in the report and the modern picture of the attempts and perspectives for realizing them has been presented there as well.

## **О ПОДГОТОВКЕ К ПЕЧАТИ РУКОПИСИ Н.Н.ПОЛЯХОВА "ЧТО ПРИВНЕСЛИ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА В КЛАССИЧЕСКУЮ МЕХАНИКУ"**

**А.Ф. Полянский\***, **Н.Н. Поляхов-мл.\*\***, **Е.Н. Поляхова\***

*\*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

*\*\*Санкт-Петербургский государственный технический университет, Россия*

К 100-летию со дня рождения Н.Н.Поляхова (1906-1987) подготовлена к печати рукопись его методической статьи под указанным выше заглавием, написанной им в 1980-е годы. Она оказалась последней научной работой ученого. Рукопись представляет собой текст доклада Н.Н.Поляхова на методической конференции в Москве, после которой она была им оформлена в виде Препринта Института Проблем Механики АН СССР N.330 за 1985 г. Обсуждаемая статья подготовлена на базе текста этого препринта, а также на базе материалов курсов лекций по теоретической механике и по истории механики, которые Н.Н.Поляхов читал в течение многих лет в Ленинградском университете. Ряд этих методических материалов был включен им в первое издание его учебника по теоретической механике. Н.Н.Поляхов придерживался мнения, что пониманию сущности теоретической механики весьма способствует взгляд на нее с более общих позиций, доставляемых как специальной теорией относительности, так и квантовой механикой. Как известно, эти разделы науки поставили перед классической механикой новые задачи, чем ее очень обогатили, не изменив при этом "определений, поучений и аксиом" Ньютона. В статье Н.Н.Поляхов убедительно демонстрирует это последовательным построением основных уравнений перечисленных дисциплин в их взаимной связи. В статье в соответствующих трех разделах дается: анализ основных определений и аксиом ньютоновой механики из "Principia", данный с современных позиций, релятивистские уравнения динамики в ньютоновой и лагранжевой формах в рамках специальной теории относительности, основные уравнения квантовой механики и их связь с вариационными принципами механики на базе волнового уравнения. При редактировании текста составителями исправлены опечатки, добавлены сведения по истории публикаций и переводов "Principia". Авторский список литературы снабжен указателем дополнительной литературы по обсуждаемой теме. Публикация статьи приурочена одновременно и к столетнему юбилею появлению специальной теории относительности (1905 г.).

## **About the publication of N.N.Polyakhov's manuscript "What Have Relativity and Quantum Mechanics Added into Classical Mechanics"**

A.F. Polyansky\*, N.N. Polyakhov-Jr.\*\*, E.N. Polyakhova\*

*\*Saint Petersburg State University, Russia*

*\*\*Saint Petersburg State Technical University, Russia*

The N.N.Polyakhov's paper prepared to the new publication is based partly on his report in Methodical Conference of 1985 and on conventional Preprint of 1985 in Moscow Institute of Mechanics Problem and partly on N.N.Polyakhov's courses in Classical Mechanics and in History of Mechanics what he lectured in Leningrad (St.-Petersburg) University. The paper consists of three Sections. In First Section some basic Definitions and Axiomatics of Newton's Mechanics are analysed, their generality and completeness being specified. Second Section demonstrates that the including of invariant elementary interval of time into the motion generalized law written in the dimensional space can be considered as the direct development of Newton's idea of absolute time existence. Main equations of Dynamics are derived in Newtonian and Lagrangian form in frame of Special Relativity. Third Section connects to relationships between Quantum Mechanics, Hamilton's Least Action Principle and Hamilton-Jacobi equation. The main idea of this paper is that Special Relativity Theory and Quantum Mechanics propose new problems for Classical Rational Mechanics enriching it simultaneously by new ideas but without any variations in Newton's Definitions and Axiomatics given in his famous book "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica"(1687). The paper preparation is devoted to N.N.Polyakhov's Birthday 100-Anniversary (1906-1987) and to the recent 100-Anniversary of Special Relativity Theory Appearance in 1905.

## **ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ МЕХАНИКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО – ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЗА 1819 – 1929 ГОДЫ**

**М.П. Юшков**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В докладе освещается деятельность кафедры механики Петербургского – Ленинградского университета за 1819 – 1929 годы. Используются материалы из архива Н.Н.Поляхова.

## **The History of the Department of Mechanics of Saint Petersburg – Leningrad University during 1819 – 1929 years.**

M.P. Yushkov

*Saint Petersburg State University, Russia.*

The Mechanics Department activity of Petersburg – Leningrad University during 1819 – 1929 years is covered. The materials from N.N. Polyakhov's archive are used.

## AUTHOR INDEX

- Abushik G.V., 185  
Achkinadze A.S., 128  
Akimov G.A., 228  
Aleshkov Yu.Z., 230  
Almazova S.V., 39  
Anisimov V.Yu., 186  
Antipov K.A., 94  
Artukhin A.S., 126
- B**  
Babadzanjanz L.K., 95  
Babarykin K.V., 129  
Bardin B.S., 40, 96  
Batueva N.B., 97  
Bauer S.M., 187  
Bazilevich S.S., 159  
Bestuzheva A.N., 130  
Bolgar E.S., 188  
Brylevskaia L.I., 231  
Bukashkina O., 189  
Burov A.A., 41, 42, 232  
Byachkov A.B., 33  
Bykov V.G., 43, 44
- C**  
Cattani C., 59  
Chekin A.M., 96  
Chernikov M.V., 222  
Chernyshov M.V., 145, 174, 179  
Chikhaoui A., 121  
Chubey M.S., 114
- D**  
Dacuk V.K., 47  
Danilina I.A., 98  
Dmitriev N.N., 48  
Dokuchaev L.V., 99
- E**  
Efimov E.V., 195  
Egorov B.V., 126  
Eliseenko V.N., 135  
Emelyanov V.N., 135, 136  
Ender A.Ya., 181  
Ender I.A., 181  
Enflo B.O., 34
- Ershov B.A., 193
- F**  
Farmanyanyan A.G., 214  
Fedonyuk N.N., 211  
Fedorova M.Yu., 208  
Fedorovsky G.D., 218, 220  
Fedosenko N.B., 180  
Filippov S.B., 221  
Firsov M., 204
- G**  
Glukhikh Yu.D., 45  
Goncharenko V.I., 133  
Gorbunov A.A., 134  
Grigoriev I.S., 98  
Gunko Yu.F., 46
- H**  
Hedberg C.M., 34  
Hotyanovsky D.V., 140
- I**  
Igolkin S.I., 134  
Ilyina L.P., 57  
Indeitsev D.A., 25  
Ivanov D.N., 199  
Ivanov G.E., 56  
Ivanov L.G., 138  
Ivanov M.S., 122, 140  
Ivanov N.G., 119  
Iwanov A.P., 101
- K**  
Kalenova V.I., 65  
Kapranov I.E., 141  
Karakulko K.I., 142  
Karapetyan A.V., 35, 58  
Kashkovsky A.V., 122  
Kasper R., 36  
Kholodova S.E., 162  
Kiiski Ye.A., 144  
Kizilova N.N., 120, 227  
Kocheryzhnikov G.V., 233  
Kondrat'eva N.V., 61  
Konkina L.I., 102  
Korolev V.S., 104

Kosenko I.I., 105  
 Koshcheev A.V., 126  
 Koshelev A.I., 201  
 Kotikova M.P., 145  
 Kouzmina V.E., 129  
 Krasilnikov P.S., 107  
 Kudriavtsev A.N., 140  
 Kustova E.V., 121, 138, 148  
 Kuteeva G.A., 108, 193  
 Kuznetsov M.M., 146  
 Kvasnikov B.N., 200

L'vov V.N., 114  
 Lacor C., 119  
 Lavrov Yu.A., 90  
 Lebedin D.P., 62  
 Leshchenko D.D., 109  
 Lokshin B.Ya., 63  
 Lomakin A.A., 44  
 Lopatukhin A.L., 37, 234  
 Lopatukhina I.Ye., 234  
 Lubimtsev R.S., 150  
 Lukin A.A., 203  
 Lushtchenko I.V., 149

Mailybaev A.A., 27  
 Makarov Yu.A., 61  
 Malinin A.A., 151  
 Manuylov K.V., 64, 152, 235  
 Markachev Yu.Ye., 126  
 Matveev S.K., 153, 233  
 Melnikov Yu., 23  
 Memnonov V.P., 155  
 Miheev A.V., 205  
 Mikhailin A.I., 174  
 Mikhailov G.K., 30, 238  
 Mikhasev G.I., 192, 204  
 Mirkin M.A., 236  
 Miroshin R.N., 156, 237  
 Mordinsky N.A., 135  
 Morozov A.G., 153  
 Morozov V.A., 203  
 Morozov V.M., 65  
 Mostovykh P.S., 178

Moukhina L.A., 157  
 Munitsyna M.A., 66

Nagnibeda E.A., 22, 121, 142, 158, 159  
 Nagorni S.S., 160  
 Narbut M.A., 67, 201  
 Nazarikova T.O., 165  
 Nesmachniy D.V., 69  
 Nezderov A.A., 68  
 Nikiforov S.B., 140  
 Nikonova T.V., 206  
 Novikov K.A., 158

Okunev Yu.M., 63  
 Ostov Y.J., 101  
 Ozornov I.A., 126

Pankina N.M., 239  
 Panova S.A., 70  
 Parshina L.V., 210  
 Pascal M., 24  
 Pasyukova I.A., 71, 240  
 Pavilainen V.Ya., 185, 207, 208  
 Pavilaynen G.V., 195  
 Peregudin S.I., 162  
 Perezhogin A.A., 241  
 Petrov D.A., 163  
 Petrov K.G., 94  
 Petrov N.A., 111  
 Pivovarov M., 35  
 Podolsky M.Ye., 164, 165  
 Pogrebskaya T.N., 72  
 Polyakhov N.N., 209, 243  
 Polyakhova E.N., 97, 112, 243  
 Polyansky A.F., 243  
 Pototskaya I.Yu., 95  
 Prozorova E.V., 166  
 Pupysheva Yu.Yu., 95  
 Puzyreva L.A., 148  
 Pylat E.V., 177

Rachinskaya A.L., 109  
 Raines A.A., 168  
 Rodnikov A.V., 93

Rodyukov F.F., 61, 73  
 Rudenko O.V., 34  
 Rudyak V.Ya., 169  
 Ryabinin A.N., 150  
 Ryabkov M.E., 171  
 Ryabov V.M., 210, 211  
 Rydalevskaya M.A., 132, 137, 170  
  
 Sabaneev V.S., 22, 240  
 Saburova N.Yu., 74  
 Salmina M.A., 65  
 Samsonov V.A., 75  
 Sargsyan S.H., 214  
 Saykova M.S., 212  
 Seliutsky Yu.D., 75  
 Serova V.D., 173  
 Seyranian A.A., 76  
 Seyranian A.P., 27, 59, 76  
 Shamolin M.V., 86  
 Shekhovtsov V.A., 83  
 Shepeljavyi A.I., 61  
 Shirikolobova O.B., 223  
 Shmyrov A.S., 62, 115  
 Shmyrov V.A., 115  
 Sidorova O.V., 46  
 Silnikov M.V., 174  
 Sinilshchikov V.B., 175  
 Sinilshchikova G.A., 215  
 Sinitsyn K.A., 159  
 Skiba O.Ya., 170  
 Smirnov A.L., 216  
 Smirnov E.M., 119, 176  
 Sobolev O.V., 99  
 Sokolov B.M., 54  
 Sokolov L., 108  
 Soltakhanov Sh.Kh., 50  
 Starkov V.N., 177  
 Stefanova S.A., 77  
 Stepanov S.Ia., 24, 42, 105  
 Strelkova N.A., 78  
 Sudyankov Yu.V., 203  
 Sulikashvilli R., 38  
 Sumin T.S., 79  
 Suslonov V.M., 33  
  
 Svygin A.L., 88  
  
 Tatarinov Ya.V., 35, 80  
 Tikhonov A.A., 94  
 Titov V.B., 113  
 Tkhai K.V., 45  
 Tkhai V.N., 52, 85  
 Tovstik P.E., 83  
 Tovstik T.M., 83  
 Tovstik T.P., 84  
 Trifonenko B.V., 55  
 Trotsuk A.V., 140  
 Tsibarov V.A., 160, 163  
 Tsirkunov Yu.M., 131, 151  
 Tsoy S.V., 160  
 Tulkina A.N., 207  
 Tverev K.K., 81  
  
 Uskov V.N., 145, 178, 179  
  
 Vardanyan S.A., 214  
 Vashchenkov P.V., 122  
 Veryovkin A.A., 131  
 Viktorov I.V., 190  
 Vlasenko D., 36  
 Volkov A.N., 124  
 Voronkova E.B., 187  
 Voroshilova Yu.N., 132  
 Vovnenko N.V., 191  
  
