

МИНОБРНАУКИ РФ
Национальный исследовательский Томский государственный университет
НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета
Физико-технический факультет
Совет молодых учёных ТГУ



Международная молодежная конференция
«Современные проблемы прикладной
математики и информатики»
в рамках Фестиваля науки
19–21 сентября 2012 г.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ

- 1. Теория и практика современного моделирования.*
- 2. Высокпроизводительные вычисления.*
- 3. Механика деформируемого твердого тела.*
- 4. Механика жидкости, газа и плазмы.*
- 5. Интеллектуальные вычисления и нейросетевые технологии.*
- 6. Методы и средства визуализации, системы обработки изображений.*
- 7. Задачи теории управления.*
- 8. Практические приложения: аэрокосмическая механика, наномеханика и др.*
- 9. Численные методы в механике сплошных сред и механике жидкости и газа.*
- 10. Баллистика и небесная механика.*
- 11. Информационные технологии в науке и образовании.*

Издательство Томского университета
2012

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

- Майер Г.В.** – председатель, ректор ТГУ, профессор
Глазунов А.А. – сопредседатель, д.ф.-м.н., профессор НИИ ПММ ТГУ
Шрагер Э.Р. – сопредседатель, д.ф.-м.н., профессор, ТГУ
- | | |
|--|---|
| Богоряд И.Б. , профессор, д.т.н., академик
РАРАН | Козлов Е.А. , профессор, член-корр.
РАРАН |
| Бордовицына Т.В. , профессор, д.ф.м.н.,
зав. отд. НИИ ПММ ТГУ | Кочетков А.В. , профессор, НИИ ме-
ханики (Н. Новгород) |
| Брагов А.М. , профессор, НИИ механики
(Н. Новгород) | Кузнецов А.А. , председатель СМУ
ТГУ |
| Бутов В.Г. профессор, д.ф.м-н НИИ ПММ
ТГУ | Липанов А.М. , академик РАН |
| Дунаевский Г.Е. , проректор по НР ТГУ | Масловский В.И. , доцент, директор
МЦ ТГУ |
| Жаровцев В.В. , доцент, ученый секретарь
НИИ ПММ ТГУ | Разоренов С.В. , профессор, д.ф.-м.н.,
ТГУ |
| Ищенко А.Н. , профессор, д.ф.-м.н., зам.
директора НИИ ПММ ТГУ | Степанов Г.В. , профессор, ИПП (Ук-
раина) |
| Калони Е. , профессор, SUPSI (Швейцария) | Шабловский О.Н. , профессор,
д.ф.-м.н., Гомель (Белоруссия) |
| Кружка Л.С. , профессор, МУТ (Польша) | |

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

- Председатель: **Орлов Максим Юрьевич**, ученый секретарь СМУ ТГУ
- | | |
|--|--|
| Баньщикова М.А. , доцент, к.ф.-м.н., ТГУ | Коробенков М.В. , аспирант ТГУ |
| Богомолов Г.Н. , инженер НИИ ПММ ТГУ | Жармухамбетова А.М. , студентка ТГУ |
| Борзенко Е.И. , ст. преп., к.ф.-м.н., ТГУ | Дубровина Е.И. , студентка ТГУ |
| Сухоярский М.А. , студент ТГУ | Еремин И.В. , зав. лаб. НИИ ПММ ТГУ |
| Кулешов А.В. , аспирант ТГУ | Ольшанская Г.Г. , н.с. НИИ ПММ ТГУ |

М43 **Международная** молодежная конференции «Современные проблемы прикладной математики и информатики» в рамках Фестиваля науки 19–21 сентября 2012 г.:
Материалы конф. / Под ред. М.Ю. Орлова. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012. – 170 с.

ISBN 978-5-7511-2162-4

Представлены материалы конференции молодых ученых «Современные проблемы прикладной математики и информатики», прошедшей 19–21 сентября 2012 г. в Томском университете.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

УДК 539.3.004
ББК 22.25; 22. 251. 22.62

ISBN 978-5-7511-2162-4

© Томский государственный университет, 2012

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF RUSSIAN FEDERATION
National Research Tomsk State University
Scientific research institute of applied mathematics and mechanics of TSU
Physical-technical faculty

Council of young scientists of TSU

International young scientific conference
"Present problems of applied mathematics and
Computer Science" within the framework
of the Science Festival Tomsk,
September 19–21, 2012

SCIENTIFIC DIRECTIONS OF THE CONFERENCE

1. Theory and practice of contemporary modeling.
2. High-performance computations.
3. Mechanics of deformable solids.
4. Mechanics of fluids and plasma.
5. Intellectual computations and connectionist technologies.
6. Methods and techniques of visualization, image processing systems.
7. Problems of control theory.
8. Practical applications: space-air mechanics, nanomechanics etc.
9. Numerical methods in mechanics of continua and mechanics of fluids.
10. Ballistics and celestial mechanics.
11. Information technologies in science and education.

Publishers Tomsk University
2012

Organizing Committee of the Conference:

Mayer G.V. – Rector of Tomsk State University, Professor (Chair);
Glazunov A.A. – Director of the Institute of Applied Mathematics and Mechanics TSU;
Shrager E.R. – Dean of physics-technical faculty TSU, Professor. International Organizing Committee:
Bragov A.M. – Doctor of Science, Institute of Applied Mechanics Lobachevsky SU.
Bogoryad I.B. – Doctor of Technical Sciences, Academician RARAN, Professor;
Borodovitsyna T.V. – Head Dep. Institute of Applied Mathematics and Mechanics TSU;
Butov V.G. – Head Dep. Institute of Applied Mathematics and Mechanics TSU;
Vasenin I.M. – Doctor of Science, Head Department FTF TSU, Professor;
Dunaevsky G.E. – Vice President for TSU, Professor;
Zharovtzev V.V. – Academic Secretary, Institute of Applied Mathematics and Mechanics TSU;
Ishchenko A.N. – Deputy Director of Applied Mathematics and Mechanics Institute TSU;
Cadoni E. – Professor, SUPSI, Switzerland (by agreement);
Kruszka L.S. – Professor, MUT (Poland) (by agreement);
Kozlov E.A. – Corresponding member, Professor, RARAN;
Kochetkov A.V. – Doctor of Science, Institute of Applied Mechanics at Lobachevsky NNSU;
Kuznetsov A.A. – Chairman of SMU TSU;
Lipanov A.M., D.Sc., Academician RAS;
Maslowski V.I. – Associate Professor, Director YS TSU;
Razorenov S.V. – Doctor of Science, Chemical Physics RAS, Professor (Chernogolovka)
Stepanov G.V. – Doctor of Science, Professor IPS (Ukraine) (by agreement)
Shablovsky O.N. – Doctor of Science, Professor Gomel (Belarus) (by agreement).

International young scientific conference "Present problems of applied mathematics M43 and Computer Science" within the framework of the science festival Tomsk, September 19–21, 2012 /Edited by M.Yu. Orlov. – Tomsk: Publishers Tomsk University, 2012. – 170 p.

ISBN 978 - 5 - 7511-2162-4

For scientific workman, the teachers, graduate student and student.

UDK539.3.004

ISBN 978 - 5 - 7511-2162-4

© Tomsk State University, 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

В сентября 2012 г. на базе Томского госуниверситета в рамках Всероссийского фестиваля науки прошла Международная молодежная научная конференция "Современные проблемы прикладной математики и информатики".

Одной из главных целей конференции являлось привлечение и закрепление в сфере науки и инноваций молодых исследователей – будущего отечественной науки. Кроме пленарных и секционных заседаний были организованы экскурсии в подразделения Томского госуниверситета, в том числе вычислительный центр "СКИФ-Cyberia" и лаборатории НИИ прикладной математики и механики. В результате будущие студенты ознакомились с передовыми разработками томских ученых в области математического и физического моделирования различных процессов, в частности быстропротекающих процессов в твердых телах.

Работа конференции проходила по 5 секциям:

- Механика деформируемого твердого тела.
- Теория и практика современного моделирования.
- Высокопроизводительные вычисления.
- Исследования новых перспективных материалов в приложениях механики сплошных сред.
- Информационные технологии в науке и образовании.

Было заявлено более 100 докладов из Москвы, Санкт-Петербурга, Н. Новгорода, Самары, Томска, Комсомольска-на-Амуре, Калининграда, Пензы, Междуреченска, Кемерово, Таганрога, а также стран ближнего и дальнего зарубежья.

С пленарным докладом на тему высокоскоростного деформирования и разрушения поликристаллического льда выступил зав. лаб. НИИ прикладной математики и механики В.П. Глазырин. В докладе были представлены новые разработки в области численного моделирования динамического нагружения льда, в том числе физико-математическая модель, численный метод расчета его ударного и взрывного нагружения, а также оригинальные научные результаты, полученные в ходе ре-

шения практически значимых задач. Ведущий научный сотрудник В.Ф. Толкачев доложил о возможностях современных экспериментальных методик изучения процессов разрушения конструкционных материалов при высокоскоростном деформировании. В докладе приведены оригинальные экспериментальные результаты о поведении керамик и металлокерамик в условиях кратковременного ударного воздействия. Презентован уникальный программно-расчетный комплекс STAR-ССМ+, предназначенный для расчета современных задач механики сплошных сред, разработанный ООО "Саровский Инженерный Центр".

Сайт конференции: <http://math.festival.tsu.ru/main.vdom>.

Желаем плодотворной работы и до встречи в следующем году!

Сопредседатель программного комитета
конференции "СПММИ-2012"
директор НИИ ПММ ТГУ,
профессор *А.А. Глазунов*

Председатель организационного комитета
конференции "СПММИ-2012",
член совета молодых ученых ТГУ
с.н.с. НИИ ПММ ТГУ *М.Ю. Орлов*

PREFACE

In September 2012 at Tomsk State University in the framework of the All-Russian Festival of Science an International youth scientific conference "Modern problems of applied mathematics and computer science" was completed.

The main objective of the conference is fixation of young people in science and innovation. In addition to the plenary and sectional reports were organized excursions to affiliated companies of the Tomsk state University, including the computing center "SKIF Cyberia" and the laboratory of the Research Institute of applied mathematics and mechanics. As a result of future students got acquainted with the advanced development of Tomsk scientists in the field of mathematical and physical modeling of various processes, in particular the fast-going processes in solids.

The conference consisted of 5 sections:

- Mechanics of solid body.
- Theory and practice of modern modeling.
- High-performance computing.
- Studies of promising new materials in applications of continuum mechanics.
- Information technologies in Science and Education.

It was stated more than 100 reports from Moscow, St. Petersburg, Nizhny Novgorod, Samara, Tomsk, Komsomolsk-on-Amur, Kaliningrad, Penza, Mezhdurechensk, Kemerovo, Taganrog, and also the countries of near and far abroad.

The plenary report on the subject of high-speed deformation and fracture of polycrystalline ice was made by head of laboratory Research Institute of applied mathematics and mechanics of V.P. Glazyrin. In the report were presented new developments in the field of numerical modelling of dynamic loading of ice, including physic-mathematical model, numerical method of calculation of the impact and explosive loading, as well as original scientific results obtained in the course of solving practically important problems. Leading researcher Tolkachyov V.F. reported on the capabilities of modern experimental methods of studying the processes of destruction of structural

materials under high-speed deformation. The report presents original experimental results on the behavior of ceramics under shock loading. Presented a unique program complex STAR-CCM+, intended for calculation of contemporary problems of continuum mechanics, developed "Sarov Engineering Center" was presented.

Web site Conference is following: <http://math.festival.tsu.ru/main.vdom>.

We wish good luck and see you next year!

The Co-Chair of the Program Committee
of the Conference,
Director of RIAMM TSU,
Professor *A.A. Glazunov*

The Chairman of the Organizing Committee
of the Conference,
Member of the Council of Young scientists
of the TSU,
Senior researcher *M.Yu. Orlov*

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

THE INVESTIGATION OF DEFORMATION AND FRACTURE PROCESSES OF POLYCRYSTALLINE ICE

Glazyrin V.P., Orlov M.Y., Orlova Yu.N.

National Research Tomsk State University,
National Research Tomsk Politechnical University

The results of parametric investigation into the processes of the shock-explosive loading of ice are presented. The basic mechanisms of ice deformation and its fracture under the impact and explosion were investigated, the patterns of the ice destruction were analyzed and the authors made recommendations for its more effective destruction. A physic-mathematical model of its behavior under dynamic loads was suggested, the numerical method for calculating the 2D axially symmetric stress-strain state and thermodynamic state was proposed, also new theoretical knowledge concerning the deformation and destruction processes of ice was provided under different initial conditions.

1. Introduction

At present the research of the polycrystalline ice behavior under the impact and explosive loads is very actual. This can be confirmed by some applications, namely by carrying out geological prospecting works in the North of Russia, designing hulls for icebreakers of a new generation, removing the ice jams on the Siberian rivers, try-out of the rocket armaments in the Arctic and Antarctic Circles, perfecting the protection of space vehicles, etc.

The main complexity of the investigations has been found out in the research works by Malgrem, Cann, Maeno, Bogorodsky. It consists in the fact that such ancient natural material as ice (at present more than 15 modifications are known) has been little investigated under conditions of the shock-wave loading. This is explained by a complicated internal structure, the peculiarities of its crystalline lattice, the abnormal plastic properties, multiple phase transitions under deformation and soon. In general, from the viewpoint of destruction the polycrystalline ice may not have any analogues.

Laboratory 21 of the Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics at Tomsk State University has developed a new physical-mathematical model of ice behavior under the shock and explosive loads, a numerical method to calculate its stress-strain state with allowance for its fragmental failure. Also the scientific data (theoretical and experimental) on the behavior of polycrystalline ice under shock and explosion have been summarized. A considerable part of the results was obtained in line with the calendar plan of the grant RFBR07-08-00623a "The investigation of deformation and fracture of polycrystalline ice at impact and explosion."

2. Brief review on the dynamic loading of ice

Every year over 1400 papers (according to the World Wide Web) are published on the problem of ice, but there are few papers devoted to modelling its shock-explosive loading. This viewpoint can be confirmed by the Tenth Jubilee All-Russian Congress devoted to the fundamental problems of theoretical and applied mechanics. Not more than ten papers (out of a thousand) dealt with the ice problems. In 2012 the All-Russian Scientific Conference was held under the auspices of the Russian Academy of Sciences at Lavrentyev Institute of Hydrodynamics. It was devoted to the problems of polar mechanics. The latest achievements of science and technology in the field of polar mechanics were presented by scientific and technological teams working in the field of modern mechanics of ice [2].

At the end of 2012 it became reliably known that this scientific problem is dealt with by different groups of researchers both in Russia and abroad. In Russia one should single out the collectives of scientists from Krylov State Research Centre, Arctic and Antarctic Research Institute (St. Petersburg), Institute for problems of mechanics (Moscow), National Research Lobachevsky State University (Nizhny Novgorod), Russian Federal Nuclear Center All-Russian Institute of Experimental Physics (Sarov), Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of RAS, Institute of Mining of RAS, Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics of RAS (Novosibirsk), Institute of Computational modeling RAS (Krasnoyarsk), Institute of Machine Science and Metallurgy RAS (Komsomolsk-on-the-Amur), North-Eastern Federal University in Yakutsk (Yakutsk), Far Eastern Federal University (Vladivostok), etc.

3. The physico-mathematical model and the calculation method of dynamic loading of ice

The description of ice behavior under dynamic loads is carried out from the viewpoint of phenomenological macroscopic theory of continuum mechanics based on the fundamental conservation laws. Ice was modelled by the elastic-plastic, porous compressible medium with the account of strength properties, shock-wave phenomena as well as the combined formation of detached and shear damage. The elastic-plastic flow is specified by the Prandtl–Rice equations associated with Mises flow. The equation of state is chosen in the Walsh form, with its main advantage being a wide availability of the constants.

The main research tool is a modified lagrangian method, with its computation part being complimented by the mechanisms to split the nodes and to destroy the account elements. The originality of the method lies in a new way of allocating the surface materials discontinuity which does not impose serious restrictions on solving the present-day dynamic multi-contact

problems of solid body mechanics. The numerical method has been improved by introducing the mechanism of splitting the computational nodes into the accounting part. The latter is applicable to the power and volume criteria of destruction [3].

For a plane and axial symmetry in a two-dimensional statement a software package has been developed; it allows to prepare interactively the initial data, including the automatic decomposition of the domain, to carry out the calculation in a console regime, and also to perform the graphic and tabular processing of the results obtained. In the computer program there exists a possibility to apply five different state equations for many constructional materials.

4. Test calculations

Before forecasting the ice behavior under loading it is necessary to solve the problem of reliability of the numerical simulation results. For this purpose the test computations are performed; they are aimed both at the advantages of the solution itself and at the medium model involved in the algorithm, and only after these steps it becomes possible to use the results for forecasting purposes.

The reliability of the numerical simulation results was proved by solving a number of test tasks: computation of amplitudes and speeds of shock waves, collisions of two identical cylinders, the percussions of a steel cylinder on a rigid wall, rupture of homogeneous and two-layer plates with a small ball, the perforating of projectiles having ogival heads into “half - infinite” plates. The integral characteristics of shock interactions of specific materials (the depth of penetration, the crater diameters, the residual speed of projectiles, a relative shortening of projectiles) were compared. The experimental data were obtained at the Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics at Tomsk State University at different time. They are associated with the names of V.I. Afanasyev, V.M. Zakharov, Yu.N. Orlov, V.P. Glazyrin, Yu. F. Khristenko and others.

Fig. 1 presents the calculation results of the process of penetrating a compact projectile into ice. The diameter of a steel sphere was equal to 4.5 mm, the initial speed varied from 100 to 150 m/s. Figure illustrates the configurations of the projectile and the ice at the time intervals 0, 50, 75 ms.

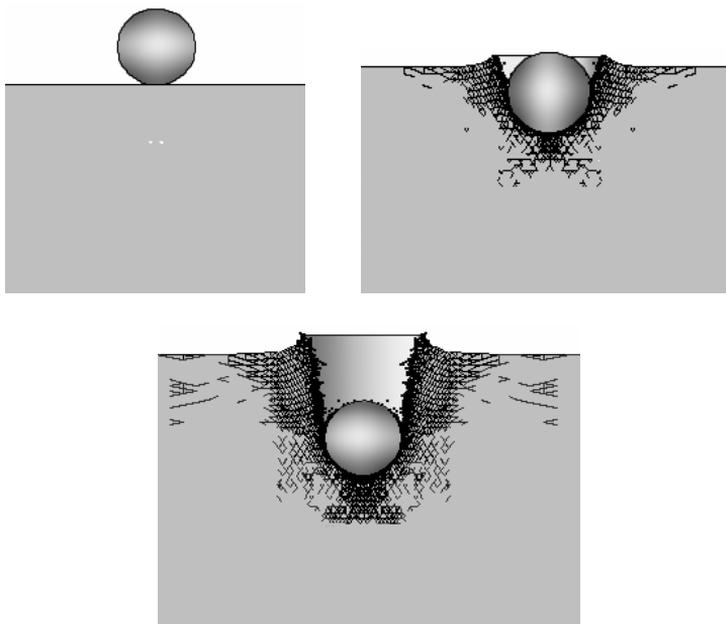


Fig. 1. Configuration “projectile – ice”

The physical experiments were performed on a ballistic pneumatic setup (4.5 mm calibre), with freshwater ice specimens ($15 \times 15 \times 15$) cm at the temperature $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$. At these sizes no influence of the side and rear surfaces was observed on the penetration process. After the experiment the projectile had its initial spherical configuration. The penetration of the projectile was accompanied by fragmentary failures on the face surface of the sample and formation of a conical crater. The results of computation experiment concerning the penetration depth and the projectile shape qualitatively and quantitatively agree with the experiments.

5. The study of the process to introduce an oversized projectile into ice on a water pad

The process of a normal perforation of an oversized projectile into an ice plate placed on water pad is investigated in this paper. The object under study is polycrystalline ice obtained in a climatic chamber by means of freezing fresh water at the temperature $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ during 24 hours. The subject under study is 2D stressed deformed and thermodynamic state of ice with regard for the evolution of its deformation patterns and the destruction areas. This work is a logic extension of the investigations pursued earlier, therefore the

physico-mathematical characteristics of the materials being modulated and the scope the number of the initial speeds are precisely the same as in [2-6].

Table 1 gives the main physic-mathematical characteristics of the materials being simulated, where is K_1, K_2, K_3 -a constant equation of state, ρ_0 - the initial density of, C_0 – volume sound speed, G - shear modulus, σ_t - yield strength σ_k - spall strength, A_p – shear plastic deformation, ϵ_{eq} – the equivalent plastic strain. A mixture consisting of 5 components (cement – 15%, natural sand – 62%, sawdust – 6%, water 11%, liquified glass – 6%) was used as a filler.

Physical and mechanical properties

Parametrs	Materials			
	Ice	Filler	Steel	Water
K_1 , GPa	8,4	10	153	2,25
K_2 , GPa	16,8	23	176	8,5
K_3 , GPa	8,4	15	53,23	0
ρ_0 , g/cm ³	0,92	1,71	7,84	1
C_0 , m/s	3020	2540	4417	1500
G , GPa	3,2	26,9	81,4	0,001
σ_t , GPa	0,022	0,025	1,7	0,001
σ_k , GPa	0,01	0,3	2,8	1
A_p , kJ/kg	0,5	100	500	100
ϵ_{eq}	2,0	2,0	1,3	1,1

The parametrical investigations of the process to penetrate an over-sized projectile into an “ice - water” system are given below. The projectile is a cylinder with a flat head, it consists of a steel shell and a filler. The mass of a projectile makes up 235,3 kg, its diameter and height were equal to 34 cm and 87 cm accordingly. The strap which is 100 cm high and 400 cm in diameter was placed on a water pad (150 cm high). A series of computational experiments have been made for a two-dimensional axisymmetrical case; it consisted of four alternative designs, where the range of the initial speeds varied from 150 to 300 m/s. Figure 2 gives the calculation region of the “projectile – ice – water” system. The number of the calculation elements is 9452. A 2D three-cornered elements “equilateral triangle” was used as a calculation elements.

Fig. 2 illustrates the accounted configurations of the “projectile – ice - water” at the final stages of the penetration process. It was found but accounting that the first destruction centers were formed in the ice in the form of oblique cracks during the 150th microsecond in the vicinity of a contact zone. It was also stated that till that moment ice was compressing and as a result the projectile was penetrating into the material which was relaxed by

stretching and the local shear, for same time there occurs a splash-out of the surface ice layers in the direction of the projectile. For some time there occurs splashing out of the surface ice layers toward the projectile. As the projectile is moving inside the ice plate, its fracture zone begins to widen from the face surface to the rear, forming a “plug” in the ice. An ice buckling was observed in the “ice - water” contact zone in the direction of the projectile motion. A distinctive feature of the ice destruction process is formation of two trunk fractures located in the centre of the plate.

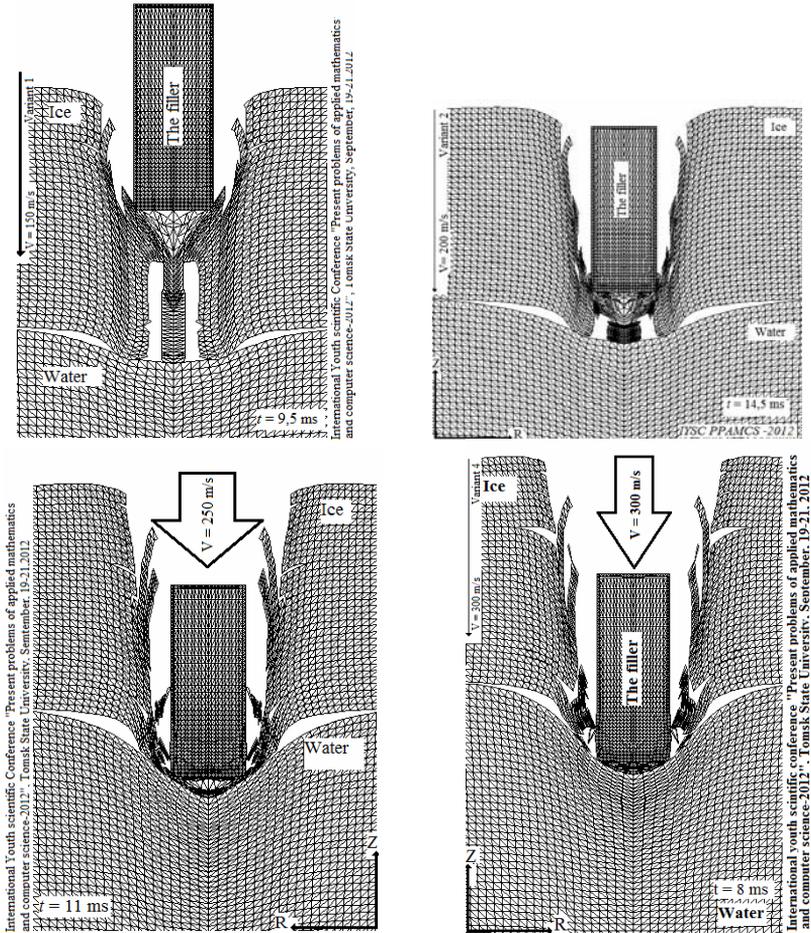


Fig. 2. Configuration of the “projectile – ice”

Fig. 3. Graphical relationship falling projectile velocity on time

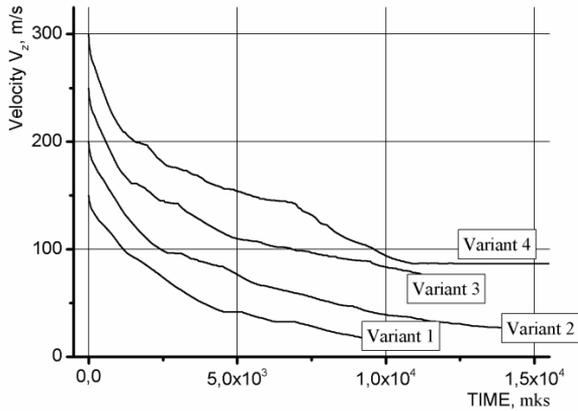


Fig. 3 presents the graph of the time dependence of the projectiles speed for four calculations variants which are approximated by a hyperbolic function. Analyzing the behavior of the curves on the graph one can come to the conclusion that the sectors of “quick” and “slow” reduction in speed can be distinguished in the process of projectile penetration. Moreover, as the initial speed grows the duration of the sectors with the “quick” speed reduction decreases and it grows in the sectors with “slow” speed reduction. The constant speed sectors are also noted on the curves when the projectiles passes “the ice - water” boundary.

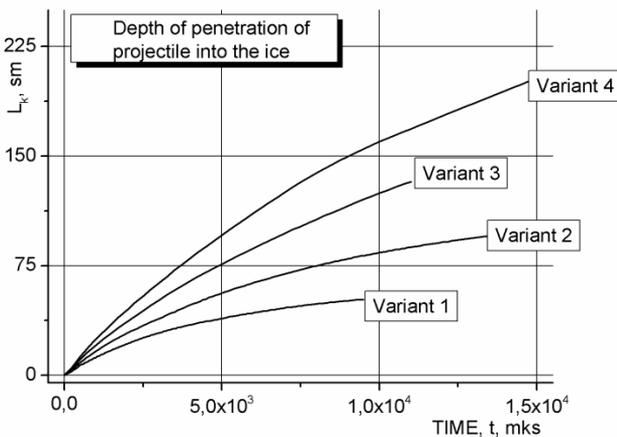


Fig. 4. Graphical dependence of the projectile penetration depth of the on time

In fig. 4 a set of curves corresponds to varying the penetration depth of the projectiles into ice which is in water. One can see that the curves on the figure are approximated according by the power function. The curves describing the projectile penetration into a thick ice plate were of a similar shape [3].

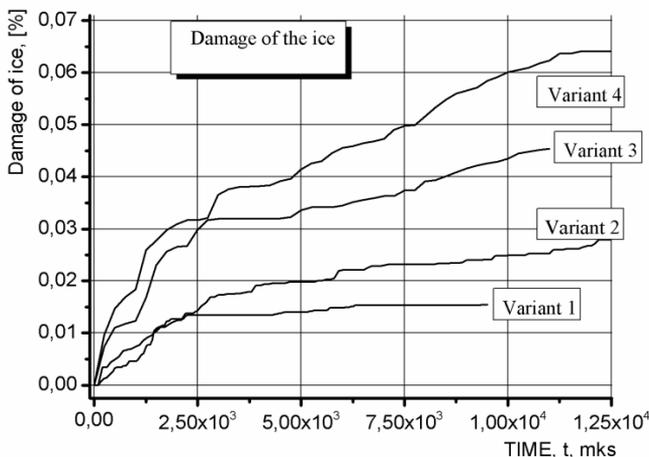


Fig. 5. Graphical relationship dependence of the damaged ice on time

Fig. 5 represents a graphic dependence of the ice damage on time. The ice damage was calculated by using the damage parameter D_{mg} which was proposed for the first time in [4]. It was found that the main amount of failure area appeared in the ice at the initial stages of the penetration process in a pre-contact area. The amount of damaged ice was not significant (it did not exceed 6.5%) / one can see the intersection of the curves which correspond to variants 1, 2, and also the confluence of curves 3 and 4 during the first micro-second.

To calculate the hydrostatic pressure in the designing area the two check points were selected, one of them being located in the bottom part of the projectile filler, the other – in water on the symmetry axis at the depth of 75 cm. The pressure plot in the monitoring points for the last version is given in figure 6. One can see that the curves on the graph have numerous local maxima and minima produced by the wave reflection from the contacting and free surfaces in the process of penetration. The maximum pressure in the bottom part of the filler equal to 0.168 GPa was registered at the beginning of the penetration process at 75 ms. In water the maximum pressure was equal to

0.014 GPa, it was registered in the middle of the penetration process at 7.5 ms.

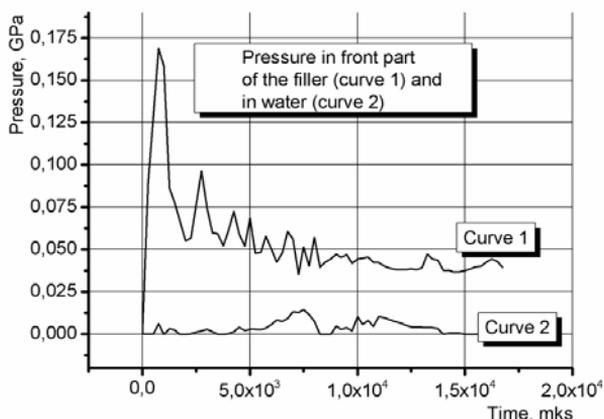


Fig. 6. Graphical dependence of hydrostatic pressure in the front part of the filler

The calculation carried-out in this way make it possible to describe the process of the penetrating a large-sized projectile into an ice water barrier. Within the range of the velocities discussed above the duration 20 ms and higher, the amount of destroyed ice was insignificant the hole in the plate had shape of a truncated cone. It was found that the pressure arising during the penetration process in water and filler were low.

Work is supported by the Special Federal Programme "Frames" (14.740.11.0585 from 05.10.2010) and RFBR 10-08-00633a, 10-08-00398a

References

1. *Physics and mechanics of ice Symposium*. Copenhagen, Technical University of Denmark, Editor P. Tryde, 1983. P. 352.
2. Pernaz-Sanchez J., Pedroche D. A., Varas D. Lopez-Pande J., Zaera R. Numerical modeling of ice behavior under high velocity impact // *International Journal of Solid Structure*, 2012.
3. Glazyrin V.P., Orlov M. Yu., Orlov Yu. N. Numerical modeling of the impact loading of heterogeneous materials, *Computational Technology*, RAS 7(2), 2002, p. 154–162.
4. Glazyrin V.P., Orlov M. Yu., Orlov Yu.N. The destruction of the ice under the detonation products / *Physics*, 2008. Vol. 51, No 8/2. P. 136–142.
5. Glazyrin V.P., Orlov M.Yu., Orlov Yu.N. Investigation of destruction of functional gradient barrier at shockwave loading, AIP Conference Proceeding Zababakhin Scientific Talks, International conferences on high energy density physics, Sneginsk (Russia), 5–10 September 2005, New York, 3rd August, 2006. Vol. 849. P. 421–426.
6. Orlov Yu.N. et al. Certificate on State registration of computer programs No 2010610911 of 28 January 2010, Impact-OS1. Shock wave loading designs. Axisymmetric task.

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ДИЗАЙНА ЭЛЕКТРОНИКИ THEORY AND PRACTICE OF CONTEMPORARY MODELING

Борисейко П.П.

ООО «Саровский Инженерный Центр»

1. Уникальный программно-расчетный комплекс STAR-CCM+

STAR-CCM+ – это программный комплекс, предназначенный для решения задач механики сплошных сред, основным преимуществом которого является необыкновенная простота в использовании (рис. 1).

STAR-CCM+ включает в себя новейшие численные алгоритмы, такие как передовые решатели, распределенный (segregated solver) и связанный (coupled solver), кроме того, он создан с использованием самых современных методов программирования. Все это позволяет STAR-CCM+ обеспечить небывалую точность, надежность и гибкость при решении задач вычислительной механики сплошных сред.

Пакет программ включает в себя мощные средства построения сеток: от восстановления целостности поверхности (surface wrapping) до создания сеток из многогранных ячеек. Использование этих новейших средств построения сеток может на часы сокращать время решения задачи.

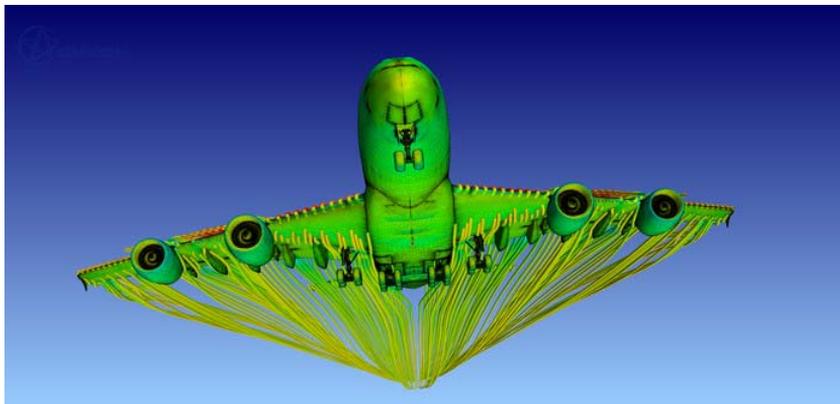


Рис. 1. STAR-CCM+

Большой набор физических моделей: ламинарные и турбулентные течения, ньютоновские и неньютоновские жидкости, многофазные потоки, кавитация, излучение, горение, развитие пограничного слоя,

течения с большими числами Маха, сопряженный теплообмен, а также новые модели для расчетов теплообменников и вентиляторов.

Использование произвольных многогранных ячеек требует меньшего объема памяти и ускоряет решение задачи. Мощные средства визуализации, управление параметрами моделирования в процессе расчета – все это доступно на русском интерфейсе.

Отмечается хорошая совместимость моделей с существующими программными продуктами: STAR-CD, ICEM, GridGen, Gambit. Модели состоят из 1 млрд и более ячеек. В отличие от всех других CFD-пакетов, STAR-CCM+ специально предназначен для выполнения масштабируемых параллельных вычислений на сколь угодно больших расчетных сетках, позволяет решать относительно простые задачи прочности (совместно с газодинамикой).

STAR-CCM+ является наиболее полным и разработанным средством инженерного моделирования, заключенным в единый интегрированный пакет. Это не просто CFD-решатель, это целый инженерный комплекс для решения задач, связанных с расчетом потоков, теплопереноса и прочности.

2. Особые возможности STAR-CCM+

Эйлерова многофазность

К существующей функциональности эйлеровой многофазности добавилась возможность тепло- и массопереноса между фазами, а также целый ряд новых опций межфазного взаимодействия, позволяющих имитировать широкий спектр различных ситуаций. Появилась новая опция для фазопроницаемых стенок, с помощью которой можно определять эффективность захвата частиц на границах, что является ключевым фактором при изучении загрязнения автомобилей и прогнозировании обледенения самолетов.

DEM слияние и разъединение частиц

Метод дискретных элементов (DEM) позволяет моделировать движение гранулированных потоков песка, сыпучих веществ, металлического порошка, капсул, растворов и т.д. В новой версии STAR-CCM+ этот метод усовершенствовался за счет возможности моделирования слияния – «слипания» – частиц и их разъединения под давлением, а также за счет соединения гибкими связями.

Образование, перенос и удаление жидкой пленки

При моделировании разбрызгивания жидкости требуется умение прогнозировать результат взаимодействия капель разбрызганной жидкости с поверхностью твердого тела. В STAR-CCM + v7.04 встроена новая модель для прогнозирования образования и переноса тонкой пленки жидкости на поверхности твердого тела, а также ее по-

следующего удаления и распада под воздействием аэродинамических сил.

Параллельное построение сеток

STAR-CCM+ имеет возможность распараллеливания процесса построения многогранных сеток и призматических слоев. Параллельное построение сеточных моделей приводит к уменьшению требуемого объема памяти и значительно сокращает время построения сеток.

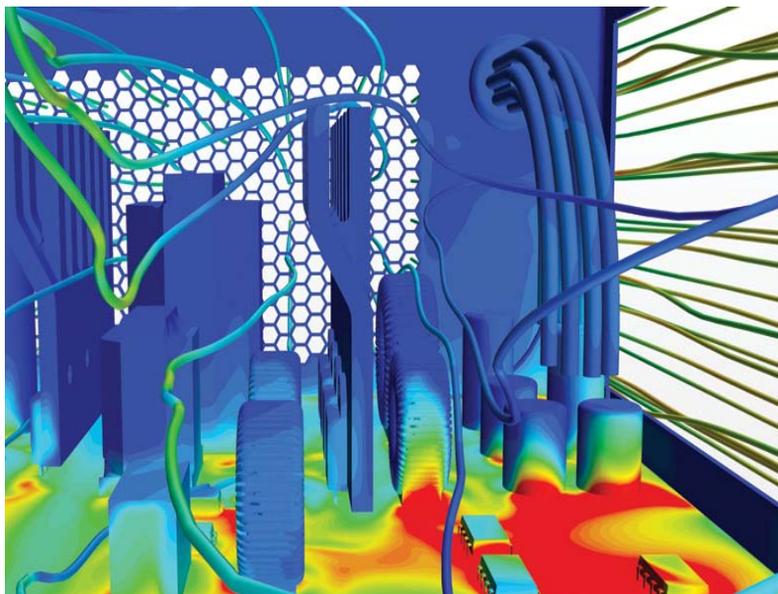


Рис. 2. Линии температурного потока в экстремальных условиях внутри блока питания

3. Пример современного дизайна электроники

Контроль компонентов и температуры системы остается одним из наиболее значимых проблем в дизайне электронных систем. От чипа к шасси и за его пределами, от чрезмерной тепловой нагрузки появляются ограничения максимальной производительности электронных устройств, что значительно повышает энергетический след в системе.

Одним из путей решения этих проблем является использование функции wgarreg. Поверхность wgarreg – это инструмент, который создает геометрическое представление по термоусадочной упаковке с высоким разрешением поверхности с учетом сложного аспекта геометрии. Он позволяет игнорировать многие недостатки 3D-модели и

создать геометрическое представление, которое будет максимально адаптировано и готово к моделированию (рис. 2).

Принимая во внимание и полагаясь на опыт предыдущего поколения инженеров, а именно инженерной интуиции в разработке охлаждения электронных систем при постоянном увеличении потребительского спроса, пришли к созданию программно-расчётного комплекса STAR-CCM+ большой производительности. Полагаться лишь на интуицию, чтобы предсказать процесс охлаждения сложных систем, – это почти гарантированная ошибка и зачастую влечет за собой получение плохих результатов. Это не только метод проб и ошибок – прототипирование, которое плохо подходит для современных требовательных систем, проблема отсутствия универсального подхода в дизайне процессов и взаимодействия множества элементов системы. Время и расходы, связанные с разработкой самостоятельного подхода, ограничат инженера любой квалификации в попытке разработать оптимальную конструкцию, с учетом отсутствия ресурсов на изучение всех возможных идей по дизайну и конструированию. Это влияет на продукт неблагоприятно, означая уменьшение прибыли, отсрочку выхода продукта на рынок и увеличение его себестоимости.