 Yagudin L.I., 114  
 Yakimova I.V., 136  
 Yakovlev A.B., 116  
 Yakovlev A.Yu., 157  
 Yakubov S.A., 176  
 Yartzev B.A., 210, 211  
 Yermochenko S.A., 192  
 Yufereva L.M., 90  
 Yushkevich M.A., 224  
 Yushkov M.P., 21, 39, 50, 237, 244  
  
 Zaitsev A.V., 196  
 Zatsepin M.A., 197  
 Zavyalov O., 125

Zegzhda S.A., 21, 39, 50  
Zeidis I., 35  
Zharkova O.V., 137  
Zhigilei L.V., 124  
Zimin B.A., 198  
Zimmermann K., 35  
Zimovshchikov A.S., 52  
Zobova A.A., 53  
Zotov Yu.K., 54  
Zuev S.M., 55

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абушик Г.В., 185  
Акимов Г.А., 228  
Алешков Ю.З., 229  
Алмазова С.В., 39  
Анисимов В.Ю., 186  
Антипов К.А., 94  
Артюхин А.С., 126  
Ачкинадзе А.Ш., 127
- Бабаджанянц Л.К., 95  
Бабарыкин К.В., 129  
Базылевич С.С., 159  
Бардин Б.С., 40, 96  
Батуева Н.Б., 97  
Бауэр С.М., 187  
Бестужева А.Н., 130  
Болгар Е.С., 188  
Брылевская Л.И., 231  
Букашкина О.С., 189  
Буров А.А., 41, 42, 232  
Быков В.Г., 43, 44
- Варданян С.А., 213  
Веревкин А.А., 131  
Викторов И.В., 190  
Вовненко Н.В., 191  
Воронкова Е.Б., 187  
Ворошилова Ю.Н., 132
- Глухих Ю.Д., 45  
Гончаренко В.И., 133  
Горбунов А.А., 134  
Григорьев И.С., 98  
Гунько Ю.Ф., 46
- Данилина И.А., 98  
Дацук В.К., 47  
Дмитриев Н.Н., 48  
Докучаев Л.В., 99
- Егоров Б.В., 126  
Елисеенко В.Н., 135
- Емельянов В.Н., 135, 136  
Ермоченко С.А., 192  
Ершов Б.А., 193  
Ефимов И.В., 194
- Жаркова О.В., 137
- Зайцев А.В., 196  
Зацепин М.А., 196  
Зегжда С.А., 21, 50  
Зимин Б.А., 198  
Зимовщиков А.С., 51  
Зобова А.А., 53  
Зотов Ю.К., 54  
Зуев С.М., 55
- Иванов А.П., 100  
Иванов Г.Е., 56  
Иванов Д.Н., 199  
Иванов Л.Г., 138  
Иванов М.С., 139  
Иголкин С.И., 134  
Ильина Л.П., 57
- Каленова В.И., 65  
Капранов И.Е., 141  
Каракулько К.И., 142  
Карапетян А.В., 58  
Каттани К., 59  
Квасников Б.Н., 200  
Кийски Е.А., 143  
Кондратьева Н.В., 60  
Конкина Л.И., 102  
Королев В.С., 103  
Косенко И.И., 105  
Котикова М.П., 145  
Кочерыженков Г.В., 233  
Кошелев А.И., 201  
Кощев А.В., 126  
Красильников П.С., 106  
Кудрявцев А.Н., 139  
Кузнецов М.М., 146

Кузьмина В.Е., 129  
Кустова Е.В., 138, 147  
Кутеева Г.А., 108, 193

Лавров Ю.А., 89  
Лебедин Д.П., 61  
Лещенко Д.Д., 109  
Локшин Б.Я., 63  
Ломакин А.А., 44  
Лопатухин А.Л., 234  
Лопатухина И.Е., 234  
Лукин А.А., 202  
Луценко И.В., 149  
Львов В.Н., 114  
Любимцев Р.С., 150

Майлыбаев А.А., 26  
Макаров Я.А., 60  
Малинин А.А., 151  
Мануйлов К.В., 64, 152, 235  
Маркачѳв Ю.Е., 126  
Матвеев С.К., 153, 233  
Мемнонов В.П., 154  
Миркин М.А., 236  
Мирошин Р.Н., 156, 237  
Михайлин А.И., 174  
Михайлов Г.К., 29, 238  
Михасев Г.И., 192, 204  
Михеев А.В., 205  
Мордынский Н.А., 135  
Морозов А.Г., 153  
Морозов В.А., 202  
Морозов В.М., 65  
Мостовых П.С., 178  
Мотт И., 42  
Муницына М.А., 66  
Мухина Л.А., 157

Нагнибеда Е.А., 22, 142, 158, 159  
Нагорный С.С., 160  
Назарикова Т.О., 165  
Нарбут М.А., 67, 201  
Нездеров А.А., 68  
Несмачный Д.В., 69

Никифоров С.Б., 139  
Никонова Т.В., 206  
Новиков К.А., 158

Озорнов И.А., 126  
Окунев Ю.М., 63  
Остов Ю.Я., 100

Павилайнен В.Я., 185, 207, 208  
Павилайнен Г.В., 194  
Панова С.А., 70  
Панькина Н.М., 239  
Паршина Л.В., 210  
Пасынкова И.А., 71, 240  
Перегудин С.И., 161  
Пережогин А.А., 241  
Петров Д.А., 163  
Петров К.Г., 94  
Петров Н.А., 110  
Пилат Е.В., 177  
Погребская Т.Н., 72  
Подольский М.Е., 164, 165  
Полянский А.Ф., 242  
Поляхов Н.Н., 209, 242  
Поляхова Е.Н., 97, 111, 242  
Потоцкая И.Ю., 95  
Прозорова Э.В., 166  
Пузырева Л.А., 147  
Пупышева Ю.Ю., 95

Райнес А.А., 167  
Рачинская А.Л., 109  
Родюков Ф.Ф., 60, 73  
Рудяк В.Я., 169  
Рыдалевская М.А., 132, 137, 170  
Рябинин А.Н., 150  
Рябков М.Е., 171  
Рябов В.М., 210, 211

Сабанеев В.С., 22, 240  
Сабурова Н.Ю., 74  
Сайкова М.С., 212  
Салмина М.А., 65  
Самсонов В.А., 75

Саркисян С.О., 213  
Сейранян А.А., 76  
Сейранян А.П., 26, 59, 76  
Селюцкий Ю.Д., 75  
Серова В.Д., 172  
Сидорова О.В., 46  
Сильников М.В., 174  
Синильщиков В.Б., 175  
Синильщикова Г.А., 215  
Синицын К.А., 159  
Скиба О.Я., 170  
Славяновский Я.Е., 42  
Смирнов А.Л., 216  
Смирнов Е.М., 176  
Соболев О.В., 99  
Соколов Б.М., 54  
Соколов Л.Л., 108  
Солтаханов Ш.Х., 50  
Старков В.Н., 177  
Степанов С.Я., 42, 105  
Стефанова С.А., 77  
Стрелкова Н.А., 78  
Судьенков Ю.В., 202  
Сумин Т.С., 79

Татаринов Я.В., 80  
Тверев К.К., 81  
Титов В.Б., 113  
Тихонов А.А., 94  
Товстик П.Е., 82  
Товстик Т.М., 82  
Товстик Т.П., 83  
Трифоненко Б.В., 55  
Троцюк А.В., 139  
Тулкина А.Н., 207  
Тхай В.Н., 51, 85  
Тхай К.В., 45  
Усков В.Н., 145, 178, 179

Фарманян А.Ж., 213  
Федонюк Н.Н., 211

Федорова М.Ю., 208  
Федоровский Г.Д., 217, 219  
Федосенко Н.Б., 180  
Филиппов С.Б., 221  
Фирсов М.А., 204

Холодова С.Е., 161  
Хотяновский Д.В., 139

Цибаров В.А., 160, 163  
Циркунов Ю.М., 131, 151  
Цой С.В., 160

Чекин А.М., 96  
Черников М.В., 222  
Чернышов М.В., 145, 174, 179  
Чубей М.С., 114

Шамолин М.В., 86  
Шаталов И.В., 134  
Швыгин А.Л., 87  
Шепелявый А.И., 60  
Шеховцов В.А., 82  
Широколобова О.Б., 223  
Шмыров А.С., 61, 115  
Шмыров В.А., 115

Эндер А.Я., 181  
Эндер И.А., 181

Юферева Л.М., 89  
Юшкевич М.А., 224  
Юшков М.П., 21, 50, 237, 244

Ягудин Л.И., 114  
Якимова И.В., 136  
Яковлев А.Б., 116  
Яковлев А.Ю., 157  
Якубов С.А., 176  
Ярцев Б.А., 210, 211



## ELECTRONIC ADDRESSES OF PARTICIPANTS

Abushik G.V.	gabushik@mail.ru
Achkinadze A.Sh.	achkin@mail.ru
Akimov G.A.	komdep@bstu.spb.su; kaf_a5@bstu.spb.su
Aleshkov Yu.Z.	-
Almazova S.V.	oalmazov@mail.ru
Anisimov V.Yu.	v.anisimov@rlisystems.ru
Antipov K.A.	antipov_k@rambler.ru
Babadzanjanz L.K.	levon@mail.wplus.net
Babarykin K.V.	marg5e@mail.ru
Bardin B.S.	bsbardin@yandex.ru
Batueva N.B.	nbatueva@NB12822.spb.edu
Bauer S.M.	s_bauer@mail.ru
Bazilevich S.S.	s.bazilevich@gmail.com
Bestuzheva A.N.	bes_alla@inbox.ru
Bolgar E.S.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Brylevskaia L.I.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Bukashkina O.S.	Olga.Bukashkina@pobox.spbu.ru
Burov A.A.	aburov@ccas.ru
Byachkov A.B.	AndreyBya@yandex.ru
Bykov V.G.	vgbykov@mail.ru
Cattani C.	CCATTANI@UNISA.IT
Chekin A.M.	tchek@mail.ru
Chernikov M.V.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Chernyshov M.V.	mvcher@newmail.ru
Chikhaoui A.	aziz.chikhaoui@polytech.univ-mrs.fr
Chubey M.S.	mchubey@gao.spb.ru
Dacuk V.K.	aeroter@gtn.ru
Dmitriev N.N.	dn7@rambler.ru
Dokuchaev L.V.	dokuchaev@mgul.ac.ru
Egorov B.V.	boris.egorov@mail.ru
Emelyanov V.N.	cmdsem@bstu.spb.su; root@ev.spb.su
Ender A.Ya.	andrei.ender@mail.ioffe.ru
Enflo B.	benflo@mech.kth.se
Ershov B.A.	-
Fedonyuk N.N.	krylov@krylov.spb.ru
Fedorova M.Yu.	mgfed@mail.ru

Fedorovsky G.D.	g.fed@pobox.spbu.ru
Fedosenko N.B.	fedosenko_n@mail.ru
Filippov S.B.	sbfb@petrodvoretz.spb.ru
Firsov M.A.	firmax@rin.ru
Glukhikh Yu.D.	yucha@mail.ru
Goncharenko V.I.	gonchavi@brown.kiev.ua
Gorbunov A.A.	andgor@mail.wplus.net
Grigoriev I.S.	iliagri@newmail.ru
Gunko Yu.F.	gunko@ammp.ioffe.rssi.ru
Ilyina L.P.	gloria@home.ru
Indeitsev D.A.	ind@director.ipme.ru
Ivanov D.N.	denisiv@rol.ru
Ivanov G.E.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Ivanov L.G.	lavrik@LI13148.spb.edu
Ivanov M.S.	ivanov@itam.nsc.ru
Ivanov N.G.	ni@rusk.ru
Iwanov A.P.	Tohaki@mail.ru
Kalenova V.I.	kalenova@imec.msu.ru
Kapranov I.E.	mrkap@yandex.ru
Karakulko K.I.	m99kki@post.math.spbu.ru
Karapetyan A.V.	avkarap@mech.math.msu.su
Kasper R.	Roland.Kasper@mb.Uni-Magdeburg.DE
Kholodova S.E.	kholodovase@yandex.ru
Kiiski Ye.A.	beaver13@mail.ru
Kizilova N.N.	nnk_@bk.ru
Konkina L.I.	Konkina-1@mart.ru
Korolev V.S.	korolev@apmath.spbu.ru; vokorol@bk.ru
Kosenko I.I.	kosenko@ccas.ru
Kotikova M.P.	mvcher@mail.ru
Kouzmina V.E.	gasdyn@pobox.spbu.ru
Krasilnikov P.S.	kras@k804.mainet.msk.su
Kustova E.V.	elena_kustova@mail.ru
Kuteeva G.A.	gkut@rambler.ru
Kuznetsov M.M.	kuznets-omn@yandex.ru
Kvasnikov B.N.	-
Lavrov Yu.A.	yuferev@skylink.spb.ru
Lebedin D.P.	dmitry_lebedin@mail.ru
Leshchenko D.D.	leshchenko_d@ukr.net

Lokshin B. Ya.	blokshin@imec.msu.ru
Lopatukhin A.	all2000@mail.com
Lopatukhina I. Ye.	irevlo@mail.com
Lushtchenko I. V.	emperor_ivan@mail.ru
Malinin A. A.	malinal@yandex.ru
Manuylov K. V.	gloria@home.ru
Matveev S. K.	smat@rambler.ru
Melnikov Yu.	Yuri.Melnikov@intas.be
Memnonov V. P.	pokusa@star.math.spbu.ru
Miheev A. V.	pop1011@yandex.ru
Mikhailov G. K.	gkmikh@viniti.ru; gkmikh@proc.ru
Mikhasev G. I.	mikhasev@vsu.by
Mirkin M. A.	-
Miroshin R. N.	Anatoly.Ryabinin@pobox.spbu.ru
Mordinsky N. A.	zloynik@rambler.ru
Morozov A. G.	sanya_m@mail333.com
Morozov V. A.	VAA@math.spbu.ru
Morozov V. M.	moroz@imec.msu.ru
Moukhina L. A.	krylov@krylov.spb.ru
Munitsyna M. A.	mariya_7@mail.ru
Nagnibeda E. A.	e_nagnibeda@mail.ru
Nagorni S. S.	nase-jr@yandex.ru
Narbut M. A.	narbut@mn7503.spb.edu
Nazarikova T. O.	ntoleg@rambler.ru
Nesmachniy D. V.	nesma@list.ru
Nezderov A. A.	alex@an13004.spb.edu
Nikonova T. V.	st.rubon@mail.ru
Novikov K. A.	xoxa@mail.ru
Okunev Yu. M.	blokshin@imec.msu.ru
Ostov Y. J.	Miheev@apmath.spbu.ru
Pankina N. M.	S25678S@yandex.ru
Panova S. A.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Parshina L. V.	krylov@krylov.spb.ru
Pascal M.	mpascal@iup.univ-evry.fr
Pasyukova I. A.	ip@ip1157.spb.edu
Pavilainen V. Ya.	-
Pavilaynen G. V.	pavgal@GP11596.spb.edu
Peregudin S. I.	peregudinsi@yandex.ru

Perezhogin A.A.	peana@mail.ru
Petrov D.A.	dp_140482@mail.ru
Petrov K.G.	pkg@phoenix.math.spbu.ru
Petrov N.A.	petrov@astro.spbu.ru
Podolsky M.Ye.	kdmiptm@smtu.ru
Pogrebskaya T.N.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Polyakhov N.N., jr.	pol@astro.spbu.ru
Polyakhova E.N.	pol@astro.spbu.ru
Polyansky A.F.	Alexandr.Polyansky@paloma.spbu.ru
Pototskaya I.Yu.	irinapototskaya@yandex.ru
Prozorova E.V.	prozorova@niimm.spbu.ru
Pupysheva Yu.Yu.	j_poupycheva@mail.ru
Puzyreva L.A.	larisa.puzyreva@mail.ru
Pylat E.V.	-
Rachinskaya A.L.	rachinskaya@onu.edu.ua
Raines A.A.	raines@ar1063.spb.edu
Rodnikov A.V.	springer@inbox.ru; avrodnikov@yandex.ru
Rodyukov F.F.	ffr@phoenix.math.spbu.ru; fr@fr11189.spb.edu
Rudyak V.Ya.	rudyak@sibstrin.ru; rudyak@mail.ru
Ryabinin A.N.	Anatoly.Ryabinin@pobox.spbu.ru
Ryabkov M.E.	krylov@krylov.spb.ru; shadow25@mail.ru
Ryabov V.M.	riabov@VR1871.spb.edu
Rydalevskaya M.A.	Rydalevska@rambler.ru
Saburova N.Yu.	primat@agtu.ru
Salmina M.A.	salmina@imec.msu.ru
Samsonov V.A.	samson@imec.msu.ru
Sargsyan S.H.	vardanyansona@mail.ru; slusin@yahoo.com
Saykova M.S.	sms@math.spbu.ru
Seliutsky Yu.D.	seliutski@imec.msu.ru
Serova V.D.	vser@niimm.spb.su
Seyranian A.P.	seyran@imec.msu.ru
Shamolin M.V.	shamolin@imec.msu.ru
Shirikolobova O.B.	olyushka66.66@mail.ru
Shmyrov A.S.	ashmyrov@yandex.ru
Shmyrov V.A.	vasilyshmyrov@yandex.ru
Sinilshchikov V.B.	sns@bstu.spb.su
Sinilshchikova G.A.	mga@phoenix.math.spbu.ru; peterhof@rambler.ru
Sinitsyn K.A.	sinitsyn@mail.wplus.net

Skiba O.Ya.	skibaoxana@rambler.ru
Smirnov A.L.	a_l_smirnov@mail.ru
Smirnov E.M.	aero@phmf.spbstu.ru
Sobolev O.V.	sobolev_ov@mail.ru
Sokolov B.M.	sbm@mail.ru
Sokolov L.L.	lsok@astro.spbu.ru
Starkov V.N.	-
Stefanova S.A.	ignatenkos@gmail.com
Stepanov S.Ia.	stepsj@yandex.ru
Strelkova N.A.	strelkova@psu.ru
Sulikashvilli R.	-
Sumin T.S.	sumin@imec.msu.ru
Svygin A.L.	shvyghin@mtu-net.ru
Tatarinov Ya.V.	nauka@tatarinov.ru
Tikhonov A.A.	aatikhonov@rambler.ru
Titov V.B.	tit@astro.spbu.ru
Tkhai K.V.	tkhai@yandex.ru
Tkhai V.N.	TkhaiVN@mail.ru
Tovstik P.E.	peter.tovstik@pobox.spbu.ru
Tovstik T.P.	peter.tovstik@pobox.spbu.ru
Trifonenko B.V.	waterpolo@mail.ru
Tsibarov V.A.	Tsibarov@pobox.spbu.ru
Tsirkunov Yu.M.	tsrknv@bstu.spb.su
Tsoy S.V.	wanderingstar@yandex.ru
Tulkina A.N.	m01tan@star.math.spbu.ru
Tverev K.K.	kkk@phoenix.math.spbu.ru; gaura@narod.ru
Uskov V.N.	mvcher@mail.ru
Veryovkin A.A.	tsrknv@bstu.spb.su
Viktorov I.V.	viktorov_i@inbox.ru
Vilecco F.	fvillecco@unisa.it
Vlasenko D.	Dmitri.Vlasenko@Masch-Bau.Uni-Magdeburg.DE
Volkov A.	av4h@virginia.edu
Voroshilova Yu.N.	Rydalevska@rambler.ru
Vovnenko N.V.	vovnenko@list.ru
Yakimova I.V.	yaiv@mail.ru
Yakovlev A.B.	andy_yakovlev@rambler.ru
Yakovlev A.Yu.	krylov@krylov.spb.ru
Yartzev B.A.	krylov@krylov.spb.ru

Yermochenko S.A.	sergio@vsu.by
Yufereva L.M.	yuferev@skylink.spb.ru
Yushkevich M.A.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Yushkov M.P.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Zaitsev A.V.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Zatsepin M.A.	michael_zatsepin@mail.ru
Zavyalov O.	ZAVOG@yandex.ru
Zegzhda S.A.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Zharkova O.V.	Rydalevska@rambler.ru
Zimin B.A.	vovnenko@list.ru
Zimovshchikov A.S.	winter@beeline.ru
Zobova A.A.	azobova@mail.ru
Zotov Yu.K.	zyuko@mail.ru
Zuev S.M.	sergeiy@pochtamt.ru; sergeiy@sz11125.spb.edu

## АДРЕСА ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЫ УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Cattani C.	CCATTANI@UNISA.IT
Chikhaoui A.	aziz.chikhaoui@polytech.univ-mrs.fr
Enflo B.	benflo@mech.kth.se
Kasper R.	Roland.Kasper@mb.Uni-Magdeburg.DE
Lopatukhin A.	all2000@mail.com
Melnikov Yu.	Yuri.Melnikov@intas.be
Pascal M.	mpascal@iup.univ-evry.fr
Vilecco F.	fvillecco@unisa.it
Vlasenko D.	Dmitri.Vlasenko@Masch-Bau.Uni-Magdeburg.DE
Volkov A.	av4h@virginia.edu
Абушик Г.В.	gabushik@mail.ru
АКИМОВ Г.А.	komdep@bstu.spb.su; kaf_a5@bstu.spb.su
Алешков Ю.З.	-
Алмазова С.В.	oalmazov@mail.ru
Анисимов В.Ю.	v.anisimov@rlisystems.ru
Антипов К.А.	antipov_k@rambler.ru
Ачкинадзе А.Ш.	achkin@mail.ru
Бабаджанянц Л.К.	levon@mail.wplus.net
Бабарыкин К.В.	marg5e@mail.ru
Базылевич С.С.	s.bazilevich@gmail.com
Бардин Б.С.	bsbardin@yandex.ru
Батуева Н.Б.	nbatueva@NB12822.spb.edu
Бауэр С.М.	s_bauer@mail.ru
Бестужева А.Н.	bes_alla@inbox.ru
Болгар Е.С.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Брылевская Л.И.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Букашкина О.С.	Olga.Bukashkina@pobox.spbu.ru
Буров А.А.	aburov@ccas.ru
Быков В.Г.	vgbykov@mail.ru
Бячков А.Б.	AndreyBya@yandex.ru
Веревкин А.А.	tsrknv@bstu.spb.su
Викторов И.В.	viktorov_i@inbox.ru
Вовненко Н.В.	vovnenko@list.ru
Ворошилова Ю.Н.	Rydalevska@rambler.ru
Глухих Ю.Д.	yucha@mail.ru
Гончаренко В.И.	gonchavi@brown.kiev.ua

Горбунов А.А.	andgor@mail.wplus.net
Григорьев И.С.	iliagri@newmail.ru
Гуенько Ю.Ф.	gunko@ammp.ioffe.rssi.ru
Дацук В.К.	aeroter@gtm.ru
Дмитриев Н.Н.	dn7@rambler.ru
Докучаев Л.В.	dokuchaev@mgul.ac.ru
Егоров Б.В.	boris.egorov@mail.ru
Емельянов В.Н.	cmdsem@bstu.spb.su; root@ev.spb.su
Ермоченко С.А.	sergio@vsu.by
Ершов Б.А.	-
Жаркова О.В.	Rydalevska@rambler.ru
Завьялов О.Г.	ZAVOG@yandex.ru
Зайцев А.В.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Зацепин М.А.	michael_zatsepin@mail.ru
Зегжда С.А.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Зимин Б.А.	vovnenko@list.ru
Зимовщиков А.С.	winter@beeline.ru
Зобова А.А.	azobova@mail.ru
Зотов Ю.К.	zyuko@mail.ru
Зуев С.М.	sergeiy@pochtamt.ru; sergeiy@sz11125.spb.edu
Иванов А.П.	Tohaki@mail.ru
Иванов Г.Е.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Иванов Д.Н.	denisiv@rol.ru
Иванов Л.Г.	lavrik@LI13148.spb.edu
Иванов М.С.	ivanov@itam.nsc.ru
Иванов Н.Г.	ni@rusk.ru
Ильина Л.П.	gloria@home.ru
Индейцев Д.А.	ind@director.ipme.ru
Каленова В.И.	kalenova@imec.msu.ru
Капранов И.Е.	mrkap@yandex.ru
Каракулько К.И.	m99kki@post.math.spbu.ru
Карапетян А.В.	avkarap@mech.math.msu.su
Квасников Б.Н.	-
Кизилова Н.Н.	nnk_@bk.ru
Кийски Е.А.	beaver13@mail.ru
Конкина Л.И.	Konkina-1@mart.ru
Королев В.С.	korolev@apmath.spbu.ru; vokorol@bk.ru
Косенко И.И.	kosenko@ccas.ru