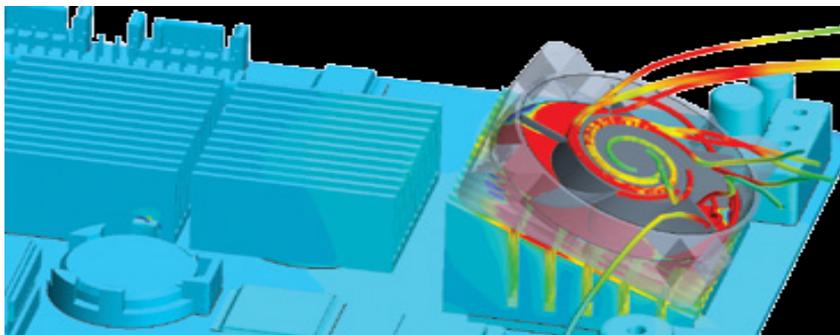


Рис. 3. Моделирование потока и температурного профиля через вентилятор охлаждения

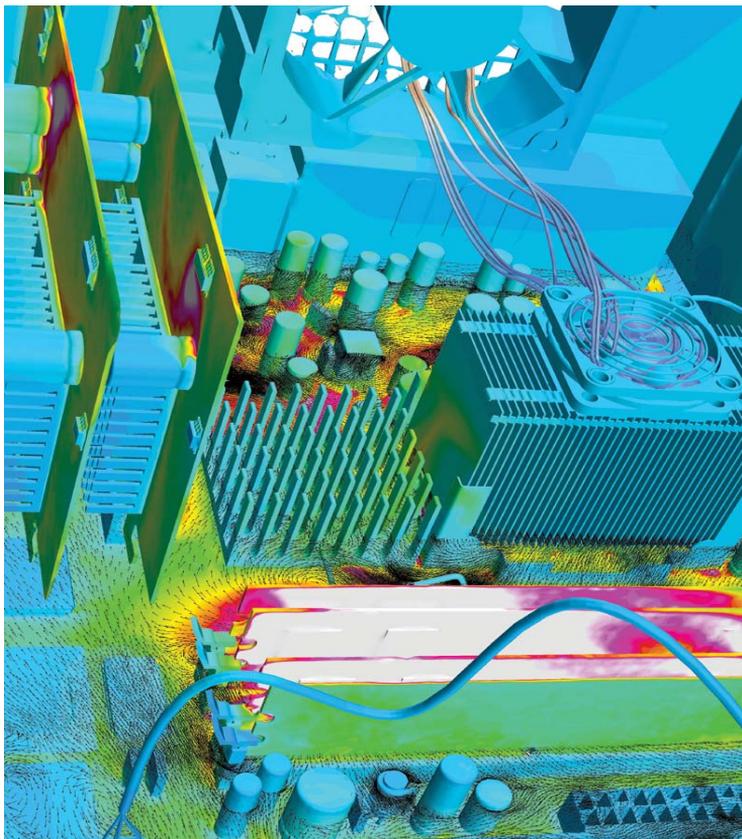


Рис. 4. Оптимизированная сеточная модель и распределение температур

Простая истина заключается в том, что с учетом жесткой конкуренции на рынке только моделирование может дать необходимое понимание характеристики нового устройства или процессов, протекающих в нем.

Литература

1. <http://www.saec.ru/> (сайт Инженерного Саровского Центра).
2. <http://www.cd-adapco.com/> (Компания-производитель программных продуктов).
3. STAR Global Conference 2012.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ УЧАСТНИКОВ
МЕЖДУНАРОДНОЙ МОЛОДЕЖНОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ»
В РАМКАХ ФЕСТИВАЛЯ НАУКИ (19–21 сентября 2012 г.)

**МАКРО- И МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
ПРИ ОПИСАНИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО
ТЕЧЕНИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ Ti И Zr
MACROSCOPIC AND MICROSCOPIC PARAMETERS FOR THE
DESCRIPTION OF LOCALIZED PLASTIC FLOW IN DEFORMING
ALLOYS Ti AND Zr**

Абрикосов И.А., Баранникова С.А., Надежкин М.В.

Abrikosov I.A., Barannikova S.A., Nadezhkin M.V.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
Национальный исследовательский Томский государственный университет

Университет Линчёпинга, Линчёпинг, Швеция

Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS

National Research Tomsk State University

Linköping University, Linköping, Sweden

E-mail: bsa@ispms.tsc.ru

Сплавы титана и циркония широко применяются в авиационной, энергетической и медицинской промышленности. ГПУ сплавы Ti обладают сравнительно небольшой прочностью, не подвергаются термической обработке, но сильно упрочняются при холодной деформации. Сплавы не хладноломки, легко свариваются и обладают высокой термической стабильностью. Сохраняют свои свойства при длительном нагреве при рабочих температурах и напряжениях. Их недостатком является пониженная технологическая пластичность. В цирконий-ниобиевых сплавах Nb образует с β -фазой Zr ряд твердых растворов, что объясняется одинаковыми кристаллическими решетками и очень близкими атомными радиусами Zr и Nb. Сплавы Zr–Nb способны к упрочнению за счет полиморфного превращения β - α , идущего по мартенситному механизму и также по механизму дисперсного упрочнения. Понимание механических свойств этих материалов и возможность прогнозирования их с использованием первопринципных расчетов имеют, таким образом, как фундаментальное, так и прикладное значение. В настоящее время считается, что деформации твердого тела при растяжении происходят за счет волновых процессов. Тем не менее остается от-

крытым вопрос относительно связи упругих волн, которые распространяются в упругодеформируемых твердых телах, и пластических волн, которые отличаются от упругих тем, что они связаны с распространением фронта пластического потока в деформируемом материале. Экспериментальные исследования пластического течения в металлах и сплавах [1, 2] однозначно продемонстрировали тенденцию к его локализации от области деформаций от предела текучести до разрушения. В настоящей работе показана корреляция между макроскопическими и микроскопическими параметрами автоволн локализованного пластического течения в деформируемых сплавах. Используя экспериментально определенные длины и скорости распространения автоволн для титановых, циркониевых и ряда других технологически важных сплавов, а также межплоскостные расстояния и скорости поперечных упругих волн, рассчитанные с помощью метода точных МТ-орбиталей [3] в приближении когерентного потенциала (ПКП) и теории Дебая–Грюнайзена, мы нашли феноменологические соотношения между макроскопическими параметрами локализованного пластического течения и микроскопическими параметрами этих материалов. ПКП в настоящее время является одним из наиболее популярных методов решения задачи расчета электронной структуры и термодинамических свойств сплавов замещения, и он реализован в целом ряде популярных компьютерных программ [3]. Наша работа также показывает, что моделирование из первых принципов может быть успешно использовано для предсказания параметров материалов, описывающих поведение сплавов при пластической деформации [4].

Работа выполнена по проекту в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. по мероприятию: 1.5 «Поддержка научных исследований, проводимых коллективами под руководством приглашенных исследователей» (ГК № 12.740.11.1456).

Литература

1. Zuev L.B. Wave phenomena in low-rate plastic flow in solids // *Ann. Phys.* 2001. Vol. 10, № 11–12. P. 956–984.
2. Зув Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. Физика макролокализации пластического течения. Новосибирск: Наука, 2008. 327 с.
3. Vitos L., Abrikosov I.A., Johansson B. Anisotropic Lattice Distortions in Random Alloys from First-Principles Theory // *Phys. Rev. Lett.* 2001. № 87. P. 156–401.
4. Significant correlation between macroscopic and microscopic parameters for the description of localized plastic flow auto-waves in deforming alloys / S.A. Barannikova et al. // *Sol. St. Comm.* 2012. Vol. 52, № 9. P. 784–787.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КАФЕДРОЙ ВУЗА INFORMATION SYSTEM TO SUPPORT THE MANAGEMENT PROCESSES OF THE UNIVERSITY DEPARTMENT

Акимов А.А.

Akimov A.A.

Пензенский государственный университет

Penza State University

E-mail: akimov1987@gmail.com

Работа кафедры в современном вузе характеризуется большим потоком информации, которая относится как к научной и учебной деятельности, так и к административной, и анализ данной информации требует значительного объема временных затрат. Поэтому возникает необходимость автоматизировать процесс сбора, обработки и последующий анализ собранной информации. Предлагается информационная система, позволяющая получать актуальные данные о процессе функционирования кафедры, проводить анализ и прогнозирование вариантов развития событий.

Все функции системы можно условно разделить на две группы: связанные с обеспечением документооборота и связанные с анализом и прогнозированием.

В рамках документооборота система позволяет осуществлять следующие функции:

1. Сбор информации о работе преподавателей.
2. Сбор информации об успеваемости студентов.
3. Формирование отчетной документации как по календарному, так и по учебному году.
4. Планирование учебного процесса на основе составления семестровых и учебных планов.
5. Подготовка индивидуальных планов преподавателей кафедры; подготовка справок различного вида (например, кто читает лекции по N-й дисциплине), статистических отчетов (например, общее количество лабораторных работ по N-й дисциплине).

Все отчеты, формируемые системой, можно разделить на несколько групп:

1. Отчеты о деятельности преподавателей.
2. Отчеты по планам различного вида. Эта группа включает в себя семестровые, учебные планы, а также индивидуальные планы преподавателей.

3. Отчёты по учебной деятельности кафедры, различного вида отчёты по успеваемости студентов по различным дисциплинам.

4. Отчёты о научно-исследовательской деятельности. Здесь можно выделить информацию об участии в выставках и конкурсах различного ранга как сотрудников кафедры, так и студентов; о выполнении кафедральных госбюджетных научно-исследовательских работ и т.д.

Исходными данными для анализа деятельности студентов являются:

- информация по успеваемости студента по дисциплине;
- информация по успеваемости студента по практике;
- информация по сдаче дипломных работ студентами;
- информация по участию студента в научной деятельности кафедры, включая публикацию научных работ.

Исходными данными для анализа работы преподавателей являются:

- информация по участию преподавателей в выполнении научно-исследовательских проектов;
- информация по издательской деятельности: по типу (статьи в журналах из перечня ВАК, в сборниках трудов конференций, тезисы докладов конференций, монографии и т.д.), по числу публикаций, по объёму в печатных листах;
- информация по участию преподавателей в подготовке проектов по конкурсам и грантам;
- информация по учебно-методической работе, включая данные по повышению квалификации.

В результате анализа полученных данных составляются рейтинги преподавателей кафедры, производится оценка эффективности их работы. Кроме того, созданная информационно-аналитическая система поддерживает анализ и подготовку данных для аккредитации кафедры. В данное время система обеспечивает информационную поддержку аккредитации кафедры по следующим показателям:

- 1) процент аспирантов, защитившихся не позднее, чем через год;
- 2) процент преподавателей, работающих на штатной основе;
- 3) количество монографий на 100 преподавателей со степенями;
- 4) годовой объём финансирования;
- 5) количество аспирантов на 100 студентов;
- 6) число защит за год на 100 человек;
- 7) процент остепенённости.

На сегодняшний день информационная среда мониторинга деятельности кафедры введена в опытную эксплуатацию.

**ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ИНТЕГРИРОВАНИЯ
(ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД ПАРАБОЛ)
THE NUMERICAL METHOD OF INTEGRATE
(THE UNITE METHOD OF PARABOLAS)**

**Александров И.А.
Aleksandrov I.A.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: ma@math.tsu.ru

В.В. Соболев и Н.В. Ищенко [1] предложили использовать для приближенного численного нахождения определенных (и сводимых к ним контурных) интегралов $I = \int_a^b f(x)dx$ в условиях, когда значения функции $f(x)$ заданы на произвольной сети узлов интерполяции, обобщенный метод парабол. На мой взгляд, он заслуживает внимания и расширения практического использования.

Пусть промежуток интегрирования $[a, b]$ разбит на m частичных промежутков произвольной длины узлами $a = x_1 < x_2 < \dots < x_m < x_{m+1} = b$. Так как в известном методе парабол Симпсона через каждые три точки P_k, P_{k+1}, P_{k+2} кривой $y = f(x)$ с абсциссами x_k, x_{k+1}, x_{k+2} ($k = 1, \dots, m-1$) можно провести параболу $y = \alpha_k x^2 + \beta_k x + \gamma_k$, заменим на промежутке $[x_k, x_{k+2}]$ дугу кривой $y = f(x)$ дугой параболы. Коэффициенты $\alpha_k, \beta_k, \gamma_k$ найдем как решение системы уравнений

$$\alpha_k x_k^2 + \beta_k x_k + \gamma_k = y_k, \alpha_k x_{k+1}^2 + \beta_k x_{k+1} + \gamma_k = y_{k+1}, \alpha_k x_{k+2}^2 + \beta_k x_{k+2} + \gamma_k = y_{k+2},$$

$y_k = f(x_k)$, выражающих условие принадлежности точек P_k, P_{k+1}, P_{k+2} указанной параболы. Поскольку определитель системы уравнений равен $(x_{k+1} - x_k)(x_{k+2} - x_k)(x_{k+1} - x_{k+2})$ и, следовательно, отличен от нуля, то и указанная система уравнений имеет единственное решение. Оно имеет вид

$$\alpha_k = \frac{1}{x_{k+2} - x_{k-1}} \left(\frac{y_{k+2} - y_k}{x_{k+2} - x_k} - \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} \right), \quad \beta_k = \frac{y_{k+2} - y_k}{x_{k+2} - x_k} - \alpha_k (x_k + x_{k+2}),$$

$$\gamma_k = y_{k+1} - x_{k+1} (\alpha_k x_{k+1} + \beta_k).$$

Обозначим через $S(u, v)$ площадь криволинейной «параболической» трапеции с основанием $[u, v]$. Имеем

$$S_k(u, v) = \int_u^v (\alpha_k x^2 + \beta_k x + \gamma_k) dx = x \left(x \left(\frac{1}{3} \alpha_k x + \frac{1}{2} \beta_k \right) + \gamma_k \right) \Big|_u^v.$$

Пусть $\sigma_k^{(1)} = S_k(x_k, x_{k+1})$, $\sigma_k^{(2)} = S_k(x_{k+1}, x_{k+2})$, $\sigma_k = \sigma_k^{(1)} + \sigma_k^{(2)}$. Складывая все площади σ_k ($k = 1, \dots, m-1$), т.е. учитывая дважды площадь над каждым из частичных промежутков $[x_k, x_{k+1}]$ с номерами $k = 2, \dots, m-1$ и по одному разу с номерами $k = 1$ и $k = m$ и прибавляя недостающие площади $\sigma_1^{(1)}$ и $\sigma_{m-1}^{(2)}$, получим приближенно удвоенную величину площади всей криволинейной трапеции с основанием $[a, b]$. Таким образом, получаем приближенную формулу

$$I \cong \frac{1}{2} \left[S_1(x_1, x_2) + \sum_{k=1}^{m-1} S_k(x_k, x_{k+2}) + S_{m-1}(x_m, x_{m+1}) \right].$$

Отметим, что по трудоёмкости вычислений предложенный способ численного интегрирования (в равных условиях при одинаковом количестве узлов m и при известных значениях $y_k = f(x_k)$) примерно в 32 раза превосходит формулу Симпсона. Такова цена снятия недостатков последней – обязательного требования равномерности сети узлов при нечетном их количестве. Впрочем, учитывая, что если, как в методе Симпсона, ограничиться однократным учетом площадей криволинейных параболических трапеций на каждом из частичных промежутков $[x_k, x_{k+1}]$ вместо двукратного, более точного, то объем арифметических операций при этом снизится почти вдвое.

Численные эксперименты показали, что предложенный здесь обобщенный метод парабол обеспечивает – в условиях применения метода Симпсона – более высокую по сравнению с последним точность вычис-

ления интегралов. Метод получил применение в [2] при решении плоских задач теории упругости.

Литература

1. *Соболев В.В., Ищенко Н.В.* Численное интегрирование. Методические указания к лабораторной работе с использованием ЭВМ. Ростов н/Д: РГАСХМ, 1999. 28 с.
2. *Александров И.А., Соболев В.В.* Математические задачи теории упругости. Задача Сен-Венана. LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrucken, Germany, 2011. 100 с.

ЦИКЛЫ КИНЕТИЧЕСКИХ ГРАФОВ И КОЛЕБАТЕЛЬНОСТЬ В ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЯХ THE CYCLES OF KINETICS COUNTS AND OSCILLATION ON CHEMICAL REAKTIONS

Александрова С.Я.
Aleksandrova S.Y.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: ma@math.tsu.ru

Работающие в области катализа ученые шутят: «Природа не изобрела колеса, зато создала каталитический цикл». Кинетические графы каталитических реакций всегда содержат циклы. Известно, что колебательные процессы играют важную роль в механизме биологических явлений (колебания биосинтеза белка, работа сердца, сокращение мышц, механизм «биологических часов» и другие процессы). Причины этих явлений связывают с осуществлением в таких системах периодических химических реакций. Закономерности возникновения колебательных режимов в сложных реакциях (автокаталитических, неизотермических) изучались достаточно давно, но считалось, что в произвольной системе химических реакций первого порядка колебания концентраций невозможны.

На основе изучения динамических моделей гомогенных изотермических последовательных реакций первого порядка нами получены необходимые условия возникновения колебательных концентраций реакций, протекающих с участием трех и четырех веществ.

Колебательность концентраций x_i веществ A_i имеет место, если изменения x_i во времени принимают как положительные, так и отрицательные значения. Рассматриваемая задача состоит в исследовании ре-

шений систем обыкновенных дифференциальных уравнений $\dot{X} = KX$, $t > 0$, где X – матрица-столбец концентраций; K – матрица кинетических коэффициентов; \dot{X} – матрица-столбец скоростей реакций. Все элементы матрицы K , стоящие не на главной диагонали, неотрицательны; сумма элементов каждого столбца этой матрицы равна нулю.

Показано, что при наличии циклов на кинетических графах реакции (второго и третьего порядка для трехкомпонентных и четырехкомпонентных реакций соответственно) возможны колебательные изменения концентраций во времени, когда один из корней характеристического уравнения матрицы K является мнимым. Так, для трехкомпонентных реакций критерий колебательности концентраций выражается неравенством $(k_1 + k_2 + k_3) < 4k_1k_3$, где $k_1 = k_{12} - k_{23}$, $k_2 = k_{31} - k_{32}$. Можно предполагать, что при определенных соотношениях констант скоростей всегда возникают концентрационные колебания в реакциях, имеющих циклы на кинетических графах.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ И КАЧЕСТВО МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ THE STATIC MODEL OF HARD SALT AND QUALITY OF MINERAL WATER

Александрова С.Я., Конова Е.С.
Aleksandrova S.Y., Konova E.S.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: ma@math.tsu.ru

Выпадение осадков из торговых минеральных вод связано непосредственно с наличием солей жесткости, солей кальция и магния. Кальций и магний находятся во второй группе периодической системы и могут в силу своего электронного строения образовывать связи только путем гибридизации, разрыв связи при этом происходит по гомолитическому типу с образованием спиновонескомпенсированных частиц – радикалов. Такие частицы не могут существовать в среде молекул воды, полностью скомпенсированных по спине, типичных гетеролитов, и происходит отталкивание внешних оболочек электронов, отторжение парамагнитных центров из системы с образованием конгломератов.

Нами исследовалась минеральная вода «Ессентуки» методом фотонной корреляционной спектроскопии и электронного парамагнитного резонанса, были выявлены различия в характеристиках дисперсий и

осадков в бутилированных торговых водах «Ессентуки» различных производителей, влияние упаковки (стекло, пластик), календарного времени разлива. Показана непосредственная связь средневзвешенных радиусов частиц дисперсий минеральных вод различных марок («Ессентуки» №2, 4, 17, 20) и уровня их парамагнетизма. Средневзвешенные радиусы частиц дисперсий колеблются от 15 до 170 нм при 20 °С и от 45 до 347 нм при 40 °С. В сухом веществе осадков концентрация парамагнитных частиц варьируется в пределах $3 \cdot 10^{19} - 10^{20}$ сп./см³. Показано, что стеклянная упаковка предпочтительнее пластиковой, что характеристики дисперсий и уровни парамагнетизма различны в течение года. Установлены различия средневзвешенных радиусов частиц и уровней парамагнетизма осадков в минеральных водах одной и той же марки у разных производителей; появляется возможность путем сравнения характеристик дисперсий минеральных вод непосредственно из источника и их торговых аналогов установить природное или же техногенное происхождение минеральной воды, поступающей в торговую сеть.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАНОСКОПИЧЕСКИХ ПОР И ДЕФЕКТОВ
В МАТЕРИАЛЕ ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ ПОДВИЖНЫХ
КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ
IDENTIFICATION OF NANOSCOPIC PORES AND DEFECTS
IN BRITTLE MATERIALS BY MOBILE CELLULAR AUTOMATA**

**Аникеева Г.М., Смолин А.Ю.
Anikeeva G.M., Smolin A.Yu.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
ИФПМ СО РАН
National Research Tomsk State University. ISPMS SB RAS
E-mail: anikeeva@ispms.ru

Нанесение наноструктурных покрытий позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики элементов машин, механизмов и конструкций. При этом механические свойства таких покрытий сильно зависят от наличия в них повреждений наноразмерного масштаба. Следовательно, актуальным является развитие методов диагностики повреждений наноразмерного масштаба. Одним из методов неразрушающего контроля качества покрытия, позволяющих оценить дефекты структуры тонких поверхностных слоев в твердом теле, является подход, связанный с использованием силы трения как измеряемого и анализируемого параметра отклика системы [1]. Поэтому на примере высокопрочных нанопокрывтий (керамика и биосовместимые материалы) в ра-

боте изучены возможности применения трибоспектрального способа для анализа дефектности поверхностных слоев твердых тел. В работе измерялась и анализировалась сила трения скольжения тестирующего одного и двух контртел по поверхности образца. Моделировались покрытия ZrO_2 и $TiCCaPON$ на металлической подложке.

Задача решалась в трехмерной пространственной постановке. В рамках метода ПКА материал рассматривается как набор дискретных элементов, взаимодействующих по определенным правилам. Математическая постановка задачи методом ПКА представляет собой задачу Коши для системы уравнений движения Ньютона–Эйлера, описывающих пространственное перемещение и вращение всех взаимодействующих элементов [2]. Для решения поставленных в работе задач силы и моменты, действующие между автоматами, записаны с учётом реализации модели упруго-идеальнопластической среды.

В ходе проводимого исследования было выявлено, что наличие периодически расположенных нанотрещин приводит к появлению выраженного низкочастотного пика на спектрах Фурье регистраций силы трения скольжения. По результатам моделирования были получены спектры Фурье для образцов с разной плотностью нанотрещин. На спектрах можно выделить частоту, отвечающую за размер трещин, которая соответствует линейным размерам, частоты, отвечающие за плотность (период следования) нанотрещин, которые соответствуют линейным размерам.

Выявленный эффект влияния наноповреждений на силу трения скольжения, очевидно, связан с прогибом поверхности при прохождении контртела над нанотрещиной [3]. Радиус контакта модельных контртел с поверхностью соответствует часто используемым наноскопическим инденторам.

Полученные результаты позволяют предполагать, что нанотрещины порядка 20–100 нм могут быть идентифицированы в реальных экспериментах на основе анализа спектра силы трения скольжения. Таким образом, спектроскопический анализ силы трения может рассматриваться как новый перспективный метод неразрушающего контроля поврежденности нанопокровов и поверхностных слоев твердого тела наноскопической толщины.

Литература

1. Псахье С.Г., Попов В.Л., Шилько Е.В. и др. Изучение поведения и диагностика свойств поверхностного слоя твердого тела на основе спектрального анализа // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12, № 4. С. 27–42.

2. Псахье С.Г., Остермайер Г.П., Дмитриев А.И. и др. Метод подвижных клеточных автоматов как новое направление дискретной вычислительной механики. I. Теоретическое описание // Физическая мезомеханика. 2000. Т. 3, № 3. С. 5–13.

3. Псахье С.Г., Шилько Е.В., Попов В.Л. и др. О возможности диагностики дефектности керамических наноструктурных покрытий. Нанотрибоспектроскопия // Изв. вузов. Физика. 2009. № 4. С. 41–45.

РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УПРАВЛЕНИИ ПЕРСОНАЛОМ THE ROLE OF INFORMATION SYSTEMS IN PERSONNEL MANAGEMENT

**Барбара А.Д.
Barbara A.D.**

Филиал КузГТУ в г. Междуреченске
The Mezhdurechensk Branch of the Kuzbass State Technical University
E-mail: barbara_ad@mail.ru

Стремительно изменяющийся рынок заставляет интенсивно развиваться предприятия угледобывающей отрасли. Главным ресурсом любого предприятия является трудовой потенциал. Именно он служит залогом эффективной и стабильной работы любой компании. Однако в последнее время наблюдается дефицит квалифицированных ИТР, специалистов и рабочих, одной из причин можно назвать отсутствие в компаниях целенаправленной кадровой политики. Данную проблему обозначил в своем докладе «Стратегия развития кадрового потенциала ТЭК» заместитель министра энергетики Российской Федерации Ю.П. Сентюрин [1].

Грамотно проведенная оценка персонала помогает принимать эффективные управленческие решения и вести кадровую работу. При реализации системы оценки необходимо решить ряд проблем, среди которых можно выделить проблему оперативного и объективного измерения компетентности персонала, сопоставление этих оценок с показателями качества и эффективности деятельности посредством автоматизированных систем управления. Если проблема определения соответствия кандидатов необходимым стандартам и нормативам достаточно хорошо решается, то выявить такие параметры, как личные качества, способность, – более сложная задача за счет слабой формализации. Решить данную проблему можно посредством экспертной системы. Внедрение системы позволит повысить качество оценки и эффективность принятия управленческих решений, оптимизировать затраты временных ресурсов и финансовых средств.

Разработка программ кадрового учета и управления персоналом началась одновременно с появлением первых средств автоматизации. На данный момент насчитываются тысячи таких программных продуктов как отечественных, так и зарубежных производителей. Современные автоматизированные системы управления персоналом (HR-системы) играют большую роль в повышении производительности труда, руководства и персонала кадровых служб предприятий (помимо бухгалтерии и некоторых других подразделений) и предназначены для оптимизации их работы.

Системы управления персоналом (не учитывая локальные АРМ) по их функциональному назначению можно разделить на следующие группы:

- многофункциональные экспертные системы, позволяющие проводить профориентацию, отбор, аттестацию сотрудников предприятия;
- экспертные системы для группового анализа персонала, выявления тенденций развития подразделений и организации в целом;
- программы расчета зарплаты;
- комплексные системы управления персоналом, позволяющие формировать и вести штатное расписание, хранить полную информацию о сотрудниках, отражать движение кадров внутри фирмы, рассчитывать зарплату.

Экспертные системы предназначены для сравнения исследуемых качеств претендентов на свободную позицию с эталонными параметрами, значения которых могут быть получены при оценке лучших сотрудников компании. Данные программы достаточно хорошо зарекомендовали себя, с их помощью можно эффективно отбирать перспективных кандидатов. Следует отметить, что такие системы целесообразно использовать на крупных предприятиях в связи с тем, что их внедрение требует больших материальных затрат.

В отличие от экспертных систем комплексные системы управления персоналом используются для автоматизации кадровой работы. С их помощью получают оперативную информацию о состоянии дел на предприятии: ознакомление со штатным расписанием, персональными данными сотрудников, имеющих вакансии, графиком отпусков и т.п. Анализируя полученную информацию, ответственное лицо может оперативно принимать нужные решения.

Обзор автоматизированных систем управления персоналом, представленных на отечественном рынке, показал, что большинство из них мало приспособлено для оценки инженерно-технических работников угольных предприятий. Условия работы на угледобывающих предприятиях требуют специальных умений и навыков, отличающихся от ос-

тальных, поэтому использование данных систем при оценке персонала нельзя считать эффективным и достоверным. В результате разработка экспертной системы комплексной оценки трудового потенциала инженерно-технического работника является актуальной кадровой задачей и новым решением в управлении персоналом угольного предприятия.

Литература

1. Королев А.С., Леванковский В.И. Молодежная интеграция – основа устойчивого развития угольной отрасли // Уголь. 2012. № 2. С. 42–43.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТАЛЬНОГО УДАРНИКА С БЕРИЛЛИЕВОЙ ПРЕГРАДОЙ NUMERICAL SIMULATION OF INTERACTION IMPACT OF STEEL WITH BERYLLIUM BARRIER

Богомолов Г.Н., Орлов М.Ю.

Bogomolov G.N., Orlov M.Yu.

Обособленное структурное подразделение «Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики Томского государственного университета»
Separate structural unit "Scientific Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics,
Tomsk State University"

По данным, опубликованным Управлением ООН по вопросам космического пространства, в октябре 2009 г. вокруг Земли вращалось около 300 тыс. обломков различного рода. В настоящее время, по разным оценкам, на околоземных орбитах находится до 5000 т техногенного мусора. Из этого числа только небольшой процент каталогизируется и отслеживается, остальная часть является реальной угрозой для работоспособности спутников и орбитальных станций. Обладая большим запасом кинетической энергии, даже небольшой по своим габаритам объект (не превышающим 1 см в диаметре) способен причинить значительный ущерб летательному аппарату [1].

Одним из существующих решений данной проблемы является использование в летательных аппаратах многослойных разнесенных защит, способных в некоторой степени обезопасить наиболее значимые элементы аппарата. Один из видов таких защит применяется на орбитальных станциях «Прогресс» и «СОЮЗ» [2].

Актуальность исследований в области повышения эффективности защитных конструкций за последнее десятилетие резко возросла, прежде всего это связано с развитием технологий по производству компо-

зитных и наноматериалов, расширением существующей номенклатуры за счет новых сплавов, а также ужесточением требований к массогабаритным характеристикам, используемым при конструировании материалов.

Одним из материалов, обладающих всеми необходимыми свойствами, является бериллий. Уникальное сочетание массо-габаритных и прочностных характеристик, а также высокая жаростойкость (теплопроводность в семь раз выше, чем у стали, а теплоемкость больше, чем у всех других металлов) делают этот материал наиболее привлекательным для космической отрасли из большинства существующих металлов.

В связи с тем, что данный материал является весьма редким и дорогостоящим, любые научные исследования в области изучения напряженно-деформированного состояния бериллия востребованы и актуальны. Данный подход позволяет получить информацию об эффективности использования этого материала в защитных конструкциях без особых экономических затрат.

Численное моделирование процессов высокоскоростного соударения в различных конфигурациях, имитирующих отдельные элементы летательных аппаратов, позволяет получить первичную информацию о ресурсе живучести данного материала и его способности сопротивляться динамическому нагружению.

Цель работы заключалась в определении ресурса живучести бериллиевой преграды при ударе со скоростями встречи $V_0 = 2, 3, 4, 5.5$ км/с. В качестве тестовых расчетов использовалась бериллиевая преграда толщиной $h = 5$ мм, нагружаемая прямым круговым цилиндром из стали габаритами 2×2 мм. Скорость ударников варьировалась от 60 до 280 м/с. Полученные данные удовлетворительно согласуются с экспериментальными результатами [3]. В ходе работы были получены новые данные о времени процесса пробития t_k , запреградной скорости ударника V_3 , диаметре образовавшейся пробоины d_p и относительном укорочении ударников l/l_0 [4, 5].

Полученные данные могут быть полезны для конструкторов ракетно-космических систем и инженеров авиакосмической отрасли при проектировании летательных аппаратов.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (шифр лота 2010-1.2.2-111-007).

Литература

1. «РИАН.Ру», Наука и технологии "ООН: Аппаратам на орбите угрожают 300 тыс. обломков космического мусора", 2011 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rian.ru/science/20091002/187328503.html>
2. *Christiansen E.L., Nagy K., Lear D.N., Prior T.G.* Space station MMOD shielding // *Acta Astronautica*. 2009. P. 921–929.
3. *Богомолов Г.Н., Орлов М.Ю.* Компьютерное моделирование процессов высокоскоростного взаимодействия // *Наука и современность: В 2 ч.* Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. Ч. 2. С. 149–150.
4. *Мецераков Ю.И., Диваков А.К.* О влиянии процессов на фронте импульса сжатия на откольную прочность материала и сопротивление высокоскоростному внедрению // *Прикладная механика и техническая физика*. 2003. Т. 44, №6. С. 25–34.
5. *Богомолов Г.Н., Орлов М.Ю.* Влияние форм ударника на процесс пробития дюралюминиевых преград при скоростях до 5,5 км/с // *Наука. Промышленность. Оборона*. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. С. 70–74.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ZrO₂(Y₂O₃)-TiC КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ STRUCTURE AND PROPERTIES OF ZrO₂ (Y₂O₃)-TiC COMPOSITES

Болтышева Д.С.², Григорьев М.В.^{1,3}, Буйакова С.П.^{1,2}, Кульков С.Н.^{1,2}
Boltysheva D.S.², Grigoriev M.V.^{1,3}, Buyakova S.P.^{1,2}, Kulkov S.N.^{1,2}

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

¹Institute of Strength Physics and Materials Science

²Национальный исследовательский Томский государственный университет

²National Research Tomsk State University

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет

³National Research Tomsk Polytechnical University

E-mail: darya.boltysheva@yandex.ru

В данной работе проведено исследование структуры и свойств ZrO₂(Y₂O₃) композитов с различным содержанием TiC, полученных методом свободного спекания в вакууме высокодисперсных порошковых систем. В качестве исходных компонентов были взяты высокодисперсные порошки диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, полученного методом обратного соосаждения, и карбида титана, полученного методом карбидизации титана. Показано, что предварительная механическая активация дисперсных систем ZrO₂(Y) и TiC позволяет получить керамические композиционные материалы на основе ZrO₂(Y), упрочненные дисперсными включениями TiC с пористостью около 1% и твердостью 12,5 ГПа методом свободного спекания в вакууме.

Предметом интенсивных исследований в течение последних трех десятилетий является керамика на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, из-за ее высокой вязкости разрушения

благодаря трансформационному упрочнению, которое происходит в керамике под действием механических напряжений и способствует рассеянию энергии в распространяющихся трещинах вплоть до полного торможения последних [1, 2]. Однако при эксплуатации циркониевой керамики в условиях длительного воздействия высоких температур происходит ее растрескивание из-за сочетания двух свойств – низкой теплопроводности и высокого коэффициента теплового расширения [3]. Это явление значительно сдерживает применение керамических материалов на основе ZrO_2 как материала для ответственных деталей теплонагруженных конструкций.

Одним из путей решения данной проблемы может стать создание керамических композиционных материалов на основе диоксида циркония, упрочненного частицами высокомолекулярных соединений, например частицами карбида титана.

В качестве исходных материалов были взяты высокодисперсные порошки диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия ($ZrO_2(Y)$), полученного методом обратного соосаждения, и карбида титана, полученного методом карбидизации титана.

Смеси получали двумя способами: отдельной и совместной механическими обработками. При отдельной механической обработке порошок $ZrO_2(Y)$ обрабатывали в течение 25 ч, а порошок TiC обрабатывали в течение 100 ч, после чего порошки смешивались в нужных пропорциях. При совместной механической обработке порошок TiC обрабатывали в течение 75 ч. Далее готовились смеси с исходным порошком $ZrO_2(Y)$ в нужных пропорциях и подвергались обработке в течение 25 ч.

Из полученных смесей получали образцы цилиндрической формы методом холодного прессования. Спекание образцов проводили в вакуумной печи типа СШВ – 1.2,5/25 И1 при температуре 1650 °С и выдержке 1 ч. Плотность образцов измеряли гидростатическим методом. Твердость по Викерсу определяли на приборе «Dugamin-5». Для анализа структуры полученных композитов с образцов после спекания стачивалась грань на глубину порядка 3 мм перпендикулярно радиусу. Исследование структуры осуществляли на растровом электронном микроскопе «QUANTA 200 3D», для этого осуществляли предварительное термотравление шлифов в вакууме при температуре 1500 °С.

Установлено, что добавление 0.5 об.% TiC приводит к снижению плотности композитов относительно циркониевой керамики без добавок, однако добавка 1 и 5 об.% TiC увеличивает плотность. Показано, что отдельная механическая обработка порошков $ZrO_2(Y_2O_3)$ и TiC позволяет получить максимальную плотность образцов после спекания, нежели совместная, и что благодаря предварительной механической

активации порошков стало возможно создание композиционных материалов $ZrO_2(Y)-TiC$ с пористостью около 1% и твердостью 12,5 ГПа методом свободного спекания в вакууме.

Литература

1. *McMeeking M., Evans A.G.* Mechanics of Transformation-Toughening in Brittle Materials // J. Am. Ceram. Soc. 1981. № 65 [5]. P. 242–246.
2. *Кульков С.Н., Бужкова С.П.* Фазовый состав и особенности формирования структуры на основе стабилизированного диоксида циркония // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2, № 1–2. С. 119–132.
3. *Porter D.L., Heuer A.H.* Microstructural Development in MgO-Partially-Stabilized Zirconia (Mg-PSZ) // J. Am. Ceram. Soc. 1979. № 62 [5–6]. P. 298–305.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА УСТАНОВКЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЛИТЬЯ И ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА EXPERIMENTAL STUDY OF THE PROCESS DEFORMIROVANIYA ON INSTALLATION VERTICAL LITNO AND DEFORMING THE METAL

**Бондаренко С.В., Черномас В.В., Одинокое В.И.
Bondarenko S.V., Chernomas V.V., Odinokov V.I.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт машиноведения и металлургии» Дальневосточного отделения Российской академии наук
The Federal State Institution of Science «Institute of Engineering and Metallurgy», Russian Academy of Sciences
E-mail: kriza_13@mail.ru
E-mail: userman10@mail.ru

Определение оптимальных режимов формирования металлоизделий совмещенным методом непрерывного литья и обработки металла давлением возможно только на основе методов адекватного моделирования процессов, протекающих в кристаллизаторе установки вертикального литья и деформации металла (УВЛДМ). Деформация затвердевающего и твердого металла осуществляется подвижными составными частями кристаллизатора УВЛДМ [1]. Кристаллизатор УВЛДМ состоит из четырех подвижных частей – двух торцевых стенок, имеющих вертикальные и наклонные участки с зоной калибрования, и двух плоских боковых стенок, которые приводятся в движение от четырех эксцентриковых валов с помощью единого регулируемого электропривода. Кинематика УВЛДМ организована таким образом, что при повороте приводных эксцентриковых валов стенки кристаллизатора совершают сложное движе-

ние, которое приводит к деформации металлоизделия и его самоподаче в зону калибрования в непрерывном режиме. Очевидно, что при такой кинематике УВЛДМ схема деформирования отличается от схем деформирования, реализуемых в традиционных технологиях обработки металлов давлением. Теоретическое описание процессов деформирования заготовок с использованием разработанного инструмента связано с рядом трудностей, которые возникают при задании схемы деформации, а также определении граничных и начальных условий на поверхностях контакта металлоизделия и инструмента с учетом цикличности процесса. В этой связи возникла необходимость в физическом (натурном) моделировании данного процесса на экспериментальном стенде УВЛДМ.

В работе проведено экспериментальное исследование деформационных процессов, протекающих в материале образца при формировании металлоизделия в кристаллизаторе установки литья и деформации металла. Для определения деформированного состояния в работе использован экспериментально-аналитический метод координатных делительных сеток, который позволяет качественно и количественно оценить распределение деформаций в объеме образца. В качестве объекта исследования использовался трехслойный составной образец, выполненный из полос свинцово-сурьмяного сплава. Каждый слой имел следующие размеры: 60x280x3 мм. Сетка была нанесена на сопрягающиеся поверхности каждого из слоев образца строганием и имела базу 10 мм. Для предотвращения слипания слоев образца между собой на их контактные поверхности наносили слой индустриального масла марки. Для исключения относительного смещения слоев образца друг относительно друга в процессе деформации их фиксировали между собой свинцовыми заклепками диаметров 5 мм по всему периметру образца. После проведения эксперимента образец разделяли по слоям, фотографировали и анализировали изменение координатной сетки, нанесенной на поверхность каждого из слоев.

Измерения искажения элементов координатной сетки проводили с помощью программы обработки цифровых изображений «Image Pro Plus 6.0». Компоненты деформации, которые характеризуют истинные удлинения (укорочения) и сдвиг ячеек координатной сетки, рассчитывали исходя из методики, описанной в [2].

С помощью экспериментального метода координатных делительных сеток установлены компоненты деформации и картина распределения деформаций, происходящих в материале заготовки при формировании металлоизделия в кристаллизаторе УВЛДМ.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 11-01-98500 и 12-1-ОЭММПУ-06.

Литература

1. *Одинокое В.И., Черномакс В.В., Ловизин Н.С.* Исследование процесса получения металлоизделий из цветных и черных сплавов на установке вертикального литья и деформации металла. Владивосток: Дальнаука, 2011. 107 с.
2. *Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: Справочное пособие / Под ред. В.С. Касаткина.* Киев: Наук. думка, 1981. 584 с.

РОБОТ-ПАУК ROBOT-SPIDER

**Воронин А.
Voronin A.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk Polytechnic University
E-mail: aleksandr_av@bk.ru

В настоящий момент в мире существует большое количество роботов – от самых маленьких нанороботов до роботов размером более 2 м. Также существует много разновидностей перемещений для роботов – от перемещения “змеей” до простого катания на колесах. Роботы-трансформеры, о которых киноиндустрия снимает целые сериалы, уже в самом скором времени могут стать реальностью. В этой статье будет рассмотрен робот-паук под названием “Morphex”. Для начала поясним, кто же этот робот-паук. Робот-паук (Scitgu – дословно можно перевести как “быстрый робот”) – это сравнительно маленький наземный робот, внешне напоминающий металлического паука.