Котикова М.П.	mvcher@mail.ru
Красильников П.С.	kras@k804.mainet.msk.su
Кузнецов М.М.	kuznets-omn@yandex.ru
Кузьмина В.Е.	gasdyn@pobox.spbu.ru
Кустова Е.В.	elena_kustova@mail.ru
Кутеева Г.А.	gkut@rambler.ru
Лавров Ю.А.	yuferev@skylink.spb.ru
Лебедин Д.П.	dmitry_lebedin@mail.ru
Лещенко Д.Д.	leshchenko_d@ukr.net
Локшин Б.Я.	blokshin@imec.msu.ru
Лопатухина И.Е.	irevlo@mail.com
Луценко И.В.	emperor_ivan@mail.ru
Малинин А.А.	malinal@yandex.ru
Мануйлов К.В.	gloria@home.ru
Матвеев С.К.	smat@rambler.ru
Мемнонов В.П.	pokusa@star.math.spbu.ru
Миркин М.А.	-
Мирошин Р.Н.	Anatoly.Ryabinin@pobox.spbu.ru
Михайлов Г.К.	gkmikh@viniti.ru; gkmikh@proc.ru
Михасев Г.И.	mikhasev@vsu.by
Михеев А.В.	pop1011@yandex.ru
Мордынский Н.А.	zloynik@rambler.ru
Морозов А.Г.	sanya_m@mail333.com
Морозов В.А.	VAA@math.spbu.ru
Морозов В.М.	moroz@imec.msu.ru
Муницына М.А.	mariya_7@mail.ru
Мухина Л.А.	krylov@krylov.spb.ru
Нагнибеда Е.А.	e_nagnibeda@mail.ru
Нагорный С.С.	nase-jr@yandex.ru
Назарикова Т.О.	ntoleg@rambler.ru
Нарбут М.А.	narbut@mn7503.spb.edu
Нездеров А.А.	alex@an13004.spb.edu
Несмачный Д.В.	nesma@list.ru
Никонова Т.В.	st.rubon@mail.ru
Новиков К.А.	xoxa@mail.ru
Окунев Ю.М.	blokshin@imec.msu.ru
Остов Ю.Я.	Miheev@apmath.spbu.ru
Павилайнен Г.В.	pavgal@GP11596.spb.edu

Павилайнен В.Я.	-
Панова С.А.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Панькина Н.М.	S25678S@yandex.ru
Паршина Л.В.	krylov@krylov.spb.ru
Пасынкова И.А.	ip@ip1157.spb.edu
Перегудин С.И.	peregudinsi@yandex.ru
Пережогин А.А.	peana@mail.ru
Петров Д.А.	dp_140482@mail.ru
Петров К.Г.	pkg@phoenix.math.spbu.ru
Петров Н.А.	petrov@astro.spbu.ru
Пилат Е.В.	-
Погребская Т.Н.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Подольский М.Е.	kdmiptm@smtu.ru
Полянский А.Ф.	Alexandr.Polyansky@paloma.spbu.ru
Поляхов Н.Н. мл.	pol@astro.spbu.ru
Поляхова Е.Н.	pol@astro.spbu.ru
Потоцкая И.Ю.	irinapototskaya@yandex.ru
Прозорова Э.В.	prozorova@niimm.spbu.ru
Пузырева Л.А.	larisa.puzyreva@mail.ru
Пупышева Ю.Ю.	j_poupycheva@mail.ru
Райнес А.А.	raines@ar1063.spb.edu
Рачинская А.Л.	rachinskaya@onu.edu.ua
Родников А.В.	springer@inbox.ru; avrodnikov@yandex.ru
Родюков Ф.Ф.	ffr@phoenix.math.spbu.ru; fr@fr11189.spb.edu
Рудяк В.Я.	rudyak@sibstrin.ru; rudyak@mail.ru
Рыдалевская М.А.	Rydalevska@rambler.ru
Рябинин А.Н.	Anatoly.Ryabinin@pobox.spbu.ru
Рябков М.Е.	krylov@krylov.spb.ru; shadow25@mail.ru
Рябов В.М.	riabov@VR1871.spb.edu
Сабурова Н.Ю.	primat@agtu.ru
Сайкова М.С.	sms@math.spbu.ru
Салмина М.А.	salmina@imec.msu.ru
Самсонов В.А.	samson@imec.msu.ru
Саркисян С.О.	vardanyansona@mail.ru; slusin@yahoo.com
Сейранян А.П.	seyran@imec.msu.ru
Селюцкий Ю.Д.	seliutski@imec.msu.ru
Серова В.Д.	vser@niimm.spb.su
Синильщиков В.Б.	sns@bstu.spb.su

Синильщикова Г.А.	mga@phoenix.math.spbu.ru; peterhof@rambler.ru
Синицын К.А.	sinitsyn@mail.wplus.net
Скиба О.Я.	skibaoxana@rambler.ru
Смирнов А.Л.	a_1_smirnov@mail.ru
Смирнов Е.М.	aero@phmf.spbstu.ru
Соболев О.В.	sobolev_ov@mail.ru
Соколов Б.М.	sbm@mail.ru
Соколов Л.Л.	lsok@astro.spbu.ru
Старков В.Н.	-
Степанов С.Я.	stepsj@yandex.ru
Стефанова С.А.	ignatenkos@gmail.com
Стрелкова Н.А.	strelkova@psu.ru
Суликашвилли Р.	-
Сумин Т.С.	sumin@imec.msu.ru
Татаринов Я.В.	nauka@tatarinov.ru
Тверев К.К.	kkk@phoenix.math.spbu.ru; gaura@narod.ru
Титов В.Б.	tit@astro.spbu.ru
Тихонов А.А.	aatikhonov@rambler.ru
Товстик П.Е.	peter.tovstik@pobox.spbu.ru
Товстик Т.П.	peter.tovstik@pobox.spbu.ru
Трифоненко Б.В.	waterpolo@mail.ru
Тулкина А.Н.	m01tan@star.math.spbu.ru
Тхай К.В.	tkhai@yandex.ru
Тхай В.Н.	TkhaiVN@mail.ru
Усков В.Н.	mvcher@mail.ru
Федонюк Н.Н.	krylov@krylov.spb.ru
Федорова М.Ю.	mgfed@mail.ru
Федоровский Г.Д.	g.fed@pobox.spbu.ru
Федосенко Н.Б.	fedosenko_n@mail.ru
Филиппов С.Б.	sbf@petrodvoretz.spb.ru
Фирсов М.А.	firmax@rin.ru
Холодова С.Е.	kholodovase@yandex.ru
Цибаров В.А.	Tsibarov@pobox.spbu.ru
Циркунов Ю.М.	tsrknv@bstu.spb.su
Цой С.В.	wanderingstar@yandex.ru
Чекин А.М.	tchek@mail.ru
Черников М.В.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Чернышов М.В.	mvcher@newmail.ru

Чубей М.С.	mchubey@gao.spb.ru
Шамолин М.В.	shamolin@imec.msu.ru
Швыгин А.Л.	shvyghin@mtu-net.ru
Ширококолобова О.Б.	olyushka66.66@mail.ru
Шмыров А.С.	ashmyrov@yandex.ru
Шмыров В.А.	vasilyshmyrov@yandex.ru
Эндер А.Я.	andrei.ender@mail.ioffe.ru
Юферева Л.М.	yuferev@skylink.spb.ru
Юшкевич М.А.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Юшков М.П.	Mikhail.Yushkov@pobox.spbu.ru
Якимова И.В.	yaiv@mail.ru
Яковлев А.Б.	andy_yakovlev@rambler.ru
Яковлев А.Ю.	krylov@krylov.spb.ru
Ярцев Б.А.	krylov@krylov.spb.ru

# CONTENTS

<b>ORGANIZING COMMITTEE NOTE</b> .....	<b>3</b>
<b>NIKOLAI NIKOLAEVICH POLYAKHOV (1906 - 1987)</b> .....	<b>11</b>
<b>PLENARY SESSION</b> .....	<b>19</b>
<b>S.A. Zegzhda, M.P. Yushkov.</b> <i>Scientific, Pedagogical and Social activity of Professor N.N. Polyakhov (devoted to the 100<sup>th</sup> birthday anniversary of Nikolai Nikolaevich Polyakhov)</i> .....	21
<b>E.A. Nagnibeda, V.S. Sabaneev.</b> <i>Nikolai N. Polyakhov and Hydroaeromechanics</i> .....	22
<b>Yu. Melnikov.</b> <i>INTAS: Mission and Activities</i> .....	23
<b>M. Pascal, S.Ia. Stepanov.</b> <i>Periodic solutions and stability of piecewise-linear vibratory systems</i> .....	24
<b>D.A. Indeitsev.</b> <i>Influence of the Kinetics of Processes on the Behavior of Thin Structures in a Continuous Medium</i> .....	25
<b>A.P. Seyranian, A.A. Mailybaev.</b> <i>Multiparameter stability theory with mechanical applications</i> .....	27
<b>G.K. Mikhailov.</b> <i>Leonard Euler (on the occasion of the tercentenary of his birth)</i> .....	30
<b>SECTION I: THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS</b> .....	<b>31</b>
<b>A.B. Byachkov, V.M. Suslonov.</b> <i>The Application of Maggi's Equations for Quasi-Coordinates for Solving Problems of Parametrical Identification of Mechanical Systems</i> .....	33
<b>B.O. Enflo, C.M. Hedberg, O.V. Rudenko.</b> <i>Wave motion in a medium with a cubic nonlinearity</i> .....	34
<b>A.V. Karapetyan, M. Pivovarov, Ya.V. Tatarinov, I. Zeidis, K. Zimmermann.</b> <i>Non-holonomic models of the non-classical locomotion</i> .....	35
<b>R. Kasper, D. Vlasenko.</b> <i>Comparison of simulation of constrained multibody dynamics using relative and absolute coordinates</i> .....	36
<b>A.Lopatukhin.</b> <i>Model Application in Ultrasonic Heating of Biological Tissues</i> .....	37
<b>R. Sulikashvili.</b> <i>The inverse problem of existence and stability of steady motions of the gyrostat with equal moments of inertia in an axisymmetric force field</i> .....	38
<b>S.V. Almazova.</b> <i>On vibrations of a three-beamed system</i> .....	39
<b>B.S. Bardin.</b> <i>On the stability problem of periodic motions of rigid body in Goryachev-Chaplygin's case</i> .....	40
<b>A.A. Burov.</b> <i>The restricted problems in Rigid Body Dynamics</i> .....	41
<b>A.A. Burov, I. Motte, J.J. Ślawianowski, S.Ya. Stepanov.</b> <i>On motion of a dumbbell in a spherical surface</i> .....	42
<b>V.G. Bykov.</b> <i>Dynamics of a rotor with the automatic balancer</i> .....	43
<b>V.G. Bykov, A.A. Lomakin.</b> <i>The application of Fuzzy Logic for Control of Robot Manipulators</i> .....	44
<b>Yu.D. Glukhikh, K.V. Tkhai.</b> <i>Symmetrical periodic motions of the spherical pendulum with vibrating point of suspension</i> .....	45

<b>Yu.F. Gunko, O.V. Sidorova.</b> <i>Self-consistent electric and gasdynamic fields in rarefied plasma near by solid surface</i> .....	46
<b>V.K. Dacuk.</b> <i>On the derivation of new transformations of four-dimensional coordinates system, similar to the Lorentz transformation</i> .....	47
<b>N. N. Dmitriev.</b> <i>Influence of the load distribution on the motion of bodies along a plain with respect to anisotropic friction</i> .....	48
<b>S.A. Zegzhda, Sh.Kh. Soltakhanov, M.P. Yushkov.</b> <i>On a new class of control problems</i> .....	50
<b>A.S. Zimovshchikov, V.N. Thai.</b> <i>Stability of libration points in the photogravitational elliptic restricted three-body problem</i> .....	52
<b>A.A. Zobova.</b> <i>The motion of a solid of revolution on an absolutely rough surface</i> .....	53
<b>Yu.K. Zotov, B.M. Sokolov.</b> <i>Adaptive control of the ship at presence of external disturbances</i> 54	
<b>S.M. Zuev, B.V. Trifonenko.</b> <i>The stability of Stewart Platform with 3 degree of freedom</i> .....	55
<b>G.E. Ivanov.</b> <i>On torsional self-oscillations of a drill</i> .....	56
<b>L.P. Ilyina.</b> <i>Rotation of deformable ellipsoidal shell with real compressible liquid inside around fixed centre of gravity</i> .....	57
<b>A.V. Karapetyan.</b> <i>Invariant sets of dynamic systems with first integrals</i> .....	58
<b>C. Cattani, A.P. Seyranian.</b> <i>Instability regions for a system with periodically varying moment of inertia</i> .....	59
<b>N.V. Kondrat'eva, Ya.A. Makarov, F.F. Rodyukov, A.I. Shepeljavyi.</b> <i>The analysis of stability of synchronous machines</i> .....	61
<b>D.P. Lebedin, A.S. Shmyrov.</b> <i>On the method of construction of invariant sets of the canonical mapping</i> .....	62
<b>B.Ya. Lokshin, Yu.M. Okunev.</b> <i>Dynamics of bolides</i> .....	63
<b>K.V. Manuylov.</b> <i>The exact analytical description of the motion of pendulum under the action of resistant forces</i> .....	64
<b>V.M. Morozov, V.I. Kalenova, M.A. Salmina.</b> <i>Stability and Stabilization of Steady-State Motions of Nonholonomic Mechanical Systems of Special Class</i> .....	65
<b>M.A. Munitsyna.</b> <i>Motion of the system with unilateral constraints in central gravitation field</i> .	66
<b>M.A. Narbut.</b> <i>The least costs principle and some ecomechanical analogies in mathematical economics</i> .....	67
<b>A.A. Nezderov.</b> <i>On car motion on the curve</i> .....	68
<b>D.V. Nesmachniy.</b> <i>The exact analytical description of the motion of mathematical pendulum under the action of friction force in rotating point</i> .....	69
<b>S.A. Panova.</b> <i>On the vibrations of a car on the brake stand</i> .....	70
<b>I.A. Pasynkova.</b> <i>Conic precession of a four-degrees-of-freedom Jeffcott rotor in nonlinear elastic bearings</i> .....	71
<b>T.N. Pogrebskaya.</b> <i>On spatial motion of the rocket moving along a curve of pursuit</i> .....	72
<b>F.F. Rodyukov.</b> <i>Different models of the synchronous motor and the theory of the stability of the electropower systems</i> .....	73
<b>N.Yu. Saburova.</b> <i>On the solution of one problem of V.V. Beletsky</i> .....	74

<b>V.A. Samsonov, Yu.D. Seliutsky.</b> <i>Control of bodies motion in a flow of medium</i> .....	75
<b>A.A. Seyranian, A.P. Seyranian.</b> <i>On stability of an inverted pendulum with vibrating suspension point</i> .....	76
<b>S.A. Stefanova.</b> <i>On stationary motions of a top filled with viscous fluid on a horizontal plane with friction</i> .....	77
<b>N.A. Strelkova.</b> <i>Application of Cayley - Klein parameters to the study of rotational and spatial motions of a rigid body</i> .....	78
<b>T.S. Sumin.</b> <i>On stability and bifurcation of steady motions of a body suspended on the string with liquid-filled cavity</i> .....	79
<b>Ya.V.Tatarinov.</b> <i>The new form of equations of non-holonomic mechanics and systems with servoconstraints</i> .....	80
<b>K.K. Tverev.</b> <i>Experimental identification of some parameters of electro-energetical system</i> .....	81
<b>P.E. Tovstik, T.M. Tovstik, V.A. Shekhovtsov.</b> <i>The averaging method in the problem of the waves excitation on the mariner offshore platform</i> .....	83
<b>T.P. Tovstik.</b> <i>The Celt rattleback dynamics with the friction influence</i> .....	84
<b>V.N. Tkhai.</b> <i>Reversible mechanical system with first integrals</i> .....	85
<b>M.V. Shamolin.</b> <i>Systems with variable dissipation in the dynamics of a solid interacting with the media</i> .....	86
<b>A.L. Svygin.</b> <i>The stability of pendulum motions in the problem of motion of a rigid body with one fixed point</i> .....	88
<b>L.M. Yufereva, Yu.A. Lavrov.</b> <i>On natural oscillations of a cylindrical acoustic resonator with an elastic cylindrical shell, ribbed by an elastic annular plate</i> .....	90
<b>SECTION II: DYNAMICS OF SPACE FLIGHT</b> .....	<b>91</b>
<b>A.V. Rodnikov.</b> <i>Influence of the 'leier' constraint on the motion of the spacecraft having dumb-bell form</i> .....	93
<b>K.A. Antipov, K.G. Petrov, A.A. Tikhonov.</b> <i>Electro dynamical attitude control systems for artificial Earth's satellites. Choosing a concept</i> .....	94
<b>L.K. Babadzanjanz, I.Yu. Pototskaya, Yu.Yu. Pupysheva.</b> <i>Control of satellite's rotational motion</i> .....	95
<b>B.S. Bardin, A.M. Chekin.</b> <i>On stability of planar oscillations of a satellite in a circular orbit</i> .....	96
<b>N.B. Batueva, E.N. Polyakhova.</b> <i>Application of Classical Methods of Orbit Determination in the Problem of Celestial Bodies Encounter</i> .....	97
<b>I.S. Grigoriev, I.A. Danilina.</b> <i>Optimisation of interorbital flight trajectories of a various designs spacecraft</i> .....	98
<b>L.V. Dokuchaev, O.V. Sobolev.</b> <i>Mechanical analogy in non-linear dynamics of a body filled with liquid</i> .....	99
<b>A.P. Iwanov, Y.J. Ostov.</b> <i>A new method for solving the problem of suboptimal flight control</i> .....	101
<b>L.I. Konkina.</b> <i>Non-resonant motion of a two-frequency Hamiltonian system in the Newton force field</i> .....	102
<b>V.S. Korolev.</b> <i>Transformation of motion's equation for control systems</i> .....	104

<b>I.I. Kosenko, S.Ya. Stepanov.</b> <i>Stability of Tethered Satellite System Relative Equilibrium with Account of Impacts. Unrestricted Problem</i> .....	105
<b>P.S. Krasilnikov.</b> <i>On the Uranus's problem</i> .....	107
<b>G.A. Kuteeva, L.L. Sokolov.</b> <i>Regions of exoplanets stable motion</i> .....	108
<b>D.D. Leshchenko, A.L. Rachinskaya.</b> <i>Evolution of Rotations of a Satellite about its Centre of Mass under the Action of Perturbation Torques</i> .....	109
<b>N.A. Petrov.</b> <i>Investigations of Regions of Stability Motion Near the Resonance 2:1 with Jupiter in Frame of the Restricted Planar Circular Three-Body Problem</i> .....	111
<b>E.N. Polyakhova.</b> <i>Methods for the Near-Earth-Objects (NEO) Hazard Mitigation</i> .....	112
<b>V.B. Titov.</b> <i>Variational Approach to Three Body Problem. Symmetrical Periodic Orbit</i> .....	113
<b>M.S. Chubey, V.N. L'vov, L.I. Yagudin.</b> <i>The accuracy estimation of the astrometric measurements in the situation of space stereoscopic observatory</i> .....	114
<b>A.S. Shmyrov, V.A. Shmyrov.</b> <i>Optimal stabilization of the space vehicle orbital motion in the neighbourhood of the collinear libration point <math>L_1</math></i> .....	115
<b>A.B. Yakovlev.</b> <i>Hamiltonian application for the investigation of motion of a particle with variable electrical charge in Earth plasmosphere</i> .....	116
<b>SECTION III: MECHANICS OF FLUIDS AND GASES</b> .....	<b>117</b>
<b>N.G. Ivanov, E.M. Smirnov, C. Lacor.</b> <i>Computational Fluid Dynamics Analysis of Pollutant Dispersion in an Indoor Space</i> .....	119
<b>N.N. Kizilova.</b> <i>Pressure wave propagation in multilayered thick-walled anisotropic viscoelastic tubes at different fastening conditions</i> .....	120
<b>E.V. Kustova, E.A. Nagnibeda, A. Chikhaoui.</b> <i>Non-equilibrium Kinetics in Gas Dynamics of High-temperature and High-enthalpy Flows</i> .....	121
<b>P.V. Vashchenkov, A.V. Kashkovsky, M.S. Ivanov.</b> <i>Numerical Analysis of Aerodynamics of Reentry Vehicles in Wide Range of Knudsen Numbers</i> .....	122
<b>A.N. Volkov, L.V. Zhigilei.</b> <i>Hydrodynamic Simulation of Ultra-Short Laser Melting and Spallation of Metal Targets</i> .....	124
<b>O. Zavyalov.</b> <i>Problems of development at the hydrodynamical theory of lubricant, support of sliding with gas lubricant and dynamic's of high-speed rotors at the sliding support</i> .....	125
<b>A.S. Artukhin, B.V. Egorov, A.V. Koshcheev, Yu.Ee. Markachev, I.A. Ozornov.</b> <i>Quasi-chemical cluster model of nucleation kinetics</i> .....	126
<b>A.S. Achkinadze.</b> <i>Generalization of the Polyakhov's theorem about the optimal finite blade screw propeller</i> .....	128
<b>K.V. Babarykin, V.E. Kouzmina.</b> <i>Peculiarities of self-oscillating regimes in high Mach number flows near a body with a needle</i> .....	129
<b>A.N. Bestuzheva.</b> <i>On the Cauchy-Poisson's problem in the wedge domain</i> .....	130
<b>A.A. Veryovkin, Yu.M. Tsirkunov.</b> <i>Numerical investigation of a flow in the hypersonic shock tube</i> .....	131
<b>Yu.N. Voroshilova, M.A. Rydalevskaya.</b> <i>Plane shock waves in a vibrationally nonequilibrium gas. Conversion to local equilibrium</i> .....	132
<b>V.I. Goncharenko.</b> <i>On the action of a forward flow to the dipole moving across</i> .....	133

<b>A.A. Gorbunov, S.I. Igolkin, I.V. Shatalov.</b> <i>Unsaturated Water Steam in a Nitrogen Flow at the Skimmer of Mass-Spectrometer</i> .....	134
<b>V.N. Eliseenko, V.N. Emelyanov, N.A. Mordinsky.</b> <i>Non-stationary jet gas flows in restraint regions</i> .....	135
<b>V.N. Emelyanov, I.V. Yakimova.</b> <i>Modeling of a two-phase internal flow around advanced nozzle entrance</i> .....	136
<b>O.V. Zharkova, M.A. Rydalevskaya.</b> <i>Integrals of Gas Movement and Sound Velocity for Isentropic Dissociated Gas Flows</i> .....	137
<b>L.G. Ivanov, E.V. Kustova.</b> <i>A flow of <math>O_2 / O</math> mixture with non-equilibrium vibrational relaxation and dissociation near a semi-infinite plate</i> .....	138
<b>M.S. Ivanov, D.V. Hotyanovsky, A.N. Kudriavtsev, S.B. Nikiforov, A.V. Trotsuk.</b> <i>Hysteresis phenomena in the shock wave reflection</i> .....	140
<b>I.E. Kapranov.</b> <i>Simulation of vortex ring moving</i> .....	141
<b>K.I. Karakulko, E.A. Nagnibeda.</b> <i>Two-temperature gas flows behind shock waves</i> .....	142
<b>Ye.A. Kiiski.</b> <i>Investigation of relativistic electron transient beam decay in plasma channel under the applied strong external magnetic field</i> .....	144
<b>M.P. Kotikova, V.N. Uskov, M.V. Chernyshov.</b> <i>Simulation and analysis of a gas jet flow in a supersonic ejector</i> .....	145
<b>M.M. Kuznetsov.</b> <i>The influence of translational non-equilibrium on rheological relations and chemical reaction rates</i> .....	146
<b>E.V. Kustova, L.A. Puzyreva.</b> <i>5-temperature model of vibrational relaxation and transport processes in the mixture <math>CO_2 / N_2</math></i> .....	148
<b>I.V. Lushtchenko.</b> <i>The effect of interceptor on the aerodynamic coefficients of cylinders of small elongation</i> .....	149
<b>R.S. Lubimtsev, A.N. Ryabinin.</b> <i>Kiting and its mathematical simulation</i> .....	150
<b>A.A. Malinin, Yu.M. Tsirkunov.</b> <i>Numerical study of an unsteady gas flow in the inlet stage of a turbo-compressor</i> .....	151
<b>K.V. Manuylov.</b> <i>On the origin of aerodynamic lift in the airflow near the finite aircraft wing (propeller blade)</i> .....	152
<b>S.K. Matveev, A.G. Morozov.</b> <i>Mathematical modelling of fractions separation in a loose material</i> .....	153
<b>V.P. Memnonov.</b> <i>Testing of random number generators via numerical simulation of rotational energy relaxation in a homogeneous gas</i> .....	155
<b>R.N. Miroshin.</b> <i>Application of the moment method to the modelling of gas-surface interaction function</i> .....	156
<b>L.A. Moukhina, A.Yu. Yakovlev.</b> <i>Calculation of velocity field and vortex sheets shape in propeller wake by the vortex surfaces theory</i> .....	157
<b>E.A. Nagnibeda, K.A. Novikov.</b> <i>On the relaxation of initial nonequilibrium vibrational distributions in a dissociating diatomic gas</i> .....	158
<b>E.A. Nagnibeda, K.A. Sinitsyn, S.S. Bazilevich.</b> <i>Dissociation rate coefficients in multi-temperature gases</i> .....	159