Небольшие размеры робота и способ передвижения обеспечивают ему высокую маневренность, скорость и проходимость, в том числе на пересеченной местности. Этот робот способен маскироваться, закапываться в грунт, совершать прыжки на высоту человеческого роста, подняться и спуститься по очень крутому склону. Создателем уникального робота был норвежский дизайнер Каре Халворсен (Kare Halvorsen). Конструкция машины такова, что она работает в двух режимах: в форме сферы и в виде робота, похожего на паука. При трансформации конструкция разделяется на две полусферы, каждая из которых, в свою очередь, делится на шесть полусекторов. Робот Morphex состоит из 12 конечностей, которые складываются в сферическую конструкцию, сделанную из поликарбоната разрезанного глобуса. Сам механизм управляется с помощью дистанционного устройства. Morphex может принимать различные формы. В нем задействовано 25 серводвигателей с индивидуализированным сцеплением. Это двенадцать приводов типа 5990 и

тринадцать приводов модели 5645 от производителя Hitec. Также в Morphex встроена плата контроллера ARC-32 от Basicmicro, радиомодули XBee, аккумуляторы LiPo 2S мощностью 5000 мАч, регулятор Turnigy на 8 ампер. Машина является мультинаправленной, т.е. ей безразлично, в какую сторону шагать. В режиме сферической конструкции Morphex может не только покоиться на месте, но и очень даже резко передвигаться. Для этого из сферического строя поочередно вытягивается по одной конечности, задавая шару направление движения и скорость, которая может быть очень немаленькой. Может быть, это не самый лучший способ для того, чтобы катиться, но явно перспективный. Конструкция робота такова, что при трансформировании в ходячую машину он в любом случае становится на ноги, вес распределен равномерно по всему корпусу. Хотя движется Morphex скорее по дуге, чем по прямой, но ходит очень красиво, только пока слишком медленно. Добравшись до точки назначения, Morphex сворачивается, как ежик, принимая сферическую форму. Сфера – это не только маскировка и защищенный режим, двигаясь по цепочке, полусекторы отталкиваются от поверхности земли или пола и шар начинает катиться. Morphex чем-то напоминает роботов из популярной франшизы «Трансформеры», разве что у него нет мощного лазерного оружия и он не относится ни к автоботам, ни к десептиконам. Разумеется, для "оживления" Morphex понадобилась оригинальная программа. Этот робот имеет очень перспективное будущее, его можно использовать как в военных, так и в гражданских целях.

Литература

1. Робот-паук Morphex. 26.12.2011 [Электронный ресурс]. URL: [http:// timero-bots.ru/robots/130-morphex.html](http://timero-bots.ru/robots/130-morphex.html)
2. КАРЕ ХАЛВОРСЕН И ЕГО РОБОТЫ. 08.04.2012 [Электронный ресурс]. URL: [http:// www. popmech.ru/blogs/post/4497-morphex/](http://www.popmech.ru/blogs/post/4497-morphex/)

ОТОБРАЖЕНИЯ С S -УСРЕДНЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ И Q -ГОМЕОМОРФИЗМ IMAGES WITH S -AVERAGED BY FEATURE AND Q -GOMEOMORFIZM

Выймова Е.А.
Vuyumova E.A.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
E-mail: pozitivchikO_o@mail.ru

Главный объект исследования работы – негемеоморфные пространственные отображения с s -усредненной характеристикой [2], являющие-

ся естественным обобщением класса отображений с искажением, ограниченным в среднем на случай произвольной области $D \subset R^n, n \geq 3$. О. Мартио предложил общую концепцию – теорию Q -гомеоморфизмов [1, 3, 4], в работе [4] концепция Q -гомеоморфизмов была распространена на отображения с ветвлением, так называемые Q -отображения.

Пример. Пусть $D \subset R^3$ – область, определенная следующим образом:

$$D = \left\{ x \in R^3; 0 < x_1 < \infty, 0 \leq x_2 \leq x_1^\beta, 0 \leq x_3 \leq 1 \right\}, \text{ где } 0 < \beta \leq 2 .$$

Рассмотрим отображение $f: D \rightarrow D^*$,

$$f(x) = \left\{ y \in R^3; y_1 = x_1, y_2 = \frac{x_2}{x_1 + 1}, y_3 = x_3(x_1 + 1)^{1-\alpha} \right\}, \quad (1)$$

где

$$D^* = \left\{ y \in R^3; 0 < y_1 < +\infty, 1 \leq y_2 < x_1^\beta, 0 \leq y_3 \leq +\infty \right\}, 0 < \alpha < 1 .$$

Показано [2], что для отображения $f(x)$ выполняется неравенство

$$M(f\Gamma) \leq \int_D Q(x) \cdot \rho^n(x) dm(x).$$

В работе доказано, что при $0 < \alpha < 1$, $0 < \beta \leq 2$ построенное отображение (1) с s -усредненной характеристикой. Однако это отображение не является Q -гомеоморфизмом, так как это отображение не является гомеоморфизмом.

Литература

1. *Игнатьев А.А., Рязанов В.И.* Конечное среднее колебание в теории отображений // Украинський математичний вісник. 2005. Т. 2, №3. С. 395–417.

2. *Малютина А.Н., Елизарова М.А.* Дифференциальные свойства отображений с s -усредненной характеристикой // Вестник ТГУ. Томск: Изд-во НТЛ, 2008. №4(8). С. 124–129.

1. Кузнецова А.В., Смолин И.Ю., Дубинова А.Д. К оценке условий обрушения кровли при разных скоростях подвигания на основе компьютерного моделирования // Актуальные проблемы науки: Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (30 мая 2011 г.): В 4 ч. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес–Наука–Общество», 2011. Ч. 2. С. 74–77.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ РАСЧЕТА ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛА
С ГИПЕРЗВУКОВОЙ СКОРОСТЬЮ В АТМОСФЕРЕ
APPLICATION OF PARALLEL TECHNOLOGIES TO CALCULATE
THE MOTION OF THE COSMIC BODY AT HYPERSONIC SPEEDS
IN THE ATMOSPHERE**

Гойко Вч.Л.

Goiko V.L.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

E-mail: vyacheslav.goiko@yandex.ru

Ежедневно в атмосферу Земли влетают с метеорными скоростями (более 11.2 км/с) несколько миллионов космических тел – твердых объектов размером примерно от нескольких долей сантиметра и более. Метеороиды влетают со скоростями от 11.2 до 72 км в секунду в любом направлении, в любое время суток и года, в любом месте земного шара. Возникает вопрос о моделировании движения метеороидов.

В данной работе представлено численное решение задачи движения космического тела в атмосфере с гиперзвуковой скоростью.

Основой для построения расчетного алгоритма послужила разностная схема численного решения нестационарных уравнений газовой динамики с нахождением потоков по методу С.К. Годунова [1]. Расчетная схема преобразована для использования параллельного алгоритма. Параллельность достигнута за счет использования технологии MPI (Message Passing Interface) [2]. Суть параллельного алгоритма заключается в разбиении расчетной области на число подобластей, равное числу процессоров. Каждый процессор обрабатывает свою подобласть и обменивается информацией с соседними процессорами. Последовательная программа была существенно изменена в ходе написания параллельного алгоритма, в общей сложности было добавлено свыше 100 строк кода, причем необходимо было правильно организовать пересылки между процессорами.

Космическое тело при входе в атмосферу на метеорной скорости (20 км/с) взрывается в полете и мгновенно переходит в облако газов,

данное облако и рассматривается в дальнейшем при расчете. Рассматривалось разрушение данного облака при разных углах атаки. Для задачи о движении космического тела использовалась равномерная прямоугольная расчетная сетка. Начальные условия задавались с учетом параметров международной стандартной атмосферы на высоте 20 км.

Использование параллельного алгоритма существенно снизило время, необходимое для проведения расчета. В качестве высокопроизводительного вычислительного комплекса для проверки эффективности параллельного алгоритма выступил кластер на базе Национального исследовательского Томского государственного университета СКИФ-Cyberia. Для расчета использовались узлы с двумя шестиядерными процессорами Intel Xeon X5670 и 24 Гб оперативной памяти. Написан модуль для преобразования результатов вычислений в формат Silo [4], позволяющий использовать для визуализации полученных данных программный комплекс VisIt [4].

Несмотря на все временные затраты, связанные с модернизацией последовательной программы для возможности использовать большее количество вычислительных процессоров, выигрыш во времени расчета существенен. При условии оптимизации программы и правильном подборе компилятора (в данной работе использовался компилятор от Intel, позволивший существенно ускорить проведение расчетов) можно эффективно использовать высокопроизводительные вычислительные комплексы.

Литература

1. Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. 400 с.
2. Немнюгин С.А. Стесик О.Л. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 400 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие для вузов: В 10 т. Т. 6. Гидродинамика. 5-е изд., стереот. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 736 с.
4. Silo. A mesh and field I/O library and scientific database [Электронный ресурс]. URL: <https://wci.llnl.gov/codes/silo/index.html>
5. VisIt. Software that delivers parallel [Электронный ресурс]. URL: <https://wci.llnl.gov/codes/visit>

КВАНТОВЫЙ АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ ДИСКРЕТНОГО ЛОГАРИФМА A QUANTUM ALGORITHM FOR FINDING THE DISCRETE LOGARITHM

Горбунов Е.С.

Gorbunov E.S.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

E-mail: GhostMan23@mail.ru

Квантовый алгоритм – это алгоритм, предназначенный для выполнения на квантовом компьютере. Результат работы квантового алгоритма носит вероятностный характер. За счет небольшого увеличения количества операций в алгоритме можно сколь угодно приблизить вероятность получения правильного результата к единице.

Ускорение на квантовом компьютере основано на квантовом параллелизме. Один шаг квантового вычисления совершает гораздо большую работу, чем один шаг классического.

Рассмотрим задачу дискретного логарифма. Дан первообразный корень и какой-то элемент поля; найти, в какую степень нужно возвести этот корень, чтобы получить данный элемент. Эта задача считается сложной настолько, что ряд современных криптографических систем основан на том предположении, что вычислить дискретный логарифм за приемлемое время невозможно, если модуль – достаточно большое простое число.

Для дискретного логарифма есть эффективный квантовый алгоритм. Его придумал Шор в конце 1994 г. Он предложил, как находить дискретный логарифм на квантовом компьютере с двумя возведениями в степень по модулю и двумя преобразованиями Фурье.

Квантовый компьютер переводит задачу дискретного логарифма из неполиномиального класса сложности в полиномиальный класс. Возможность создания квантового компьютера является серьезной угрозой криптографии.

Литература

1. *Вялый М.* Квантовые алгоритмы: возможности и ограничения. СПб., 2011.
2. *Садовничий В.А.* Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Ижевск, 1999. Т. 1, 2.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА
ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ БЛОКА ЕМКостей
ДЛЯ ДЕСУБЛИМАЦИИ ГАЗА
MATHEMATICAL MODELING OF HEAT TRANSFER IN
THE COOLING BLOCK CONTAINERS FOR
DESUBLIMATION PROCESSES OF GAS**

**Губанов С.М.
Gubanov S.M.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
E-mail: sgubanov@yandex.ru
National Research Tomsk State University

В химической технологии для получения очищенного конечного продукта используется процесс десублимации. Одна из схем получения конечного продукта состоит из циклического проведения десублимации и сублимации с применением нескольких приемных емкостей (ПЕ). Система очистки представляет собой разветвленную систему коммуникаций для транспортировки холодного воздуха одновременно к нескольким ПЕ, в которых происходит десублимация продукта. Несконденсированные газы выводятся из ёмкости через выходной патрубок на дальнейшую переработку. Ёмкости поочередно работают на прием и выдачу продукта. В фазе приема продукта ПЕ термостатируется с использованием потока холодного воздуха в теплообменных трубах. После заполнения ПЕ продуктом поток холодного воздуха в теплообменник отключается, и в фазе выдачи продукта происходит нагрев материала емкости, сублимация продукта и перетекание его в товарные емкости. После окончания фазы выдачи продукта из ПЕ он охлаждается до температуры десублимации продукта и цикл повторяется.

Для проведения анализа процесса охлаждения ПЕ от момента окончания режима сублимации до начала процесса десублимации проведено математическое и численное моделирование процесса охлаждения ёмкостей. Математическая модель течения холодного воздуха в трубопроводной системе основана на модели [1, 2] и записана при следующих допущениях: сеть трубопроводов представляется системой прямолинейных участков с разветвлениями, поворотами, сопряжениями труб различного диаметра, в конце трубопроводной сети имеется связь с атмосферой; движение газа на прямолинейных участках системы трубопроводов моделируется нестационарными одномерными уравнениями газовой динамики; параметры газа в объёмах сопряжений трубопроводов определяются из законов сохранения массы и энергии; теплообмен между газом и стенками труб описывается законом Ньютона и учитыва-

ется в уравнении энергии газа правыми частями; изменение температуры стенок труб определяется из решения уравнения переноса тепла в стенке.

В расчётах принимались начальные условия согласно циклограмме работы блока ПЕ. В начале процесса охлаждения принималось, что температура стенок ПЕ однородна и равна 70 °С, в начале процесса конденсации принималось, что температура стенок ПЕ однородна и равна –90 °С. Для режима охлаждения расчётами установлена динамика процесса охлаждения ПЕ. Для режимов конденсации и резервирования ПЕ в охлажденном состоянии расчётами определены установившиеся распределения температуры стенок ПЕ, свойственные заданному режиму работы ПЕ. После установления стационарного теплового состояния оно не изменяется, если не меняются характеристики потока холодного воздуха. Следует отметить, что характерные времена установления стационарных распределений температуры стенок ПЕ много меньше времени работы ПЕ в заданном режиме в соответствии с циклограммой процесса. На тепловое состояние находящихся в резерве охлаждённых ПЕ сильно влияет величина секундного расхода воздуха. При недостаточном расходе холодного воздуха они начинают отепляться за счет потока тепла из окружающей среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-08-00370-а.

Литература

1. *Васенин И.М., Шрагер Э.Р., Крайнов А.Ю. и др.* Математическое моделирование нестационарных процессов вентиляции сети выработок угольной шахты // Компьютерные исследования и моделирование. 2011. Т. 3, № 2. С. 155–163.
2. *Крайнов А.Ю., Губанов С.М.* Численное моделирование охлаждения ёмкостей для десублимации паров // Компьютерные исследования и моделирование. 2011. Т. 3, №4. С. 383–388.

МОДЕЛИ СИСТЕМ С УПРАВЛЯЕМЫМ РЕЗЕРВОМ SYSTEM MODELS WITH OPERATED BY RESERVE

Губин В.Н.
Gubin V.N.

Задача повышения надёжности аппаратуры остаётся актуальной, несмотря на значительный прогресс в технологии изготовления отдельных блоков и усовершенствование структуры различных устройств. Исполь-

зование свойств оптимальных стратегий позволяет в значительной степени сократить алгоритм их поиска.

Постановка задачи

Пусть система состоит из конечного числа параллельно включенных (в смысле надежности) идентичных элементов. Через фиксированный промежуток времени Δ в моменты $t_0 = 0, t_1 = \Delta, t_2 = 2\Delta, \dots$ производится проверка исправности включенных в работу элементов. Время на проверку и на включение новых элементов считается пренебрежимо малым и в дальнейшем не учитывается. К моменту начала работы системы имеется r исправных элементов. Часть элементов находится в холодном состоянии. Отказ системы наступает, если в промежутке между проверками выйдут из строя больше чем $k - k_0$ включенных в работу элементов. Обозначим через q вероятность отказа элемента на интервале длиной Δ , через $p = 1 - q$ – вероятность безотказной работы элемента на таком же интервале Δ . Вещественную функцию $k(r)$, определённую на множестве натуральных чисел, принимающую положительные целочисленные значения и удовлетворяющую неравенству $1 \leq k(r) \leq r$, назовём *стратегией резервирования*. Функция $k(r)$ указывает, сколько нужно включить в работу элементов, если в момент проверки в наличии имеется r исправных элементов. Требуется найти стратегию резервирования, оптимальную по заданному критерию.

Критерием резервирования назовём функционал $C(r, k, \bar{\lambda})$, зависящий от r , от стратегии резервирования k и, возможно, от некоторого вектора параметров $\bar{\lambda}$:

$$C(r, k, \bar{\lambda}) = MF(r, k, \bar{\lambda}), \text{ где } F \geq 0.$$

Вектор параметров $\bar{\lambda}$ в данной задаче полагаем неизменным и в дальнейшем опускаем. Таким образом, критерий зависит от r и k и обозначается $C(r, k)$. Пусть K – стратегия, оптимальная по заданному критерию. Тогда значение критерия при оптимальной стратегии будем обозначать $C(r, K) = C(r)$.

Рассмотрим класс критериев, обладающих следующими свойствами:

1. $C(r+1) \geq C(r)$;
2. $\Delta C(r+1) = C(r+1) - C(r)$ убывает с ростом r ;
3. $C(r)$ выпукла по r .

Из этих свойств следует, что

- 1) функция $\ln C(r)$ выпукла;
- 2) отношение $\frac{C(r+1)}{C(r)}$ убывает с ростом r ;
- 3) из свойства 2) вытекает, что существует $\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{C(r+1)}{C(r)}$.

По формуле полного математического ожидания имеем

$$C(r, k) = \sum_{i=0}^{k-k_0} [C_k^i p^{k-i} q^i (C(r-i) + 1)].$$

Теорема:

При фиксированном r

- 1) $C(r, k)$ выпукла вверх по k в области $1 < k < k_0(r) + 1$ и принимает наибольшее значение не более чем в двух точках;
- 2) $C(r, k)$ при $1 < k < k_0(r)$ возрастает, а при $k_0(r) < k \leq r$ убывает.

**РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ
РЕШЕНИЯ СЕТОЧНЫХ УРАВНЕНИЙ
PARALLELIZATION OF ITERATION METHODS FOR SOLVING
DIFFERENCE EQUATIONS**

**Данилкин Е.А., Деги Д.В., Старченко А.В.
Danilkin E.A., Degi D.V., Starchenko A.V.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: starch@math.tsu.ru, ugin@math.tsu.ru, dimadegi@math.tsu.ru

За последнее десятилетие произошел большой скачок в развитии вычислительной техники, на смену постоянному увеличению тактовой частоты процессора пришли идеи параллельной обработки данных и использования многоядерных процессоров и многопроцессорных компьютеров. В США, лидере суперкомпьютерного рынка, уже построен

16-петафлопный суперкомпьютер Sequoia. Естественно возникает вопрос: а современные численные методы переносятся на новые вычислительные машины, заложен ли в них параллелизм? В работе будет рассмотрена параллельная реализация трех итерационных методов решения систем линейных алгебраических уравнений: метода Зейделя, явно-явного метода Булеева и метода сопряженных градиентов.

При распараллеливании используется принцип геометрической декомпозиции сеточной области. В рассматриваемом случае возможны три различных способа разделения значений сеточной функции по вычислительным узлам: одномерная схема, двумерное или трехмерное разбиение узлов вычислительной сетки. Каждому процессорному элементу вместе с выделенной сеточной подобластью распределяются все значения сеточной функции, принадлежащие этой подобласти.

Результаты распараллеливания предложенных методов показали, что для задач большой размерности только метод Зейделя с красной-черным упорядочиванием при распараллеливании целиком сохраняет свойства последовательного алгоритма, что выражается в сохранении количества итераций, требующихся для сходимости метода, вне зависимости от числа использованных процессоров и способа декомпозиции, на одном уровне. Важно отметить, что рассматриваемая реализация алгоритма очень хорошо масштабируется на любое разумное количество вычислительных узлов.

Параллельная реализация метода сопряженных градиентов теоретически также не нарушает свойств последовательного алгоритма. Но на практике обнаруживается, что количество итераций случайным образом меняется при различных способах декомпозиции. Численные эксперименты показали, что это является следствием некоммутативности в случае машинной арифметики вычисления суммы большего количества слагаемых. Появляется небольшая погрешность, что в дальнейшем приводит к изменению хода итерационного процесса. Необходимо отметить, что сам итерационный процесс сходится, лишь незначительно меняется получение последовательности приближений к решению.

Параллельный алгоритм метода Булеева для поставленной задачи работает корректно только в том случае, если используется 1D или 2D декомпозиция. Также в работе оценивалось ускорение сходимости метода сопряженных градиентов при использовании предобуславливателя, построенного на основе одного из методов Зейделя или Булеева.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что наилучшие результаты по эффективности и экономичности (на выбран-

ных тестовых задачах [1]) демонстрирует метод сопряженных градиентов с преобуславливанием методом Зейделя.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 12-05-31341, № 12-01-00433-а.

Литература

1. Данилкин Е.А., Старченко А.В. Распараллеливание итерационных методов численного решения эллиптического уравнения со смешанными граничными условиями и анализ эффективности полученных параллельных реализаций // Сборник материалов "Пятая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям". 2010. С. 36–42.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИБЫТИЯ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА INTELLECTUAL ASSESSMENT OF ARRIVAL OF A PASSENGER VEHICLE

Дороганов В.С., Ким К.И.
Doroganov V.S., Kim K.I.

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва
Kuzbass State Technical University of name T.F. Gorbachev
E-mail: DoroganovV@mail.ru

Прогнозирование прибытия транспортных средств в условиях городской среды не является тривиальной задачей. Необходимость данного алгоритма появилась в проекте системы, дающей возможность пользователям посредством мобильного телефона отслеживать местоположение автобусов (общественного транспорта) в реальном времени, строить маршруты передвижения и возможные пересадки, а также позволяющем прогнозировать время прибытия на нужную остановку. Данный проект позволит уйти от традиционного статического расписания общественного транспорта и даст возможность пользователю рационально планировать время на дорогу.

Очевидно, что основываться только на статическом расписании автобуса и его текущей скорости неоптимально. В условиях современного города, где на тысячу человек приходится более 200 автомобилей, проблема транспортных «пробок» довольно актуальна. Мало кто не видел километровые пробки в час пик или же не проезжал 100 м за 30 минут. Влияние пробок на «пользователей» очевидно:

- водителям приходится больше времени выделять на «комьют», т.е. дорогу от дома до работы;

- пробки сказываются на общественном транспорте, даже малейший затор на дороге создаст отставание от графика.

Чем больше отставание от графика, тем менее актуальным становится расписание автобусов. Как известно, от подобных изменений в расписании страдают пассажиры. Автобус может прийти на остановку как раньше, так и позже, что редко является радостной новостью для пассажиров. В час пик и вовсе ожидание требуемого автобуса может затянуться на 20–30 минут. Отсутствие необходимой информации о времени прибытия автобуса частенько приводило к так называемому закону «подлости»: «отходишь от остановки – приезжает автобус», «садишься на более долгий или дорогой автобус – подходит твой».

Основной задачей было поставлено решение проблемы прогнозирования прибытия общественного транспорта, определение оптимального маршрута для пассажиров общественного транспорта, отображение ситуации на дорогах в плане пробок. Согласно приказу Минтранса [1] все транспортные средства, отвечающие за перевозку пассажиров, должны быть оснащены навигационным оборудованием (датчиками ГЛОНАСС/GPS). Данный приказ был издан для снижения аварийности и экономии ГСМ. Наличие уже установленных датчиков позволило начать разработку системы с охватом сразу всех транспортных средств с возможностью накопления статистических данных о положении дел в городе.

Представляемая система, создающаяся для мобильных приложений, позволит в режиме реального времени отслеживать местоположение автобусов, рисовать маршруты, показывать возможные места пересадок. Одним из главных достоинств системы станет гибрид динамического расписания и возможности расчёта пересадок в удаленных остановках. Это позволит более быстро добираться до нужной точки.

Система строится по модульному принципу для облегчения развертывания по регионам, а также для повышения отказоустойчивости. Немаловажным аспектом является то, что большая часть решений строится на облачных технологиях (Microsoft Windows Azure), обусловленных как экономическими выгодами, так и снижением трудозатрат на разработку и масштабирование системы. Данная система является интеллектуальной и адаптивной, способной подстраиваться под ситуацию в городе за короткое время.

В основе системы лежит связка базы знаний статистической информации о каждом сегменте города с множеством дополнительных критериев, срезов и база данных с текущей информацией. Показания средней скорости по временным срезам и локация города накапливаются в базе знаний с учётом поправочных коэффициентов для оперативного реаги-

рования на ситуацию в городе. По запросу пользователя специальный модуль системы, основываясь на знаниях о скорости на дорогах и данных, полученных с датчиков ГЛОНАСС/GPS, рассчитывает время прибытия нужного автобуса на заданные остановки и определит оптимальный вариант по различным критериям (прим.: «раньше сесть в точке А» или «раньше прибыть в точку Б»). Из-за большого количества клиентских платформ было принято решение о создании закрытого API для кросс-платформенного клиент-серверного взаимодействия. Также нахождение в облаке увеличивает доступность и является единой точкой входа для всех видов клиентов.

Данная система будет весьма полезной людям, использующим общественный транспорт для передвижения по городу. Система будет способствовать популяризации общественного транспорта, позволит не опаздывать на нужный автобус, незначительно снизить нагрузку на дорожную сеть города, а также искать оптимальные пути пассажирам.

Литература

1. Приказ Минтранса РФ от 9 марта 2010 года № 55 «Об утверждении перечня видов автомобильных транспортных средств, используемых для перевозки пассажиров и опасных грузов, подлежащих оснащению аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS».

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ЗАБОЯ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА ОБРУШЕНИЯ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ MODELING OF STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASSIF AROUND WORKING FACE FOR ESTIMATION OF ROOF FALL CRITERIA

**Дубинова А.Д.
Dubinova A.D.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: dubinova_ad@sibmail.com

В современных условиях увеличения доли высокопроизводительных забоев в угольной промышленности Кузбасса становится актуальной проблема учета влияния скоростной чувствительности горных пород для адекватного расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород, окружающих выработку.

Цель данной работы – проанализировать изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг забоя с целью прогноза обрушения основной кровли. Расчеты проводились с помощью программы конечно-элементного анализа Tochnog, позволяющей решать широкий класс задач методом конечных элементов [1]. Вычисления осуществлялись с указанием шагов по времени. В зависимости от того, как мы будем изменять время, за которое убираются конечные элементы, можем варьировать скорость подвигания забоя. Для описания зависимости шагов обрушения кровли от скорости подвигания забоя была применена вязкопластическая модель среды и критерий разрушения по накопленным неупругим деформациям. Чтобы описать неупругие деформации, была выбрана широко применяемая для геоматериалов усовершенствованная модель Друккера–Прагера, основанная на неассоциированном законе пластического течения с функцией текучести [2]:

$$f = 3\alpha\sigma_m + \sigma - K \quad (1)$$

и пластическим потенциалом

$$g = 3\beta\sigma_m + \sigma. \quad (2)$$

Здесь α – коэффициент внутреннего трения; β – коэффициент дилатансии; K – сдвиговая прочность материала; σ_m – среднее напряжение; σ – интенсивность напряжений.

В расчете была использована степенная модель вязкой пластичности. Компоненты тензора скоростей пластических деформаций в этом случае определяются по формуле

$$\varepsilon_{ij}^p = \eta \left(\frac{f}{f^{ref}} \right)^p \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}}. \quad (3)$$

Здесь η – параметр текучести (величина, обратно пропорциональная вязкости); f^{ref} – исходное значение функции текучести; p – параметр модели.

Численные расчеты были проведены для геометрической модели, характерной для шахт Кузбасского региона. Она включает пласт угля и слои вмещающих горных пород, окружающих пласт полезного ископаемого. Расчетная сетка имела участки разряжения у всех краев расчетной области, где ожидаются плавные распределения напряжений и

деформаций. Сгущение сетки задавалось в областях непосредственной и основной кровель, где ожидаются концентрация напряжений и максимальные значения неупругой деформации. Для определения условий обрушения непосредственной кровли проведенные расчеты [3] с применением упруговязкопластической модели среды и модельных параметров подтвердили возможность описать увеличения шага обрушения кровли при увеличении скорости подвигания забоя.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что чем медленнее скорость подвигания забоя, тем больше значения неупругой деформации накапливаются не только в непосредственной, но и основной кровле. Максимальное значение пластической деформации по сравнению с полученным значением для непосредственной кровли находится не над центром выработки, а смещено к ее началу и по высоте располагается ближе к выработанному пространству.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 10-05-00509-а.

Литература

2. *Roddeman D.* TOCHNOG User's manual – a free explicit/implicit FE program [Электронный ресурс], 2001. URL: <http://tochnog.sourceforge.net> (дата обращения: 05.05.2011).

3. *Смолин И.Ю., Кузнецова А.В., Макаров П.В. и др.* Моделирование напряженно-деформированного состояния горных пород вокруг выработки при разных скоростях подвигания забоя // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2010. № 2. С. 5–13.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ РЕЛЕЯ–ШРЕДИНГЕРА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ МОЛЕКУЛЫ HD¹⁶O APPLICATION OF RAYLEIGH-SCHRÖDINGER PERTURBATION THEORY TO CALCULATE THE MOLECULE HD¹⁶O ENERGY LEVELS

Дучко А.Н., Калинин К.В., Быков А.Д.
Duchko A.N., Kalinin K.V., Bykov A.D.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск
Institute of Atmospheric Optics, Tomsk
E-mail: andrey.duchko@gmail.com

Для решения задачи об ангармонических колебаниях в молекулах используются различные вычислительные методы. Наряду с прямым вариационным методом [1], требующим значительных вычислительных ресурсов уже для молекул, содержащих 5–10 атомов, также использует-

ся теория возмущений Релея–Шредингера (ТВРШ). Однако при практическом применении ТВРШ можно использовать только для нижних колебательных состояний – в случае возбужденных состояний ряды расходятся. Определенным выходом является применение специальных методов суммирования расходящихся рядов [2]. В данной работе вычисление уровней энергии молекулы HD^{16}O проводилось двумя методами: вариационным методом и с помощью ТВРШ и методов суммирования Паде и Паде–Эрмита.

Рассмотрим колебательные состояния HD^{16}O , которые в обычной схеме с резонансными полиадами являются изолированными [3]. В данной работе результаты вариационного расчета принимались за «точные» значения, а уровни, полученные суммированием, сравнивались с ними. Проведенные расчеты показали, что для первого возбужденного колебательного состояния (010) ряд ТВРШ сходится и является знакопеременным в высоких порядках. Прямое вычисление суммы ряда ТВРШ для этого колебательного состояния дает приемлемый результат (точность $\sim 10^{-3} \text{ см}^{-1}$) только в 20-м порядке. Суммирование методами Паде и Паде–Эрмита позволяет получить одинаковые результаты (до 25 верных значащих цифр). Для колебательного состояния (001), имеющего большую энергию, прямое суммирование возможно только при использовании 40–50 членов ряда ТВ, поскольку сходимость ряда весьма медленная. Ведущие точки ветвления находятся ближе к началу координат, чем в случае состояния (010), что и объясняет медленную сходимость. Для этого состояния суммирование методами Паде и Паде–Эрмита дает весьма высокую и одинаковую точность.

Рассмотрим теперь резонирующие колебательные состояния $\{(100)-(020)\}$, $\{(110)-(030)\}$, $\{(101)-(021)\}$ и $\{(111)-(031)\}$, образующие Ферми-диады [5]. Прежде всего, отметим, что для всех рассмотренных резонирующих состояний имеются совпадающие точки ветвления. Обход вокруг любой из этих точек переводит с одного листа римановой поверхности на другой. Совпадение точек ветвления для резонирующих состояний является, по-видимому, характерной чертой случайных ангармонических резонансов. Поскольку доминирующие особенности состояний диад являются общими, то поправки ТВРШ высоких порядков совпадают по величине и различаются по знаку. Последнее обусловлено тем, что ряды ТВРШ для резонирующих состояний представляют две ветви одной функции. Можно отметить, что в высоких порядках энергетические поправки совпадают с точностью 6–10 значащих цифр. Наряду с совпадающими особыми точками, обусловленными резонансом Ферми, имеются также другие, не совпадающие с таковыми для других состояний [6]. Эти точки в совокупности характеризуют «ан-

гармоническое взаимодействие» с состояниями, не включенными в рассматриваемые диады. Совпадающие особые точки приводят к появлению периодических изменений величины и знаков коэффициентов. Так как ведущие точки ветвления лежат внутри единичного круга, то ряды расходятся. Суммирование методами Паде и Паде–Эрмита позволяет получить достаточно точные результаты. Отметим также, что для резонирующих состояний метод Паде–Эрмита дает на 6 порядков более точный результат.

Таким образом, анализ колебательного энергетического спектра молекулы HD^{16}O , проведенный с помощью квадратичных аппроксимантов Паде–Эрмита, позволил выявить положение точек ветвления и объяснить характер рядов ТВРШ.

Литература

1. Грибов Л.А., Павлючко А.И. Вариационные методы решения ангармонических задач в теории колебательных спектров молекул. М.: Наука, 1998. 334 с.
2. Cizek J., Spirko V., Bludsky O.J. // Chem. Phys. 1993. Vol. 99. P. 7331.
3. Barlett R.J., Cole S.J., Purvis G.D. et al. // Chem. Phys. 1987. Vol. 87, № 11.
4. Goodson D.Z., Sergeev A.V. // Physics Letters: A, 2006. Vol. 359. P. 481.
5. Бейкер Дж., Грейвс-Моррис П. Аппроксимации Паде. М.: Мир, 1986.
6. Sergeev A.V., Goodson D.Z. // J. Chem. Phys. 2006. Vol. 124. P. 4111.

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПРОВОЛОК СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ MICROSTRUCTURE OF MATERIAL OF STEEL ROPES AS INFLUENCED BY LONG-TERM STORAGE

Гуськов А.В., Жителива А.В., Милевский К.Е.,
Морева Н.А., Приходько Е.А.
Guskov A.V., Zhiteleva A.V., Milevskiy K.E.,
Moreva N.A., Prihodko E.A.

Новосибирский государственный технический университет
Novosibirsk State Technical University
E-mail: conf_pro@craft.nstu.ru

Цель настоящей работы – определить на соответствие ГОСТ длительно хранящиеся канаты, документация на которые утеряна, оценить влияние условий хранения на конструкцию и механические свойства материала проволок каната.

Проведена выборка образцов канатов, длительно хранящихся. Для достижения поставленной цели предложена методика идентификации канатов с потерянной документацией:

1. Определение конструкции каната (свивка, раскручиваемость).
2. Определение его геометрических параметров (диаметры проволок, количество проволок).
3. Металлография (исследование структуры материала проволок, замеры микротвердости).
4. Испытания на разрыв.
5. Замеры электрического сопротивления проволок.

Подготовлено 6 серий образцов: а) для замеров геометрических параметров, б) для определения конфигурации, в) для проведения металлографических исследований (исходные и отожженные), г) для механических испытаний на разрыв, д) для измерений электрического сопротивления.

Металлография. Структура металла мелкозернистая. Дефектов обнаружить не удалось, лишь на некоторых местные в виде трещин, ближе к контуру проволоки. Был проведен отжиг данных образцов (они горели на открытом воздухе при температуре внешней среды, равной 20 градусам, в течение 5 минут). На отожженных образцах видны следы окалины. Проведен анализ всех образцов на микротвердость.

Испытание по определению разрывного усилия канатов. Метод испытания на растяжение с помощью Instron 300DX.

Измерения электрического сопротивления. Определение электрического сопротивления исследуемых образцов каната проводилось в лаборатории НГТУ на оборудовании Е7-8. Измеритель RLC.

Выводы:

1. Предложенная методика позволяет идентифицировать канаты стальные без документации на соответствие ГОСТ.
2. Краткое тепловое воздействие (в течение 5 минут) привело к изменению структуры металла, по сечению проволоки появились 3 области. По внешнему периметру появился слой окалины, далее область с пониженным содержанием углерода и область, по центру сечения проволоки, где микроструктура осталась без изменений.
3. После термообработки площадь поперечного сечения проволок по значению микротвердости имеет неоднородный характер.
4. Механические испытания показали, что после температурного воздействия разрывное усилие проволок упало в 3 раза.
5. Электрическое сопротивление проволок после термического воздействия увеличилось в среднем на 20%, что свидетельствует об изменении структурного состояния материала проволок.

Литература

1. *Значение* дефектоскопии канатов для повышения безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов / В.С. Котельников, В.Г. Жуков, А.А. Худошин, В.В. Сухоруков. URL: <http://www.intexorel.ru/stat/detail>
2. *Инструментальный* контроль шахтных подъемных канатов / Г.Д. Трифанов, А.П. Кошкин, А.А. Князев, М.С. Озорнин // Горные науки на рубеже XXI века: Материалы международной конференции 1997 г. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С. 568–572.
3. Обнаружение мест дефектов и порывов проволок стальных / В.И. Нифадьев, М.М. Шамсутдинов, А.В. Токарев, В.А. Юданов, С.А. Савченко Вестник КPCY. № 4. 2002.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОРФА С РАЗЛИЧНОЙ КИНЕТИКОЙ NUMERICAL ANALYSIS OF SELF-IGNITION OF PEAT WITH DIFFERENT KINETICS

Жильцов К.Н., Горельский В.А.

Zhiltsov K.N., Gorelski V.A.

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Томского государственного университета

Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University

Воспламенение саморазогревов, таких как торф, находящихся в естественных условиях, является частой причиной лесных пожаров. Существенно, что в этих условиях саморазогревы протекают при наличии периодических высокочастотных (суточных) и низкочастотных (сезонных) колебаний температуры атмосферного воздуха.

Современная теория теплового взрыва (ТВ) была развита лишь для процессов с постоянной или линейно растущей во времени температурой среды, окружающей реакционноспособное вещество [1]. Эти исследования были стимулированы запросами инженерной и лабораторной практики, относящимися к взрывоопасным материалам (пороха, взрывчатые вещества и т.п.). В работе [2] были проведены расчеты, характеризующие качественные особенности процесса. Установлено, что колебания температуры окружающей среды могут существенно влиять на условия возникновения ТВ. В [3, 4] было установлено, что влияние температурных колебаний при высоких частотах и в области небольших амплитуд несущественно. В области малых частот влияние параметров температурных колебаний на критическое условие и особенно на период индукции даже при относительно малых амплитудах может быть очень сильным.

Целью настоящей работы являлось численное исследование процесса теплового нагрева торфяного слоя, оценка влияния температур-

ных колебаний на критическое условие и период индукции при низкочастотных колебаниях.

Физическая постановка задачи предусматривает, что слой торфа, сопряженный со слоем грунта, подвергается внешнему воздействию температурных колебаний. За счет температурного воздействия слой торфа прогревается, а по достижении критических значений реакция ускоряется и происходит самовоспламенение.

Изучение низкочастотных (годовых) колебаний показало, что развитие саморазогрева слоя торфа протекает во времени существенно нелинейно и может длиться годами. Следовательно, для расчета и предвычисления момента воспламенения, то есть решения задачи количественного прогноза самовоспламенения слоя торфа, необходимо учитывать в расчетах данные за продолжительный период времени.

Анализ низкочастотных (годовых) колебаний вариаций температуры слоя не дает полной картины процесса. В этой связи необходимо учитывать и высокочастотные (суточные) колебания. Такой вариант развития событий реален, когда среднегодовые значения температуры T_0 достаточно высоки.

Отметим и тот факт, что расчет сопряженной задачи торф-грунт вследствие большой разницы тепловых активностей рассматриваемых сред показал, что на границе их контакта, в практически важном диапазоне исследуемых параметров, температура изменяется незначительно. Потому для дальнейших аналитических и инженерных оценок важно считать температуру на границе раздела постоянной.

Выводы:

1. Тепловые эффекты изучаемой реакции образцов торфа могут быть описаны уравнением Аррениуса.
2. Кинетика термодеструкции реакции может существенно различаться для образцов торфа с различной кинетикой.
3. На период индукции и критические условия самовоспламенения торфа серьезное влияние оказывают как низкочастотные колебания температуры, так и толщина торфяного слоя.
4. Накопление тепла в слое происходит достаточно медленно и периоды индукции теплового самовоспламенения торфа могут достигать нескольких лет. Это облегчает задачи мониторинга, прогнозирования и предупреждения самовоспламенения.

Литература

1. Мержанов А.Г., Барзыкин В.В., Абрамов В.Г. // Хим. физ. 1996. Т. 15, № 6. С. 3–44.

2. *Shteinberg A.S., Gorelski V.A., Viljoen H.J. et al.* // Proc. V Intern. Conf. "Wildlife Fires". Tomsk: Publ. House Tomsk Univ., 2003. P. 304–305.

3. *Горельский В.А., Яцук А.А., Штейнберг А.С.* // Хим. физ. 2010. Т. 29, № 9. С. 37–41.