<b>S.S. Nagorni, V.A. Tsibarov, S.V. Tsoy.</b> <i>Blood Viscosity as NonNewton Medium</i> .....	160
<b>S.I. Peregudin, S.E. Kholodova.</b> <i>Modeling of process of propagation plane long waves in the channel with variable depth</i> .....	162
<b>D.A. Petrov, V.A. Tsibarov.</b> <i>The stochastic model of three-phase condensing dusty gas</i> .....	163
<b>M.E. Podolsky.</b> <i>Mechanical interpretation and linear-algebraic analysis of the main direct tensor calculus notions</i> .....	164
<b>M.E. Podolsky, T.O. Nazarikova.</b> <i>Influence of hydrodynamical forces on the stability of synchronous precession of rotors in slide bearings</i> .....	165
<b>E.V. Prozorova.</b> <i>Influence of the dispersion on the conservation equations in continuous in mechanics</i> .....	166
<b>A.A. Raines.</b> <i>On the structure of strong shock waves</i> .....	168
<b>V.Ya. Rudyak.</b> <i>Relaxation mechanisms and transport processes of nanoparticles in gases and liquids</i> .....	169
<b>M.A. Rydalevskaya, O.Ya. Skiba.</b> <i>The sound velocity and the volume viscosity coefficient in a high-temperature diatomic gas</i> .....	170
<b>M.E Ryabkov.</b> <i>On the solution of an inverse problem of laminar-turbulent transition</i> .....	171
<b>V.D. Serova.</b> <i>Weak Contact-Discontinuities and Vortices at the Initial Stage of a Gas-Jet Shape</i> .....	173
<b>M.V. Silnikov, A.I. Mikhailin, M.V. Chernyshov.</b> <i>Quasi-acoustical model for the analysis of blast shock wave reflection from a multi-layer surface</i> .....	174
<b>V.B. Sinilshchikov.</b> <i>Consideration of non-stationary effects in computing the wave processes and unsteady flows in hydraulic systems</i> .....	175
<b>E.M. Smirnov, S.A. Yakubov.</b> <i>Detached Eddy Simulation of Separated Flows in Turbine Blade Rows</i> .....	176
<b>V.N. Starkov, E.V. Pylat.</b> <i>Investigating of radial oscillations of the spherical layer of Maxwell fluid</i> .....	177
<b>V.N. Uskov, P.S. Mostovykh.</b> <i>Extreme properties of an oblique shock wave expanding in a gas flow</i> .....	178
<b>V.N. Uskov, M.V. Chernyshov.</b> <i>Some special features of shock incidence and reflection in overexpanded gas jets</i> .....	179
<b>N.B. Fedosenko.</b> <i>Analytical solution of the viscous non-compressible fluid flow equations</i> .....	180
<b>A.Ya. Ender, I.A. Ender.</b> <i>The distribution function and transport properties of charged particles at the electric field</i> .....	181
<b>SECTION IV: MECHANICS OF SOLIDS</b> .....	<b>183</b>
<b>G.V. Abushik, V.Ya. Pavilainen.</b> <i>Composite shell of yey-bulbe analysis under action of intraocular pressure</i> .....	185
<b>V.Yu. Anisimov.</b> <i>Stability of an axially compressed shell of revolution with breaking</i> .....	186
<b>S.M. Bauer, E.B. Voronkova.</b> <i>On buckling of the symmetric state of equilibrium for a non-uniform circular plate</i> .....	187
<b>E.S. Bolgar.</b> <i>On attractors in the systems described by the Duffing equation</i> .....	188

<b>O.S. Bukashkina.</b> <i>Nonlinear axisymmetric vibrations of a cone shell</i> .....	189
<b>I.V. Viktorov.</b> <i>Stability of shells of revolution reinforced by fibers</i> .....	190
<b>N.V. Vovnenko.</b> <i>Research of interrelation thermoelastic and mechanical stresses in a rigid body by optical-acoustic method</i> .....	191
<b>S.A. Ermochenko, G. Mikhasev.</b> <i>On strain-stress state of vibrating system of reconstructed middle ear after inserting prosthesis</i> .....	192
<b>B.A. Ershov, G.A. Kuteeva.</b> <i>Problem about vibrations of viscous flow inside a rectangular tank with elastic part on a wall</i> .....	193
<b>E.V. Efimov, G.V. Pavilaynen.</b> <i>On the selection of a plastic flow criterion for hardware alloys</i> .....	195
<b>A.V. Zaitsev.</b> <i>Using a method of successive approximations for defining of non-linear thermoelastic vibrations of a plate</i> .....	196
<b>M.A. Zatsepin.</b> <i>Calculation of stress and strain state in excavations by numerical and analytical methods</i> .....	197
<b>B.A. Zimin.</b> <i>Statistical model of the composite structure delamination</i> .....	198
<b>D.N. Ivanov.</b> <i>The solution of the equations of a special type with the help of the Newton polygon algorithm. Buckling of a beam under its weight</i> .....	199
<b>B.N. Kvasnikov.</b> <i>The short equations in problems of mathematical physics</i> .....	200
<b>A.I. Koshelev, M.A. Narbut.</b> <i>Plane problems in non-linear theory of elasticity for hardening media</i> .....	201
<b>A.A. Lukin, V.A. Morozov, Yu.V. Sudyenkov.</b> <i>A new method of small-dispersed particles generation and their high-speed impact with an obstacle</i> .....	203
<b>G. Mikhasev, M. Firsov.</b> <i>On the possible local forms of vibrations of a circular annular plate with an eccentric circular hole</i> .....	204
<b>A.V. Miheev.</b> <i>Influence of the shear parameter on stability of shallow shells on elastic base</i> ...205	
<b>T.V. Nikonova.</b> <i>Calculation of the stress-strain state of a supported thin-walled structure lying in a soil</i> .....	206
<b>V.Ya. Pavilainen, A.N. Tulkina.</b> <i>On the calculation of an elliptic dome and a hyperbolic cooling tower using the momentless shell theory</i> .....	207
<b>V.Ya. Pavilainen, M.Yu. Fedorova.</b> <i>Variational method for the calculation of elastic - plastic deformation of a circular cylindrical shell at axial-symmetric local loading</i> .....	208
<b>N.N. Polyakhov.</b> <i>About a closed solution of one problem of planar moment theory of elasticity for a rectangular region</i> .....	209
<b>V.M. Ryabov, L.V. Parshina, B.A. Yartzev.</b> <i>Methods for solving the problems of strength, stability and dying oscillations of layered anisotropic polymer composite plates</i> .....	210
<b>M. Ryabov, N.N. Fedonyuk, B.A. Yartzev.</b> <i>A unified method to design layered vibroabsorbing structures from polymer composite materials</i> .....	211
<b>M.S. Saykova.</b> <i>Influence of geometrical and mechanical parameters on delamination of two-layered ring under a thermal load</i> .....	212
<b>S.H. Sargsyan, S.A. Vardanyan, A.G. Farmanyan.</b> <i>Some Problems on Strength and Thermoelasticity of Micropolar Plates</i> .....	214

<b>G.A. Sinilshchikova.</b> <i>Impact wedging of a thin beam</i> .....	215
<b>A.L. Smirnov.</b> <i>Free vibrations and buckling of a cylindrical shell with the cut-offs</i> .....	216
<b>G.D. Fedorovsky.</b> <i>On the possibility of theories of tenacity-elasticity and the damageability, based on the concept of generalized time</i> .....	218
<b>G.D. Fedorovsky.</b> <i>On the physical and mathematical representation of determining functions of the macroscopic equations of state for rheologically complex media</i> .....	220
<b>S.B. Filippov.</b> <i>New asymptotic methods in the theory of thin shell vibrations and buckling</i> .....	221
<b>M.V. Chernikov.</b> <i>The engineering methods of the estimation of the behaviour of heavy thread under absolutely inelastic transversal impact</i> .....	222
<b>O.B. Shirikolobova.</b> <i>Equilibrium of an elastic beam on supports in the form of elastic rings</i> ..	223
<b>M.A. Yushkevich.</b> <i>On lateral vibrations of the beam with fixed supports</i> .....	224
<b>SECTION V: HISTORY OF MECHANICS</b> .....	<b>225</b>
<b>N.N. Kizilova.</b> <i>Methods of arterial pressure registration and biomechanical interpretation of the pulse wave curves: history and current state</i> .....	227
<b>G.A. Akimov.</b> <i>Development of directions of gas dynamics research in BSTV</i> .....	228
<b>Yu.Z. Aleshkov.</b> <i>Penetration of the disturbance across a porous wall</i> .....	230
<b>L.I. Brylevskaia.</b> <i>Encyclopaedical edition “Scientific Saint Petersburg”: projects and reality</i> .....	231
<b>A.A. Burov.</b> <i>Edward John Routh</i> .....	232
<b>G.V. Kocheryzhenkov, S.K. Matveev.</b> <i>On the approximate calculation of flows in tubes, channels and splits</i> .....	233
<b>I.E. Lopatukhina, A.L. Lopatukhin.</b> <i>About popularisation of Science in magazine “Sovremennik (Contemporary)” (Papers of P. B. Kozlovskii)</i> .....	234
<b>K.V. Manuylov.</b> <i>Poincare and mechanics</i> .....	235
<b>M.A. Mirkin.</b> <i>Historical stages of the development of an alive mathematical science</i> .....	236
<b>R.N. Miroshin, M.P. Yuskov.</b> <i>Konstantin Ivanovich STRAKHOVICH (devoted to the 100<sup>th</sup> birthday anniversary)</i> .....	237
<b>G.K. Mikhailov.</b> <i>Foreign and Russian biographical dictionaries: Scientific world mirror</i> .....	238
<b>N.M. Pankina.</b> <i>About the development of mechanics in Russia in the XVIII century</i> .....	239
<b>I.A. Pasyukova, V.S. Sabaneev.</b> <i>On the history of rotor dynamics theory</i> .....	240
<b>A.A. Perezhgin.</b> <i>The realization and development of the astronautics pioneers' ideas to make use of solar sails</i> .....	241
<b>A.F. Polyansky, N.N. Polyakhov-Jr., E.N. Polyakhova.</b> <i>About the publication of N.N. Polyakhov's manuscript "What Have Relativity and Quantum Mechanics Added into Classical Mechanics"</i> .....	244
<b>M.P. Yushkov.</b> <i>The History of the Department of Mechanics of Saint Petersburg – Leningrad University during 1819 – 1929 years</i> .....	244
<b>AUTHOR INDEX</b> .....	<b>245</b>
<b>ELECTRONIC ADDRESSES OF PARTICIPANTS</b> .....	<b>253</b>

## СОДЕРЖАНИЕ

ОТ ОРГКОМИТЕТА .....	3
NIKOLAI NIKOLAEVICH POLYAKHOV (1906 - 1987).....	11
ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ.....	19
С.А. Зегжда, М.П. Юшков. <i>Научная, педагогическая и общественная деятельность профессора Н.Н.Поляхова (к 100-летию со дня рождения Николая Николаевича Поляхова)</i> .....	21
Е.А. Нагнибеда, В.С. Сабанеев. <i>Николай Николаевич Поляхов и гидроаэромеханика</i> .....	22
Yu. Melnikov. <i>INTAS: Mission and Activities</i> .....	23
M. Pascal, S.Ia. Stepanov. <i>Periodic solutions and stability of piecewise-linear vibratory systems</i> .....	24
D.A. Indeitsev. <i>Influence of the Kinetics of Processes on the Behavior of Thin Structures in a Continuous Medium</i> .....	25
А.П. Сейранян, А.А. Майлыбаев. <i>Многопараметрическая теория устойчивости с приложениями в механике</i> .....	26
Г.К. Михайлов. <i>Леонард Эйлер (к 300-летию со дня рождения)</i> .....	29
СЕКЦИЯ I: ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА .....	31
A.B. Vyachkov, V.M. Suslonov. <i>The Application of Maggi's Equations for Quasi-Coordinates for Solving Problems of Parametrical Identification of Mechanical Systems</i> .....	33
B.O. Enflo, C.M. Hedberg, O.V. Rudenko. <i>Wave motion in a medium with a cubic nonlinearity</i> .....	34
A.V. Karapetyan, M. Pivovarov, Ya.V. Tatarinov, I. Zeidis, K. Zimmermann. <i>Non-holonomic models of the non-classical locomotion</i> .....	35
R. Kasper, D. Vlasenko. <i>Comparison of simulation of constrained multibody dynamics using relative and absolute coordinates</i> .....	36
A. Lopatukhin. <i>Nonlinear Model Application in Ultrasonic Heating of Biological Tissues</i> .....	37
R. Sulikashvili. <i>The inverse problem of existence and stability of steady motions of the gyrost at with equal moments of inertia in an axisymmetric force field</i> .....	38
С.В. Алмазова. <i>О колебаниях одной трехстержневой системы</i> .....	39
Б.С. Бардин. <i>К задаче об устойчивости периодических движений твердого тела в случае Горячева-Чаплыгина</i> .....	40
А.А. Буров. <i>Об ограниченных задачах в механике твердого тела</i> .....	41
А.А. Буров, И. Мотт, Я.Е. Славяновский, С.Я. Степанов. <i>О движении гантели по сферической поверхности</i> .....	42
В.Г. Быков. <i>Динамика ротора с автобалансирующим механизмом</i> .....	43
В.Г. Быков, А.А. Ломакин. <i>Использование нечеткой логики в задачах управления роботами-манипуляторами</i> .....	44
Ю.Д. Глухих, К.В. Тхай. <i>Симметричные периодические движения сферического маятника с вибрирующей точкой подвеса</i> .....	45