4. *Жильцов К.Н., Горельский В.А., Штейнберг А.С.* // Изв. вузов. Физика. Томск, 2011. С. 53–57.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
УСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ
ЗА УСТУПОМ В ПЛОСКОЙ ТРУБЕ
MATHEMATICAL MODELING OF THE ESTABLISHED CURRENT
OF VISCOUS LIQUID BEHIND A LEDGE IN A FLAT PIPE**

**Журавлев Е.В.
Zhuravlev E.V.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: Skripa4eg@gmail.com

В работе рассматривается стационарное движение несжимаемой ньютоновской вязкой жидкости с постоянными свойствами при отсутствии внешних сил в плоской трубе с наличием резкого увеличения площади поперечного сечения канала. На входе в канал течение считается ламинарным и установившимся, с профилем горизонтальной составляющей скорости в виде параболы.

В области за уступом образуется застойная зона, в которой наблюдается вихревое течение меньшей интенсивности. Это связано с тем, что поток, расширяясь, не может мгновенно заполнить полость за расширением и движется по трубе, расширяясь постепенно. В какой-то момент времени, при определенных условиях, в этой области образуется устойчивый вихрь, а течение в дальнейшие моменты времени остается постоянным.

В частности, рассматривалась задача о движении жидкости при различных числах Рейнольдса и показано их влияние на область вихревого течения в потоке.

Решение данной задачи проводилось двумя способами – в естественных переменных скорость – давление и в переменных вихрь – функция тока. В каждом из них решение систем уравнений проводится эволюционным методом установления по времени [1].

В первом случае для описания течения в трубе используют два уравнения количества движения (уравнение Навье–Стокса) и уравнение неразрывности, которые приведены к безразмерному виду. Данная система решается методом физического расщепления во времени полей

давления и скорости [2]. Этот метод имеет в своей основе некоторую циклическую последовательность. Используя некоторое начальное поле давления, сначала вычисляют компоненты скорости по уравнениям движения. Затем компоненты скорости корректируются так, чтобы удовлетворить уравнению неразрывности, а поле давления должно формироваться на каждой итерации так, чтобы обеспечивать постоянную соленоидальность поля скорости.

Полученная после необходимых преобразований система уравнений состоит из уравнений скалярной субстанции, которое будем решать обобщенным методом переменных направлений [3]. Для представления в разностном выражении конвективных и диффузионных членов уравнений воспользуемся экспоненциальной схемой, полученной на основе точного решения одномерного конвективно-диффузионного уравнения [4]. Для двумерного случая эта схема обеспечивает второй порядок точности по координатам и снимает ограничение по сеточному числу Рейнольдса.

Во втором случае для решения указанную выше систему с помощью перекрестного дифференцирования преобразуют к новым переменным – вихрю и функции тока, при таком подходе уменьшается количество уравнений и тождественно выполняется условие неразрывности [2]. Данная система также приводится к безразмерному виду и решается обобщенным неявным методом переменных направлений, а для представления в разностном выражении конвективных и диффузионных членов уравнений также используем экспоненциальную схему.

Достоверность полученных результатов проверялась сеточной сходимостью полученных решений, сравнением результатов, полученных каждым из методов при одинаковых условиях, а также сравнением с численными экспериментами других авторов, в частности с картинками распределения линий тока и сравнением координаты присоединения потока при конкретных числах Рейнольдса.

Литература

1. Себиси Т., Брэдишоу П. Конвективный теплообмен. Физические основы и вычислительные методы: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 592 с.
2. Роуч П. Вычислительная гидродинамика: Пер. с англ. В.А. Гущина, В.Я. Митниченко / Под ред. П.И. Чушкина. М.: Мир, 1980. 616 с.
3. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика: В 2 т.: Пер. с англ. С.В. Сенина, Е.Ю. Шальмана, под ред. Г.Л. Подвидза. М.: Мир, 1990. Т. 1. 384 с.
4. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО РЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ

SURFACE ROUGHENING IN POLYCRYSTALS WITH MODIFIED SURFACE LAYER

Зиновьева О.С.^{1,2}, Зиновьев А.В.¹, Емельянова Е.С.³
Zinovieva O.S.^{1,2}, Zinoviev A.V.¹, Emelyanova E.S.³

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

²Национальный исследовательский Томский государственный университет

³МАОУ гимназия № 18

¹Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

²National Research Tomsk State University

³MAEI gymnasium No. 18

E-mail: emelyanova@ispms.tsc.ru

Ранее исследованы закономерности формирования и эволюции поверхностного деформационного рельефа в высокопрочной стали ЭК-181 после закалки и старения при одноосном растяжении [1]. Основная цель настоящей работы – методами численного моделирования исследовать влияние толщины модифицированного поверхностного слоя на развитие деформационного рельефа.

Рассматривается задача об одноосном растяжении трехмерного модельного поликристалла стали с модифицированным поверхностным слоем, в котором зеренная структура не введена явным образом. При моделировании деформации поликристалла решается общая система уравнений континуальной механики, которая включает законы сохранения массы, количества движения, соотношения для деформации и определяющие уравнения, характеризующие среду. Модельные поликристаллы сгенерированы методом пошагового заполнения. Суть данного метода заключается в заполнении дискретизированного объема структурными элементами по заданным законам. Трехмерные модели, содержащие 600 структурных элементов, построены на сетке 200×63×200 с шагом 1 мкм. Модель механического поведения высокопрочной стали учитывала кристаллографическую разориентацию зерен через разброс упругих и пластических характеристик в пределах 10% и деформационное упрочнение. В соответствие экспериментам на растяжение для описания упрочнения ферритно-мартенситной стали аппроксимацией получена следующая функция [1]:

$$\sigma_y^i = 10^5 \cdot \sigma_0^i + 529 - 539 \cdot \exp\left(-\frac{\varepsilon_{eq}^p}{0.015854}\right) [\text{МПа}],$$

где σ_0^i - начальный предел текучести i -го зерна; ε_{eq}^p - интенсивность накопленной пластической деформации. Задача решается численно методом конечных разностей.

Показано, что на стадии, когда объем материала деформируется пластически, а модифицированный поверхностный слой остается в упругом состоянии, поверхность остается практически однородной. На следующей стадии, когда пластическое течение охватывает весь материал, на поверхности формируется деформационный рельеф в виде периодических складок в форме спирали, ориентированных перпендикулярно к оси нагружения. Проанализировано напряженно-деформированное состояние на поверхности и в объеме модельных образцов. Проведено сравнение результатов, полученных для поликристаллов в основном состоянии и с модифицированным поверхностным слоем. При различной толщине модифицированного поверхностного слоя меняется расстояние от границы раздела «модифицированный слой - основной материал» до поверхности образца. По мере увеличения этого расстояния деформационный рельеф становится более сглаженным, т.е. мелкие складки, связанные со смещением зерен друг относительно друга, исчезают в структуре более крупных рельефных образований. Показано, что шероховатость поверхности растет пропорционально степени деформации по линейному закону, что согласуется с экспериментальными данными для стали ЭК-181 [1].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 10-08-00084-а и 12-01-00436-а). Авторы выражают признательность научному руководителю д.ф.-м.н. В.А. Романовой за полезные дискуссии и ценные замечания.

Литература

1. *Формирование мезоскопических складчатых структур на поверхности поликристаллов стали ЭК-181 в условиях одноосного растяжения* / А.В. Панин [и др.] // Физическая мезомеханика. 2011. Т. 14, № 4. С. 57–69.

**АВТОРЕГРЕССИОННАЯ AR(p) МОДЕЛЬ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
AUTOREGRESSIVE AR (p) MODEL AND ITS APPLICATION
TO PREDICT**

Иванюк Ю.В.

Ivanjuk Y.V.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

E-mail: julik@vtomske.ru

Естественно предполагать, что цена акции y_t на момент времени t зависит от цены акции в предыдущий момент времени y_{t-1} , поэтому для прогнозирования часто используются авторегрессионные модели. Модель авторегрессии 1-го порядка – AR(1) (марковский процесс) может быть определена выражением $y_t = \beta y_{t-1} + \varepsilon_t$. Модель авторегрессии 2-го порядка – AR(2) (процессы Юла) определена выражением $y_t = \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-2} + \varepsilon_t$.

Данные модели представляют собой простейший вариант AR(p)-модели

$$y_t = \sum_{k=1}^p \beta_k y_{t-k} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где последовательность случайных величин $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \dots$ образует белый шум. Одной из основных задач при статистическом исследовании модели (1) является оценка коэффициентов β_1, \dots, β_p по наблюдениям отрезка ряда y_1, \dots, y_p . В работе используются модели 1, 2 и 3-го порядков, коэффициенты в которых оцениваются при помощи МНК (метод наименьших квадратов).

Для независимых аргументов и нормальной ошибки ε_n оценки МНК являются оптимальными, т.е. несмещенными, с минимальной дисперсией, но для зависимых аргументов y_k в модели $y_k = f(y_{k-1}, y_{k-1}, \dots, y_{k-p}) + \varepsilon_k$ эти свойства выполняться не обязаны.

Если корни характеристического полинома $\varphi(z) = z^p - \beta_1 z^{p-1} - \dots - \beta_p$ попадают внутрь единичного круга $|z_j| < 1$, то оценки МНК являются асимптотически нормальными и в AR(p)-модели [1]. Состоятельность этих оценок вне зависимости от расположения корней характеристического многочлена следует из теоремы.

Теорема (Лай, Вей) [3]. Пусть в авторегрессионной AR(p)-модели $y_n = \beta_1 y_{n-1} + \dots + \beta_p y_{n-p} + \varepsilon_n$, последовательность $\{\varepsilon_n\}$ является мартингалом относительно возрастающей последовательности σ -алгебр F_n (фильтрации), причем $\liminf_{n \rightarrow \infty} E(\varepsilon_n^2 | F_{n-1}) > 0$ и $\sup_n E(|\varepsilon_n|^\alpha | F_{n-1}) < \infty$ при $\alpha > 2$.

Определим $b_n = (X'_n X_n)^{-1} X'_n (y_{p+1}, \dots, y_n)'$, при $n > p$, (3)

$$\text{где } X_n = \begin{pmatrix} y_p & \dots & y_1 \\ y_{p+1} & \dots & y_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{n-1} & \dots & y_{n-p} \end{pmatrix}.$$

Тогда

1. $\liminf_{n \rightarrow \infty} n^{-1} \lambda_{\min}(X'_n X_n) > 0$ и
2. $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \beta$.

То есть полученные оценки (2) b_n являются сильно состоятельными.

Литература

1. Андерсон Т.В. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976.
2. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1984. 248 с.
3. Lai T.L., Wei C.Z. Asymptotic Properties of General Autoregressive Models and Strong Consistency of Least-Squares Estimates of Their Parameters // Journal of multivariate analysis. 1983, №13. P. 1-23.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕДАТОЧНОГО
МЕХАНИЗМА С ЭЦ-ЗАЦЕПЛЕНИЕМ
MATHEMATICAL SIMULATION OF GENERATION PROCESS
FOR GEAR PARTS WITH EC-GEARING**

**Камчатный С.А.
Kamchatniy S.A.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: Kam-serega2030@mail.ru

Формообразующая обработка деталей является важнейшим аспектом машиностроительного производства [1]. Проблема формообразования поверхности детали передаточного механизма в самой общей постановке является задачей сближения двух поверхностей в пространстве до состояния касания, в котором поверхности имеют общую касательную плоскость. Целью работы является получение и решение системы уравнений для нахождения констант, определяющих положение в пространстве фрезы, касающейся детали, в каждый момент времени обработки.

Новизна работы обеспечена тем, что в ней рассматривается задача формообразования деталей передаточного механизма с принципиально новым видом зацепления – эксцентриково-циклоидальным зацеплением (ЭЦ-зацепление). Форма деталей механизма с ЭЦ-зацеплением является оригинальной и составляет предмет изобретения конструкторской группы ЗАО «Технология-маркет» (г. Томск, <http://www.ec-gearing.ru/>).

Входная деталь в ЭЦ-зацеплении образована окружностями, расположенными в параллельных плоскостях, центры которых лежат на винтовой линии (червячный элемент). Поверхность выходной детали образована движением плоской кривой – эквидистанты эпитрохоиды. Обработка детали происходит последовательным вытачиванием координатных линий на поверхности детали, т.е. считается, что один из параметров на этой поверхности – задан. При этом условии для управления процессом формообразования с применением сферической фрезы достаточно знать координаты центра сферы (x , y) заданного диаметра в плоскости, перпендикулярной оси вращения детали, при условии касания сферы с поверхностью детали. Задача для сферической фрезы рассматривалась в [2]. При формообразовании поверхностей деталей малого размера целесообразно использование не сферической фрезы, а фрезы, боковая поверхность которой – тор, поскольку при этом достигается

меньший радиус кривизны вытачивающей поверхности фрезы. При обработке детали ось фрезы (ось симметрии тора) поворачивается в плоскости, перпендикулярной оси червячного элемента, на угол φ , а поверхность тора смещается вдоль этой оси на величину Ht . Из геометрического условия касания двух поверхностей в пространстве получены системы уравнений для определения местоположения сферической и торической фрез в момент касания с входной и выходной деталями, т.е. для нахождения величин x , y , φ и Ht . Построенная математическая модель определяет параметры положения фрезы в контакте с заданной линией обрабатываемой детали, что позволяет создавать программу для станка с ЧПУ.

Найдено аналитическое решение полученных систем уравнений.

Разработан комплекс специальных компьютерных программ управления движением фрезы, обрабатывающей деталь. Исходными данными являются параметры фрезы и изготавливаемых деталей. Программы обеспечивают нахождение констант, определяющих положение в пространстве фрезы, касающейся детали, в каждый момент времени обработки.

Литература

1. Радзевич С.П. Формообразование поверхностей деталей. К.: Растан. 2001. 592 с.
2. Камчатный С.А. Геометрическая модель процесса контактного взаимодействия поверхностей при формообразовании деталей передаточного механизма с зацеплением нового типа // II Всерос. молодёжная науч. конф. «Современные проблемы математики и механики», посвященная 90-летию со дня рождения академика. Н.Н. Яненко. Томск, 2011. С. 129–134.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ КАРТИНЫ ВО ФРОНТЕ ТОРФЯНОГО ПОЖАРА, ИНИЦИИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЕМ НИЗОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА INVESTIGATION OF THERMAL PICTURE IN THE FIRE FRONT, WHICH INITIATED BY THE ACTION OF FOREST FIRE

Касымов Д.П., Гришин А.М., Зима В.П.
Kasymov D.P., Grishin A.M., Zyma V.P.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: Kasimov_den464a@mail.ru

Торфяные пожары, как и другие типы пожаров, представляют большую опасность для жизнедеятельности человека, что под-

тверждают трагические события лета 2010 г. в европейской части России. Последствия торфяных пожаров отмечаются до настоящего времени, где, несмотря на зиму, до сих пор идет горение торфяника. Как правило, торфяники горят в засушливый период времени и возгорание может возникнуть в результате действия низового лесного пожара.

Целью настоящей работы являлось моделирование процесса перехода зажигания и горения торфа в лабораторных условиях от горящего опада лесных горючих материалов. Исследования проводились в лабораторных условиях на установке по исследованию лесных, степных и торфяных пожаров, на которую был получен патент [1]. Также измерения велись с помощью тепловизора JADE J530SB с матрицей 320*240 пикселей, диапазон измеряемых температур -15...+1500 °С. Тепловизор укомплектован объективами 25, 50, 200 мм. Дается краткое описание экспериментальной установки, подробная схема проведения эксперимента, анализ результатов. Проведены две серии экспериментов по моделированию перехода низового лесного пожара в торфяник. Получены и проанализированы снимки тепловизионной картины во фронте торфяного пожара, а также структуры образцов торфа.

Выводы:

1. Подготовлена установка для изучения возникновения и распространения торфяных пожаров.

2. С помощью тепловизора и программного обеспечения получена картина распределения поля температур во фронте торфяного пожара, инициированного действием низового лесного пожара.

3. Проведен анализ структуры образцов торфа.

4. Отмечено, что характерным для структуры торфа является наличие треков, по которым, возможно, и происходит заглублиение горения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 11-01-00673-а и №10-01-91054-НЦНИ_а).

Литература

1. Патент на изобретение № 237/220. Испытательный комплекс для моделирования лесных, степных и торфяных пожаров / А.М. Гришин, В.П. Зима, В.Т. Кузнецов, А.И. Фильков. З-ка № 2008/17660 от 04.05 2008, опубл. 27.10.2009. БИ № 30.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРИВЫХ БЛЕСКА ТРАНЗИТНЫХ ЭКЗОПЛАНЕТ DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR MODELING EXOPLANETS' TRANSIT LIGHT CURVES

Коксин А.М.

Koksin A.M.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

E-mail: astrowander@gmail.com

В настоящее время поиском экзопланет занимаются множество наземных обсерваторий (в том числе и любительских) по всему миру, а также две космические миссии – COROT и Kepler. Последний космический телескоп дает самые многообещающие перспективы в области поиска экзопланет. К настоящему моменту подтверждено уже более 60 открытых им планет, а своей очереди ожидают 2 326 кандидатов. Но наиболее замечательно то, что участники этой команды выкладывают наблюдательные данные в сеть. Калиброванные кривые блеска, измеренные телескопом, доступны для свободной загрузки и анализа по адресу [1]. Таким образом, целью данной работы являлась разработка свободной программы для анализа транзитных кривых блеска космического телескопа «Кеплер».

Разработка программы велась в среде визуального программирования QtCreator, в операционной системе Ubuntu. Эта среда использует известную библиотеку Qt, которая расширяет и дополняет возможности языка C++.

При вычислении параметров планеты выполнялось сравнение кривой блеска телескопа «Кеплер» с модельной кривой для текущих значений параметров. Оптимальные значения получаются при минимальных различиях модельной и экспериментальной кривых.

На входе программа получает четыре группы параметров: общие характеристики звезды, характеристики планеты и ее элементы орбиты. В число общих параметров входят: промежуток времени, в течение которого проводятся измерения, число измерений и отношение сигнал–шум. Характеристики звезды – масса m_0 , радиус R_0 и коэффициент потемнения к краю η . В каталогах, опубликованных на сайте космического телескопа «Кеплер», указывается только радиус звезды. Массу ее можно рассчитать по формуле, которая вытекает из теории строения звезд. Характеристики планеты – это ее масса m , радиус R и альbedo (отражающая способность поверхности) a .

Выберем декартову систему координат с началом в центре звезды. Плоскость XU совпадает в данной области с небесной сферой, ось Z направлена к наблюдателю, а ось X совпадает с линией узлов орбиты. Для дальнейших расчетов необходимо знать координаты планеты в каждый момент времени t .

Программа подсчитывает расстояние между центрами дисков планеты и звезды. С учетом значения координаты Z возможны пять случаев:

1. $Z > 0$, $k < R-r$. Диск планеты находится перед диском звезды, перекрывая часть светового потока.

2. $Z > 0$, $R-r < k < R+r$. Диски перекрываются частично.

3. $k > R+r$. Диски не перекрываются. Диск планеты отражает часть света в направлении наблюдателя, поэтому совокупный поток системы несколько увеличивается.

4. $Z > 0$, $R-r < k < R+r$. Диск планеты частично скрывается за диском звезды.

5. Планета полностью скрывается за диском звезды. Нормированный поток системы равен единице.

Выполняя такие вычисления для каждого момента времени на интервале, определенном пользователем, программа строит массив решений. Он содержит время измерения и значение светового потока.

Для проверки работы программы мы обработали кривые блеска пяти звезд с подтвержденными транзитными экзопланетами: Kepler-5b, Kepler-6b, Kepler-8b, Kepler-14b и KOI-204b. Рассчитанные программой характеристики мы сравнили с опубликованными в каталоге НАСА.

По результатам сравнения видно, что программа лучше всего рассчитывает орбитальный период (погрешность не более процента). Для радиуса и большой полуоси различие между результатами программы и каталогом гораздо выше. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, масса звезды рассчитывается по каталожному значению радиуса. В нашей программе принята самая простая модель строения звезды. Во-вторых, данные о радиусе звезды в разных каталогах могут различаться, и притом существенно. Но в целом можно сказать, что цель работы достигнута, а все поставленные задачи выполнены.

Литература

1. Коксин А.М. Разработка программного продукта для поиска внесолнечных планет методом транзитов // Информационный бюллетень ВНКСФ-18: Материалы конференции. 2012. С. 398–399.

2. Коксин А.М. Разработка программы для моделирования кривых блеска транзитных экзопланет // Материалы VII (XXXIX) Международной научно-практической конференции.

О РАЗДЕЛЕНИИ ГРАФА НА ДОМЕНЫ ON THE DIVISION OF THE GRAPH INTO DOMAINS

Кондратюк С.В.
Kondratyuk S.V.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: ksv471@yandex.ru

Проблема построения экономичных разностных схем является актуальной для решения не одномерных нестационарных задач механики сплошной среды. При этом существует несколько типов разностных сеток, а методы их построения можно условно разделить на прямые (метод шаблонов, метод отображения и др.) и итерационные (метод исчерпывания, метод граничной коррекции и др.). Преимуществом прямых методов является простота реализации, а достоинством итерационных методов является возможность их применения для областей сложной формы.

Создание параллельных алгоритмов связано с разделением сеточных графов на домены с целью балансировки загрузки процессоров. При этом в качестве критерия деления может быть, например, выбрана близость суммарного веса доменов или минимизация суммарного веса ребер, связывающих домены.

Для решения задач деления используются следующие методы: метод покоординатного разбиения, метод огрубления графа, метод половинного деления, метод инерциального деления пополам. Геометрические методы выполняют разбиение графов, основываясь исключительно на координатной информации об узлах графа. Значительный интерес представляет использование для деления графа метода спектральной бисекции, основанного на анализе вектора Фидлера [1]. В этом методе применяется полуопределенная сингулярная матрица Лапласа, связанная с матрицей смежности графа. По этой матрице определяются наименьшее отличное от нуля собственное число матрицы и соответствующий ему собственный вектор (вектор Фидлера). С помощью полученного вектора осуществляется упорядочивание вершин графа по убыванию компонент вектора Фидлера и осуществляется деление на 2 домена в требуемом соотношении. Разделение графа методом спектральной бисекции соответствует минимизации суммарного веса ребер, соединяющих вершины из двух разных доменов V_1 и V_2 . Проведенные расчеты по разделению различных графов подтверждают оптимизирующие свойства вектора Фидлера. Метод спектральной бисекции позволяет, используя алгоритм рекурсивной бисекции (*Recursive*

зволяет, используя алгоритм рекурсивной бисекции (*Recursive Spectral Bisection, RSB*), разделить граф на произвольное число частей [2]. Недостатком спектрального метода является необходимость определения собственных чисел для матриц больших размерностей, которые можно определить, например, используя параллельный алгоритм для нахождения коэффициентов характеристического многочлена через степени матрицы Лапласа и метод Леверье.

В отличие от спектрального метода использование кривых Пеано упорядочивает элементы графа в соответствии с позициями центров их масс вдоль кривых **Пеано** [3]. Кривые Пеано – это кривые, полностью заполняющие области больших размерностей (например, квадрат или куб). После получения списка элементов графа, упорядоченного в зависимости от расположения на кривой, достаточно разделить список на необходимое число частей в соответствии с установленным порядком.

Литература

1. *Якобовский М.В.* Обработка сеточных данных на распределенных вычислительных системах. URL: <http://lira.imamod.ru/lit/VANT2004.pdf>
2. *Волков К.Н.* Балансировка нагрузки процессоров при решении краевых задач механики жидкости и газа сеточными методами.
3. *Гергель В.П.* Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем. М.: Изд-во МГУ, 2010. 544 с.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ НАНОСТРУКТУР И ИХ ПОВЕДЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ MOLECULAR DYNAMICS INVESTIGATION OF METALLIC THIN-FILM NANOSTRUCTURE FORMATION AND THEIR BEHAVIOR UNDER HEATING

**Коноваленко И.С., Зольников К.П., Псахье С.Г.
Konovalenko I.S., Zolnikov K.P., Psakhie S.G.**

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук
Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch Russian
Academy of Sciences
E-mail: ivkon@ispms.tsc.ru

Цель работы – исследование закономерностей формирования наноструктур различной формы на основе самосворачивания бислоиных металлических пленок, отделяемых от подложек, и изучение поведения полученных структур при нагреве.

В рамках метода молекулярной динамики и использования многочастичных потенциалов межатомного взаимодействия [1, 2] развит подход для моделирования процессов формирования наноструктур из многослойных кристаллических пленок, начиная с их начального плоского прототипа и заканчивая их трехмерной равновесной конфигурацией [3, 4]. Проведено формирование незамкнутых наноструктур различной формы из двухслойных кристаллических пленок систем Cu-Al, Cu-Ni.

Исследовано влияние толщины исходной бислойной пленки на основе Cu и Al и температурных режимов ее релаксации на особенности формирования и свойства незамкнутых наноструктур. Исходная моделируемая пленка имела толщину 28 атомных плоскостей и содержала 125 000 атомов. Расчеты показали, что при низких температурах формируется бездефектная наноструктура, а при более высоких – ускоряется процесс самосворачивания, но происходит отделение одного слоя пленки от другого. Такое поведение пленок связано с существенным отличием (около 10%) в параметрах решеток меди и алюминия.

Проведено формирование незамкнутых наноструктур из пленок системы Cu-Ni, различие в параметрах решеток которых составляет 2.6%. Изучено влияние выбора кристаллической подложки, на которую наносится двухслойная пленка, на процессы формирования на ее основе наноструктур. Из-за несоответствия параметров решеток слоев исходной двухслойной пленки в ней возникают моменты сил, вызывающие ее самосворачивание. Показано, что в случае, когда в исходной двухслойной пленке равновесный параметр решетки одного из слоев совпадает с параметром решетки подложки, амплитуда собственных колебаний полученной структуры больше на 15% по сравнению со случаем, когда равновесные параметры решеток обоих слоев исходной пленки отличны от соответствующего параметра подложки.

Исследовано поведение незамкнутых наноструктур при тепловом воздействии в интервале от 50 до 300 К. При нагреве края таких структур начинают совершать колебательные движения, обусловленные значительным различием коэффициентов теплового расширения слоев и их температурных зависимостей. Показано, что частоты колебаний краев наноструктур практически не зависят от скорости нагрева, а длина медных включений и их взаимное расположение в алюминиевой пленке оказывают существенное влияние на частоту и амплитуду колебаний краев.

Исследована механическая устойчивость незамкнутой наноструктуры при взаимодействии с преградами. Исходная наноструктура располагалась между двумя абсолютно жесткими стенками так, чтобы один

из ее свободных краев касался преграды. При высокоскоростном нагреве на 300 К края этой наноструктуры начинали колебаться. В результате удара колеблющегося края о преграду структура приводилась в поступательно-вращательное движение и попеременно упруго отскакивала от противоположных преград, сталкиваясь с ними разными частями.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-08-00817-а).

Литература

1. *Cai J., Ye Y.Y.* Simple analytical embedded-atom-potential model including a long-range force for fcc metals and their alloys // *Phys. rev. B.* 1996. Vol. 54, N. 12. P. 8398–8410.
2. *Foiles S.M., Baskes M.L., Daw M.S.* Embedded-atom-method for the fcc metals Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Pt, and their alloys // *Phys. Rev.* 1986. Vol. B33, N 12. P. 7983–7991.
3. *Псахье С.Г., Зольников К.П., Коноваленко Ив.С.* Молекулярно-динамическое исследование формирования наноструктур и их поведения в условиях внешнего воздействия // Свойства нанокристаллических и субструктурных материалов / Под ред. А.Д. Коротаева Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. С. 146–180.
4. *Konovalevko Iv. S., Zolnikov K. P., Psakhie S. G.* Molecular dynamics investigation of deformation response of thin-film metallic nanostructures under heating // *NANOSYSTEMS: PHYSICS, CHEMISTRY, MATHEMATICS.* 2011. Vol. 2, N 2. P. 76–83.

ОБ УЧЕТЕ ГИПОТЕЗЫ ТИМОШЕНКО ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СТАТИКИ И УСТОЙЧИВОСТИ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ON THE HYPOTHESIS TYMOSHENKO IN SOLVING PROBLEMS OF STATICS AND STABILITY BEAM CONSTRUCTIONS

Кравцова Ю.А., Селимов И.А.
Kravtsova Ju. A., Selimov I.A.

Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета
Novokuznetsk Institute (branch) of Kemerovo State University
E-mail: reticent88@mail.ru, kentis76@mail.ru

В современном машиностроении широко используются балки с различным типом сечения: балки открытого сечения и замкнутого, к последним относятся коробчатые балки. Область применения балок в строительстве чрезвычайно широка – от небольших элементов рабочих площадок, междуэтажных перекрытий производственных или гражданских зданий до большепролетных балок покрытий, мостов, тяжело нагруженных подкрановых балок и так называемых «хребтовых» балок для подвески котлов в современных тепловых электростанциях. Для придания большей жесткости оболочки подкрепляются ребрами, которые и представляют собой балки, при этом незначительное увеличение

массы конструкции существенно повышает ее прочность даже в случае, когда ребра имеют малую высоту. Помимо подкрепления оболочечных конструкций балки (коробчатые) применяют в крановых конструкциях, так как имеют большую жесткость на кручение.

Балки замкнутого сечения обладают рядом преимуществ по сравнению с открытыми. К ним относятся:

- более высокая несущая способность конструкций или их элементов при работе на изгиб в двух плоскостях и на кручение;
- ввиду существенного увеличения (в десятки раз) момента инерции на кручение в элементах с замкнутыми сечениями, как правило, исключается изгибно-крутильная форма потери устойчивости;
- элементы с замкнутыми сечениями более устойчивы при монтаже, менее подвержены механическим повреждениям во время транспортировки и монтажа.

Несмотря на названные достоинства, конструктивные элементы с замкнутыми сечениями не нашли в настоящее время широкого применения. Объясняется это прежде всего низкой технологичностью и большей трудоемкостью изготовления.

Исследование напряженно-деформированного состояния и устойчивости балочных конструкций различных типов сечений представляет несомненный интерес. По результатам данных исследований можно сделать оценку, в каких случаях лучше использовать коробчатые балки, в каких же, напротив, балки открытого сечения. Также можно сделать оценку местной и общей потери устойчивости. Данная тема является актуальной, так как балочные конструкции широко применяются в строительстве космических кораблей, автомагистралей и многих других строительных отраслях.

В качестве метода решения рассматриваемых задач выбран метод конечных элементов (МКЭ) [1]. Преимущества метода заключаются в возможности приведения к системам алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений с малозаполненными, узкополосными, симметричными и положительно определенными матрицами коэффициентов при неизвестных; независимости вычислений в отдельных элементах; возможности построения улучшенных решений путем увеличения числа параметров, описывающих каждый элемент; гибкости, приспособленности матричного аппарата МКЭ к реализации на ЭВМ.

Инструментом расчета послужил пакет программ «Композит-НК». Данный пакет программ осуществляет расчет задач статики и устойчивости методом конечных элементов.

При исследовании использовались балки, размер сечения которых соизмерим с размером самой балки, представляя собой короткую балку, для которой существенно влияние сдвиговых деформаций на напряженное состояние. Таким образом, логично было помимо классической тео-

рии балок рассмотреть балки с учетом гипотезы Тимошенко. Суть кинематической гипотезы Тимошенко для балочных конструкций: плоские до деформации поперечные сечения балки остаются после деформации плоскими, но перестают быть ортогональными к изогнутой оси. Причем в отличие от классической теории, где в узле присутствует только одна степень свободы, соответственно, и только один вид перемещений – вдоль оси балки, для балки типа Тимошенко в узле присутствуют все шесть степеней свободы.

Вычислительный эксперимент проводился с использованием конструкций с двумя видами сечений – открытое и коробчатого типа. А также использовались следующие разновидности моделей: пластины и оболочки, в качестве подкреплений которых и выступали балки. Помимо сечения варьировалось наличие или отсутствие гипотезы Тимошенко. Откликами служили поля напряжений и собственная.

Рассчитанный численно собственный вектор определяет форму потери устойчивости оболочки. Вычисленные собственные значения показывают, какой процент сил от текущей нагрузки необходимо приложить к конструкции, чтобы получить соответствующую форму потери устойчивости.

Литература

1. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ СПЛАВОВ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ MODELING OF DEFORMATION BEHAVIOR OF THE ALLOY UNDER SEVERE PLASTIC DEFORMATION

**Красновейкин В.А., Скрипняк В.В., Сухоярский М.А.
Krasnoveykin V.A., Skripnyak V.V., Suhoyarskiy M.A.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: volodia74ms@gmail.com

В настоящее время активно развиваются такие методы получения объемных наноструктурных материалов, как интенсивная пластическая деформация (ИПД). Ввиду дороговизны изготовления оснастки для прессования, для обоснования, уточнения и улучшения схем обработки материала используются методы компьютерного моделирования. С их помощью численно исследованы процессы деформирования образцов

титана ВТ1-0 при движении по каналам пресс-форм для двух схем нагружения: равноканального углового прессования (РКУП) и канального прессования через канал переменной формы (КППФ). Проведен анализ схем динамического прессования, когда блок продавливается с высокой скоростью по каналу пресс-формы за счет давления пуансона или давления пороховых газов. Решение выполнено методом сглаженных частиц в рамках модели упругопластической среды. Процесс интенсивной пластической деформации и эволюции повреждений структуры материала при реализации равноканальной схемы ДКУП моделировался в рамках лагранжевого подхода с использованием метода гладких частиц (SPH). Динамика процесса деформации тела описывалась системой уравнений, включающей в себя кинематические соотношения, законы сохранения массы, импульса и энергии, нелинейное определяющее уравнение, эволюционные уравнения для внутренних параметров модели, описывающих структурное состояние материала.

В данной работе использованы эволюционные уравнения, описывающие изменение средних размеров зерна в объеме материальных частиц и изменение параметра поврежденности вследствие возникновения пор и микротрещин. Появление повреждений в материале описывается в рамках подхода механики сред с повреждениями. Предполагалось, что в исходном материале нет повреждений. Зависимость напряжения течения от среднего размера субзерна, скорости деформации, степени пластической деформации, температуры описывается моделью, учитывающей температуру деформации, средний размер зерна, скорость эквивалентной пластической деформации.

Рассматривается задача о деформации образца с размерами 4x4x10 мм из альфа-титана при его движении по пересекающимся под прямым углом каналам матрицы такого же постоянного сечения. Моделируется движение образца с постоянной скоростью. На контактных поверхностях между образцом и внутренними поверхностями каналов заданы условия скольжения без трения. Исследованы процессы деформации образцов при движении со скоростями в диапазоне от 25 до 100 м/с. В начальный момент времени образец располагается в верхней части вертикального канала матрицы. Сходимость численных результатов обеспечивалась при заполнении объема блока 10000 частиц с размерами 250 мкм. Расчеты проводились с использованием бессеточного решателя Autodyn ANSYS Workbench 13 с применением распараллеливания. Использовалась процедура автоматической декомпозиции расчетной области на 24 процессора. Расчет производился на кластере СКИФ Cyberia ТомГУ.

Результаты свидетельствуют о том, что распределение кумулятивной пластической деформации в образце после прохождения через зону сопряжения каналов неоднородно. Это обусловлено процессами релак-

сации сдвиговых напряжений при развитии локализованных на макро-скопическом уровне пластических сдвигов в зоне сопряжения каналов. Наибольшая пластическая деформация наблюдается в средней части образца, в то время как остальные части претерпевают существенно меньшие пластические деформации.

Моделирование ДКУП через каналы с сечением, меняющим форму с круглой на эллиптическую, показало, что в отличие от улучшенной схемы ДКУП с противодавлением деформация образца происходит во всем объеме. Применение указанной схемы ДКУП позволяет отказаться от сложной системы противодавления. В такой схеме за счет более равномерного в объеме развития пластических деформаций измельчение зеренной структуры происходит более однородно по длине образца. Можно в локальном сечении тела, проходящем через эллиптическую область канала прессования, выделить две крестообразно пересекающиеся макроскопические полосы сдвига в образце, в которых материал деформировался наиболее интенсивно. Остальной объем материала претерпел существенно меньшие пластические деформации.

С помощью компьютерного моделирования в трехмерной постановке решена задача о динамическом канальном прессовании титана BT1-0. Обнаружено, что при увеличении скорости прохождения образца через область пересечения каналов до 100 м/с в объеме материала формируются области с существенно различной степенью пластической деформации. Для более однородной пластической деформации материала обоснована схема прессования с каналом, меняющим круглое сечение на эллиптическое. Получены данные о распределении пластической деформации по образцу для схем РКУП и КППФ.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-3066.2012.8.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ Г. ТОМСКА RESEARCH OF POPULATION MIGRATION IN THE CITY OF TOMSK

**Кривякова Э.Н., Груне К.А.
Krivyakova E., Grune K.N.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: eleon@sibmail.com

В настоящее время существенно возросло влияние миграции на формирование численности и возрастно-полового состава населения. Это обусловлено сокращением естественного прироста населения. В

этих условиях исследование и регулирование процесса миграции становится важной составляющей в формировании необходимого объема рынка труда.

Исследовано влияние на миграционный процесс населения г. Томска следующих факторов [1]: уровня индустриального развития x_1 , объема вводимой жилплощади x_2 , уровня медицинского обслуживания x_3 , уровня развития высшего и среднего специального образования x_4 , природно-климатических условий (средняя температура января и продолжительность безморозного периода) x_5 и x_6 . С учетом этих факторов построена регрессионная модель миграции населения Томска. Для этого вычислены значения указанных факторов и коэффициент миграционного прироста населения за 13 лет, с использованием статистических данных по Томску [2, 3]. По этим данным построено следующее уравнение линейной регрессии для коэффициента миграционного прироста населения:

$$y = 3,39126 + 0,09912x_1 - 0,10942x_2 + 0,01407x_3 - 0,11989x_4 - 0,04945x_5 + 0,0101x_6$$

При этом средний квадрат ошибки $s^2 = 3,765$.

Было получено также уравнение регрессии и без учета климатических факторов, так как они входят в уравнение регрессии с маленькими коэффициентами

$$y = 4,82150 + 0,12483x_1 - 0,10293x_2 + 0,01347x_3 - 0,12565x_4$$

Однако при этом средний квадрат ошибки оказался существенно больше: $s^2 = 6,559$. Этот факт показывает, что влиянием климатических факторов на миграцию пренебрегать не следует.

Для коэффициентов каждого уравнения регрессии построены также доверительные интервалы.

Таким образом, установлено, что на процесс миграции населения г. Томска оказывают существенное влияние как социально-экономические, так и климатические факторы.

Построена также стохастическая модель миграции населения [4].

Литература

1. *Рыбаковский Л.Л.* Миграция населения: прогнозы, факторы, политика. М.: Наука, 1987.
2. *Статистический ежегодник:* Стат. сб. Томск: Томскстат, 2011.
3. *Томская область в цифрах за 20 лет:* Стат. сб. Томск: Томскстат, 2009.
4. *Зайцев В.Д.* Проблемы моделирования миграции населения // Миграция населения РСФСР. М.: Статистика, 1973.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ С ГРАФИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССОРАМИ TESLA HIGH-PERFORMANCE COMPUTING WITH TESLA GPUS

Курганов С.М.
Kurganov S.M.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
National Research TomskPolytechnicUniversity
E-mail: skurganov92@gmail.com

Вычисления на GPU заключаются в использовании GPU (графического процессора) совместно с CPU для ускорения универсальных приложений в области науки и проектирования [1]. Вычисления на GPU были изобретены пять лет назад компанией NVIDIA и быстро стали стандартом в индустрии, который используют миллионы пользователей по всему миру и который приняли практически все производители компьютерных систем.

Вычисления на GPU предлагают беспрецедентную производительность приложений благодаря тому, что GPU обрабатывает части приложения, требующие большой вычислительной мощности, при этом остальная часть приложения выполняется на CPU. С точки зрения пользователя приложение просто работает значительно быстрее [2].

CPU + GPU – это мощная комбинация, потому что CPU состоят из нескольких ядер, оптимизированных для последовательной обработки данных, в то время как GPU состоят из тысячи маленьких, более производительных ядер, созданных для параллельной обработки данных. Последовательные части кода обрабатываются на CPU, а параллельные части – на GPU.

Графические процессоры Tesla созданы с нуля для ускорения научных вычислений и технических расчетов. Основанные на инновационных возможностях архитектуры Kepler, последние графические процессоры Tesla обеспечивают в три раза более высокую производительность по сравнению с архитектурой предыдущего поколения. Производитель-

ность вычислений операций с плавающей запятой с двойной точностью выше 1 Терафлопа, при этом значительно усовершенствованы возможности программирования и энергоэффективность. Kepler является самой быстрой и энергоэффективной в мире архитектурой высокопроизводительных вычислений.

Выдающаяся производительность архитектуры Kepler стала возможна благодаря архитектуре SMX, которая обеспечивает большую энергоэффективность и производительность обработки данных за счет нового инновационного строения потоковых мультипроцессоров, позволяющего использовать большую площадь для размещения ядер по сравнению с управляющей логикой.

Динамика Kepler GPU упрощает процесс программирования GPU, давая возможность программистам с легкостью ускорять все параллельные вложенные циклы. Это приводит к тому, что GPU динамически порождает новые потоки без возврата к CPU.

Литература

1. *Таненбаум Эндрю*. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер, 2009. 877 с.
2. *Воеводин В.В., Воеводин Вл.В.* Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 608 с.
3. *Компания NVIDIA*. URL: <http://www.nvidia.com> (дата обращения: 14.09.2012).

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИ КУМУЛЯТИВНОМ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЙ, СОДЕРЖАЩИХ МНОГОСЛОЙНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ, НА ТИТАНОВЫЕ ПОДЛОЖКИ STRUCTURE FORMATION IN THE CUMULATIVE COATINGS ON TITANIUM CONTAINING MULTILAYER CARBON NANO- TUBES

Козулин А.А., Ли Ю.В., Кульков С.С.

Kozulin A.A., Li U.V., Kulkov S.S.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

E-mail: kozulyn@itf.tsu.ru

В работе исследовались покрытия на основе смесей наноструктурного керамического порошка диоксида циркония, многослойных углеродных нанотрубок и нанокристаллического бора, полученные методом кумулятивного синтеза на поверхностях титановых подложек.

Для получения наноструктурного покрытия на титановых подложках был использован метод кумулятивного синтеза облицовок, разработанный в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. В проведенных опытах были использованы конические кумулятивные облицовки, изготовленные из механических смесей порошков нанокристаллического диоксида циркония, многослойных углеродных нанотрубок, взятых в одинаковых пропорциях. В смесь также добавлялся нанокристаллический бор.

Для микроструктурного исследования полученных покрытий использовали растровый электронный микроскоп «Carl Zeiss EVO50» с приставкой EDS X-Act (Oxford Instruments). Для исключения влияния на результаты исследования возможных загрязнений образцы подвергались очистке в ультразвуковой ванне в течение 30 минут. Кроме изучения участков покрытия с характерным рельефом параллельно проводилось исследование элементного состава интересующих областей и включений.

Рентгеноструктурное исследование покрытий осуществляли с помощью дифрактометра «ARL X'TRA» с CuK_α или CoK_α излучениями. Съемка велась по точкам с шагом 0.05° . Определение параметров решетки проводилось по отражениям в интервале углов $20^\circ < 2\theta < 85^\circ$. Для расшифровки рентгенограмм и более подробного фазового анализа покрытий рентгеноструктурному анализу предшествовал элементный анализ покрытий на оптическом эмиссионном спектрометре «ARL 3460 Quantis».

Измерение микротвердости проводилось на полированной поперечной поверхности образцов на автоматическом микротвердомере «Wolpert Wilson Instruments 402 MVD» с нагрузкой 50–100 г, выдержка при индентировании составляла 5 секунд. Для всех образцов сделано более 140 отпечатков, диагонали каждого из них измерялись в автоматическом режиме.

В результате исследований поверхностей покрытий на растровом электронном микроскопе было установлено, что на поверхности покрытия наблюдаются большие участки с практически полным проплавлением материала матрицы. Но одновременно с этим на значительной доле поверхности присутствуют частично расплавленные участки. Это свидетельствует о неоднородности распределения температуры по потоку напыляемых частиц. На некоторых участках поверхности наблюдаются следы растекания жидкой расплавленной фазы в виде «шупальцев» и застывший расплав подложки в виде сферических капель. Центральная часть полученного покрытия имеет вид гладкой, хорошо проплавленной поверхности в чередовании с расплавами механокомпозитов. Во всех

случаях на поверхностях образца, наряду с подобными, относительно ровными участками, наблюдаются множественные кратеры. Образование подобных кратеров обусловлено ударом по поверхности больших по размерам агломератов напыляемого материала. О том, что они образованы ударом крупных частиц, свидетельствует наличие большого количества кратеров, заполненных частицами смеси. На поверхности покрытий и внутри кратеров видны частицы как сферической формы, так и бесформенные в виде чешуек.

На поверхности образцов присутствует довольно большое число микроскопических трещин. Следы растрескивания и наличие микротрещин свидетельствуют о процессах быстрой кристаллизации расплава на поверхности и возникновении больших внутренних напряжений.

Рентгенограммы всех трех образцов идентичны. Их расшифровка показала, что в процессе кумулятивного синтеза образуется карбидная фаза TiC_x не стехиометрического состава, $x=0.35-0.4$, а сам титан представлен двумя модификациями – исходным ГПУ-титаном и высокотемпературным ОЦК-титаном, который образовался вследствие быстрой закалки от высокой температуры в кумулятивной струе. Средний размер кристаллитов, оцененный по формуле Шерера, составил для TiC 30 нм, для ГПУ-титана – 22 нм и для ОЦК-титана – 11 нм.

Измерение микротвердости проводили по разным направлениям: от поверхности с покрытием вглубь образца; вдоль поверхности покрытия в непосредственной близости от края. Все измерения проводились в виде дорожек с шагом уколов не больше двух длин диагоналей. Известно, что исходная микротвердость материала подложки (титановый сплав ВТ1-0) составляет 1,84 ГПа. Величина микротвердости покрытия, измеренная на шлифе при максимальном приближении к краю, равна 4.4–4.7 ГПа. При удалении от поверхности твердость сначала резко падает до 2,5 ГПа, а затем на глубине 1,5 мм наблюдается небольшой максимум до 3.0 ГПа, после чего твердость уменьшается практически до исходного состояния.

Работа выполнена при поддержке Российского ФФИ (проект № 12-08-90702-моб_ст).

**ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ
ПРИ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ
ИСПЫТАНИЯХ**
**FRACTURE OF CERAMIC COMPOSITES UNDER QUASISTATIC
AND DINAMIC TESTS**

Козулин А.А., Ли Ю.В., Скрипняк Е.Г., Скрипняк В.В.
Kozulin A.A., Li U.V., Skripnyak E.G., Skripnyak V.V.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: kozulyln@ftf.tsu.ru

Трещиностойкость является очень важной характеристикой материала и определяется рядом параметров: K_{1c}, K_{Ipb}, K_{Isc} , где K_{1c} – критическая величина интенсивности напряжений; K_{Ipb} – критическая величина интенсивности напряжений для образцов с трещиной; K_{Isc} – критическая величина напряжений для поверхностной трещины при изгибе образца. Величины K_{1c}, K_{Isc}, K_{Ipb} зависят от размеров зерна, пористости, концентрации фаз, деформации, температуры и схемы нагружения. В данной работе рассматриваются оксидные керамические композиты системы $Al_2O_3-t-ZrO_2$, относящиеся к классу керамических материалов с трансформационным упрочнением. Причиной механизма трансформационного упрочнения является увеличение объема частиц ZrO_2 при мартенситном фазовом переходе из тетрагональной в моноклинную фазу, что приводит не только к релаксации сдвиговых напряжений вблизи вершины трещины, но и к смыканию поверхностей трещин. Рассматриваемый механизм трансформационного упрочнения позволяет достичь высоких показателей прочностных характеристик, таких как трещиностойкость и прочность, сопоставимых с некоторыми сплавами и сталями.

Целью данной работы было определить трещиностойкость пяти марок керамических композитов $Al_2O_3-t-ZrO_2$ с субмикроструктурной структурой, используя три различных метода: метод контролируемого внедрения индентора по схеме Виккерса, метод трехточечного изгиба призматических образцов при статических и динамических условиях нагружения.

Для определения трещиностойкости образцов по методу внедрения индентора по схеме Виккерса использовались композиты: $0.8Al_2O_3+0.17ZrO_2+0.03Y_2O_3$; $0.6Al_2O_3+0.4(ZrO_2+0.015MgO)$. для двух других методов использовались композиты составов: $0.8Al_2O_3+0.17ZrO_2+0.03Y_2O_3$;

$0.744\text{Al}_2\text{O}_3+0.2(\text{ZrO}_2+0.03\text{Y}_2\text{O}_3)+0.056(\text{Al}_2\text{O}_3+0.015\text{MgO});$
 $0.744\text{Al}_2\text{O}_3+0.17\text{ZrO}_2+0.03\text{Y}_2\text{O}_3+0.056(\text{Al}_2\text{O}_3+0.015\text{MgO}).$

Образцы данных керамических композитов получены методом горячего прессования из механоактивированных плазмохимических нанопорошков Al_2O_3 , $\text{ZrO}_2\text{-}3\%\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{ZrO}_2\text{-MgO}$, MgO производства ОАО «Сибирский химический комбинат» (г. Северск).

Метод внедрения индентора Виккерса является наиболее выгодным и менее трудоемким по сравнению с двумя другими. Данный метод основан на определении конфигурации трещин, и от правильности определения типа трещин зависит точность определения характеристики K_{Ic} .

Метод трехточечного изгиба образца при статическом и динамическом нагружении является также очень распространенным.

Для определения трещиностойкости керамических композитов при испытаниях в условиях квазистатического нагружения проведены испытания призматических образцов с надрезами в условиях трехточечного изгиба с использованием испытательной машины «Instron 3369». Скорость прогиба в точке приложения нагрузки 0.1 мм/с .

Для определения характеристик трещиностойкости при динамических испытаниях в соответствии с требованиями стандартов образцы испытывали на трехточечный изгиб на универсальном сервогидравлическом стенде «Instron VHS 40/50-20». Нагружение осуществлялось со скоростью до 12 м/с .

После проведения испытаний тремя различными методами были получены следующие результаты: величина параметра K_{Ic} для образцов керамики первого типа составила $4.87 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ при величине микротвердости $H_v=17.34 \text{ ГПа}$, для образцов второго типа – $4.06 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ при величине микротвердости $H_v=16.5 \text{ ГПа}$; величина параметра K_{Isc} для образцов 3-5 типа соответственно составила при квазистатических условиях 15.78 , 14.42 и $12.73 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. при динамических условиях испытания – 22.3 , 20.6 , $16.72 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. Было установлено, что при увеличении скорости нагружения параметр трещиностойкости увеличивается. Увеличение трещиностойкости исследованных керамических композитов с ростом скорости нагружения является косвенным подтверждением реализации механизма трансформационного упрочнения в условиях динамического нагружения при размерах частиц $t\text{-ZrO}_2$, превышающих 300 нм .

Результаты, полученные в ходе экспериментов, хорошо согласуются с данными о микротвердости и трещиностойкости композитов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}t\text{-ZrO}_2$. Поэтому можно с уверенностью сказать, что исследуемые

композиты полностью удовлетворяют требуемым показателям прочности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. № П1247 от 7 июня 2010 г.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
В ИЗОБРАЖЕНИИ ПРИ ПЕРЕДВИЖЕНИИ АВТОНОМНОГО
МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПО НЕИЗВЕСТНОЙ МЕСТНОСТИ
MODELLING OF OBJECTS DETECTION ALGORITHM IN
THE IMAGE AT THE MOVEMENT OF THE SELF-CONTAINED
MOBILE ROBOT ON UNKNOWN LOCALITY**

**Лозовская Е.Г.
Lozovskaya E.G.**

Таганрогский технологический институт Южного федерального университета
Taganrog Institute of Technology Southern Federal University
E-mail: ek.lozovskaya@yandex.ru

Быстрое развитие вычислительных средств стимулирует развитие методов обработки изображений, в частности методов обнаружения и определения координат объектов. Эти методы представляют значительный интерес для таких технических областей, как машинное восприятие изображений, анализ оптических, радиолокационных и инфракрасных изображений, медицинская диагностика. Так, например, методы обнаружения при анализе оптических изображений используются в системах наблюдения за автотранспортным движением, в системах обнаружения и сопровождения объектов, в охранных системах, при поиске изображений лиц в базе данных, в системах машинного зрения.

Для систем обнаружения выделяют три составляющие априорной информации:

- характеристики системы наблюдения (наличие перемещения, изменения фокусировки изображений, присутствие случайной помехи);
- характеристики изображения наблюдаемой сцены (характеристики анизотропного фона в плоскости изображения, характеристики естественных помех);
- характеристики обнаруживаемого изображения объекта (наличие движения объекта, яркость изображения объекта; форма силуэта объекта, наличие границ между областью объекта на изображении и фоном, статистические характеристики яркости изображения в области объекта,

угловая ориентация объекта на изображении; размеры объекта на изображении).

Задача обнаружения на видеоизображениях осуществляется в общем случае при пространственно-неоднородном фоне с неизвестным уровнем яркости в условиях движения носителя системы наблюдения. Предполагается, что параметры движения носителя системы наблюдения за время обработки одного поля телевизионного изображения являются случайными величинами с известным законом распределения. На изображениях, полученных системой обнаружения, также присутствует случайная помеха. Априорная информация о наличии или отсутствии объекта на изображении отсутствует.

К числу наиболее распространенных методов обнаружения изображенных объектов в условиях априорной неопределенности формы объекта относятся:

- межкадровое дифференцирование;
- методы, опирающиеся на отличие статистических свойств яркостей объекта и фона;
- методы, основанные на аппарате линейного предсказания и на обнаружении перепадов яркости.

Межкадровое дифференцирование применимо для обнаружения только движущихся объектов произвольной формы. При обнаружении неподвижных объектов эти методы не дают достаточно полного решения указанных задач. Необходимым условием для второго метода является априорная информация о плотности распределения яркостей в области объекта и в области фона на изображении. Отсутствие в рассматриваемой постановке задачи этой информации ограничивает применение указанных методов. Для использования третьего метода приемлема априорная информация о размерах изображения объекта. Применение этих методов в условиях неизвестных размеров объекта при несовпадении размеров обнаруживаемого объекта с априорно заданными размерами дает значительное ухудшение помехоустойчивости.

Автором разработаны и исследованы алгоритмы обнаружения движущихся и неподвижных изображений объектов при передвижении автономного мобильного робота по неизвестной местности из точки с известными координатами среди объектов, имеющих размеры и текстуру, позволяющие обнаруживать на видеокдрах стереопары локальные особенности, пригодные для их сопоставления на снимках стереопары и слежения за ними. Получены результаты в разработке системы навигации автономного мобильного робота при наличии подвижной платформы с известной кинематической схемой и программно задаваемой ди-

намикой движения, на которой установлена стереоскопическая система цифровых видеокамер с известными параметрами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-08-0051а.

Литература

1. *Сойфер В.А.* Методы компьютерной обработки изображений. М.: Физматгиз, 2001. 784 с.
2. *Румянцев К.Е., Балабаев С.Л., Зибров В.А.* Бесконтактное измерение геометрических размеров изделий прокатно-металлургического производства. Шахты: Изд-во ЮР-ГУЭС, 2004. 156 с.
3. *Хисамутдинов М.В.* Фильтрация изображений с целью выделения эллипсов. Таганрог: Искусственный интеллект, 2008. 437 с.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА НА БАЗЕ МОДЕЛИ МНОГОГРАННИКА THE METHOD OF CONSTRUCTING A THREE-DIMENSIONAL MODEL OF THE OBJECT BASED ON THE MODEL OF THE POLYHEDRON

Лопатин М.Л.

Lopatin M.L.

Таганрогский технологический институт Южного федерального университета

Taganrog Technological Institute of Southern Federal University

E-mail: info@tutmee.ru

Разработка систем создания виртуальной реальности является сегодня одной из бурно развивающихся областей информации [1]. В числе наиболее важных здесь является задача формирования мнимой реальности, геометрия которой повторяет геометрию реальной трехмерной среды. Очень интересным подходом может быть реконструкция реальных объектов на основе серии обычных фотографий физических объектов и сред, сделанных с различных точек наблюдения.

Целью данной статьи является поиск оптимального пути для формирования трехмерной модели объекта на примере многогранника.

Пусть изначально строится нулевая критическая плоскость $\Delta 0$ и определяется грань G_0 многогранника. В качестве примера произвольно выбирается точка $a_1 = 4i + 5,5k$ и строится разностный кватерниорный сигнал $\Delta A = \{a_n\}_0, 7 = \{a_n - a_1\}_0, 7$.

Проверим эти плоскости на критичность, это действие позволит нам в дальнейшем определить глубину и углы наклона любой из плоскостей многогранника. Для этого определяем знаки косинусов углов, образуе-

мых разностными векторами $\Delta \alpha_n, n = 0, 1, \dots, 7$, с нормальными $r_{2,0^*}, r_{4,0^*}, r_{5,0^*}$.

Определим нормали $r_{0^*} = \overline{\text{хуп}}(\alpha_1 \alpha_0, \alpha_1 \alpha_2)$ и $r_{3^*} = \overline{\text{хуп}}(\alpha_1 \alpha_3, \alpha_1 \alpha_2)$ соответственно к плоскостям, натянутым на векторы $\alpha_1 \alpha_0$ и $\alpha_1 \alpha_2$ и на векторы $\alpha_1 \alpha_3$ и $\alpha_1 \alpha_2$.

Скалярное произведение этих нормалей равно $(r_{0^*}, r_{3^*}) = 1$. Решающее правило для этого случая принимает вид

$$\eta = (r_{1,2,3^*}, r_{0,1,2^*}) = 1.$$

Завершающий этап. Грань G_5 имеет контур D_5 из следующей упорядоченной последовательности точек: $\alpha_5, \alpha_6, \alpha_7$ и α_4 . В аналитическом представлении он имеет вид:

$$D_5 = \{d_5(n)\}_{0,3} = \{\alpha_6 - \alpha_5, \alpha_7 - \alpha_6, \alpha_4 - \alpha_7, \alpha_5 - \alpha_4\} =$$

Нормаль r_{5^*} и площадь SG_5 грани равны:

$$r_{5^*} = \text{хуп} \left(d_5 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, d_5 \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \right) = 0,963i - 1$$

$$SG_5 = 25,38.$$

Построение многогранника. На основании результатов, полученных на начальном и промежуточных этапах, можно построить полный граф выпуклого многогранника, вершинами которого служат точки пространственного группового точечного объекта (ПГТО):

$$\Xi = \{\xi(n)\}_{0,7},$$

С помощью ребер и граней он обеспечил жесткую связь между точками ПГТО, которая сохраняется при перемещениях, сдвигах, масштабировании и поворотах многогранника. В общем случае, когда в состав ПГТО входят еще и точки, не являющиеся такими вершинами, процесс упорядочения ПГТО принципиально не меняется. Вначале строится многогранник, вершинами которого служит часть ПГТО. Затем по оставшимся точкам строится новый многогранник и т.д.

Таким образом, в статье решена основная задача стереограмметрии, согласно которой каждой точке реконструируемого пространства ставится в соответствие значение функции, определяющей принадлежность точки реконструируемой поверхности. Предложен пороговый

критерий, позволяющий оценивать топологическое несовпадение истинной поверхности и её реконструкции. Предложенный алгоритм обеспечивает реконструкцию мелких фрагментов поверхности объекта.

Литература

1. PhotoModeler. Computer Graphics World, Cadence, CADalyst, 3D Artist and AutoCAD World. Jan./Feb.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРЕХМЕРНОГО ОБЪЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗБИЕНИЯ ПО ВЕКТОР-ГРАДИЕНТУ THE RECONSTRUCTION OF THREE-DIMENSIONAL OBJECT USING A PARTITION ON THE GRADIENT VECTOR

Лопатин М.Л.

Lopatin M.L.

Таганрогский технологический институт Южного федерального университета

Taganrog Technological Institute of Southern Federal University

E-mail: info@tutmee.ru

Широкий класс задач обработки изображений, формируемых современными информационными системами, связан с извлечением информации из изображений в виде компактно расположенного множества изолированных точечных отметок — групповых точечных объектов (ГТО). Большинство задач распознавания решается, основываясь на том, что пространственный ГТО (ПГТО) уже упорядочен, т.е. известна начальная точка прослеживания ПГТО, а также порядок следования отметок ПГТО. В условиях отсутствия этой информации корректно решить задачи определения класса объекта не представляется возможным. Таким образом, одной из важнейших задач в области обработки ПГТО является именно задача упорядочения его отметок по RGB-каналу и пространственным линиям. Операции локализации, распознавания и оценки параметров ГТО обычно завершают процесс обработки изображений, сформированных астродатчиками, тепловизорами, радио- и гидролокаторами. Успешное решение таких задач возможно при наличии адекватной аналитической модели ГТО, позволяющей представить изображение ГТО в виде сигнала и выработать набор мер схожести с другими ГТО, в том числе и с эталонными, а также осуществить структурный анализ изображения. Изображение ГТО более информативно по сравнению с изображением отдельного точечного объекта. Оно обладает формой, внутренней структурой и яркостным портретом. Некоторые

92

его точки могут представлять для пользователя особый интерес по сравнению с остальными точками. Каждому участку звездного неба соответствуют ГТО с оригинальной структурой, что дает возможность с высокой эффективностью осуществлять подобную идентификацию.

Целью работы является однозначное построение трехмерной модели объекта по вектору в пространственном групповом поле. Для последнего времени характерен постоянно возрастающий интерес к пространственно расположенным ГТО. Учет третьей координаты усиливает степень ортогональности зашумленных ГТО разных классов. В конечном счете это приводит к росту эффективности результатов обработки, но связано со значительным увеличением объема требуемых вычислений. Заметное упрощение обработки ПГТО может быть достигнуто при анализе только тех пикселей, которые содержат точечные отметки, т.е. перейти от трехмерной к одномерной задаче. В таком виде локализованный ПГТО задается пучком радиус-векторов или контуром – ломаной линией, проходящей через каждую из его точек.

Основой для получения аналитического описания ГТО, трактуемого далее в качестве сигнала, является успешно осуществленная процедура упорядочения отметок ГТО. Сигнал, который ставится в соответствие каждому из упорядоченных ГТО, получается далее в результате достаточно рутинной операции последовательного кодирования тем или иным из известных способов взаимного положения отметок объекта. При наличии сигналов, соответствующих полученному изображению зашумленного ГТО и изображениям эталонных ГТО, задачи распознавания и оценки параметров зашумленного ГТО решаются известными способами теории обработки сигналов путем формирования мер схожести и определения номера эталонного ГТО, для которого эта мера максимальна.

В отличие от двумерного случая для упорядочения расположенного в трехмерном пространстве множества точек можно использовать информацию не только о расстоянии между точками, но и новые геометрические структуры. В первую очередь это плоскости, задаваемые точками отдельных подмножеств, и геометрические тела, образуемые в результате пересечения плоскостей.

В условиях воздействия координатных шумов на ПГТО задача упорядочения значительно усложняется, это связано с тем, что происходит перепутывание отметок ПГТО и ряд методов предложенных выше, становятся непригодными для использования. В таких условиях задача

распознавания носит вероятностный характер и, как показано для принятия решения, следует использовать меру схожести между кватернионными сигналами, задающими ПГТО, в виде расстояния между ними.

Литература

1. *Мозеров М.Г.* Модель геометрической интерпретации задачи стереометрии и быстрые алгоритмы на базе этой модели // Труды XXVIII конференции молодых ученых ИП-ПИ РАН. М.: ИППИ РАН, 1993. С. 26–29.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ИТ-АУТСОРСИНГА SIMULATION MODELING OF THE ENTERPRISE IT OUTSOURCING

Маренин Д.В.

Marenin D.V.

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev

В статье представлены описание подхода для разработки имитационной модели предприятий аутсорсинга в целом и специфика предприятий аутсорсинга в сфере информационных технологий в частности.

Аутсорсинг – передача организацией на основании договора определенных бизнес-процессов или производственных функций на обслуживание другой компании, специализирующейся в соответствующей области. Чаще всего на практике встречаются примеры передачи таких функций, как ведение бухгалтерского учета, транспортные услуги, рекламные услуги, обеспечение безопасности и сопровождение в сфере информационных технологий.

Аутсорсинг в сфере информационных технологий активно развивается как во всем мире, так и в России, существует множество примеров успешных компаний, но при создании новой организации возникают определенные проблемы, связанные со спецификой направления деятельности (разработка программного обеспечения, системное администрирование, информационная безопасность и т. д.), которые в итоге ведут к снижению эффективности деятельности всей компании.

Конкретным примером является компания ООО «Премиум-К». Специфика компании ООО «Премиум-К» заключается в комплексном информационно-техническом сопровождении организаций. Клиенты

могут находиться на абонентском обслуживании, при этом к ним осуществляются профилактические выезды, либо оформляются экстренные заявки, которые должны быть обработаны в течение одного рабочего дня.

ООО «Премиум-К» предоставляет клиентам следующие услуги:

- поставка и монтаж оборудования;
- продажа и сопровождение программного обеспечения;
- монтаж и настройка локальных вычислительных сетей;
- системное администрирование;
- обслуживание оргтехники.

Широкий спектр услуг подразумевает наличие специалистов разных профилей, таких как менеджеры по работе с клиентами, системные администраторы, монтажники, программисты и сервисные инженеры, которые будут работать по соответствующим направлениям.

На данный момент основной проблемой в функционировании компании является неоднородная занятость сотрудников в течение рабочего времени, ведущая к простоям или перегрузке персонала, необходимости привлечения специалистов широкого профиля, что приводит к снижению эффективности деятельности организации в целом.

В результате анализа деятельности предприятия [1] было принято решение разработать имитационную модель. В основу имитационной модели положены принципы теории массового обслуживания. Входящий поток заявок от клиентов имеет неоднородный характер, поэтому необходимо разделить его на несколько каналов соответственно направлениям деятельности организации [2, 3].

Потоки носят нестационарный характер, что приводит к перегрузке или простоя системы и уменьшению ее пропускной способности. На основе уже накопленной базы заявок можно построить соответствующие законы распределения и осуществить моделирование деятельности организации. Проведя вычислительные эксперименты, возможно будет выявить наиболее загруженные временные отрезки в течение рабочего дня или рабочей недели и выстроить наиболее эффективный график работы сотрудников.

Литература

1. Мыльник В.В., Титаренко Б.П., Волощико В.А. Исследование систем управления. М.: Академический Проект, 2003.
2. Емельянов А.А., Власова Е.А. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2002.
3. Власов М.П., Шимко П.Д. Моделирование экономических процессов. Ростов н/Д: Феникс, 2005.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКИ ОБРАЗЦОВ
ИЗ ЛЕГКИХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СПЛАВОВ
ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ
MODELING OF THE DEEP EXTRACTION SAMPLE FROM LIGHT
KONSTRUKCIONNYH ALLOY UNDER DYNAMIC TEST**

**Некрасова В.С.
Nekrasova V.S.**

Санкт-Петербургский государственный университет

В работе проанализированы экспериментальные данные с целью выявления особенностей пластического деформирования материалов. Предложена физико-математическая модель, предназначенная для имитационного компьютерного моделирования динамических испытаний образцов из легких конструкционных сплавов на глубокую динамическую вытяжку при различных скоростях индентора.

Общепринятый метод определения пластичности при динамических нагружениях листовых металлов и сплавов включает в себя двухосное растяжение жестко закрепленного образца для испытаний, производимое путем моделирования глубокой вытяжки. По условиям испытания требуется, чтобы индентор в форме шарика из соответствующей спецификациям стали вдавливался и полностью пробивал жестко зафиксированный образец листового материала. При данном виде нагружения материал образца испытывает большие пластические деформации. Поэтому сложность моделирования данных процессов состоит в правильном подборе определяющих уравнений и их параметров.

В работе методами численного компьютерного моделирования проводили исследования глубокой динамической вытяжки в образцах, изготовленных из легких конструкционных сплавов АМг6 и Ма-2. В общем виде, применительно к условиям поставленной задачи, решение системы аналитическими методами и получение картины НДС в образцах не представляется возможным. Решение задачи в данной постановке возможно только численными методами.

Задача о моделировании глубокой динамической вытяжки при динамических испытаниях подразумевает численное решение с помощью конечно-разностных методов. Расчетная область, подготовленная средствами программного комплекса ANSYS Workbench 11, представлена на рис. 1. Вычислительный эксперимент проведен в специализированной для решения динамических задач программе AUTODYN. Образец в форме круглой пластины опирается на подвижную опору в виде кольца, индентор закреплен неподвижно. Опора с постоянной скоростью дви-

жется вдоль оси деформирования, тем самым перемещая образец в сторону взаимодействия с индентором. Взаимодействие индентора с образцом происходит до достижения нагрузок, соответствующих предельно допустимым деформациям материала образца.

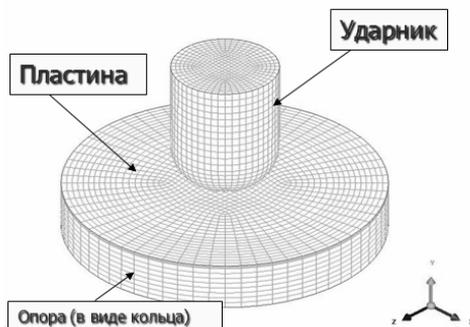


Рис. 1. Расчетная сеточная модель

Для описания механического поведения образцов из исследуемых сплавов предложено использовать вариант модели механического поведения, учитывающий упругопластическое поведение и упрочнение материала – модель Джонсона–Кука:

$$\sigma = \left[A + B\varepsilon_p^n \right] \left[1 + C \log \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0} \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right)^m \right],$$

где A, B, C, n, m – константы материала; T_{room} – комнатная температура (293 К); T_{melt} – температура плавления материала; ε_p – интенсивность пластической деформации.

Величины предельно допустимых деформаций принимались равными предельным деформациям при растяжении тех же материалов на одноосное растяжение и определялись из экспериментальных данных. В процессе деформации образцов предполагается, что их материал упрочняется, т.е. повышается предел текучести, поэтому критерием прочности выбран следующий критерий:

$$\sigma_{mis} \leq \sigma_s,$$

где σ_s – предел кратковременной прочности; а σ_{mis} – интенсивность напряжений.

Плотность элементов расчетной модели подбиралась из условий сходимости численных результатов. При этом расчетная сетка в инденторе и опоре должна иметь сгущение в области их непосредственного контакта с образцом. В расчете для всех частей использовался автоконтакт по типу поверхность – поверхность.

В итоге получены расчетные зависимости усилий и напряжений в исследуемых сплавах при скоростях нагружения 5, 7.5, 10, 15, 20 м/с.

Из сравнения полученных зависимостей при всех скоростях нагружения видно качественное и количественное согласие экспериментальных и расчетных данных на участке предразрушения, что говорит о правильном выборе определяющего уравнения и плотности расчетной сетки. Представленная вычисленная модель не имеет модели разрушения, поэтому сравнение численных и экспериментальных данных проводится только до предельно допустимых нагрузок исходя из выбранного критерия прочности.

Разработан алгоритм и опробована методика расчета ударного взаимодействия деформируемых твердых на примере экспериментов на глубокую динамическую вытяжку с использованием программного комплекса ANSYS Workbench 11. Показана принципиальная возможность моделирования процессов динамического нагружения, связанных с ударным характером приложения нагрузки.

Проведен ряд вычислительных экспериментов на глубокую динамическую вытяжку при скоростях нагружения 5, 7.5, 10, 20 м/с. Проведен анализ механического поведения конструкционных алюминиевых сплавов на примере АМгб при высокоскоростной деформации с учетом пластического течения материала и деформационного упрочнения. Определены величины максимальных усилий, возникающих в процессе деформирования образца.

На основе анализа достоверности полученных численно данных выявлено, что результаты, вычисленные с использованием модели Джонсона–Кука, близки к экспериментальным данным, но не полно отражают реальную картину деформации и разрушения образцов. В связи с этим существует необходимость более детальной разработки модели поведения материала, точнее согласующейся с экспериментальными данными, а именно дополнительного введения в расчетную модель критерия разрушения и выбора модели появления и роста трещин.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК П666 от 19.05.2010 г., ГК П506 от 13.05.2010 г.).

О ПРОЦЕССАХ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСЕЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

ABOUT POLLUTIONS DISPERSION IN AN URBAN CONDITIONS

Нутерман Р.Б., Старченко А.В., Данилкин Е.А.
Nuterman R.B., Starchenko A.V., Danilkin E.A.

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

²Датский метеорологический институт

¹National Research Tomsk State University

²Danish Meteorological Institute

E-mail: starch@math.tsu.ru, ugin@math.tsu.ru, nutrik@gmail.com

В работе представлена нестационарная трехмерная вихререзшающая модель [1] для исследования турбулентных отрывных течений и переноса пассивной газообразной примеси в уличном каньоне. Вихререзшающее моделирование, или метод крупных вихрей, рассматривается как альтернатива использованию эмпирических моделей турбулентности. Важной отличительной особенностью вихререзшающего моделирования турбулентности является способность напрямую предсказывать нестационарный характер турбулентного течения. Так, в случае вихререзшающего моделирования на каждом шаге по времени в качестве решения получают мгновенные параметры потока (скорость, давление, концентрация). При этом крупные энергосодержащие вихри разрешаются явно путём численного моделирования, а мелкомасштабная турбулентность параметризуется, т.е. определяется характеристиками крупномасштабных движений. Однако это накладывает достаточно жесткие требования к быстродействию ЭВМ и вызывает необходимость применения современной высокопроизводительной вычислительной техники.

Детальное изучение характеристик потока и механизма распространения примеси в масштабе индивидуального уличного каньона – это важная и сложная задача. Исследования такого рода важны для понимания микроклимата городов и полезны в планировании новых зданий и целых кварталов. Существующие эмпирические модели испытывают определенные трудности при моделировании городской застройки, так как потоки в уличных каньонах характеризуются наличием отрывных зон и участков рециркуляции.

При реализации вихререзшающего моделирования турбулентности особое внимание необходимо уделять схемам аппроксимации конвективных и нестационарных слагаемых, используемым при получении дискретного аналога уравнений переноса для компонент скоро-

сти. Аппроксимация конвективных членов уравнения переноса выполняется с использованием противопотоковой схемы MLU Ван Лира. Аппроксимация диффузионных членов осуществляется с использованием центрально-разностной схемы второго порядка. Для решения уравнений переноса применяется явная схема по времени (Адамса–Бэшфорда). Результатом дискретизации является явная разностная схема второго порядка аппроксимации по времени и пространству, которая характеризуется как условно устойчивая.

Для согласования полей скорости и давления используется схема предиктор-корректор, в соответствии с ней явная схема Адамса–Бэшфорда для уравнений движения выполняет функцию предиктора, а коррекция поля скорости, удовлетворяющего уравнению неразрывности на новом временном слое, выполняется на основе решения разностного уравнения для давления. Чтобы решить систему линейных алгебраических уравнений для отыскания давления, используется метод сопряженных градиентов (CG) с применением преобуславливания методом верхней релаксации с красно-черным упорядочиванием.

Разработанная математическая модель проверена на следующих модельных задачах: течение над шероховатой пластиной и обтекание цилиндра квадратного сечения. После верификации разработанная математическая модель применена для исследования турбулентного течения в трехмерном уличном каньоне. Исследовано влияние соотношения ширины и высоты уличного каньона, расположения источника примеси и скорости потока воздуха на структуру течения и распространение концентрации примеси. Выявлено существование трех режимов циркуляции воздуха внутри каньона в зависимости от его геометрических параметров.

Как уже было отмечено, вихререзающее моделирование предъявляет достаточно жесткие требования к быстродействию компьютера, поэтому в работе сделан упор на эффективное использование многопроцессорной вычислительной техники с распределенной памятью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 12-05-31341 и 12-01-00433-а.

Литература

1. Данилкин Е.А., Старченко А.В. Параллельная реализация численного метода решения системы уравнений Навье–Стокса при моделировании крупных вихрей турбулентных течений // Вестник Новосибирского государственного университета. 2009. Т. 7, № 2. С. 49–61.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ
СТРУЖКИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ОРТОГОНАЛЬНОМ
РЕЗАНИИ
NUMERICAL SIMULATION OF CHIPS FORMATION AT HIGH
SPEED ORTHOGONAL CUTTING**

**Олимпиева Н.В.¹, Бодров А.С.¹, Зелепугин С.А.^{1,2}
Olimpieva N.V.¹, Bodrov A.S.¹, Zelepugin S.A.^{1,2}**

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет,

²Отдел структурной макрокинетики, Томский научный центр СО РАН¹

National Research Tomsk State University

²Department for Structural Macrokinetics,

Tomsk Research Center SB RAS E-mail: nadin_04@mail.ru

Процессы резания металлов относятся к процессам интенсивного пластического деформирования. Они сопровождаются трением стружки о переднюю поверхность резца и трением боковой поверхности инструмента о поверхность резания, происходящих в условиях высоких давлений и скоростей скольжения [1]. Работа пластического деформирования, так же как сил трения резец – стружка, в основном превращается в тепло, которое оказывает большое влияние на прочностные характеристики материала, на закономерности деформирования срезаемого слоя, на силы резания, износ и стойкость режущего инструмента.

Образующаяся при резании стружка, являясь отходом производства, несет основную информацию о закономерностях физических явлений, происходящих при резании, и их связи с условиями процесса резания, характеризуемыми свойствами обрабатываемого материала, геометрией инструмента, режимами резания и другими параметрами. Свойства материала и условия его обработки определяющим образом влияют на процесс формирования стружки при резании металла. Повышенные температуры, возникающие в процессе формирования стружки, при трении резец – стружка влияют на изношенность инструмента. Кроме того, качество получающейся поверхности непосредственно связано с видом стружки, формирующейся в течение процесса.

В научной литературе недостаточно представлены теоретические и экспериментальные исследования процессов сверхскоростного резания металлов. Имеются отдельные примеры экспериментально-теоретических исследований влияния температуры на прочностные характеристики материала в процессе высокоскоростного резания [2]. В теоретическом плане проблема резания металлов получила наибольшее развитие в создании ряда аналитических моделей ортогонального резания [3]. Однако сложность проблемы и потребность в более полном уче-

учете свойств материалов, тепловых и инерционных эффектов привели к необходимости использования численных методов, из которых применительно к рассматриваемой проблеме наибольшее распространение получил метод конечных элементов.

В данной работе процессы высокоскоростного резания металлов исследуются численно методом конечных элементов в двумерной плоскодеформационной постановке в рамках упругопластической модели среды в диапазоне скоростей резания 1–200 м/с при различных углах наклона боковой и передней граней инструмента и варьировании глубины резания. Численное моделирование накопления повреждений в материале осуществляется на основе кинетической модели разрушения. Моделирование процесса отделения стружки от заготовки осуществлялось с использованием критерия разрушения расчетных элементов заготовки, при этом применялся подход, аналогичный имитационному моделированию разрушения материала эрозийного типа. В качестве критерия разрушения – критерия отделения стружки – брали предельное значение удельной энергии сдвиговых деформаций [4].

Показана зависимость формы образующейся в процессе резания стружки от величины переднего угла резца, скорости резания и глубины резания. С увеличением толщины стружки от 0.26 до 1.5 мм, так же как и с уменьшением скорости резания от 200 до 1 м/с, наблюдается уменьшение радиуса закручивания стружки. Выявлено, что величина переднего угла резца влияет на форму стружки и размер площади контакта резца со стружкой. С ростом величины переднего угла наблюдается уменьшение радиуса закручивания стружки и сокращение площади контакта стружки с рабочей частью инструмента. Величина бокового угла резца не оказывает влияния на форму стружки, на значения удельной энергии сдвиговых деформаций и удельного объема микроповреждений в ней.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 10-08-00516 а.

Литература

1. *Кожевников Д.В., Кирсанов С.В.* Резание материалов. М.: Машиностроение, 2007. 304 с.
2. *Sutter G., Ranc N.* Temperature fields in a chip during high-speed orthogonal cutting. An experimental investigation // *Int. J. Machine Tools & Manufacture*. 2007. № 47. P. 1507–1517.
3. *Migueluez H., Zaera R., Rusinek A. et al.* Numerical modelling of orthogonal cutting: Influence of cutting conditions and separation criterion // *J. Phys.* 2006. Vol. IV, № 134. P. 417–422.

4. Зелепугин С.А., Шипачев А.Н. Моделирование методом конечных элементов процессов сверхскоростного ортогонального резания металлов // Изв. вузов. Физика. 2009. Т. 52, № 7/2. С. 109–114.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ В СИСТЕМЕ TI-CU В УСЛОВИЯХ РЕГУЛИРУЕМОГО НАГРЕВА SIMULATION OF THE SINTERING PROCESS IN THE TI-CU SYSTEM UNDER CONTROLLED HEATING

Онопrienко О.О., Сорокова С.Н.

Onoprienko O.O., Sorokova S.N.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

National Research Tomsk Polytechnic University

E-mail: Olya_ozon@mail.ru

Перспективным применением спеченных порошковых сплавов титан–медь является использование их в качестве мишеней (катодов) в технологиях нанесения ионно-плазменных покрытий. Однако для целенаправленного выбора технологических режимов спекания необходимо теоретическое и экспериментальное исследование закономерностей формирования структуры, фазового состава и физико-механических свойств материала при спекании. Моделирование процесса даже в простейшем приближении позволяет понять многие закономерности на качественном уровне.