<b>Ю.Ф. Гунько, О.В. Сидорова.</b> Самосогласованные электрические и газодинамические поля вблизи поверхности тел в сильно разреженной плазме .....	46
<b>В.К. Дацук.</b> Получение новых преобразований четырехмерной системы координат, аналогичных преобразованиям Лоренца .....	47
<b>Н.Н. Дмитриев.</b> Влияние распределения нагрузки на движение тел по плоскости с учетом анизотропного трения .....	48
<b>С.А. Зегжда, Ш.Х. Солтаханов, М.П. Юшков.</b> К вопросу об одном новом классе задач управления .....	50
<b>А.С. Зимовщиков, В.Н. Тхай.</b> Устойчивость коллинеарных точек либрации в фотогравитационной эллиптической ограниченной задаче трех тел .....	51
<b>А.А. Зобова.</b> Движение тела вращения на абсолютно шероховатой плоскости .....	53
<b>Ю.К. Зотов, Б.М. Соколов.</b> Адаптивное управление судном при наличии внешних возмущений .....	54
<b>С.М. Зуев, Б.В. Трифоненко.</b> Устойчивость платформы Стюарта с тремя степенями свободы .....	55
<b>Г.Е. Иванов.</b> О крутильных автоколебаниях сверла .....	56
<b>Л.П. Ильина.</b> Вращение деформируемой эллипсоидальной оболочки, заполненной сжимаемой жидкостью, около неподвижного центра тяжести .....	57
<b>А.В. Карапетян.</b> Инвариантные множества динамических систем с первыми интегралами .....	58
<b>К. Катгани, А.П. Сейранян.</b> Области неустойчивости системы с периодически изменяющимся моментом инерции .....	59
<b>Н.В. Кондратьева, Я.А. Макаров, Ф.Ф. Родюков, А.И. Шепелявый.</b> Анализ устойчивости синхронных машин .....	60
<b>Д.П. Лебедин, А.С. Шмыров.</b> Об одном методе построения инвариантных множеств канонического отображения .....	61
<b>Б.Я. Локшин, Ю.М. Окунев.</b> К вопросу о динамике болидов .....	63
<b>К.В. Мануйлов.</b> Точное аналитическое описание движения маятника в сопротивляющейся среде .....	64
<b>В.М. Морозов, В.И. Каленова, М.А. Салмина.</b> Устойчивость и стабилизация стационарных движений специального класса неголономных механических систем .....	65
<b>М.А. Муницына.</b> Движение системы с односторонними связями в центральном гравитационном поле .....	66
<b>М. А. Нарбут.</b> Принцип наименьших издержек и некоторые экомеханические аналогии в математической экономике .....	67
<b>А.А. Нездеров.</b> О движении автомобиля на повороте .....	68
<b>Д.В. Несмачный.</b> Точное аналитическое описание движения математического маятника с трением в точке подвеса .....	69
<b>С.А. Панова.</b> О колебаниях автомобиля на тормозном стенде .....	70
<b>И.А. Пасынкова.</b> Конические прецессии ротора Джеффкотта с четырьмя степенями свободы в нелинейных упругих опорах .....	71

<b>Т.Н. Погребская.</b> <i>О пространственном движении ракеты, движущейся по кривой погони</i> .....	72
<b>Ф.Ф. Родюков.</b> <i>Различные модели синхронного двигателя и теория устойчивости электроэнергетических систем</i> .....	73
<b>Н.Ю. Сабурова.</b> <i>О решении одной задачи Белецкого В.В.</i> .....	74
<b>В.А. Самсонов, Ю.Д. Селюцкий.</b> <i>Управление движением тела в потоке среды</i> .....	75
<b>А.А. Сейранян, А.П. Сейранян.</b> <i>Об устойчивости перевернутого маятника с вибрирующей точкой подвеса</i> .....	76
<b>С.А. Стефанова.</b> <i>О стационарных движениях волчка с вязким наполнителем на плоскости с трением</i> .....	77
<b>Н.А. Стрелкова.</b> <i>Применение параметров Кэли-Клейна к исследованию вращательного и винтового движений твердого тела</i> .....	78
<b>Т.С. Сумин.</b> <i>Об устойчивости и ветвлении стационарных движений тела на струне, имеющего полость, целиком заполненную вязкой жидкостью</i> .....	79
<b>Я.В. Татаринев.</b> <i>Новая форма уравнений неголономной механики и системы с сервосвязями</i> .....	80
<b>К.К. Тверев.</b> <i>Экспериментальная идентификация некоторых параметров электроэнергетической системы</i> .....	81
<b>П.Е. Товстик, Т.М. Товстик, В.А. Шеховцов.</b> <i>Метод осреднения в задаче о волновом воздействии на морскую стационарную платформу</i> .....	82
<b>Т.П. Товстик.</b> <i>Динамика кельтского камня при наличии сопротивлений</i> .....	83
<b>В.Н. Тхай.</b> <i>Обратимые механические системы с первыми интегралами</i> .....	85
<b>М. В. Шамолин.</b> <i>Системы с переменной диссипацией в динамике твердого тела, взаимодействующего со средой</i> .....	86
<b>А.Л. Швыгин.</b> <i>Устойчивость маятниковых движений Млодзеевского тяжелого твердого тела с одной неподвижной точкой</i> .....	87
<b>Л.М. Юферева, Ю.А. Лавров.</b> <i>О собственных колебаниях цилиндрического акустического резонатора с упругой цилиндрической стенкой, оребренной упругой кольцевой пластиной</i> .....	89
<b>СЕКЦИЯ II: ДИНАМИКА КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА</b> .....	<b>91</b>
<b>A.V. Rodnikov.</b> <i>Influence of the 'leier' constraint on the motion of the spacecraft having dumb-bell form</i> .....	93
<b>К.А. Антипов, К.Г. Петров, А.А. Тихонов.</b> <i>Выбор концепции построения систем электродинамической стабилизации космических аппаратов</i> .....	94
<b>Л.К. Бабаджанянц, И.Ю. Потоцкая, Ю.Ю. Пупышева.</b> <i>Управление вращением спутника</i> .....	95
<b>Б.С. Бардин, А.М. Чекин.</b> <i>Об устойчивости плоских колебаний спутника на круговой орбите</i> .....	96
<b>Н.Б. Батуева, Е.Н. Поляхова.</b> <i>Классические методы небесной механики в задаче встречи космических тел</i> .....	97

<b>И.С. Григорьев, И.А. Данилина.</b> <i>Оптимизация межорбитальных траекторий перелета космического аппарата различных конструкций</i> .....	98
<b>Л.В. Докучаев, О.В. Соболев.</b> <i>Механическая аналогия в нелинейной динамике тела с жидким наполнением</i> .....	99
<b>А.П. Иванов, Ю.Я. Остов.</b> <i>Новый метод решения задачи субоптимального управления полетом</i> .....	100
<b>Л.И. Конкина.</b> <i>Нерезонансное движение двухчастотной гамильтоновой системы в ньютоновском поле сил</i> .....	102
<b>В.С. Королев.</b> <i>Преобразования уравнений движения управляемых систем</i> .....	103
<b>И. И. Косенко, С. Я. Степанов.</b> <i>Устойчивость положений относительного равновесия орбитальной связки с учетом ударных взаимодействий. Неограниченная задача</i> .....	105
<b>П.С. Красильников.</b> <i>К проблеме Урана</i> .....	106
<b>Г.А. Кутеева, Л.Л. Соколов.</b> <i>Области устойчивого движения экзопланет</i> .....	108
<b>Д.Д. Лещенко, А.Л. Рачинская.</b> <i>Эволюция вращений спутника относительно центра масс под действием возмущающих моментов</i> .....	109
<b>Н.А. Петров.</b> <i>Исследование области устойчивости движения в окрестности резонанса 2:1 с Юпитером в ограниченной плоской круговой задаче трех тел</i> .....	110
<b>Е.Н. Поляхова.</b> <i>Методы предотвращения космической опасности для Земли от околоземного космического объекта (ОКО)</i> .....	111
<b>В.Б. Титов.</b> <i>Вариационный подход в задаче трех тел. Симметричные периодические орбиты</i> .....	113
<b>М.С. Чубей, В.Н. Львов, Л.И. Ягудин.</b> <i>Оценка точности астрометрических измерений в условиях космической стереоскопической обсерватории</i> .....	114
<b>А. С. Шмыров, В. А. Шмыров.</b> <i>Оптимальная стабилизация орбитального движения КА в окрестности коллинеарной точки либрации <math>L_1</math></i> .....	115
<b>А.Б. Яковлев.</b> <i>Применение функции Гамильтона для исследования особенностей движения частицы с переменным электрическим зарядом в плазмосфере Земли</i> .....	116
<b>СЕКЦИЯ III: ГИДРОАЭРОМЕХАНИКА</b> .....	117
<b>N.G. Ivanov, E. M. Smirnov, C. Lacor.</b> <i>Computational Fluid Dynamics Analysis of Pollutant Dispersion in an Indoor Space</i> .....	119
<b>N.N. Kizilova.</b> <i>Pressure wave propagation in multilayered thick-walled anisotropic viscoelastic tubes at different fastening conditions</i> .....	120
<b>E.V. Kustova, E.A. Nagnibeda, A. Chikhaoui.</b> <i>Non-equilibrium Kinetics in Gas Dynamics of High-temperature and High-enthalpy Flows</i> .....	121
<b>P.V. Vashchenkov, A.V. Kashkovsky, M.S. Ivanov.</b> <i>Numerical Analysis of Aerodynamics of Reentry Vehicles in Wide Range of Knudsen Numbers</i> .....	122
<b>A.N. Volkov, L.V. Zhigilei.</b> <i>Hydrodynamic Simulation of Ultra-Short Laser Melting and Spallation of Metal Targets</i> .....	124
<b>O. Zavyalov.</b> <i>Problems of development at the hydrodynamical theory of lubricant, support of sliding with gas lubricant and dynamic's of high-speed rotors at the sliding support</i> .....	125

<b>А.С. Артюхин, Б.В. Егоров, А.В. Кошечев, Ю.Е. Маркачѳв, И.А. Озорнов.</b> <i>Квази-химическая кластерная модель кинетики нуклеации</i> .....	126
<b>А.Ш. Ачкинадзе.</b> <i>Обобщение теоремы Н.Н. Поляхова об оптимальном конечнолопастном гребном винте</i> .....	127
<b>К.В. Бабарыкин, В.Е. Кузьмина.</b> <i>Особенности автоколебательных режимов обтекания тела с иглой при больших числах Маха</i> .....	129
<b>А.Н. Бестужева.</b> <i>Моделирование задачи Коши-Пуассона в акватории переменной глубины</i> .....	130
<b>А.А. Веревкин, Ю.М. Циркунов.</b> <i>Численное исследование течения в импульсной гиперзвуковой аэродинамической трубе</i> .....	131
<b>Ю.Н. Ворошилова, М.А. Рыдалевская.</b> <i>Прямые скачки уплотнения в колебательно неравновесном газе. Переход к локальному равновесию</i> .....	132
<b>В.И. Гончаренко.</b> <i>О воздействии потока на движущийся диполь</i> .....	133
<b>А.А. Горбунов, С.И. Иголкин, И.В. Шаталов.</b> <i>Течение ненасыщенных паров воды и азота в скиммере масс-спектрометра</i> .....	134
<b>В.Н. Елисеенко, В.Н. Емельянов, Н.А. Мордынский.</b> <i>Нестационарные струйные течения газа в стесненных полостях</i> .....	135
<b>В.Н. Емельянов, И.В. Якимова.</b> <i>Моделирование околосоплового двухфазного течения</i> .....	136
<b>О.В. Жаркова, М.А. Рыдалевская.</b> <i>Интегралы движения и скорость звука изоэнтропийных течений диссоциирующего газа</i> .....	137
<b>Л.Г. Иванов, Е.В. Кустова.</b> <i>Течение смеси <math>O_2 / O</math> с неравновесной колебательной релаксацией и диссоциацией вблизи полубесконечной пластины</i> .....	138
<b>М.С. Иванов, Д.В. Хотяновский, А.Н. Кудрявцев, С.Б. Никифоров, А.В. Троцюк.</b> <i>Явление гистерезиса при отражении ударных волн</i> .....	139
<b>И.Е. Капранов.</b> <i>Моделирование динамики формирования, перемещения и транспортировки примеси вихревым кольцом</i> .....	141
<b>К.И. Каракулько, Е.А. Нагнибеда.</b> <i>Течения двухтемпературных газов за ударными волнами</i> .....	142
<b>Е.А. Кийски.</b> <i>Моделирование распадной неустойчивости пучка релятивистских электронов в плазменном канале при наличии сильного ведущего магнитного поля</i> .....	143
<b>М.П. Котикова, В.Н. Усков, М.В. Чернышов.</b> <i>Моделирование и анализ газоструйного течения в сверхзвуковом эжекторе</i> .....	145
<b>М.М. Кузнецов.</b> <i>Влияние поступательной неравновесности на реологические соотношения и скорости химических реакций</i> .....	146
<b>Е.В. Кустова, Л.А. Пузырева.</b> <i>5-температурная модель колебательной релаксации и процессов переноса в смеси <math>CO_2 / N_2</math></i> .....	147
<b>И.В. Луценко.</b> <i>Влияние интерцептора на аэродинамические коэффициенты цилиндров малого удлинения</i> .....	149
<b>Р.С. Любимцев, А.Н. Рябинин.</b> <i>Кайтинг и его математическое моделирование</i> .....	150
<b>А.А. Малинин, Ю.М. Циркунов.</b> <i>Численное моделирование нестационарного течения газа во входной ступени турбомашины</i> .....	151

<b>К.В. Мануйлов.</b> <i>О возникновении подъемной силы при обтекании конечного крыла (лопасти винта)</i> .....	152
<b>С.К. Матвеев, А.Г. Морозов.</b> <i>Математическое моделирование разделения фракций сыпучего материала</i> .....	153
<b>В.П. Мемнонов.</b> <i>Использование численного моделирования релаксации вращательной энергии молекул в однородном газе для проверки генераторов случайных чисел</i> .....	154
<b>Р. Н. Мирошин.</b> <i>Использование метода моментов для моделирования функции рассеяния атомов газа поверхностью</i> .....	156
<b>Л.А. Мухина, А.Ю. Яковлев.</b> <i>Применение теории вихревой поверхности к расчету поля скорости и формы вихревых пелен за работающим гребным винтом</i> .....	157
<b>Е.А. Нагнибеда, К.А. Новиков.</b> <i>О релаксации начальных неравновесных колебательных распределений в диссоциирующем двухатомном газе</i> .....	158
<b>Е.А. Нагнибеда, К.А. Синицын, С.С. Базылевич.</b> <i>Коэффициенты скорости диссоциации в двухтемпературных газах</i> .....	159
<b>С.С. Нагорный, В.А. Цибаров, С.В. Цой.</b> <i>Вязкость крови как неньютоновской среды</i> . 160	
<b>С.И. Перегудин, С.Е. Холодова.</b> <i>Моделирование процесса распространения плоских длинных волн в канале переменной глубины</i> .....	161
<b>Д.А. Петров, В.А. Цибаров.</b> <i>Стохастическая модель трехфазной конденсирующей газозвеси</i> .....	163
<b>М.Е. Подольский.</b> <i>Механическая интерпретация и линейно-алгебраический анализ основных понятий прямого тензорного исчисления</i> .....	164
<b>М.Е. Подольский, Т.О. Назарикова.</b> <i>Влияние гидродинамических сил на устойчивость синхронной прецессии ротора в круглоцилиндрических подшипниках скольжения</i> .....	165
<b>Э.В. Прозорова.</b> <i>Влияние дисперсии на законы сохранения в механике сплошных сред</i> ... 166	
<b>А.А. Райнес.</b> <i>О структуре сильных ударных волн</i> .....	167
<b>В.Я. Рудяк.</b> <i>Механизмы релаксации и процессы переноса наночастиц в газах и жидкостях</i> .....	169
<b>М.А. Рыдалевская, О.Я. Скиба.</b> <i>Скорость звука и коэффициент объемной вязкости в высокотемпературном двухатомном газе</i> .....	170
<b>М.Е. Рябков.</b> <i>Решение обратной задачи ламинарно-турбулентного перехода</i> .....	171
<b>В.Д. Серова.</b> <i>Контактные поверхности слабого разрыва и вихри на начальной стадии формирования газовой струи</i> .....	172
<b>М.В. Сильников, А.И. Михайлин, М.В. Чернышов.</b> <i>Квази-акустическая модель для анализа отражения взрывной ударной волны от многослойной поверхности</i> .....	174
<b>В.Б. Синильщиков.</b> <i>Учет нестационарных эффектов при расчете волновых процессов и неустановившихся течений в гидравлических системах</i> .....	175
<b>Е.М. Смирнов, С.А. Якубов.</b> <i>Метод моделирования отсоединенных вихрей в приложении к задачам отрывного обтекания решеток турбомашин</i> .....	176
<b>В.Н. Старков, Е.В. Пилат.</b> <i>Исследование радиальных колебаний сферического слоя максвелловской жидкости</i> .....	177
<b>В.Н. Усков, П.С. Мостовых.</b> <i>Экстремальные свойства косой ударной волны, бегущей по потоку газа</i> .....	178

<b>В.Н. Усков, М.В. Чернышов.</b> <i>Некоторые особенности падения и отражения скачков уплотнения в перерасширенных газовых струях</i> .....	179
<b>Н.Б. Федосенко.</b> <i>Аналитическое решение уравнений вязкой несжимаемой жидкости</i> ....	180
<b>А.Я. Эндер, И.А. Эндер.</b> <i>Функция распределения и транспортные свойства заряженных частиц в электрическом поле</i> .....	181
<b>СЕКЦИЯ IV: МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА</b> .....	<b>183</b>
<b>Г.В. Абушик, В.Я. Павилайнен.</b> <i>Расчет составной оболочки глазного яблока на действие внутриглазного давления</i> .....	185
<b>В.Ю. Анисимов.</b> <i>Устойчивость при осевом сжатии оболочки вращения с изломом с учетом сдвига</i> .....	186
<b>С.М. Бауэр, Е.Б. Воронкова.</b> <i>О потере устойчивости симметричных форм равновесия неоднородных круглых пластин</i> .....	187
<b>Е.С. Болгар.</b> <i>Об аттракторах в системах, описываемых уравнением Дюффинга</i> .....	188
<b>О.С. Букашкина.</b> <i>Нелинейные осесимметричные колебания конической оболочки</i> .....	189
<b>И.В. Викторов.</b> <i>Устойчивость оболочек вращения, армированных нитями</i> .....	190
<b>Н.В. Вовненко.</b> <i>Исследование взаимосвязи термоупругих и механических напряжений в твердом теле оптико-акустическим методом</i> .....	191
<b>С.А. Ермоченко, Г.И. Михасев.</b> <i>О напряженно-деформированном состоянии колебательной системы реконструированного среднего уха после установки протеза</i> ..	192
<b>Б.А. Ершов, Г.А. Кутеева.</b> <i>Задача о колебаниях вязкой жидкости в прямоугольном сосуде с упругой вставкой на стенке</i> .....	193
<b>И.В. Ефимов, Г.В. Павилайнен.</b> <i>Выбор критерия текучести текстурированных сплавов</i> .....	194
<b>А.В. Зайцев.</b> <i>Применение одного метода последовательных приближений для определения нелинейных термоупругих колебаний пластины</i> .....	196
<b>М.А. Зацепин.</b> <i>Расчет напряженно-деформированного состояния массива горных пород при подземной разработке пластовых месторождений на основе численно-аналитических методов решения</i> .....	196
<b>Б.А. Зимин.</b> <i>Статистическая модель расслоения композитного материала</i> .....	198
<b>Д.Н. Иванов.</b> <i>Решение уравнений специального вида с помощью диаграммы Ньютона. Устойчивость стержня под действием собственного веса</i> .....	199
<b>Б.Н. Квасников.</b> <i>Укороченные уравнения в задачах математической физики</i> .....	200
<b>А. И. Кошелев, М. А. Нарбут.</b> <i>Плоские задачи нелинейной теории упругости для сред с упрочнением</i> .....	201
<b>А.А. Лукин, В.А. Морозов, Ю.В. Судьенков.</b> <i>Новый метод генерирования мелкодисперсных частиц и высокоскоростное столкновение их с преградой</i> .....	202
<b>Г.И. Михасев, М.А. Фирсов.</b> <i>О возможных локальных формах колебаний круговой кольцевой пластинки с эксцентрическим круговым вырезом</i> .....	204
<b>А.В. Михеев.</b> <i>Влияние сдвига на локальную устойчивость пологих оболочек на упругом основании</i> .....	205

<b>Т.В. Никонова.</b> Расчет напряженно-деформируемого состояния подкрепленной тонкостенной конструкции, залегающей в грунте .....	206
<b>В.Я. Павилайнен, А.Н. Тулкина.</b> К расчету эллиптического купола и гиперболической градирни по безмоментной теории оболочек .....	207
<b>В.Я. Павилайнен, М.Ю. Федорова.</b> Вариационный метод расчета упруго-пластической деформации круговой цилиндрической оболочки на осесимметричную локальную нагрузку .....	208
<b>Н.Н. Поляхов.</b> О замкнутом решении одной плоской моментной задачи теории упругости для прямоугольной области .....	209
<b>В.М. Рябов, Л.В. Паршина, Б.А. Ярцев.</b> Методы решения задач прочности, устойчивости и затухающих колебаний слоистых анизотропных пластин из полимерных композиционных материалов .....	210
<b>В.М. Рябов, Н.Н. Федонюк, Б.А. Ярцев.</b> Комплексный подход к проектированию слоистых элементов вибропоглощающих конструкций из полимерных композиционных материалов .....	211
<b>М.С. Сайкова.</b> Влияние физических и геометрических параметров на расслоение в двухслойном кольце при температурных воздействиях .....	212
<b>С.О. Саркисян, С.А. Варданян, А.Ж. Фарманян.</b> Некоторые задачи прочности и термоупругости микрополярных пластин .....	213
<b>Г.А. Синильщикова.</b> Ударное расклинивание тонкого бруса .....	215
<b>А.Л. Смирнов.</b> Свободные колебания и устойчивость цилиндрической оболочки ослабленной отверстиями .....	216
<b>Г.Д. Федоровский.</b> О возможностях теорий вязкоупругости и повреждаемости, базирующихся на концепции обобщенного времени .....	217
<b>Г.Д. Федоровский.</b> О физико-математическом представлении определяющих функций макроскопических уравнений состояния реологически сложных сред .....	219
<b>С.Б. Филиппов.</b> Новые асимптотические методы в теории колебаний и устойчивости тонких оболочек .....	221
<b>М.В. Черников.</b> Инженерная методика оценки поведения тяжелой нити при абсолютно неупругом поперечном ударе .....	222
<b>О.Б. Широколобова.</b> Равновесие упругой балки на опорах в форме упругих колец .....	223
<b>М.А. Юшкевич.</b> О поперечных колебаниях балки с несмещаемыми опорами .....	224
<b>СЕКЦИЯ V: ИСТОРИЯ МЕХАНИКИ .....</b>	<b>225</b>
<b>N.N. Kizilova.</b> Methods of arterial pressure registration and biomechanical interpretation of the pulse wave curves: history and current state .....	227
<b>Г. А. Акимов.</b> Развитие направлений газодинамических исследований в БГТУ .....	228
<b>Ю.З. Алешков.</b> Проникновение волнения через пористую стенку .....	229
<b>Л.И. Брылевская.</b> Энциклопедический справочник “Научный Санкт-Петербург”: планы и реальность .....	231
<b>А.А. Буров.</b> Эдвард Джон Раус .....	232

<b>Г.В. Кочерыженков, С.К. Матвеев.</b> <i>О приближенном расчете течений в трубах, каналах и щелях</i> .....	233
<b>И.Е. Лопатухина, А.Л. Лопатухин.</b> <i>О популяризации науки в журнале «Современник» (статьи П. Б. Козловского)</i> .....	234
<b>К.В. Мануйлов.</b> <i>Пуанкаре и механика</i> .....	235
<b>М.А. Миркин.</b> <i>Исторические этапы развития живой математи-ческой науки</i> .....	236
<b>Р.Н. Мирошин, М.П. Юшков.</b> <i>Константин Иванович СТРАХОВИЧ (к 100-летию со дня рождения)</i> .....	237
<b>Глеб К. Михайлов.</b> <i>Биографические справочники за рубежом и в России: зеркало ученого мира</i> .....	238
<b>Н.М. Панькина.</b> <i>О развитии механики в России в XVIII в.</i> .....	239
<b>И.А. Пасынкова, В.С. Сабанеев.</b> <i>Из истории развития динамики роторов</i> .....	240
<b>А.А. Пережогин.</b> <i>Реализация и развитие идей пионеров космонавтики по использованию солнечных парусов</i> .....	241
<b>А.Ф. Полянский, Н.Н. Поляхов-мл., Е.Н. Поляхова.</b> <i>О подготовке к печати рукописи Н.Н.Поляхова "Что привнесли теория относительности и квантовая механика в классическую механику"</i> .....	242
<b>М.П. Юшков.</b> <i>История кафедры механики Санкт-Петербургского – Ленинградского университета за 1819 – 1929 годы</i> .....	244
<b>АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ</b> .....	249
<b>АДРЕСА ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЫ УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ</b> .....	259