С целью исследования объемных изменений при синтезе катодов предложена и изучена математическая модель технологического процесса спекания, учитывающая кинетические и тепловые явления. В соответствии с диаграммой состояния системы Ti-Cu [1] в области атомных концентраций, интересных с практической точки зрения, записываем систему химических реакций. На основе закона действующих масс записываем систему кинетических уравнений, учитывая, что химические реакции тормозятся слоем продукта. В макрокинетике для реакций этого типа (гетерогенных реакций) вводятся специальные параметры торможения [2].

Все константы вычисляются на основе термодинамических свойств, известных из литературы или из эксперимента [3-6]. Для расчета тепловой части задачи использовали метод Рунге–Кутты–Мерсона. Для вычисления кинетических функций и объемных деформаций применяли неявный метод Эйлера. Достоверность результатов подтверждена сравнением с известными аналитическими решениями для частных предельных случаев. Результатом численного исследования являются фазовый и элементный состав спеченного образца; зависимости concentra-

ций элементов и фаз от времени при различных параметрах модели, отвечающих за технологические условия.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ, грант 11-08-98027-р_сибирь_a

Литература

1. *Диаграммы состояний двойных металлических систем*: Справочное издание. М.: Машиностроение, 1977, Т. 2. 1024 с.
2. *Мержанов А.Г.* Теория безгазового горения: Препринт. Черноголовка, 1973.
3. *Коростелева Е.Н., Прибытков Г.А., Гурских А.В.* Исследование структуры и свойств спеченных материалов титан-медь // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7. Спец-выпуск, ч. 2. С. 75–77.
4. *Коростелева Е.Н., Прибытков Г.А., Гурских А.В., Коржова В.В.* Структурообразование при спекании порошковых смесей титан-медь // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. №4. С. 16–20.
5. Термодинамические свойства неорганических веществ: Справочник/ У.Д. Верятин, В.П. Маширев и др.; под ред. А.П. Зефирова. М.: Атомиздат, 1965. 460 с.
6. *Карпетьянц М.Х.* Химическая термодинамика: Учеб. пособие. М.: Химия, 1975.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОЙ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА MATHEMATICAL MODELING OF THE PRELIMINARY DEGASSING OF COAL SEAMS

Пичугин В.А.

Pichugin V.A.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: Vladimir.Pichugin@uku.com.ru

Угольные пласты содержат адсорбированный метан. При добыче угля шахтным методом разгруженный уголь выделяет метан, смесь которого с воздухом является взрывоопасной. Поэтому используются методы предварительной дегазации угольных пластов перед их отработкой [1]. Предварительная дегазация проводится двумя способами: путем бурения скважин с поверхности земли и из подготовительных выработок с последующей обвязкой их трубопроводной сетью с выходом её на поверхность земли и обустройством откачивающими средствами. Как показывает анализ опыта проведения предварительной дегазации [2], она является дорогостоящим, однако необходимым этапом в процессе добычи угля из пластов глубокого залегания. Предварительная дегазация позволяет уменьшить газоносность пласта к этапу его разработки на 30–50 %. Для выбора параметров сети дегазационных скважин существуют инженерные методики [1], однако они не всегда удовлетворяют потребностям практики, так как проектирование дегазации по их реко-

104

мендациям недостаточно точно учитывает особенности конкретной шахты. Поэтому актуальным является математическое моделирование метановыделения и его фильтрации в окрестности дегазационной скважины с целью определения объема остаточного метана с учетом свойств угля конкретного дегазируемого пласта.

Для расчета процессов фильтрации метана с учетом десорбции метана из угля и его истечения используется уравнение фильтрации [3] в квазидвухмерном приближении. Уравнение решается численно методом продольно-поперечной прогонки. Для расчета был выбран пласт угля длиной 800 метров, шириной 400 метров, толщиной 8 метров, в котором пробурены скважины. Расчет проводился для периода дегазации 6 лет. В расчетах задавались различные значения коэффициента газопроницаемости. Получена динамика изменения метаносодержания в угольном пласте и изменение дебита скважин во времени при различных значениях коэффициента проницаемости угольного пласта.

Таким образом, путем численного моделирования фильтрации метана в пласте угля с дегазационными скважинами возможно проводить расчет дебита скважин и определять объем остаточного метана в угольном массиве.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-08-00370-а.

Литература

1. Рубан А.Д., Забурляев В.С., Артемьев В.Б. и др. Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт (РД-15-09-2006). Серия 05. М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2007. Вып. 14. 256 с.
2. Баскаков В.П., Сальвассер И.А., Коржов В.М., Курмашов В.П. Дегазация пластов выемочного участка ООО «Шахта «Красногорская» // Безопасность труда в промышленности. 2008. С. 36–39.
3. Пучков Л.А., Сластунов С.В., Коликов К.С. Извлечение метана из угольных пластов. М.: Изд-во МГУ, 2002. 383 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ С ТОНКОЙ СТЕНКОЙ NUMERICAL SIMULATION OF UNSTEADY HEAT TRANSFER IN A CYLINDRICAL TANK WITH A THIN WALL

Попп М.Ю.

Popp M.Yu.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: popp.marina @yandex.ru

При транспортировке взрывоопасного вещества нужно соблюдать все правила техники безопасности. Необходимо учитывать возможности

аварийных случаев, а также влияние природных факторов. Поэтому для предотвращения аварий очень важно знать распределение температур с течением времени в контейнере, транспортирующем взрывоопасное вещество.

В данной работе рассматривается нестационарный процесс передачи теплоты в цилиндрическом теле с однослойной стенкой. Дан контейнер, имеющий форму цилиндрического тела, внутри которого находится вещество или порошок. Внутренний диаметр контейнера r_0 , внешний диаметр r_1 . Коэффициент теплопроводности вещества внутри контейнера λ_0 , теплоемкость c_0 и плотность вещества ρ_0 при начальной температуре. Имеется защитная стенка толщиной $r_1 - r_0$. Ее коэффициент теплопроводности λ_s , теплоемкость c_s , плотность вещества ρ_s . Основной задачей является определение зависимости температурного поля от времени.

Для получения требуемой зависимости необходимо воспользоваться дифференциальным уравнением теплопроводности в цилиндрической системе координат для двумерного нестационарного температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты:

$$\tilde{n}_1 \rho_1 \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \lambda_1 \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + \lambda_1 \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2},$$

где c – теплоемкость вещества; ρ – плотность вещества; λ – коэффициент теплопроводности.

На границах контейнера поддерживается постоянная температура. Температура в аварийных ситуациях является очень высокой, а толщина стенки мала по сравнению с размерами контейнера. Таким образом, уравнение теплопроводности для стенки, параллельной оси r и z , можно записать, пренебрегая теплопередачей вдоль оси r и z соответственно.

Решение системы, состоящей из трёх дифференциальных уравнений, уравнения равенства тепловых потоков и начальных условий, позволяет определить температурное поле во всем объеме тела для любого момента времени или найти функцию $T=f(x, y, t)$. Для решения дифференциального уравнения теплопроводности воспользуемся методом переменных направлений [1]. Неявный метод применяется попеременно, то в одном направлении, то в другом. Это позволяет использовать для решения соответствующей системы алгебраических уравнений эффективный метод прогонки.

Все вычисления по полученным формулам были осуществлены в программе, написанной на языке программирования Fortran. Графиче-

ская иллюстрация полученного решения представлена в программе Surfer. Результатами расчетов являются графики распределения температур в контейнере в разные моменты времени с одинаковыми и разными коэффициентами теплопроводности внутри контейнера и стенки. Анализируя данные графики, можно сделать следующие выводы: 1) нагрев будет идти от стенок, так как на стенках контейнера задана температура выше, чем внутри; 2) с течением времени температура контейнера будет увеличиваться. В конце концов, тело полностью прогреется до постоянной температуры; 3) быстрота прогрева контейнера зависит от материала, из которого изготовлена защитная стенка, или от плотности вещества внутри контейнера; 4) с помощью полученного распределения температур можно подсчитать время, за которое содержимое контейнера прогреется до экстремальной температуры, что может уменьшить вероятность возникновения аварийной ситуации.

Литература

1. Патанкар С., Петухов Б.С. Численные методы решения задач теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1984. 124 с.

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА С ПРИМЕСЬЮ ПОРОШКА АЛЮМИНИЯ CALCULATION OF THE SPEED OF COMBUSTION OF HIGH-ENERGY SUBSTANCES MIXED WITH ALUMINUM POWDER

Порязов В.А., Крайнов Д.А., Горбенко Т.И.
Poryazov V.A., Kraynov D.A., Gorbenko T.I.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: poryazov@mail.ru

Для увеличения теплового эффекта при сгорании высокоэнергетических веществ (смесевых твердых ракетных топлив, порохов) в их состав добавляют порошок алюминия. При горении вещества частицы алюминия выходят на поверхность горения и сносятся потоком газообразных продуктов сгорания. В газовой фазе идет экзотермическая химическая реакция, температура ее повышается. Частицы алюминия нагреваются и начинают реагировать с окислителем газовой фазы. Их температура повышается, и они начинают нагревать газовую фазу. Ввиду высокой калорийности реакции окисления алюминия температура

продуктов сгорания повышается по сравнению с температурой сгорания вещества без примеси порошка алюминия.

Линейная скорость горения высокоэнергетического конденсированного вещества является одной из основных его характеристик и зависит от давления, начальной его температуры и других параметров. Присутствие порошка алюминия в составе высокоэнергетического конденсированного вещества влияет на линейную скорость его горения [1–2]. Поэтому необходимо знать, как зависит линейная скорость горения от массовой концентрации и размеров частиц алюминия в составе высокоэнергетической композиции.

Для решения этой задачи в [3–4] разработана математическая модель горения пороха Н с добавлением порошка алюминия. Горение частиц алюминия моделировалось согласно результатам, изложенным в [5]. На основе модели [3–4] были проведены параметрические исследования зависимости линейной скорости горения от массовой концентрации и размеров частиц алюминия в составе высокоэнергетической композиции в широком диапазоне величины давления над поверхностью горения.

Расчетами установлено, что линейная скорость горения высокоэнергетического вещества с примесью 9% массы порошка алюминия с размером частиц от 60 до 400 мкм меньше скорости его горения без примесей на 5–10%. При добавлении порошка алюминия с меньшими размерами частиц линейная скорость горения увеличивается. При диаметре частиц 50 мкм скорость горения сравнивается со скоростью горения вещества без примеси алюминия. При дальнейшем уменьшении размера частиц линейная скорость горения увеличивается. Это объясняется тем, что мелкие частицы быстрее прогреваются и начинают гореть на малом расстоянии от поверхности горения, как следствие, температура газа в этой зоне становится выше, чем при горении без частиц алюминия. Увеличенная температура газа вблизи поверхности горения повышает температуру поверхности горения, что приводит к росту линейной скорости.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Кадры» на 2009–2013 гг. при финансовой поддержке Минобрнауки России (Государственное соглашение № 14.В37.21.1828) и при поддержке гранта РФФИ № 12-08-90801-мол_рф_при.

Литература

1. Мальцев В.М., Мальцев М.И., Кашипов Л.Я. Основные характеристики горения.. М.: Химия, 1977. 320 с.
2. Похил П.Ф., Беляев А.Ф., Фролов Ю.В. и др. Горение порошкообразных металлов в активных средах. М.: Наука, 1972. 294 с.

3. *Иваницкий М.Ю., Крайнов А.Ю.* Расчет скорости горения твердого ракетного топлива // Физика и химия высокоэнергетических систем: Сборник материалов V Всероссийской конференции молодых ученых. Томск: ТМЛ-Пресс, 2009. С. 306–308.

4. *Иваницкий М.Ю., Крайнов А.Ю.* Расчет скорости горения пороха Н с примесью порошка алюминия // Труды Томского государственного университета. Т. 276. Сер. физико-математическая: Молодежная научная конференция ТГУ 2010 г. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010. С. 120–124.

5. *Беляев А.Ф., Фролов Ю.В., Коротков А.И.* О горении и воспламенении частиц мелкодисперсного алюминия // Физика горения и взрыва. 1968. Т. 4, № 3. С. 323–329.

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**
**INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING THE RESULTS
OF RESEARCH**

**Раевская Е.А.
Raevskaya E.A.**

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev
E-mail: helenara@mail.ru

Одной из неотъемлемых задач, с решением которой сталкивается любое современное предприятие, является сбор информации об итогах своей деятельности для последующего анализа достигнутых результатов, а также предоставления отчетов в различные инстанции. Для того чтобы качественно и своевременно принимать какие-либо решения, оперативно получать информацию по справочным вопросам, необходим источник сбора, хранения и обработки данных. Таким источником зачастую выступает система мониторинга. Подобные системы довольно широко используются в прикладных областях для решения насущных проблем предприятий, так как позволяют формировать базу данных и использовать данные, которые в ней хранятся, для обеспечения функционирования определенной системы.

Актуальность создания подобной системы мониторинга научно-исследовательской деятельности КузГТУ связана с тем, что существует реальная необходимость в разработке, которая бы консолидировала отчетную информацию, подаваемую кафедрами вуза, автоматически обрабатывала полученные данные, сохраняла для последующего использования, производила составление различного рода отчетности, а также предоставляла возможность делать всевозможные выборки в зависимости от требования пользователя системы.

В настоящее время все вышеперечисленные процессы не автоматизированы, поэтому данные виды работ производятся вручную, таким образом снижая эффективность использования трудовых ресурсов отдела.

Создание системы мониторинга направлено на достижение следующих целей:

1. Ежегодный централизованный автоматизированный сбор отчетности по результатам научной деятельности подразделений вуза.

2. Сокращение времени, требуемого на ручную обработку полученной информации, путем составления единого документа.

3. Автоматизированное создание нескольких видов отчетности.

4. Путем автоматизированного составления отчетности упрощение получения «визуализированных» данных (графики, диаграммы, схемы и т.д.).

5. Получение консолидированного источника сведений о научной деятельности вуза, с помощью которого в любой момент времени существует возможность получить справку по необходимой информации.

6. Повышение эффективности составления итоговой отчетности по науке вуза и уменьшение временных затрат на ее составление.

Функционал разработанной системы позволяет создавать 4 вида отчетности: сводки по кафедрам, университету, факультетам, по университету в виде министерской формы.

Например, отчет «Сводка по кафедрам» позволяет получать информацию по каждой кафедре, при этом видеть показатели результативности в сравнении с другими подразделениями вуза. Кроме того, значительно облегчает задачу выборки значений по различным показателям для создания визуализации данных в виде различного рода диаграмм, графиков и т.д. для более детального анализа сотрудниками вуза.

Одной из особенностей системы является возможность глобального персонализированного поиска по студентам и преподавателям вуза.

Таким образом, можно получить информацию по абсолютно всем «заслугам» человека по тем или иным аспектам, будь то статьи, публикации, монографии, сборники, награды, защищенные диссертации, а также участие в выставках, конференциях и т.д. Такая возможность является особенно актуальной при необходимости срочного сбора информации о ком-либо, например, для подачи документов на награждение или участие в конкурсе.

ГОЛОМОРФ СВОБОДНОЙ АБЕЛЕВОЙ ГРУППЫ HOLOMORPH OF A FREE ABELIAN GROUP

Разина А.В.

Razina A.V.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: anastacie.razina@mail.ru

Современные отрасли научного знания, такие как релятивистская механика, кристаллография, используют аппарат теории групп.

При исследовании свойств группы G и ее группы автоморфизмов $AutG$ удобно рассматривать такую алгебраическую систему, в которую изоморфно вкладывались бы как сама группа G , так и группа ее автоморфизмов $AutG$. Одной из таких систем является голоморф группы G – полупрямое расширение группы G с помощью группы ее автоморфизмов $AutG$. Структурные свойства голоморфа, поведение групп G и $AutG$ в голоморфе дают информацию о свойствах группы и ее группы автоморфизмов

Пусть G – абелева группа. Голоморфом абелевой группы G называется множество: $\Gamma(G) = \{(a, \sigma); a \in G, \sigma \in Aut(G)\}$. Непосредственно проверяется, что $\Gamma(G)$ является группой относительно операции сложения, введенной по следующему правилу:

$$(a_1, \sigma_1) + (a_2, \sigma_2) = (a_1 + \sigma_1 a_2, \sigma_1 \sigma_2).$$

Элемент $(0, \varepsilon)$, где 0 – нейтральный элемент группы G ; ε – тождественный автоморфизм, является нейтральным элементом группы $\Gamma(G)$, а для всякого элемента (a, σ) противоположным является $-(a, \sigma) = (-\sigma^{-1}a, \sigma^{-1})$.

Рассмотрим G - и G' -свободные абелевы группы, т.е. они представимы в виде:

$$G = \bigoplus_{i \in I} \langle a_i \rangle, \quad G' = \bigoplus_{j \in J} \langle b_j \rangle,$$

где $\langle a_i \rangle (i \in I)$, $\langle b_j \rangle (j \in J)$ – бесконечные циклические группы.

Рассмотрим множество $M = \{(0, \sigma); 0 \in G, \sigma \in \text{Aut}(G)\}$. M является подгруппой группы $\Gamma(G)$, причем $\langle M, + \rangle \cong \langle \text{Aut}G, \cdot \rangle$. Множество $A = \{(g, \varepsilon); g \in G, \varepsilon \in \text{Aut}(G)\}$ относительно операции сложения также является подгруппой группы $\Gamma(G)$, изоморфной группе $\langle G, + \rangle$. Согласно изложенным фактам элементы $(0, \sigma), (g, \varepsilon) \in \Gamma(G)$ будем обозначать σ и g соответственно.

Используя рассмотренные соотношения и некоторые факты из теории абелевых групп, можно доказать следующую теорему.

Теорема. Пусть G и G' – свободные абелевы группы, каждая из которых изоморфна нормальной подгруппе голоморфа другой группы. Тогда G и G' изоморфны.

Из представленной теоремы можно вывести важное следствие.

Следствие. Если G и G' – свободные абелевы группы с изоморфными голоморфами, то G и G' изоморфны.

Группы с изоморфными голоморфами называются голоморфно изоморфными. Такие группы рассматриваются в работах выдающихся математиков, например И.Х. Беккером (см. [1]), и исследуются до сих пор.

Теория групп широко применяется при изучении симметрии физической системы, процессов химии.

Литература

1. Беккер И.Х. О голоморфах абелевых групп без кручения // Изв. вузов. Математика. 1974. № 3. С. 3–13.
2. Фукс Л. Бесконечные абелевы группы. 1977. Т. 2.
3. Mills W.H. Multiple holomorphs of finitely generated abelian groups // Trans. Amer. Math. Soc. 1950. Vol. 71, N 3. P. 379–392.
4. Mills W.H. On the non-isomorphism of certain holomorphs // Trans. Amer. Math. Soc. 1953. Vol. 74. P. 428–443.
5. Miller G.A. On the multiple holomorphs of a group // Math. Ann. 1908. Vol. 66. P. 133–142.

**О K -ВПОЛНЕ ТРАНЗИТИВНОСТИ ЖЕСТКИХ ВПОЛНЕ
РАЗЛОЖИМЫХ АБЕЛЕВЫХ ГРУПП БЕЗ КРУЧЕНИЯ
ON K -FULLY TRANSITIVITY RIGID COMPLETELY
DECOMPOSABLE TORSION FREE ABELIAN GROUPS**

Рогозинский М.И.

Rogozinsky M.I.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

E-mail: rogozinsky_mikhail@mail.ru

В настоящей работе рассматривается обобщение понятия вполне транзитивности для групп без кручения.

Определение. Пусть G – группа без кручения и $k \in \mathbb{N}$. Группу G назовем k -*вполне транзитивной*, если для любых двух кортежей длины k $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_k)$ элементов группы G из выполнения условий

$$(1) \chi(x_i) \leq \chi(y_i), i = \overline{1, k};$$

$$(2) \text{ типы } t(x_i) \dot{\neq} t(x_j) \text{ несравнимы при } i \neq j$$

следует существование эндоморфизма $\theta \in E(G)$ группы G со свойством $\theta(x_i) = y_i, i = \overline{1, k}$.

Кортеж X , удовлетворяющий условию (2) определения, назовем t -*независимым*. Наибольшую длину t -независимого кортежа группы G будем называть t -*длиной* и обозначать $k_t(G)$. В случае если в группе G для любого $k \in \mathbb{N}$ существует t -независимый кортеж длины k , будем считать, что $k_t(G) = \infty$.

Укажем некоторые свойства t -длин прямых сумм групп без кручения.

Пусть $G = A \oplus B$. Тогда

1. $k_t(G) \geq k_t(A)$.
2. Если для любых элементов $a \in A, b \in B$ типы $t(a) \dot{\neq} t(b)$ несравнимы, то $k_t(G) \geq k_t(A) + k_t(B)$.
3. Если для любых элементов $a \in A, b \in B$ типы $t(a) \dot{\neq} t(b)$ сравнимы, то $k_t(G) = \max(k_t(A); k_t(B))$.

Лемма 1. Пусть $G = \bigoplus_{i=1}^n A_i$ – вполне разложимая группа ранга n , $r(A_i) = 1$. Тогда $k_i(G) \leq C_n^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}$

Пусть $G = \bigoplus_{i \in I} A_i$ – вполне разложимая группа, $r(A_i) = 1$, причем типы $t(A_i) \in t(A_j)$ несравнимы при $i \neq j$. Назовем группы такого вида *жесткими вполне разложимыми группами*. Также для всякого $J \subset I$ обозначим $t_J = \inf_{i \in J} t(A_i)$. Используя введенные обозначения, получаем следующие результаты.

Теорема 2. Пусть $G = \bigoplus_{i \in I} A_i$ – жесткая вполне разложимая группа. Если группа G является k -вполне транзитивной для некоторого $k \in \mathbb{N}$, то для любых подмножеств $J_1, J_2, \dots, J_k \subset I$, таких что тип t_{J_n} несравним с типом t_{J_m} , выполнено $J_n \cap J_m = \emptyset$ и $m \neq n$.

Теорема 3. Пусть $G = \bigoplus_{i \in I} A_i$ – жесткая вполне разложимая группа. Группа G k -вполне транзитивна для всех $k \in \mathbb{N}$ тогда и только тогда, когда выполнены условия:

- (А) группа G удовлетворяет условию контрастности для типов;
- (Б) для любых двух элементов $a, b \in G$ с несравнимыми типами выполнено $I(a) \cap I(b) = \emptyset$.

Теорема 4. Пусть $G = \bigoplus_{i \in I} A_i$ – жесткая вполне разложимая группа и $k \in \mathbb{N}$. Группа G k -вполне транзитивна тогда и только тогда, когда для любых множеств $J_1, J_2, \dots, J_k \subset I$, таких что типы $t_{J_m} \in t_{J_n}$ несравнимы при $m \neq n$, выполнены условия:

- (I) $J_n \cap J_m = \emptyset$ при $m \neq n$.
- (II) Группы $G_m = \bigoplus_{i \in J_m} A_i$ удовлетворяют условию контрастности для типов $(m, \overline{1, k})$.
- (III) Если для некоторых $J \subset I \in m, \overline{1, k}$ справедливо $\pi(\bigoplus_{i \in J} A_i) \subset \pi(G_m)$, $\forall J \subset J_m$.

Литература

1. Гриншпон С.Я. Вполне характеристические подгруппы абелевых групп и вполне транзитивность // Фундамент. и прикл. матем. 2002. Т. 8, №2. С. 407–473.

2. *Рогозинский М.И.* *k*- вполне транзитивные абелевы группы без кручения // Современные проблемы математики и механики: Материалы II Всерос. молодежной науч. конф. Томск, 2011. С. 41–44.

3. *Carroll D.* Multiple transitivity in abelian groups // Arch. Math. 1994. Vol. 63. P. 9–16.

**МНОГОУРОВНЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ
И РАЗРУШЕНИЯ ХРУПКИХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДОМ ПОДВИЖНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ
MULTILEVEL SIMULATION OF DEFORMATION
AND FRACTURE OF BRITTLE POROUS MATERIALS USING
MOVABLE CELLULAR AUTOMATON METHOD**

Роман Н.В.

Roman N.V.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

E-mail: nikitaroman@gmail.com

Процессы деформации и разрушения материалов в значительной степени определяются их структурой. Большинство современных конструкционных и функциональных материалов являются композиционными и имеют сложную структуру, в которой явно выделяются несколько масштабных уровней, от микро- до макромасштаба. Для адекватного моделирования процессов деформации и разрушения твёрдых тел необходимо уметь описывать особенности всех этих масштабных уровней. В данной работе проведены исследования закономерностей деформации и разрушения пористых материалов на основе нанокристаллических оксидов. Они широко используются во всех отраслях промышленности: в информатике и связи, машиностроении, автомобилестроении, медицине. Поэтому изучение таких материалов представляет значительный практический интерес. В частности, рассматривалась нанокристаллическая керамика ZrO_2 с уни- и бимодальным распределением пор по размерам. Моделирование проводилось методом подвижных клеточных автоматов [1].

Вначале рассматривалось унимодальное распределение пор по размерам. Размер автоматов в соответствии с диаграммой распределения пор по размерам составлял 1 мкм. Пористость задавалась удалением одиночных автоматов из исходной структуры автоматов, расположенных в ГЦК-упаковке. Генерировались образцы со значениями пористости от 0 до 50% с шагом 5%. Большинство рассматриваемых образцов (с пористостью 20% и более) всегда содержали кластеры сообщающихся пор, причём при пористости более 25% пористость является проницае-

мой. Согласно результатам работ [2, 3], структура пористого пространства может определять не только прочностные, но и упругие характеристики образцов. Результаты моделирования методом подвижных клеточных автоматов одноосного сжатия хрупких пористых трёхмерных образцов показали, что перколяционный переход в пористом материале от изолированных пор к сообщающимся приводит к изменению зависимости его упругих свойств от общей пористости.

На основе построенных в рамках метода подвижных клеточных автоматов многоуровневых моделей хрупких пористых материалов было исследовано влияние формы, размеров пор и их пространственной ориентации в керамике на ее отклик при одноосном сжатии. На данном этапе рассматривалась керамика с бимодальным распределением пор по размерам. Исследования проводились на мезомасштабном уровне модели, где можно явным образом учитывать поры второго максимума функции распределения. Суть модели состоит в следующем: на начальном уровне в моделируемый образец включаются поры первого максимума. На втором этапе полученные данные (модуль сдвига и предел прочности) учитывались в модели через параметры функции отклика подвижного клеточного автомата (т.е. неявно).

Генерировались трехмерные модельные пористые образцы в форме куба со стороной 3.2 и 4.8 мм. Рассматривались два типа пор: поры-стержни и поры-пластины с двумя характерными размерами: у поры-стержней это длина стержня L ($L_1=480$ мкм, $L_2=800$ мкм), а у квадратных пор-пластин – длина стороны H ($H_1=386$ мкм, $H_2=480$ мкм). Генерировались образцы с тремя ориентациями пор XY , XZ и $(XY-XZ)$. Размер автоматов в соответствии с диаграммой распределения пор по размерам составлял 160 мкм.

Анализ результатов моделирования механического поведения образцов с порами-пластинами и порами-стержнями показал, что, варьируя параметры синтеза мезо- и макрообъемов материала, можно значительно увеличить вязкость разрушения пористого каркаса. Например, изменив тип используемого порообразователя (парафин на конский волос) и тем самым определив необходимую форму пор в керамике, можно при прочих равных условиях получить увеличение S и E на величину до 37.7 и 19.2% соответственно.

Литература

1. Псахье С.Г., Дмитриев А.И., Шилько Е.В.и др. Метод подвижных клеточных автоматов как новое направление дискретной вычислительной механики. I. Теоретическое описание. // Физическая мезомеханика. 2000. Т. 3, № 2. С. 5–15.
2. Смолин А.Ю., Коноваленко Иг.С., Кульков С.Н., Псахье С.Г. О возможности

квазивязкого разрушения хрупких сред со стохастическим распределением пор // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32, №17. С. 7–14.

3. Коноваленко Иг.С., Смолин А.Ю., Коростелев С.Ю., Псахье С.Г. О зависимости макроскопических упругих свойств пористых сред от параметров стохастического пространственного распределения пор // Журнал технической физики. 2009. Т. 79, вып. 5. С. 155–158.

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИКИ В ТЕЛЕМЕДИЦИНЕ APPLICATION OF ROBOTICS IN TELEMEDICINE

**Рудь М.Н.
Rud M.N.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk Polytechnic University
E-mail: rudmax13@gmail.com

Телемедицина – направление медицины, основанное на использовании компьютерных и информационных технологий для обмена медицинской информацией между специалистами с целью повышения качества диагностики и лечения конкретных пациентов. Перспективы телемедицины связаны с дальнейшей миниатюризацией контрольно-измерительных средств, внедрением смарт-технологий, робототехники, новейших достижений информатики, прикладных аспектов нанотехнологии.

Наряду с такими отраслями телемедицины, как телемедицинские консультации, телеобучение, системы дистанционного биомониторинга, в последнее время в телемедицину активно внедряются передвижные робототехнические комплексы, которые используются для таких целей, как удаленное общение малоподвижных пациентов с родственниками, сбор медицинской информации, подключение несложного диагностического оборудования. В данной статье рассматривается несколько решений, предлагаемых на рынке, дано краткое описание их возможностей и существующих проблем телемедицинской робототехники, представлена концепция нового робота, призванного решить их.

Один из таких роботов введен в эксплуатацию в рамках пилотной программы по работе с пациентами руководства больницы г. Бостона, США. Функции робота позволяют детям общаться с друзьями и родственниками, бродить по коридорам больницы (или собственного дома) и вообще развлекаться, насколько это возможно. Разработка робота телеприсутствия осуществлена силами инженеров компании VgoCommunicationsInc. Роботы могут многое, например, удаленно посещать школу, если есть такое желание и возможность. Устройство

включает аудиосенсоры, артикуляционные камеры, динамики и относительно большой дисплей. По задумке, у ребенка должно быть почти полное ощущение присутствия в каком-либо удаленном месте. Роботы от VgoCommunicationsInc. позволяют врачам связываться со своими пациентами и их родителями за пару секунд, плюс могут собирать информацию медицинского характера. Дети, использующие роботов, меньше двигаются, и для этой категории пациентов, восстанавливающихся после операции, минимум движения — это плюс. Кроме того, роботы помогают не сильно отстать от своих сверстников, которые продолжают учиться.

Другой робот внедрен российской компанией R.BOT. Основная задача робота телеприсутствия с одноименным названием в больницах — обеспечивать удаленное присутствие врачей рядом с пациентами. С помощью камеры робот способен предоставить доктору информацию о состоянии пациента, его жизненно важных показателях. Также с помощью робота возможно провести обследование и беседу. Такое техническое решение позволит существенно сэкономить время специалистов, консультирующих в нескольких клиниках. Кроме того, с помощью робота могут проводиться удаленные посещения родственниками пациентов. Несколько человек имеют возможность подключиться к одному роботу, чтобы навестить больного.

Как и у всякого молодого направления науки и техники, у телемедицины существуют определенные сложности и преграды на пути развития, особенно в России. Из основных проблем можно выделить в первую очередь отсутствие в больницах инфраструктуры, а точнее, высокоскоростных каналов связи, без которых невозможно применение телемедицины. А также отсутствие у больниц финансирования для покупки дорогостоящих робототехнических устройств и отсутствие национальных стандартов передачи и обмена медицинскими данными. Наиболее перспективным применением роботов в больницах все же является возможность обеспечения пациентов удаленным общением с родственниками.

Среди недостатков современных телемедицинских роботов следует выделить неполную степень их автоматизации. Например, такие роботы не могут самостоятельно открывать двери палат, для этого им нужна помощь человека. А ведь одним из основных преимуществ их применения является как раз экономия людских ресурсов и освобождение медперсонала от рутинной работы. Так что, для решения задачи усовершенствования существующих роботов необходимо решить задачу разработки универсального манипулятора, подходящего для этих целей.

Технические проблемы, стоящие на пути развития телемедицины, успешно решаются на базе использования передовых информационных технологий и самого современного компьютерного оборудования. Несколько сложнее обстоит дело с множеством экономических, правовых и этических вопросов, наличие которых связывается в первую очередь с отсутствием законодательной и нормативной базы, регулирующей вопросы доступа к медицинским сведениям о пациентах, определяющей правила оценки качества телемедицинских консультаций, распределения ответственности за их результаты и т.п. Но и в этой области за последние годы достигнут определенный прогресс. Развитие телемедицины в России вступает в фазу перехода от разработок преимущественно экспериментального и теоретического характера к стадии практического внедрения ее достижений в отечественное здравоохранение. Десятки медицинских учреждений по всей России ведут подготовку к внедрению телемедицины в свою ежедневную практику.

Литература

1. <http://www.ctmed.ru/telemed/tm1.html>
2. <http://habrahabr.ru/post/134736/>
3. <http://rbot100.rbot.ru/can.php>
4. <http://www.rdkb.ru/work/tele>
5. <http://www.cisco.com/web/RU/telepresence/index.html>

ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ THE INFLUENCE SYSTEMATIC BIASES MODEL OF MOTION MINOR BODIES OF THE SOLAR SYSTEM ON THE ACCURACY CONSTRUCTION OF CONFIDENCE REGIONS

**Самабаров Г.Е., Сюсина О.М.
Samabarov G.E., Syusina O.M.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: detovelli@vtomske.ru

В данной работе на примере различных астероидов нами было исследовано влияние ошибок модели их движения на точность построения начальных доверительных областей с использованием реальных наблю-

дений. Оценивание осуществлялось на основе определения смещения Δd НК-оценок начальных параметров $\hat{\mathbf{q}}^*$ и $\hat{\mathbf{q}}$ орбиты объекта относительно друг друга для различных моделей и выборок наблюдений при помощи следующего соотношения:

$$\varepsilon_{i\delta i} = \frac{\Delta d}{d} = \frac{|\hat{\mathbf{q}}^* - \hat{\mathbf{q}}|}{|\bar{\mathbf{q}} - \hat{\mathbf{q}}|},$$

где величина $d = |\bar{\mathbf{q}} - \hat{\mathbf{q}}|$ определяет размеры доверительной области; $\bar{\mathbf{q}}$ – точки, лежащие на уровненой поверхности $\Phi_F = \Phi(\bar{\mathbf{q}}) \left(1 + \frac{(k^*)^2}{n-m} \right)$; $\hat{\mathbf{q}}$ – m -мерная оценка параметров $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_m)$, определяемая по n -мерной выборке измерений ($n > m$); величина k^* оценивается с помощью статистик $F(m, n-m)$ распределения Фишера в виде $(k^*)^2 \cong mF(m; n-m; \gamma^*)$.

Значения $\varepsilon_{i\delta i} > 1$ (т.е. $\Delta d > d$) определенно указывают на большие смещения относительно друг друга НК-оценок начальных параметров $\hat{\mathbf{q}}^*$ и $\hat{\mathbf{q}}$ (следовательно, и доверительных областей, построенных на основе этих оценок). Если же $\varepsilon_{i\delta i} < 1$ (т.е. $\Delta d < d$), эти смещения можно считать незначительными только при выборе более жесткого критерия, такого как $\varepsilon_{i\delta i} < 0.1$.

Анализ полученных нами результатов показал следующее. Влияние систематических ошибок, обусловленных неправильным выбором моделей движения, на точность определения начальных областей возможных значений параметров орбиты объекта может быть разным в зависимости от интервала наблюдаемости. Негативными последствиями неправильного выбора моделей могут быть большие смещения расчетных областей возможных движений от области, построенной на основе более точной модели. Кроме того, возможны также варианты, когда применение неточной модели значительно увеличивает нелинейность задачи оценивания и ее алгоритмическое решение в отличие от варианта с использованием точной модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № П882 от 26 мая 2010 г.).

Литература

1. Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А. Новые алгоритмы построения методом Монте-Карло начальных доверительных областей движения малых тел // Изв. вузов. Физика. 2009. Т. 52, № 10/2. С. 48–55.

2. Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А. Оценивание нелинейности в задачах построения начальных доверительных областей движения малых тел // Изв. вузов. Физика. 2011. № 6/2. С. 71–77.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРОЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА MAPLE OPTIMIZATION OF CUTTING AN AXIALLY SYMMETRIC PARABOLIC REFLECTOR USING THE PACKAGE MAPLE

Самылкина О.А.
Samylkina O.A.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: samylkinairina@mail.ru

Имеется важная практическая задача, связанная с проектированием и изготовлением параболических рефлекторных антенн, отражающая поверхность которых выполнена из металлической ткани («сетеполотно»). Это задача раскроя, включающая составление «выкройки» и указание способа прикрепления сетеполотна к несущим конструкциям, минимизирующего наибольшие локальные искажения длин.

Данная задача сведена к задаче отыскания отображения части плоскости на часть параболоида вращения (в некотором заранее указанном семействе отображений), при котором максимумы локальных искажений длин минимизируются. На этом пути рассмотрены два класса таких отображений: первый класс есть однопараметрическое семейство, а индивидуализация отображения второго класса требует задания функции одного аргумента.

Для части плоскости и части параболоида соответствие устанавливается путем отнесения этих поверхностей к одним и тем же параметрам, а именно для параболоида

$$\mathbf{R} = \left\{ u \cos v, u \sin v, \frac{u^2}{4} \right\}, \quad (0 \leq u \leq 1, \quad 0 \leq v < 2\pi)$$

и для плоскости

$$r = \{f(u)\cos(v), f(u)\sin(v), 0\} \quad (0 \leq u \leq 1, 0 \leq v < 2\pi).$$

Мерой локальных искажений длин служит отношение k первых квадратичных форм. Определяющую роль играет максимум величины k , что и позволяет ставить экстремальную задачу – о минимизации максимума.

Для каждого из указанных семейств отображений решена экстремальная задача. В частности, для второго семейства отображений

$$f \approx 1. + 0.000488u^2 - 0.397364 \cdot 10^{-6}u^4 + 0.658070 \cdot 10^{-9}u^6 - 0.136009 \cdot 10^{-11}u^8.$$

Получены схемы раскроя. Проведено сравнение качества решения для второго семейства с качеством решения для первого семейства. Создана основа для распространения указанной экстремальной задачи на более широкие классы отображений.

Литература

1. Дьяконов В. Maple 6: Учеб. курс. 2001. СПб.: Питер, 2001. 603 с.
2. Рашиевский П.К. Курс дифференциальной геометрии. М.; Л.: ГИТТЛ, 1950. 428 с.
3. Воднев В.Т., Наумович А.Ф., Наумович Н.Ф. Математический словарь высшей школы. М.: МПИ, 1989. 528 с.
4. Говорухин В.Н., Цибулин В.Г. Введение в Maple. Математический пакет для всех. М.: Мир, 1997. 208 с.
5. Будьлин А.М. Вариационное исчисление. СПб.: СПбГУ, 2001. 197 с.
6. Самылкина О.А., Бухтяк М.С. Экстремумы локальных деформаций при отображении поверхности на поверхность // Научная конференция студентов и молодых учёных ММФ ТГУ, посвященная 50-летию полёта в космос Ю.А. Гагарина. Томск: ТГУ, 2011. С. 15–17.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ГИПОТЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ РЕГИОНОВ INFORMATION SYSTEM FOR THE IMPLEMENTATION OF A HYPOTHETICAL MERGING REGIONS

Сарапулова Т.В.
Sarapulova T.V.

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev
E-mail: sarapulova_t@mail.ru

Идея объединения субъектов Российской Федерации обсуждается и воплощается в жизнь достаточно давно. Укрупнение регионов стало

реальным механизмом региональной политики с 2004 г., когда началось объединение автономных округов. Принятие федерального закона (ФЗ №131 от 6.10.2003), резко ограничившего бюджетную самостоятельность автономных округов, сделало объединение почти неизбежным. В этой простой схеме, по мнению ее авторов, решалась проблема депрессивных и слаборазвитых территорий: кризисные территории будут объединены с «локомотивами» роста и поднимут их до своего уровня.

Управление процессами регионального развития – может быть, наиболее сложная сфера деятельности государства, ибо требует знания и понимания территории страны. Поэтому в данной ситуации вызывает опасение непроработанность вопроса о необходимости и последствиях объединения регионов [1].

Изменения внутренних границ, исходя из решаемых административных и экономических задач, всегда использовались в качестве эффективного инструмента внутренней политики. Тем не менее специфика современных процессов требует принципиально новых идей в подходах к управлению.

Главным аргументом в пользу объединения выступает ожидаемый экономический рост и инвестиции, которые должны компенсировать снижение статуса. Эффективность объединительных процессов лучше всего выявляет динамика социально-экономических показателей до и после объединения. Однако провести такой анализ для ситуации «после» практически невозможно. Потеряв статус субъектов РФ, регионы исчезают из статистики Росстата и Минфина.

Для решения данной проблемы был создан программный комплекс «РегАн» (РЕГиональный АНализ), который позволяет автоматизировать и визуализировать процесс анализа структурных изменений в экономике региона и упрощает «техническую работу» экономиста-аналитика. «РегАн» функционирует на основе базы данных с информацией справочного характера и основными экономическими показателями, используемыми в рамках структурного анализа экономики региона [2].

В программе «РегАн» реализована возможность гипотетического объединения регионов путем объединения отраслей и показателей по ним с целью оценить, каким образом изменилась бы структура экономики объединенного региона и какой была бы здесь выгода для каждого из объединяемых регионов.

Проведем гипотетическое объединение Кемеровской области, Алтайского края и Республики Алтай на основе данных по показателям занятости за 2010 г. Статистическая информация взята из сборников [3, 4]. Перед тем как проводить сравнительный анализ, определим отрасли текущей специализации отдельно по каждому региону, а затем уже для нового (объединенного) региона.

Согласно коэффициентам локализации занятых по субъектам «объединения», для Кемеровской области определяющим фактором в развитии экономики региона является уровень развития промышленности и производства; для Алтайского края – сельское и лесное хозяйство; для Республики Алтай – сельское и лесное хозяйство, образование. В рамках нового (объединенного) региона в качестве подобной «точки экономического роста» по итогам 2010 г. можно выделить сельское и лесное хозяйство, а также добычу полезных ископаемых, большинство же отраслей экономики обслуживает интересы населения «объединенного макрорегиона» (отраслевые коэффициенты локализации близки к единице).

Не претендуя на полноту выводов, полученные оценки изменений в структуре экономики региона позволяют усомниться в экономической целесообразности тестируемой гипотезы. Но в любом случае подобного рода рассуждения (даже по поводу гипотетического объединения) уместны только в сослагательном наклонении, ибо «вопросы объединения регионов должны решать их жители, а не политики, чиновники или ученые-экономисты».

Литература

1. *Объединение субъектов Российской Федерации: за и против* / Артоболевский С.С. [и др.]. М., 2010. 175 с.
2. *Игина И.В., Речко Г.Н., Пимонов А.Г.* Программный комплекс «РегАн»: анализ структурных изменений в экономике региона // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 5. С. 64–69.
3. *Регионы России. Социально-экономические показатели 2011: Статистический сборник*. М.: Росстат, 2011. 990 с.
4. *Труд и занятость в России 2011: Статистический сборник*. М.: Росстат, 2011. 637 с.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕЖФАЗНОГО СЛОЯ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ASSESSMENT OF INFLUENCE OF AN INTERPHASE LAYER ON THE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF A POLYMERIC COMPOSITE MATERIAL

Сенатова О.А.
Senatova O.A.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: senatova2@rambler.ru

Композиционными называются материалы, образованные объемным сочетанием двух или большего числа химически разнородных

124

компонентов с четкой границей между ними. Композиционный материал, непрерывная фаза которого образована полимером, называют полимерным композиционным материалом (полимерным композитом, ПКМ). При рассмотрении на мезоуровне обнаруживается «переходная» между матрицей и наполнителем среда. Появление так называемого межфазного слоя обусловлено введением армирующих частиц в матрицу и, как следствие, нарушением случайного характера расположения молекул матрицы в окрестности включения. Ориентация молекул здесь происходит преимущественно вдоль границы относительно жесткого включения, поэтому нужно учитывать неодинаковость деформационно-прочностных свойств материала межфазного слоя в различных направлениях, т.е. анизотропию материала. По различным оценкам, известным из опубликованных данных в научно-технической литературе, толщина межфазного слоя составляет величину порядка $1/10$ от радиуса включения, а модуль упругости примерно вдвое больше, чем у матрицы.

Перед исследователем была поставлена задача выявить степень влияния межфазного слоя на деформационные характеристики получаемого материала.

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что реализация поставленной задачи позволит в перспективе значительно сократить объем экспериментальных работ и получить выигрыш во времени и стоимости разработки новых материалов.

Для упрощения рассматриваемой задачи был исследован случай одноосного растяжения плоской пластины с равномерно распределенными включениями и межфазным слоем вокруг них. Принимались условия периодичности структуры дисперсно наполненной композиции и симметрии НДС в окрестности конкретного включения компактной формы относительно двух взаимно перпендикулярных осей. В этом случае в качестве расчетной области (представительного объема) рассматривалась область, представляющая собой одно включение, примыкающий межфазный слой и непрерывную матрицу.

Для удобства расчетов компактное включение круглой формы заменялось шестиугольным. В данном случае ошибка линеаризации окружности меньше ошибки, возникающей при "схлопывании" элементов у границы включения.

Задача решалась при помощи метода конечных элементов. Разбиение расчетной области делалось таким образом, чтобы узлы конечно-элементной сетки приходились на границы раздела фаз, были использованы треугольные симплекс-элементы.

Модуль упругости МФС вдоль границы включения оставался постоянным, а по толщине изменялся в соответствии с формулами, учитывающими изменение свойства в зависимости от направления. Плоская степень наполнения определялась как отношение площадей включения и матрицы и составила 14%.

В качестве расчетных параметров были взяты характеристики для СВМП. Модуль упругости для матрицы составляет $E_m=208.8e6$, для наполнителя $E_f=208.8e9$ и для межфазного слоя, как оговаривалось выше, вдвое больше модуля упругости матрицы E_m и равен $E_{мфс}=417.6e6$. Коэффициент Пуассона был введен для включения $\mu_f=0.45$, для матрицы $\mu_m=0.3$ и для МФС $\mu_{мфс}=0.35$.

Расчеты показали, что модуль упругости КМ без учета слоя составил $E_C=286$ МПа. Модуль упругости всего композиционного материала с учетом анизотропного МФС $E_C=294$ МПа. Отличие модулей менее 3%, что укладывается в погрешность расчета. Учет межфазного слоя внес незначительные изменения модуля упругости всего материала при малых степенях наполнения. Однако межфазный слой изменяет качественно картину НДС материала, сглаживая напряжения, возникающие на границе включения, уменьшая максимальные напряжения, возникающие в точке, и, как следствие, повышаются прочностные характеристики материала. При этом вид картины НДС зависит от угла φ , связанного с направлением изменения свойств материала.

Литература

1. *Васильев В.В.* Механика конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1988. 271 с.
2. *Люкшин Б.А., Панин С.В., Бочкарева С.А., Люкшин П.А.* Компьютерное конструирование наполненных полимерных композиционных материалов / Под общ. ред. Б.А. Люкшина. Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. 216 с.
3. *Люкшин Б.А., Герасимов А.В., Кректулева Р.А., Люкшин П.А.* Моделирование физико-механических процессов в неоднородных конструкциях. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 272 с.
4. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ NUMERICAL SIMULATION OF THE STRUCTURAL AND INHOMOGENEOUS MATERIALS

Середова О.И.
Seredova O.I.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: oseredova@yandex.ru

Компьютерное моделирование поведения композиционных материалов в отличие от теоретических формул, основанных на данных, полученных опытным путем, имеет предсказательную силу. Но есть и свои сложности в использовании данного подхода. Дело в том, что необходимо рассматривать решения задач с различными по геометрии границами раздела фаз, нелинейностью деформирования компонент материала, учетом больших деформаций, учетом условий адгезии включений к матрице и возможностью отслоения. Для реализации подобных задач используются численные методы – конечно-разностные и конечно-элементные.

Для упрощения расчета напряженно-деформированного состояния наполненных полимерных композиционных материалов можно рассмотреть задачу одноосного растяжения прямоугольной пластины с круглыми равномерно распределенными включениями. Самым простым случаем является плоская задача для пластины с 1 круглым включением в прямоугольных координатах. Впервые эта задача была решена Киршем.

Расчетная область представляет собой прямоугольник с круглым отверстием в центре. Распределение напряжений вблизи этого малого отверстия радиусом R меняется в соответствии с принципом Сен-Веннана, но этим изменением можно пренебречь на достаточно больших по сравнению с радиусом отверстия расстояниях.

Разбиение расчетной области производится таким образом, что узлы конечно-элементной сетки приходятся на границы раздела фаз. В этом случае внутри каждого из конечных элементов механические характеристики определяются свойствами фазы, попавшей в этот элемент, и не претерпевают разрыва. Это означает, что внутри любого отдельного элемента материал является однородным и его деформационно-прочностные свойства отвечают характеристикам пластины. В области отверстия деформационно-прочностные свойства приближены к нулю. На границах раздела фаз осуществляется условие идеального контакта (идеальная адгезия) в течение всего процесса, из этого следует, что но-

вые узлы конечно-элементной сетки на этих границах вводить не нужно.

Проверка правильности работы программы и достоверности получаемых результатов осуществлялась сравнением с известными аналитическими решениями, полученными Хейвудом. Он предложил эмпирическую формулу для K_{tn} , которая описывает весь диапазон изменения параметра a/w , где a – диаметр отверстия, w – ширина пластины, а K_{tn} – коэффициент концентрации напряжений по Киршу:

$$K_{tn} = 2 + \left(1 - \frac{a}{w}\right)^3.$$

При решении данной задачи значения напряжений в точке, где они максимальны, получились равными $2.85 \cdot \sigma$. Погрешность при этом составила 5%, что можно считать вполне приемлемым результатом.

Параметрические исследования, проведенные в ходе работы, позволили оценить влияние деформационно-прочностных свойств матрицы и включения на концентрацию и локализацию деформаций. В рассмотренной тестовой задаче включение отвечает нулевым прочностным характеристикам. Для реальных материалов включения, как правило, имеют прочностные характеристики на несколько порядков выше, чем аналогичные свойства материала матрицы.

Литература

1. Петерсен Р. Коэффициенты концентрации напряжений. Графики и формулы для расчета конструктивных элементов на прочность. М.: Мир, 1977. 302 с.
2. Тимошенко С.П., Гюльдер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975.
3. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. Ansys в руках инженера. М.: Едиториал УРСС, 2004. 270 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КУРСЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ INFORMATIONAL TECHNOLOGY IN THE COURSE OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATION

Ситников Г.И., Касаткина Т.В.
Sitnikov G.I., Kasatkina T.V.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: kvale@mail.ru, SG193@mail.ru

В условиях перехода к новой концепции образования реформирование системы профессионального образования должно учитывать

новые требования, предъявляемые к уровню подготовки высококвалифицированных, конкурентоспособных, инновационно активных специалистов. Очевидно, что реформирование системы математического образования предполагает изменение содержания и технологии подготовки математиков. Всеобщая компьютеризация во всех отраслях науки привела к необходимости внедрения информационных технологий и в преподавание основных математических дисциплин.

В работе приводится анализ нового подхода к изучению основной учебной дисциплины, курса обыкновенных дифференциальных уравнений, по направлениям подготовки: 010100.62 – Математика, 010200.62 – Математика и компьютерные науки, 010800.62 – Механика и компьютерное моделирование.

Целью учебного курса с точки зрения нового подхода должно являться не просто систематическое изучение дифференциальных уравнений с помощью современных аналитических средств (классический подход), а математическое моделирование. Следовательно, задачи курса формулируем так: научить студентов самостоятельно строить простейшие математические модели в различных областях знаний; с помощью математического моделирования и эмпирических исследований выводить дифференциальные уравнения, решать их и извлекать полезную информацию из решений, научить студентов использовать математические пакеты (*Mathematica*, *Maple*, *MATLAB*), в которых интегрированы и численные, и аналитические методы решения дифференциальных уравнений [1].

Современные системы компьютерной алгебры – это не просто универсальные языки программирования, но и справочная система, полная энциклопедия, в том числе и по дифференциальным уравнениям. Их активное использование позволяет тренировать у студентов умение изучать и уже готовые математические модели, и существенные особенности (качественное поведение) моделей, построенных самими студентами.

В рамках нового подхода необходимо наличие прикладных модулей, содержащих дополнительный прикладной материал и проекты, которые позволят привлечь студентов к исследованиям и приложениям вычислительных технологий.

Незнание математических пакетов и неумение пользоваться ими не должно стать камнем преткновения в изучении курса дифференциальных уравнений с точки зрения нового подхода. На математических факультетах классического научно-исследовательского университета, имеющего статус инновационного вуза, студенты как можно раньше должны начать изучать и использовать системы компьютерной

алгебры – это так же естественно в век информационных технологий, как и использование чернил и бумаги в начале прошлого века.

Доступность технических вычислительных сред, таких как *Mathematica*, *Maple*, *MATLAB*, навсегда изменила роль дифференциальных уравнений и возможности их применения в науке и технике.

Литература

1. Эдвардс Ч.Г., Пенни Д.Э. Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью *Mathematica*, *Maple* и *MATLAB*. 3-е изд.: Пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. 1104 с.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПУНКТОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ COMPARISON OF METHODS FOR DETERMINING THE COORDINATES OF POINTS ON THE SATELLITE MEASUREMENTS

Сороквашин К.В.

Sorokvashin K.V.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: kirilich@sibmail.com

Целью работы является создание программного комплекса и использование его для исследования влияния случайной составляющей ошибок спутниковых измерений на точность определения координат точек земной поверхности методом относительного позиционирования с использованием одинарных разностей и дифференциальным методом. Такое сравнение точностей методов проводилось путем многократного моделирования задачи с последующим построением доверительных областей и вероятностных распределений возможных решений для различных сеансов измерений. В работе также проведено исследование точности получаемых решений в зависимости от длительности сеансов спутниковых измерений и геометрического расположения навигационных спутников.

Результаты численного моделирования задачи определения координат пункта указанными методами показали следующее:

1. По точности решения исследуемые методы совпадают.
2. Ни один из рассмотренных методов не достигает предельной точности определения координат неизвестного пункта по расстояниям спутник – наземная точка.

3. Путём увеличения длительности сеанса, частоты, а также подбора времени проведения измерений, при котором наблюдается более рассредоточенная конфигурация расположения спутников, можно уменьшать влияние случайных ошибок измерений на точность решения задачи.

Литература

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. М.: ФГУП «Картоцентр», 2005. Т. 2. 360 с.
2. Кузнецова Е.В., Бордовицына Т.В., Черницов А.М. // Изв. вузов. Физика. 2011. №8/2. С. 150–159.
3. Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А. // Изв. вузов. Физика. 2010. №8/2. С. 77–83.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК НАНОЧАСТИЦ НА ДИНАМИКУ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКИ MODELING OF THE EFFECT OF ADDITIVES ON THE DYNAMICS OF NANOPARTICLES ALUMINOSILICATE CERAMIC SINTERING PROCESS

**Сорокова С.Н.
Sorokova S.N.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk Polytechnic University

Для целенаправленного выбора технологических режимов синтеза и спекания необходимо теоретическое и экспериментальное исследование закономерностей формирования структуры, фазового состава и физико-механических свойств материала. Известны многочисленные математические модели спекания порошковых смесей и синтеза в твердой фазе [1, 2], основанные на совместном описании тепловых и кинетических явлений. Но ни в одной из известных моделей явно не учитывается, что процессы синтеза часто сопровождаются объемными изменениями, связанными, в частности, с различием свойств реагентов и продуктов и наблюдаемыми экспериментально. По мнению различных авторов, объемные изменения, различные в разных условиях синтеза и спекания, могут приводить к изменению кинетических закономерностей, а также состава и структуры конечного продукта. Поэтому при моделировании подобных процессов следует учитывать этот факт [3].

Наночастицы в составе реагентов как изменяют кинетику процесса синтеза, так и влияют особым образом на физические и механические

свойства реагентов и продуктов, что приводит к появлению дополнительных особенностей в математических моделях. В первом приближении рассматривали нанодисперсные частицы в составе реагентов как отдельную фазу, обладающую особыми свойствами. Добавка наночастиц оксида алюминия позволяет повысить плотность и микротвердость корундовой (оксидной) керамики, что подтверждается экспериментально.

Работа выполнена при поддержке ГК № 11.519.11.3004.

Литература

1. Мержанов А.Г. Теория безгазового горения: Препринт. Черноголовка, 1973. 26 с.
2. Мержанов А.Г. Твердопламенное горение. Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 2000.
3. Князева А.Г. Перекрестные эффекты в ходе твердофазных превращений // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. Т. 10, № 4.

О ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСИЛЕНИЯ ИММУННОГО ОТВЕТА ON COMPUTATIONAL SOLUTION OF IMMUNE RESPONSE ENHANCEMENT MATHEMATICAL MODEL

Султонова Ш.Х.
Sultonova Sh. H.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: nozajon@sibmail.com

Вопросы защиты организма от вирусов являются основными проблемами практической медицины. Так как исследование многих объектов в медицине требует больших средств или вовсе невозможно, то возникает необходимость использования методов математического моделирования в данной области.

В работе изучаются две возможные гипотезы о механизме действия стимулятора антителопродукции (САП) [1]. В иммунном процессе участвуют антигены, антитела и плазмоклетки. Согласно первой гипотезе САП включает в работу «молчашие» плазмоклетки. Согласно второй гипотезе введение САП приводит к увеличению времени жизни плазмоклеток.

В работе исследованы три математические модели развития иммунного ответа: M_0 – простейшая модель иммунного ответа без действия САП, M_1 – модель первой гипотезы, M_2 – модель второй гипотезы. В

качестве модели M_0 используется простейшая модель иммунного ответа, предложенная Г.И. Марчуком [1].

В модели M_0 первое уравнение описывает изменение числа антигенов в организме. Второе уравнение отражает производство антител плазматическими клетками, уменьшение их количества за счет взаимодействия с антигенами и естественную гибель антител. Третье уравнение характеризует увеличение количества плазматических клеток. В модели M_1 первые три уравнения такие же, как и в модели M_0 . Четвертое уравнение добавлено для описания процесса накопления «молчащих» клеток. Модель M_2 отличается от модели M_0 одним параметром, характеризующим обратную величину среднего времени жизни плазматических клеток. После введения САП значение данного параметра уменьшается.

Все уравнения моделей приведены к безразмерному виду, получены стационарные решения, которые исследованы на устойчивость. Показано, что устойчивость по Ляпунову имеет место при любых положительных параметрах моделей.

В данной работе получены численные решения рассматриваемых задач с применением одношаговых методов Рунге–Кутты и многошаговых методов Адамса [2]. Результаты расчетов оформлены в виде графиков. Модель M_0 без действия САП использовалась в качестве контрольной. Полученные результаты по методу Рунге–Кутты четвертого порядка согласуются с результатами, полученными по методу Эйлера первого порядка точности. Численные значения, полученные по методу Рунге–Кутты и Адамса, незначительно отличаются между собой: для антигенов имеет место совпадение до шести знаков после запятой. Различия наблюдаются между значениями антител и плазматических клеток, начиная с третьего знака после запятой. Вычислительный эксперимент на компьютере показал, что все модели дают один исход заболевания – выздоровление организма. Однако во второй и третьей моделях процесс выздоровления протекает быстрее.

В работе также изучалось действие САП в зависимости от времени его введения. При этом моделировалось введение фактора через 1-5 дней после иммунизации. В этом случае вторая и третья модели предсказывают качественно различные динамики течения процесса. В случае модели M_1 в динамике количества зрелых плазматических клеток наблюдается понижение высоты пика в зависимости от времени введения САП: чем позже вводим САП, тем ниже опускается пик. При этом результаты по модели M_1 отличаются от результатов, полученных по модели M_0 , ростом количества плазматических клеток. Модель M_2 дает иную картину динамики плазматических клеток и ярко выраженного пика при этом не на-

блюдается. Результаты по модели M_2 качественно схожи между собой и мало отличаются вне зависимости от времени введения фактора.

Литература

1. *Математические модели в иммунологии и медицине* / Под ред. Г.И. Марчук. М.: Мир, 1986. 150 с.
2. *Меркулова Н.Н., Михайлов М.Д.* Методы приближенных вычислений: Учеб. пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. Ч. 2. 288 с.

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ОДНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ QUALITATIVE ANALYSIS OF SOME DIFFERENTIAL EQUATION

Терентьева М.В., Касаткина Т.В.
Terentieva M.V., Kasatkina T.V.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: kvale@mail.ru, mariya-terenteva@mail.ru

На классе S голоморфных, однолистных в единичном круге E функций $f(z)$, $f(0) = 0$, $f'(0) = 1$, зададим непрерывный, дифференцируемый функционал $I(f)$, аналитически зависящий от функции f и её производных до порядка n , вычисленных в фиксированной внутренней точке z_0 единичного круга

$$I(f) = J(f(z_0), \overline{f(z_0)}, f'(z_0), \overline{f'(z_0)}, \dots, f^{(n)}(z_0), \overline{f^{(n)}(z_0)}).$$

Методом внутренних вариаций получим дифференциально-функциональное уравнение для граничной функции

$$\left(\frac{zf'(z)}{f(z)} \right)^2 = \frac{P_{2n+2}(z) \cdot (f(z) - f(z_0))^{n+1}}{(z - z_0)^{n+1} \cdot \left(z - \frac{1}{z_0}\right)^{n+1} \cdot Q_n(f(z))}.$$

Перепишем его в виде $W' = T(z, w)$, где $T(z, w)$ – полная аналитическая функция. Проведём качественный анализ этого уравнения. В результате исследований докажем, что существует однолистное голоморфное в единичном круге решение (граничная функция), которое можно аналитически продолжить на границу единичного круга E , за

исключением некоторого числа особых точек. Также докажем, что решение не имеет подвижных существенно особых точек. Следовательно, граничная функция аналитически продолжается на границу единичного круга, за исключением точек, которые могут быть только алгебраическими особыми точками.

Литература

1. Александров И.А. Параметрические продолжения в теории однолистных функций. М.: Наука, 1976. 343 с.
2. Голубев В.В. Однозначные аналитические функции. М.: Физматгиз, 1961. 455 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАРОЖДЕНИЯ ТРЕЩИН В ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ MATHEMATICAL MODEL OF THE DEVELOPMENT OF CRACKS IN THE ICE COVER

**Ткачева А.В., Сергеева А.М., Одинокое В.И.
Tkacheva M.S., Sergeeva A.M., Odinokov V.I.**

Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН
E-mail: 4nansi4@mail.ru

С появлением ледяного покрова становится практически невозможным перевозить грузы, используя водный транспорт. Для очищения фарватера ото льда применяют различные средства и устройства. При разработке ледокольных устройств используют разные программные комплексы, основанные большей частью на методе конечных элементов.

Данная работа направлена на построение математической модели ледяного покрова, находящегося под воздействием ледокольного устройства, с целью выявления мест развития и распространения трещин.

Согласно результатам экспериментальных исследований, описанных в работе [2], лед ведет себя упруго при температурах ниже -5° и нагрузках менее 10 с. Примем лед как упругое тело, по данным работы [1] имеем: модуль Юнга – $E = (87.6 - 0.21\theta - 0.0017\theta^2) \cdot 10^2 \text{ МПа}$; θ – температура льда; коэффициент Пуассона – $\mu = 0.36$; модуль сдвига – $G = E / 2(1 + \mu)$; коэффициент объемного сжатия – $K = (1 - 2\mu) / E$.

Основные уравнения теории упругости:

уравнение движения

$$\sigma_{ij,j} + F_i - I_i = 0, \quad I_i = \rho \left(\dot{v}_i + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right) \quad (i, j, k = 1, 2, 3); \quad (1)$$

закон Гука для малых деформаций

$$\sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} = 2G \varepsilon_{ij}^*; \quad \sigma = \frac{1}{3} \sigma_{ii}, \quad \varepsilon_{ij}^* = \varepsilon_{ij} - 1/3 \varepsilon \delta_{ij}; \quad \varepsilon_{ij} = 0,5(u_{i,j} + u_{j,i}),$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (i = 1, 2, 3); \quad (2)$$

уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \right) = 0 \quad (i = 1, 2, 3); \quad (3)$$

$$\xi_{ij} = \frac{d \varepsilon_{ij}}{d \tau} \Rightarrow \varepsilon_{ij} \cong \sum_m \xi_{ij} \Delta \tau_m; \quad (4)$$

$$\sigma = 3k \varepsilon. \quad (5)$$

В уравнениях используется суммирование по повторяющимся индексам; ρ – плотность льда; $G = G(\theta)$ – модуль сдвига льда; $[\sigma_{ij}]$ – тензор напряжений; $[\varepsilon_{ij}]$ – тензор деформаций; v_i , F_i – проекции скорости перемещений и удельной объемной силы по координатным осям x_i , $i = 1, 2, 3$; $F_2 = F_3 = 0$; λ – коэффициент теплопроводности; θ – температура льда; $\dot{v}_i = \frac{\partial v_i}{\partial \tau}$, τ – время деформации; K – коэффициент объемного сжатия.

Этапы исследования:

1. Находится НДС ледяного покрова с помощью программного комплекса [2]. Временной интервал $\Delta \tau$.

2. Этап зарождения трещины. В области, где напряжения превосходят клинические ($\sigma_{сж}^{кп} = -8 \text{ МПа}$, $\sigma_{рас}^{кп} = 4 \text{ МПа}$, $\sigma_{сдвиг}^{кп} = 0.4 \text{ МПа}$), происходит нарушение сплошности ледяного покрова, т.е. уравнения (1)

не выполняются, поэтому в этой области вводятся граничные условия, «обнуляются» напряжения как нормальные так и касательные, получаем пустоту.

3. Рассчитывается НДС ледяного покрова при новых граничных условиях.

Литература

1. *Богородский В.В., Гаврило В.П.* Физические свойства. Современные методы гляциологии. Л.: Гидрометеонздат, 1980.

2. *Математическое* моделирование процесса разрушения ледяного покрова ледокольным судном: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614206. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12 мая 2012 / Одинокое В.И., Сергеева А.М., Ткачева А.В.

3. *Одинокое В.И., Сергеева А.М., Захарова Е.А.* Построение математической модели для анализа процесса разрушения ледяного покрова // Математическое моделирование. 2008. Т. 20, №12. С. 15–27.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ОБЪЕКТОВ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ INVESTIGATION OF LONG-TERM ORBITAL EVOLUTION OF OBJECTS OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS

Томилова И.В., Чувашов И.Н.

Tomilova I.V., Chuvashov I.N.

Национальный исследовательский Томский государственный университет.

НИИ ПММ ТГУ

National Research Tomsk State University. NII PMM TSU

E-mail: irisha_tom@mail.ru, chuvashov@sibmail.com

Объекты спутниковых радионавигационных систем (СРНС) после потери ими управления испытывают значительные долгопериодические возмущения. Причиной возникновения этих возмущений являются вековые и тессеральные резонансы.

Исследование влияния вековых резонансов на отработавшие объекты навигационных систем проводилось с помощью численно-аналитической методики, состоящей из трех частей [1]:

- аналитического способа выявления вековых резонансов;
- численного моделирования долговременной орбитальной эволюции с помощью программного комплекса «Численная модель движения систем ИСЗ» [2], реализованного в среде параллельного программирования на кластере Томского университета;

– Мегно-анализа [3] орбитального движения на предмет возникновения хаотичности.

Для исследования были выбраны объекты навигационных систем ГЛОНАСС, GPS и новой китайской навигационной системы BEIDOU.

Каждая из навигационных систем ГЛОНАСС и GPS состоит из 28–30 одновременно находящихся на орбитах объектов. Объекты разнесены по долготе восходящего узла, система ГЛОНАСС расположена в трех плоскостях, а система GPS – в шести. Внутри плоскостей объекты разнесены специальным образом по долготе перицентра. Выбор этих двух долгот существенно влияет на орбитальную эволюцию объекта после его утилизации.

Система BEIDOU находится в стадии развертывания и имеет пять спутников, движущихся по геосинхронным орбитам с теми же наклонениями, что и у спутников системы GPS.

В работе показано:

– наличие вековых и полувековых резонансов в движении неуправляемых объектов СРНС приводит к возрастанию эксцентриситетов их орбит, как для объектов, оставленных на орбитах функционирования, так и для объектов, переведенных на предполагаемые орбиты утилизации;

– наложения вековых, а также вековых и тессеральных резонансов приводят к возникновению хаотичности в движении неуправляемых объектов СРНС;

– в результате после определенного количества лет отработавшие объекты начинают проникать в орбитальное пространство работающих СРНС, причем в силу хаотичности орбит движение этих объектов будет плохо предсказуемо.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Кадры» Минобрнауки РФ (ГК № П882 от 26 мая 2010 г.) и гранта РФФИ № 11-02-00918-а.

Литература

1. Бордовицына Т.В., Томилова И.В., Чувашов И.Н. Численно-аналитическая методика выявления и исследования вековых резонансов в движении околоземных объектов // Изв. вузов. Физика. 2011. № 6/2. С. 160–167.
2. Бордовицына Т.В., Авдюшев В.А., Чувашов И.Н. и др. // Численное моделирование движения систем ИСЗ в среде параллельных вычислений // Изв. вузов. Физика. 2009. № 12/2. С. 5–11.
3. Бордовицына Т.В., Александрова А.Г., Чувашов И.Н. Комплекс алгоритмов и программ для исследования хаотичности в динамике искусственных спутников Земли // Изв. вузов. Физика. 2010, № 8/2. С. 14–21.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ NVIDIA CUDA TECHNOLOGY APPLICATION IN PROBLEMS OF MECHANICS

**Ульянов А.Д., Штейнбрехер О.А.
Uliyanov A.D., Shteynbreher O.A.**

Новокузнецкий институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Кемеровский государственный университет»
The Novokuznetsk branch of the Kemerovo State University

При численном решении методом конечных элементов [3] задач на расчет напряженно-деформированного состояния при силовых воздействиях, задач на устойчивость сложных по структуре конструкций машиностроительного назначения с элементами композитных сеток [1] сотрудники Новокузнецкого института используют разработанный пакет прикладных программ «Композит-НК». К особенностям моделируемого класса конструкций следует отнести сложность структуры и разнящиеся физико-механические характеристики материалов элементов конструкций, в том числе выполненных из композитов. В сочетании с методом конечных элементов это приводит к большой размерности систем алгебраических уравнений, которые формируются в процессе решения задач, к увеличению времени решения задачи и плотной загрузке ресурсов вычислительных машин. Отсутствие доступа к кластерам большой мощности и возможности использовать "суперкомпьютер" формирует жесткое требование к пакету прикладных программ «Композит-НК» – использование в пакете новых вычислительных технологий, позволяющих пользователю задействовать при расчетах только персональный компьютер.

Одним из этапов решения поставленной задачи является использование технологии Nvidia CUDA [2]. Она предоставляет возможности вычисления, например, больших систем уравнений на параллельной архитектуре, при этом экономические затраты пользователя минимальны. Необходимые требования для запуска работы с этой технологией – обычный персональный компьютер, оснащенный видеокартой Nvidia. Видео чип по архитектуре представляет собой массово параллельный вычислительный центр, оснащенный множеством процессоров, что используется в виде инструмента в прикладных вычислениях.

В результате применения технологии Nvidia CUDA была написана библиотека, использующая возможности видеокарты для параллельной

обработки данных. Функционал динамически расширяется и дополняется новыми математическими функциями, которые успешно могут внедряться в функционал композита. Библиотека линкуется динамически к программе, что позволяет работать и без нее.

Проведенные тестовые расчеты с применением технологии Nvidia CUDA показали огромное преимущество в скорости обработки информации по сравнению с традиционным методом решения систем.

Литература

1. *Васильев В.В., Никитин М.В., Разин А.Ф.* Исследование влияния формы ячейки на напряженное состояние композитной сетчатой конструкции при локальном нагружении // Вопросы оборонной техники. Сер. 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. М.: НТЦ «Информтехника», 2008. Вып. 1(138)–2(139). 90 с.
2. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.
3. *Сандерс Джейсон, Кэндрот Эдвард.* Технология CUDA в примерах и задачах. Введение в программирование графических процессоров. ДМК, 2011.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА И ДЕФОРМИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ ПОТОКАМИ ЧАСТИЦ MODELING OF THE PROCESSES OF THE CARRYING AND DEFORMIROVANIYA IN CONDITION OF THE PROCESSING FLOW PARTICLES

**Чепак-Гизбрехт М.В.
Chepak-Gizbreht M.V.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
National Research Tomsk Polytechnic University
E-mail: mv2016@mail.ru,

При обработке свободной ненагруженной поверхности потоком из окружающего пространства происходит внедрение частиц в поверхность. Частицы, попадая в поверхность, тормозятся, теряют энергию, передавая ее в окружающую среду. При этом выделяется тепло и появляется неоднородность поля концентрации, которые, в свою очередь, приводят к появлению неоднородного поля внутренних механических напряжений. Процессы переноса взаимосвязаны. Это описывается такими перекрестными эффектами, как термодиффузия и диффузионная теплопроводность, что обуславливает дополнительные особенности.

При условии, что эффективные коэффициенты переноса в интересующем нас интервале температур и концентраций можно считать постоянными, уравнения теории многокомпонентной диффузии в неизо-термических условиях в деформируемых средах можно линеаризовать.

Это позволяет упростить модель, однако накладывает дополнительные ограничения. Все коэффициенты переноса становятся независимыми. В некоторой области изменения параметров решения задач могут не соответствовать физическому смыслу (например, отрицательные концентрации). Эта проблема в теории многокомпонентной диффузии известна. Тем не менее аналитические решения линейных задач могут быть полезны при отладке программ, реализующих сложные модели, а также для выявления основных качественных закономерностей.

Как пример в работе изучена задача о перераспределении примеси в упругой и вязкоупругой средах в одномерном приближении. Задача включает уравнение теплопроводности, уравнение диффузии, а также уравнения равновесия и соотношения, связывающие напряжения и деформации с температурой и концентрацией. Считается, что «поглощение» примеси происходит в объеме на некотором расстоянии от свободной поверхности. Такой же характер имеет источник тепла. Решение такой задачи в литературе не найдено. Для решения этой задачи используем операционный метод. В пространстве изображений по Лапласу удастся найти точное решение и получить явные выражения для температуры, концентраций, напряжений и деформаций. Для вязкоупругой среды решение получается в пространстве изображений с использованием метода аналогий [1]. Более простой пример представлен в [2].

Несмотря на то, что от изображений удастся перейти к оригиналам, используя таблицы и теоремы, решение остается достаточно громоздким. Ясно, что с усложнением модели это приведет к еще большим проблемам. Но с этими проблемами нам помогают справиться различные компьютерные пакеты, в частности современный Фортран, где имеются приложения, позволяющие переходить к оригиналам численно с заданной точностью. Однако не от всех изображений можно перейти к оригиналам с помощью любого алгоритма. Ограничений, наложенных на параметры моделей и встроенных алгоритмов, оказывается недостаточно.

Проблема численного перехода к оригиналам в литературе обсуждается, она актуальна для задач из различных областей физики и механики.

Литература

1. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. М.: Мир, 1964. 520 с.
2. Князева А.Г., Гизбрехт М.В. Неизотермическая диффузия в бинарной системе // Изв. вузов. Физика. 2011. №11. С. 39–46.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТ ВРЕМЕНИ В НЕФТЕПРОВОДЕ ПРИ УТЕЧКЕ HYDRODYNAMIC MODELING OF PROCESSES IN TIME IN THE PIPELINE FOR LEAKS

Черных А.А., Мамонова Т.Е.
Chernykh A.A., Mamonova T.E.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk Polytechnic University
E-mail: teloxranitel@sibmail.com

Определение мест утечек нефти из трубопровода является серьезной проблемой в работе и эксплуатации нефтепроводов. Большие эксплуатационные затраты на восстановительные и другие работы, перебои в подаче нефти – все это обуславливает острую потребность в точном и оперативном определении мест утечек, что позволило бы локализовать место утечки, быстро восстановить подачу нефти и избежать потери. Наиболее распространёнными причинами возникновения утечек в нефтепроводах являются порывы сварочных швов, коррозия металла и несанкционированные врезки. В настоящее время с помощью высокопроизводительных вычислительных машин можно создать реалистичную модель для наглядности и изучить зависимость изменения давления во времени при возникновении утечки в нефтепроводах, что позволит детально проанализировать процесс утечки. В работах [1, 2] были предложены алгоритмы по определению параметров утечки, основанные на анализе гидродинамического профиля нефтепровода при утечке и без неё. Моделирование процесса изменения во времени давления позволит определить время, по истечении которого возможно использование данных алгоритмов с целью повышения точности определения параметров утечки и устранения ложных сигналов.

Для моделирования процесса утечки целесообразно использовать программу COMSOL Multiphysics 3.5 [3]. Данная программа предназначена для конечно-элементных расчётов сложных научно-технических задач. Решение любой задачи базируется на численном решении уравнений в частных производных методом конечных элементов. Спектр задач, которые решаются в данной программе, чрезвычайно широк – от классических проблем теплопроводности, диффузии и распространения волн до нелинейных уравнений, таких как уравнения Кортевега де Фриза и Бюргерса. Набор специальных модулей в программе охватывает практически все сферы приложений уравнений в частных производных. Данный пакет моделирования решает системы нелинейных дифферен-

циальных уравнений в частных производных методом конечных элементов в одном, двух и трех измерениях.

Для решения нашей задачи была построена 2D модель в COMSOL Multiphysics 3.5 с боковым отверстием и задвижкой, меняющей свое положение со временем, что имитирует утечку в трубопроводе. Решение данной задачи основано на уравнении Навье–Стокса – системе дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих движение вязкой ньютоновской жидкости. Данное уравнение является одним из важнейших в гидродинамике и применяется в математическом моделировании многих природных явлений и технических задач. Для апробации в целях экономии времени был взят отрезок нефтепровода, геометрические размеры которого пропорциональны реальному объекту в уменьшенном масштабе. Были заданы следующие параметры нефтепровода: диаметр трубы $D = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, длина трубы $L = 14,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, диаметр сечения отверстия $d = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, имитирующего утечку нефтепровода. Также задана функция от времени движения задвижки, позволяющая плавно изменять положение с течением времени и отслеживать зависимость давления от времени на графике. Время эксперимента составляет $t=1.056 \text{ с}$. Проанализировав решение, можно сделать вывод: график имеет надлом в области утечки, что показывает снижение давления в этой области трубопровода.

Полученная модель позволяет выполнять анализ процесса изменения давления во времени при утечке, что даёт возможность оценить время окончания переходных процессов для различных вариаций параметров нефтепровода и нефтепродукта. Это позволит уточнить алгоритмы определения параметров утечки, основанные на анализе гидродинамических процессов в нефтепроводе, что приведёт к увеличению точности и быстроты действия при расчёте её местоположения и массового расхода.

В дальнейшем планируется создание нефтепровода сложной геометрической формы при наличии задвижек, позволяющих перекрывать трубу при утечке.

Литература

1. *Мамонова Т.Е., Черных А.А.* Влияние геометрического профиля нефтепровода на определение параметров утечки // Современные проблемы математики и механики: Материалы III Всерос. молодежной науч. конф. (Томск, 23–25 апреля 2012 г.) Томск: ТГУ, 2012. С. 235–240.
2. *Степанченко Т.Е., Шкляр В.Н.* Исследование алгоритмов обнаружения утечек в трубопроводах, построенных на основе моделей гидродинамических процессов // Современная техника и технологии: Труды VIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Томск, 2006. Т. 1. С. 248–251.

3. Учебник Femlab [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://femlab.narod.ru/>, свободный.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОУДАРЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА И ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ
ОРБИТАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ
MODELING OF THE COLLISION SPACE DEBRIS AND THEIR
FURTHER ORBITAL EVOLUTION**

**Чувашов И.Н.
Chuvashov I.N.**

НИИ прикладной математики и механики ТГУ
Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University
E-mail: chuvashov@sibmail.com

Согласно данным каталога Европейского космического агентства [1], в геостационарной зоне находится 1307 неуправляемых объектов и количество этих объектов постоянно увеличивается за счет вывода функционирующих объектов из строя, самопроизвольного разрушения или столкновения между собой [2]. Увеличение количества объектов космического мусора приводит к возникновению опасности столкновения их с функционирующими и выводимыми на геостационарную орбиту объектами.

На данный момент существуют математические модели распада, столкновения объектов на орбите [3] и высокоточные теории движения системы ИСЗ [4]. В настоящей работе мы объединили эти математические модели и, используя каскадный подход, создали новый программный комплекс, установленный на суперкомпьютере СКИФ-Cyberia. Этот программный комплекс, применяя внешнюю службу, автоматически выделяет вычислительные ресурсы кластера под решаемую задачу, что позволяет быстрее, используя многопоточность, и точнее, расширяя разрядную сетку до 4 значимых разрядов, моделировать систему рассматриваемых объектов, определять тесные сближения и разрушения объектов в результате катастрофического распада.

В работе представлены результаты моделирования столкновения двух фрагментов космического мусора, вследствие которого образуется большая совокупность объектов, взаимодействующих между собой. Как показало исследование, тесные сближения между образовавшимися объектами не приводят к дальнейшему столкновению, так как относительные скорости взаимодействующих объектов не велики.

Для изучения каскадного эффекта было промоделировано столкновение двух объектов с образованием фрагментов космического мусора и

сближение третьего объекта с этим облаком объектов. Результаты моделирования показали, что после такого столкновения могут образоваться три кластера фрагментов и, возможно, возникнет каскадный процесс, что приведет к образованию новых облаков фрагментов, которые будут представлять опасность для функционирующих спутников.

Используя результаты, полученные при моделировании взаимодействий объектов космического мусора, мы сможем разделить геостационарную зону на области, где столкновения функционирующих объектов с объектами космического мусора имеют высокий шанс, и определить вероятность этого столкновения. А также мы можем выделить области, где вероятность столкновения сведена к нулю.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 гг. (ГК № П882 от 26 мая 2010 г.).

Литература

1. *Classification of geosynchronous object*. 2012. Issue 14 / By T. Flohrer. URL: <http://www.astronomer.ru>
2. *HISTORY OF ON-ORBIT SATELLITE FRAGMENTATIONS*. 14th Edition. June 2008. URL: <http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov>
3. *Бордовицына Т.В., Александрова А.Г.* Численное моделирование процесса образования орбитальной эволюции и распределения фрагментов космического мусора в околоземном пространстве // *Астрономический вестник*. 2010. Т. 44. С. 259–272.
4. *Бордовицына Т.В., Авдошнев В.А., Чувашов И.Н. и др.* Численное моделирование движения систем ИСЗ в среде параллельных вычислений // *Изв. вузов. Физика*. 2009. №10/2. С. 5–11.

ВЫБОР ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА И РАСЧЕТЫ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В КАНАЛЕ CHOICE OF THE METHOD AND MODELING FLUID FLOW IN THE CHANNEL

**Чуруксаева В.В.
Churuksaeva V.V.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: Churuksaeva.V@mail.ru

Движение воды в русловом потоке реки описывается уравнениями Навье–Стокса, осредненными по Рейнольдсу.

Расчет одномерной и двумерной задач о течении в канале с различным рельефом дна проводится по двухшаговой схеме Лакса–

Вендроффа. Данный метод был выбран по причине его сравнительной простоты при расчете многомерных задач. Здесь первый шаг проводится по схеме Лакса, а на втором шаге применяется схема «чехарда».

Для одномерного векторного уравнения $\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial x} = 0$; данная схема записывается в виде

$$\begin{aligned}\bar{U}_i^{n+1} &= \frac{1}{2}[\bar{U}_{i+1}^n + \bar{U}_{i-1}^n] - \Delta t \frac{\bar{F}_{i+1}^n - \bar{F}_{i-1}^n}{2\Delta x}; \\ \bar{U}_i^{n+2} &= \bar{U}_i^n - 2\Delta t \frac{\bar{F}_{i+1}^{n+1} - \bar{F}_{i-1}^{n+1}}{2\Delta x}.\end{aligned}$$

Граничные условия для схемы имеют вид $\bar{U}_0^{n+l} = \bar{U}_1^{n+l}$; $\bar{U}_{Hx}^{n+l} = \bar{U}_{Hx-1}^{n+l}$; $l = 1, 2$.

Начальные условия выбираются исходя из условий конкретной задачи.

Значения $F_{i\pm 1}^{n+1}$ на втором шаге вычисляются по значениям $U_{i\pm 1}^{n+1}$, полученным на первом шаге. Первый шаг можно рассматривать как предварительный, а смысл имеют только результаты второго шага. Отметим, что в случае линеаризованной системы уравнений с постоянными коэффициентами выбранная схема эквивалентна первоначальной схеме Лакса–Вендроффа.

Распространение схемы на многомерный случай очевидно.

Для двумерного векторного уравнения $\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \left(\frac{\partial \bar{F}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{G}}{\partial y} \right) = 0$ имеем

$$\begin{aligned}\bar{U}_{i,j}^{n+1} &= \frac{1}{4}[\bar{U}_{i+1,j}^n + \bar{U}_{i-1,j}^n + \bar{U}_{i,j+1}^n + \bar{U}_{i,j-1}^n] - \Delta t \left[\frac{\bar{F}_{i+1,j}^n - \bar{F}_{i-1,j}^n}{2\Delta x} + \frac{\bar{G}_{i,j+1}^n - \bar{G}_{i,j-1}^n}{2\Delta y} \right]; \\ \bar{U}_{i,j}^{n+2} &= \bar{U}_{i,j}^n - 2\Delta t \left[\frac{\bar{F}_{i+1,j}^{n+1} - \bar{F}_{i-1,j}^{n+1}}{2\Delta x} + \frac{\bar{G}_{i,j+1}^{n+1} - \bar{G}_{i,j-1}^{n+1}}{2\Delta y} \right].\end{aligned}$$

Эта двумерная схема требует меньших затрат машинного времени, чем для первоначального варианта схемы Лакса–Вендроффа [Эмери 1968] и дает меньшие всплески за скачком.

Граничные условия для схемы имеют вид $\bar{U}_0^{n+l} = \bar{U}_1^{n+l}$; $\bar{U}_{Hx}^{n+l} = \bar{U}_{Hx-1}^{n+l}$; $\bar{U}_0^{n+l} = 0$; $\bar{U}_{Hy}^{n+l} = 0$; $l = 1, 2$.

В одномерном случае [1] $\bar{U} = \begin{Bmatrix} h \\ uh \end{Bmatrix}$; $\bar{F} = \begin{Bmatrix} uh \\ (uh)^2 + \frac{g}{2} h^2 \end{Bmatrix}$.

В двумерном случае [1]

$$\bar{U} = \begin{Bmatrix} h \\ uh \\ vh \end{Bmatrix}; \quad \bar{F} = \begin{Bmatrix} uh \\ (uh)^2 + gh^2 + ghZ_b \\ uvh \end{Bmatrix}; \quad \bar{G} = \begin{Bmatrix} vh \\ uvh \\ (vh)^2 + gh^2 + ghZ_b \end{Bmatrix}.$$

В настоящей работе решались задачи [2]: 1. О распространении волны по гладкому дну и дну с перепадами глубины в одномерной и двумерной постановках. 2. О распространении волн в канале при различных конфигурациях дна.

Благодаря проведенным расчетам были получены результаты, представленные в виде графиков и хорошо согласующиеся с экспериментальными данными.

Литература

1. Рочч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1976. 612 с.
2. Роди В. Модели окружающей среды // Методы расчета турбулентных течений. М.: Мир, 1984. 463 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАДАЧ РАЗМЕЩЕНИЯ НА РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ THE USE OF LOCATION PROBLEMS ON THE REAL DATA

Шабаршова Л.А.
Shabarshova L.A.

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: lutik_2109@mail.ru

Теория графов представляет собой раздел математики, имеющий широкие практические приложения. Многие проблемы, возникающие в таких весьма различных областях знания, как психология, химия, планирование перевозок, управление, могут быть сформулированы как задачи теории графов. Среди этих задач можно выделить отдельный тип – задачи размещения.

Задачи размещения связаны с решением проблем наилучшего расположения в определенных регионах систем обслуживания. Математи-

ческая структура задачи размещения определяется конфигурацией области допустимых точек и способом оценки качества размещения. Вследствие этого задачи размещения интересны не только сами по себе, но и тем, что представляют общую основу, на которой результаты, полученные в различных областях, могут быть собраны, классифицированы, обобщены и распространены. Графовые алгоритмы размещения можно применять в пространственном анализе – форме географического мышления, направленной на решение вопроса: почему это здесь находится?

Пространственный анализ является одним из основных способов интерпретации данных, используемых в геоинформатике. Он определяется набором функций, обеспечивающих анализ размещения, связей и иных пространственных отношений пространственных объектов, включая анализ зон видимости/невидимости, анализ соседства, анализ сетей, создание и обработку цифровых моделей рельефа, – процедур, использующих, как правило, алгоритмы интерполяции.

На языке программирования высокого уровня C++ было разработано приложение для поиска некоторых точек размещения.

Были вычислены точки размещения для сети метеостанций Томской области.

В настоящее время на территории Томской области находится 26 действующих метеостанций. Для каждой метеостанции, заданной парой координат в декартовой системе, известен ряд показаний среднемесячных температур за период в 38 лет.

В качестве модели данной задачи выступает неориентированный полный граф, вершины которого – точки расположения метеостанций. Любые две вершины были соединены ребром.

Были рассмотрены два случая задания весов ребер графа. В первом случае длина ребра, соединяющего две вершины, задавалась как расстояние между соответствующими координатами метеостанций. Во втором случае вес ребра вычислялся как сумма квадратов разности соответствующих значений температурных рядов на метеостанциях, связанных данным ребром.

И в первом, и во втором случае были получены координаты следующих точек размещения: центр, медиана, главный центр, главная медиана.

Литература

1. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. М.: Мир, 1981. 324 с.
2. Харари Ф. Теория графов: Пер. с англ. М.: Мир, 1973. 301 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ НА ФАЗОВЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
КАРБИДНОГО ПОКРЫТИЯ, РАСТУЩЕГО В ИМПУЛЬСНОЙ
ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЕ**
**STUDY OF THE INFLUENCE TECHNOLOGICAL PARAMETER
ON PHASE AND CHEMICAL COMPOSITION KARBIDNOGO
COVERING, RISING IN PULSED ELEKTRODUGOVOY PLASMA**

**Шанин С.А., Князева А.Г.
Shanin S.A., Knyazeva A.G.**

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
E-mail: shanin_s@mail.ru

В работе построена математическая модель процесса осаждения покрытия. Проведено численное исследование влияния технологических параметров (скорость ионов, концентрация химических компонентов плазмы у подложки и т.д.) на среднеинтегральные концентрации элементов и химических соединений в покрытии.

Введение

Ионно-плазменное напыление является весьма плодотворным методом получения тонких пленок и покрытий с уникальными свойствами. Таких объектов, имеющих на поверхности модифицированный слой, отличающийся физико-химическими свойствами от основного состава, в природе не существует и их невозможно получить традиционными методами непрерывного осаждения. Используя различные сочетания материалов, можно получать композиционные покрытия с улучшенными характеристиками, такими как антифрикционность, жаростойкость, эрозионная устойчивость и т.д. Процесс осаждения покрытий из тугоплавких металлов и углерода проходит в условиях пониженного давления. Без понижения давления ионы претерпевают множественные соударения с молекулами воздуха, в результате чего теряют большую часть своей энергии. Пониженное давление необходимо для равномерного распределения ионов по скоростям у поверхности подложки, чтобы получить необходимую структуру и состав покрытия.

Осаждения покрытий сопровождаются нагревом подложки вследствие потерь энергии ионами, перераспределением температуры и концентраций элементов, а также химическими реакциями.

В литературе выделяют различные физические явления, благодаря которым образуется покрытие того или иного состава и структуры. Сре-

ди них – явления термодиффузии и диффузионной теплопроводности, выделить для изучения которые экспериментально в неравновесных условиях осаждения весьма сложно. Для выяснения роли этих явлений и исследования кинетики роста фаз сформулируем модель роста покрытия, полагая, что скорость подвижной границы (границы растущего покрытия) определяется условиями в плазме.

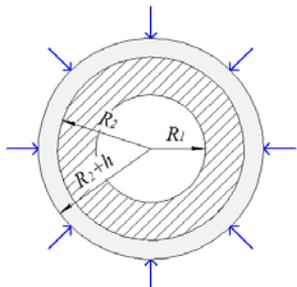
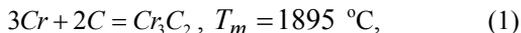


Рис. 1. Принципиальная схема напыления покрытия

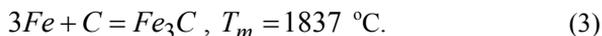
Постановка задачи

Рассмотрим цилиндрический образец (с внутренним и внешним радиусами R_1 и R_2), на поверхности которого (равномерно по всей его длине) растет покрытие (рис.1) за счет осаждения тугоплавкого металла и углерода, находящихся в окружающей плазме. В растущем покрытии возможны химические реакции.

Например, для хрома:



где T_m – температура плавления. Температура плавления основы (Fe) и карбидов в условиях эксперимента [1] не достигается, поэтому плавление можем не учитывать. Образец вращается вокруг оси, так что условия у поверхности покрытия по всей длине цилиндра можно считать одинаковыми. Вследствие диффузии углерода в подложку (Fe) возможно образование и карбидов железа FeC, Fe_3C :



В простейшем случае плазмы, состоящей из одного металла и углерода, в системе будет одновременно находиться три элемента (Fe – основа, Me – тугоплавкий металл и C – углерод), которые участвуют в диффузионном переносе, и три химических соединения, подвижностью которых вполне можно пренебречь. Иные соединения, имеющиеся на диаграммах состояния, в модели в первом приближении не учитываем.

Явления теплового и концентрационного расширения, а также возможный перенос масс под действием возникающих в растущем покрытии напряжений также не рассматриваем.

С учетом сделанных предположений приходим к сопряженной (с границей раздела между покрытием и подложкой), связанной (с учетом перекрестных явлений) теплодиффузионной задаче, включающей уравнения

$$\rho C_{\sigma} \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \mathbf{J}_q) + \sum_{i=1}^r Q_i^{\sigma} \varphi_i, \quad (4)$$

$$\rho \frac{\partial C_k}{\partial t} = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \mathbf{J}_k) + r_k, \quad k = 1, 2, \quad (5)$$

$$\rho \frac{\partial C_k}{\partial t} = r_k, \quad k = 4, 5, \quad (6)$$

где

$$\mathbf{J}_1 = -\rho D_{11} \nabla C_1 - \rho D_{12} \nabla C_2 - C_1 D_{11} S_{T1} \rho \nabla T,$$

$$\mathbf{J}_2 = -\rho D_{21} \nabla C_1 - \rho D_{22} \nabla C_2 - C_2 D_{22} S_{T2} \rho \nabla T,$$

$$\mathbf{J}_q = -\lambda_T \nabla T - A_1 \nabla C_1 - A_2 \nabla C_2,$$

T – температура; C_k – концентрации компонентов $C_1 - Me$; $C_2 - C$; $C_3 - Fe$; C_4 – тугоплавкий карбид; $C_5 - FeC$;

$r_k = \sum_{i=1}^r \nu_{ki} m_k \varphi_i$ – источники и стоки массы в химических реакциях;

$Q_i^{\sigma} = -\sum_{k=1}^n (h_k^{\sigma} \nu_{ki} m_k)$ – тепловые эффекты реакций, число которых r ;

ν_{ki} – стехиометрические коэффициенты компонентов k в реакциях i ;

m_k – молярные массы компонентов; h_k^{σ} – парциальные энтальпии компонентов при постоянстве напряжений; φ_i – скорости реакций; C_{σ} – теплоемкость при постоянстве напряжений; ρ – плотность; λ_T ,

D_{ik}, A_1, A_2 – коэффициенты переноса; S_{Tk} – коэффициенты Соре; $\nabla \dots = \partial \dots / \partial r$. Поскольку в результате нагрева, фазовых и химических превращений свойства изменяются, то все коэффициенты переноса, теплоемкость, плотность – функции состава и температуры.

Из трех диффузионных потоков (подвижны только железо, тугоплавкий металл, например хром, и углерод) независимы только два ($\mathbf{J}_1 + \mathbf{J}_2 + \mathbf{J}_3 = 0$), а из пяти концентраций независимы только четыре

$\left(\sum_{k=1}^n C_k = 1 \right)$, поэтому у нас в модели имеется только два диффузионных

и два кинетических уравнения.

Коэффициенты переноса рассчитываем по формулам [2]:

$$D_{kj} = D_{kk}^0 \left[g_{kj} - g_{kn} + \frac{C_k m_k}{C_n m_n} (g_{nn} - g_{nj}) \right] = D_{kk}^0 f_{kj},$$

$$g_{jk} = \delta_{jk} + \frac{C_j}{C_k} \frac{\partial \ln \gamma_j}{\partial \ln C_k},$$

$$Q_k^* = \rho R T^2 S_{Tk} f_{kk} m_k^{-1},$$

$$A_1 = D_{11} Q_1^* + D_{21} Q_2^*, \quad A_2 = D_{12} Q_1^* + D_{22} Q_2^*,$$

где D_{kk}^0 – коэффициенты самодиффузии; g_{kj} – термодинамические множители; γ_j – коэффициенты активности; Q_k^* – теплоты переноса; R – универсальная газовая постоянная.

На границе раздела материалов (подложки и растущего покрытия) равны друг другу потоки тепла и температуры

$$\mathbf{J}_q^S = \mathbf{J}_q^C, \quad T^S = T^C,$$

а также потоки массы и химические потенциалы диффузанта

$$\mathbf{J}_k^S = \mathbf{J}_k^C, \quad g_k^S = g_k^C,$$

где верхний индекс S относится к подложке, C – к растущему покрытию.

При рассмотрении различных типов приближений к описанию структуры формирующихся фаз в статистической термодинамике для коэффициентов активности γ_k и, следовательно, для химических потенциалов получают уравнения, которые можно использовать при выводе уравнений для потоков массы. Эти же величины определяют скорости реакции, теплоты реакций и т.п. Из эксперимента их далеко не всегда удается найти, поэтому будем пользоваться теоретическими подходами. Так, для изотропного материала имеем дифференциальные соотношения [3]:

$$(dg_k)_\sigma = -s_k dT + \sum_{l=1}^n \frac{RT}{m_k C_k} \left(\delta_{kl} + \frac{C_k}{C_l} \frac{\partial \ln \gamma_k}{\partial \ln C_l} \right) dC_l,$$

где s_k – парциальные энтропии компонентов ($h_k = Ts_k + g_k$).

Так как на границе раздела фаз, находящихся в равновесии, температуры одинаковы, из условия равенства химических потенциалов найдем

$$(C_k \gamma_k)^S = (C_k \gamma_k)^C.$$

В приближении идеальных растворов (образующихся в основе и в растущем покрытии) $\gamma_k = 1$, что даст просто равенство концентраций на границе раздела. Если $\gamma_k \neq 1$, появляются коэффициенты распределения.

Условия на растущей поверхности запишем в виде

$$-\mathbf{J}_q = q_0 \frac{d\xi}{dt}, \quad -\mathbf{J}_k = m_k u_k \frac{d\xi}{dt},$$

где u_k – мольная концентрация частиц у поверхности, моль/м³, которые либо следуют из эксперимента, либо из решения внешней задачи. Для исследования модели эти величины могут быть заданы.

Примем [4]

$$q_0 = k \left(\frac{V_1^2}{2} m_1 y_1 + \frac{V_2^2}{2} m_2 y_2 \right),$$

где k – коэффициент преобразования кинетической энергии в тепло.

Скорость роста покрытия определяется концентрациями и скоростями частиц у поверхности растущего покрытия.

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{y_1 V_1 + y_2 V_2}{y_1 + y_2}, \quad (7)$$

где y_1, y_2 – концентрации ионов у поверхности; V_1, V_2 – скорости ионов

Результаты численного моделирования

По результатам расчетов построены зависимости от времени среднеинтегральных значений концентраций хрома, углерода, Cr_3C_2 , FeC при различных значениях скорости ионов (рис. 2) элементов у поверхности растущего покрытия.

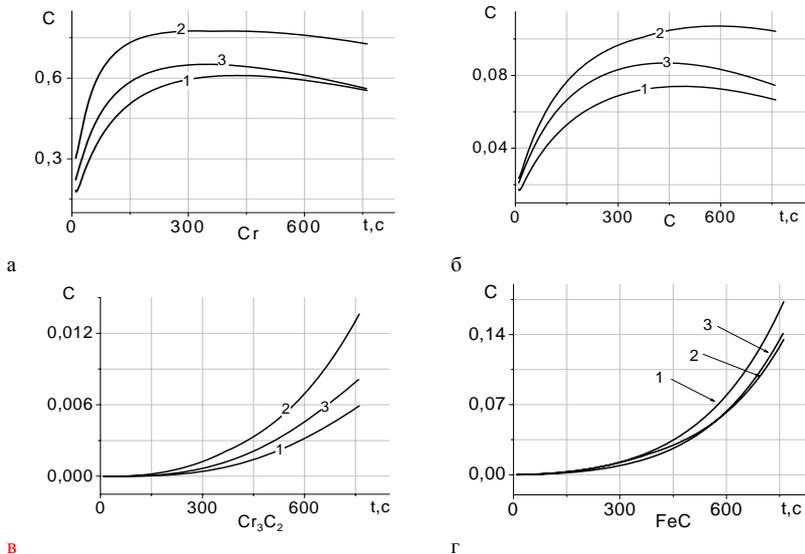


Рис. 2. Зависимость среднеинтегральной концентрации хрома (а), углерода (б), Cr_3C_2 (в), FeC (г) в покрытии от времени: 1 – $v_1 = 50$ м/с, $v_2 = 40$ м/с; 2 – $v_1 = 60$ м/с; $v_2 = 50$ м/с; 3 – $v_1 = 70$ м/с, $v_2 = 60$ м/с; ($y_1 = 0.5$, $y_2 = 0.7$)

Заключение. В работе предложена модель формирования тонкопленочных покрытий путем перемешивания элементов в условиях одновременного осаждения тугоплавких металлов и углерода из импульсной электродуговой плазмы на поверхность цилиндрического образца.

Учено влияние термодиффузии. Выявлена нелинейная взаимосвязь между среднеинтегральными концентрациями элементов и основными параметрами процесса. Модель допускает дальнейшее развитие за счет учета напряженного состояния подложки и наносимого покрытия.

Работа выполнена в рамках государственного контракта №_16.740.11.0122, заключенного в рамках федеральной целевой программы (шифр «2010-1.2.1-102-017») по теме «Комплексное исследование взаимовлияния процессов переноса и деформирования в условиях воздействия потоков частиц на поверхность металлов» и при поддержке РФФИ (грант № 10-08-90010).

Литература

1. Селифанов С.О., Милашевская И.Г., Станкевич Е.В., Селифанов О.В. Многослойные наноконпозиционные Ti-C-, Cr-C-покрытия для повышения рабочего ресурса металлообрабатывающего инструмента // III Междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» (Минск, 15–17 октября 2008 г.). Минск, 2008. Т. 2. С. 52–57.
2. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987. 490 с.
3. Демидов В.Н., Князева А.Г. Коэффициенты переноса для трехкомпонентного деформируемого сплава // Вестник ПермГТУ. Механика. 2011. № 3. С. 84–99.
4. Шанин С.А., Князева А.Г. Перемешивание элементов в поверхностном слое цилиндрического образца в условиях осаждения покрытия из импульсной электродуговой плазмы // Изв. вузов. Физика. 2011. №11/3. С. 97–103.
5. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. II. Случайные поля. М.: Наука, 1978. 463 с
6. Никольский Б.П. Справочник химика. М.: Химия. 1966. Т. 1. 540 с.; Т. 2. 1971.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОДОМЕТРИИ В МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ APPLICATION OF ODOMETRY METHODS IN MOBILE ROBOTICS

Шеломенцев Е.Е.
Shelomentsev E.E.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk Polytechnic University
E-mail: see4me@mail.ru

Мобильная робототехника зачастую сталкивается с проблемой ориентации в пространстве. Существует множество способов решения дан-

ной проблемы, например использование компаса, GPS/ГЛОНАСС, технического зрения. Эти способы довольно затратны, потому как требуют установки дополнительного оборудования. Одним из способов, не требующих установки дополнительного оборудования, является применение методов одометрии.

Одометрия – использование данных о движении приводов для оценки перемещения [1]. Рассмотрим её применение на базе мобильного робота с шасси, состоящим из двух ведущих колес. Будем считать, что каждое колесо прикреплено к отдельному двигателю. Таким образом, чтобы узнать расстояние, пройденное каждым колесом, следует подставить значения энкодера в формулу

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot e,$$

где S – расстояние, пройденное колесом; R – радиус колеса; e – значение энкодера в радианах.

Чтобы узнать расстояние, пройденное роботом, достаточно найти среднее арифметическое от расстояний, пройденных каждым колесом. Также можно получить данные об отклонении робота от первоначального направления с помощью формулы:

$$\theta = \frac{(e_1 - e_2) \cdot R}{d},$$

где θ – угол отклонения; $e_{1,2}$ – показания энкодеров в радианах; R – радиус колеса; d – расстояние между центрами колес.

В случае танковой конструкции шасси в качестве d следует взять расстояние между ближними торцами гусениц, а в качестве R следует взять радиус колеса, вращающего гусеницу.

При автомобильной конструкции шасси угол отклонения следует получать, основываясь на данных поворота рулевого механизма.

Известные расстояние и угол позволяют применить полярную систему координат для определения положения робота относительно точки старта. При необходимости всегда можно перейти от полярной системы координат к декартовой. Таким образом, при известной точке старта проблему ориентации можно решить данным методом.

К сожалению, одометрия имеет ряд недостатков, не позволяющих применять её повсеместно [2]:

1. Ошибки энкодеров, приводят к неточному определению координат, без возможности диагностики наличия этой ошибки. То есть применение одометрии возможно лишь на небольших участках. В качестве частичного решения можно использовать поправки для компенсации этой ошибки, но только в случае, если эти ошибки систематические.

2. Проскальзывание и пробуксовка приводят к тому же результату.

3. В случае низкой частоты обработки данных могут возникнуть ошибки, если робот собьется в промежуток времени между снятиями значений с энкодеров.

Литература

1. *Edwin Wise*. Robotics Demystified. 2004. 287 с.
2. *Edwin Wise*. Robotics Demystified. 2004. 289 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА ВХОДЯЩЕЙ И ИСХОДЯЩЕЙ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ ACCOUNTING AUTOMATION OF INCOMING AND OUTGOING CORRESPONDENCE

Шишкина А.А.
Shishkina A.A.

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev
E-mail: shishkina1004@mail.ru

В Территориальном управлении Рудничного района г. Кемерово (ТУРр) учет входящей и исходящей корреспонденции (писем) выполнялся в базе данных, которая не отвечала всем требованиям, предъявляемым со стороны сотрудников. В частности, большой объем данных хранился в бумажном виде, что затрудняло поиск и обработку интересующей информации.

Для решения данной проблемы была разработана информационная система регистрации, которая позволяет фиксировать всю корреспонденцию (входящие и исходящие письма), следить за исполнением письменных поручений и формировать отчеты по неисполненным письмам.

Кроме того, хранение информации обо всей корреспонденции позволяет вести статистический учет по годам или на определенную дату, выполнять быстрый и удобный поиск по каталогу, хранить наиболее полные сведения о письмах.

Для добавления письма в базу данных необходимо выбрать в пункте меню *Письма* подпункт *Добавить* и тип письма, которое необходимо

добавить. Таким же образом можно выполнять редактирование, просмотр и удаление письма.

Для поиска письма в базе данных необходимо в пункте меню *Письма* выбрать подпункт *Поиск*. В нижней части окна программы появится форма для поиска. Далее необходимо заполнить нужные поля и нажать кнопку *Поиск*.

Данная программа позволяет создавать отчет по неисполненным письмам за выбранный год. Для создания отчетов необходимо выбрать пункт меню *Отчет* и далее подпункт *Отчет по неисполненным письмам*.

Таким образом, в ходе исследования была создана информационная система для учета входящей и исходящей корреспонденции, что позволило увеличить скорость обработки информации и, как следствие, повысить эффективность труда.

Литература

1. Microsoft Developer Network. Библиотека MSDN (по-русски) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/library/ms123401>, свободный.
2. *Гросс К.С.* 2008 и платформа. NET 3.5 Framework. Вильямс, 2009. 480 с.
3. Интернет университет информационных технологий. Создание Windows-приложений на основе Visual C# [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.intuit.ru/department/pl/visualcsharp>, свободный.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИМПАКТНОЙ СТРУИ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРЕГРАДЫ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ SOME ASPECTS OF MATHEMATICAL SIMULATION IMPACT JET INTERACT ON COMPLICATED FORM BARRIER

Маслов Е.А.

Maslov E.A.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk polytechnic university

Получение качественной картины течения и значения основных физических параметров при моделировании процесса взаимодействия потока вязкой жидкости с поверхностью твердого тела во многом зависит от выбора метода и алгоритма численного решения. В настоящее время наибольшие затруднения при численном моделировании возникают при детальном описании структуры течения вблизи подвижной криволиней-

ной границы твердого тела. Численное моделирование взаимодействия импактной струи с материалом, адекватно физическому процессу представляющее течение в пограничном слое, обеспечивается набором пристенных функций в областях со сложной геометрией в совокупности с корректным выбором сеточных параметров.

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования процесса взаимодействия импактной турбулентной струи с твердой поверхностью материала сложной формы (рис. 1) [1] при различной аппроксимации конвективных членов (SOU, QUICK) [2, 3] и использовании различных методов корректировки поля скорости и давления при решении уравнения Пуассона [2], а также сравнение с экспериментальными результатами (рис. 2) [4].



Рис. 1. Схема области решения задачи

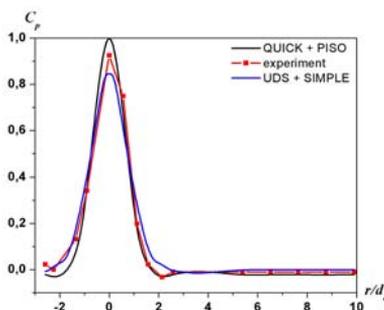


Рис. 2. Сравнение результатов расчетов с результатами экспериментов [4]

Численные эксперименты были проведены при следующих геометрических и режимных параметрах: диаметр входного отверстия $d_c=8.9$ мм, скорость газа в входном сечении u_m изменяется в пределах от 20 до 45 м/с; соответствующее значение числа Рейнольдса $Re_c = u_m \cdot d_c / \nu = (12 \div 28) \cdot 10^3$. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов проводилось по распределению коэффициента давления $C_{pi} = 2 \cdot (P_i - P_{atm}) / (\rho_c \cdot u_{in}^2)$ на поверхности преграды различной формы: плоская поверхность, полусферическая лунка с острой и скругленной кромкой при различном $H = (2 \div 10) \cdot d_c$.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант № 12-08-90709-моб_ст.

Литература

1. Yang Y.-T., Hwang C.H. Numerical simulations on the hydrodynamics of a turbulent slot jet impinging on asemicylindrical convex surface // Int. J. Numerical Heat Transfer, Part A, 46: 995 – 1004, 2004.

2. *H.K. Versteeg, W. Malalasekera* An introduction to computational fluid dynamics The finite volume method. – Longman Scientific&Technical, 1995. P. 258.
3. R. Ganesh Rajagopalan, Chien-Jung Yu Use of Lagrange interpolation in modeling convective kinematics // Int. J. Numerical Heat Transfer, Part B, 36:233-240, 1999.
4. *Маслов Е.А., Жарова И.К., Терехов В.И.* Исследование газодинамического взаимодействия импактной струи с поверхностью преграды сложной формы // Изв. вузов. Физика. 2010. Т. 53, № 12/2. С. 182–187.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАНАЛАХ
МЕТОДОМ КОНТРОЛЬНОГО ОБЪЕМА
MATHEMATICAL MODELLING GAS-DYNAMIC PROCESSES
IN CANALS BY FINITE-VOLUME METHOD**

**Облупин А.Ю., Маслов Е.А.
Oblupin A.Yu., Maslov E.A.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk polytechnic university
E-mail: au_oblupin@sibmail.com

На практике часто встречаются случаи теплообмена при ламинарном и турбулентном течении в каналах теплоносителей различной формы сечения. Плоские каналы встречаются в отопительной технике, в пластинчатых теплообменниках. С определенной степенью точности к задаче о прямолинейном плоском канале могут быть приведены и другие практически важные случаи. Например, задача о гидродинамике потока в канале теплообменной установки.

Целью работы является математическое моделирование течения вязкой несжимаемой жидкости на начальном участке цилиндрического канала.

В алгоритме численного решения задачи реализован метод контрольных объемов [1]. При решении задачи были получены рекомендации по выбору количества сеточных узлов и параметров сгущения сетки в зависимости от выбора процедур аппроксимации конвективных членов [2] и метода решения уравнения Пуассона. Критерием оптимального выбора сеточных параметров в комплексе с используемыми наборами процедур различной аппроксимации конвективных членов и процедурами решения уравнения Пуассона являлось совпадение полученных численных результатов решения задачи течения ламинарной теплопроводной вязкой жидкости в канале с результатами численного и экспериментального исследования опубликованными в [3].

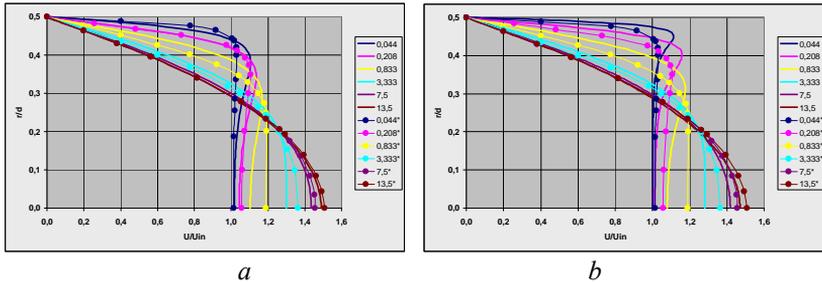


Рис. 1. Распределение скорости в различных поперечных сечениях по длине цилиндрического канала при $u_{in}=5 \cdot 10^{-4}$ м/с, $d=0.3$ м: ● – экспериментальные и теоретические данные [3]; — – результаты численного моделирования; а – сеточное разрешение $(60 \times (20+20))$; б – сеточное разрешение $(200 \times (60+60))$

На рис. 1. представлено сравнение экспериментальных и расчетных результатов распределения скорости по длине цилиндрического канала во входном сечении, которого задавалась постоянное распределение скорости u_{in} .

При низких сеточных разрешениях полученные профили скорости совпадают с численным решением и экспериментальными данными, приведенными в [3], а при высоких сеточных разрешениях профили скорости на начальном участке канала значительно отличаются от приведенных результатов [3], за счет использования прстенных функций для «низко-рейнольдсовых» моделей пограничного слоя и значительно увеличение сеточного разрешения в пристенной области.

Также были проведены серии численных экспериментов и установлено, что формирование параболического профиля скорости формируется на удалении 0,1 калибра от входного отверстия. Таким образом, полученный профиль скорости на удалении 0,1 калибра можно использовать в качестве граничного условия задаваемого при решении нестационарной задачи течения жидкости в канале.

Литература

5. Versteeg H.K., Malalasekera W. An introduction to computational fluid dynamics the finite volume method. Longman Scientific&Techniacal. 1995. P. 258.
6. R. Ganesh Rajagopalan, Chien-Jung Yu Use of Lagrange interpolation in modeling convective kinematics // Numerical Heat Transfer, Part B, 36:233–240, 1999.
7. Виноградова И.А., Зубков В.Г. Газодинамические процессы в теплоэнергетических установках на базе метода контрольного объема // Математическое моделирование. 2002. Т. 14, № 6. С. 3–24.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
PREFACE.....	7

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Glazyrin V.P., Orlov M.Y., Orlov Yu.N.</i> The investigation of deformation and fracture processes of polycrystalline ice	9
<i>Борисейко П.П.</i> Проблемы современного дизайна электроники	18

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ УЧАСТНИКОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ МОЛОДЕЖНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ» В РАМКАХ ФЕСТИВАЛЯ НАУКИ (19–21 сентября 2012 г.)

<i>Абрикосов И.А., Баранникова С.А., Надежкин М.В.</i> Макро- и микроскопические параметры при описании локализации пластического течения деформируемых сплавов Ti и Zr	23
<i>Акимов А.А.</i> Информационная система для поддержки процессов управления кафедрой вуза.....	25
<i>Александров И.А.</i> Численный метод интегрирования (обобщенный метод парабол).....	27
<i>Александрова С.Я.</i> Циклы кинетических графов и колебательность в химических реакциях	29
<i>Александрова С.Я., Конова Е.С.</i> Статистическая модель солей жесткости и качество минеральной воды.....	30
<i>Аникеева Г.М., Смолин А.Ю.</i> Идентификация наноскопических пор и дефектов в материале покрытия методом подвижных клеточных автоматов	31
<i>Барбара А.Д.</i> Роль информационных систем в управлении персоналом	33
<i>Богомолов Г.Н., Орлов М.Ю.</i> Численное моделирование процессов взаимодействия стального ударника с бериллиевой преградой	35
<i>Болтышева Д.С., Григорьев М.В., Буякова С.П., Кульков С.Н.</i> Структура и свойства $ZrO_2(Y_2O_3)$ -TiC композиционных материалов.....	37
<i>Бондаренко С.В., Черномас В.В., Одинокое В.И.</i> Экспериментальное исследование процесса деформирования на установке вертикального литья и деформации металла	39
<i>Воронин А.</i> Робот-паук.....	41
<i>Выймова Е.А.</i> Отображения с <i>s</i> -усредненной характеристикой и Q-гомеоморфизм	42
<i>Гойко Вч.Л.</i> Использование параллельных технологий для расчета движения космического тела с гиперзвуковой скоростью в атмосфере	44

<i>Горбунов Е.С.</i> Квантовый алгоритм нахождения дискретного логарифма	46
<i>Губанов С.М.</i> Математическое моделирование теплообмена при охлаждении блока емкостей для десублимации газа	47
<i>Губин В.Н.</i> Модели систем с управляемым резервом	48
<i>Данилкин Е.А., Деви Д.В., Старченко А.В.</i> Распараллеливание итерационных методов решения сеточных уравнений	50
<i>Дороганов В.С., Ким К.И.</i> Интеллектуальная оценка прибытия пассажирского транспортного средства	52
<i>Дубинова А.Д.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг забоя с целью прогноза обрушения основной кровли	54
<i>Дучко А.Н., Калинин К.В., Быков А.Д.</i> Применение теории возмущений Релея–Шредингера для вычисления уровней энергии молекулы HD^{16}O	56
<i>Гусков А.В., Жителёва А.В., Милевский К.Е., Морева Н.А., Приходько Е.А.</i> Изменение микроструктуры проволок стальных канатов после длительного хранения	58
<i>Жильцов К.Н., Горельский В.А.</i> Численный анализ самовоспламенения торфа с различной кинетикой	60
<i>Журавлев Е.В.</i> Математическое моделирование установившегося течения вязкой жидкости за уступом в плоской трубе	62
<i>Зиновьева О.С., Зиновьев А.В., Емельянова Е.С.</i> Особенности формирования деформационного рельефа на поверхности материала с модифицированным поверхностным слоем	64
<i>Иванюк Ю.В.</i> Авторегрессионная AR(p) модель и ее применение для прогнозирования	66
<i>Камчатный С.А.</i> Математическое моделирование процесса формообразования деталей передаточного механизма с ЭЦ-зацеплением	68
<i>Касьмов Д.П., Гришин А.М., Зима В.П.</i> Исследование тепловизионной картины во фронте торфяного пожара, инициированного действием низового лесного пожара	69
<i>Коксин А.М.</i> Разработка программы для моделирования кривых блеска транзитных экзопланет	71
<i>Кондратюк С.В.</i> О разделении графа на домены	73
<i>Коноваленко И.С., Зольников К.П., Псахье С.Г.</i> Молекулярно-динамическое изучение формирования металлических тонкопленочных наноструктур и их поведения при нагреве	74
<i>Кравцова Ю.А., Селимов И.А.</i> Об учете гипотезы Тимошенко при решении задач статики и устойчивости балочных конструкций	76
<i>Красновейкин В.А., Скрипняк В.В., Сухоярский М.А.</i> Моделирование деформационного поведения сплавов при интенсивной пластической деформации	78
<i>Кривякова Э.Н., Груне К.А.</i> Исследование миграции населения г. Томска	80
<i>Курганов С.М.</i> Высокпроизводительные вычисления с графическими процессорами Tesla	82
<i>Козулин А.А., Ли Ю.В., Кульков С.С.</i> Формирование структуры при кумулятивном нанесении покрытий, содержащих многослойные углеродные нанотрубки, на титановые подложки	83
<i>Козулин А.А., Ли Ю.В., Скрипняк Е.Г., Скрипняк В.В.</i> Трещиностойкость керамических композитов при квазистатических и динамических испытаниях	86
<i>Лозовская Е.Г.</i> Моделирование алгоритма обнаружения объектов в изображении при передвижении автономного мобильного робота по неизвестной местности	88
<i>Лопатин М.Л.</i> Методика построения трехмерной модели объекта на базе	

модели многогранника.....	90
<i>Лопатин М.Л.</i> Реконструкция трехмерного объекта с использованием разбиения по вектор-градиенту.....	92
<i>Маренин Д.В.</i> Имитационное моделирование деятельности предприятий ИТ-аутсорсинга.....	94
<i>Некрасова В.С.</i> Моделирование глубокой вытяжки образцов из легких конструкционных сплавов при динамических испытаниях.....	96
<i>Нутерман Р.Б., Старченко А.В., Данилкин Е.А.</i> О процессах переноса примесей в городских условиях.....	99
<i>Олимпиева Н.В., Бодров А.С., Зелепугин С.А.</i> Численное моделирование формирования стружки при высокоскоростном ортогональном резании.....	101
<i>Онопrienко О.О., Сорокова С.Н.</i> Моделирование процесса спекания в системе Ti-Cu в условиях регулируемого нагрева.....	103
<i>Пичугин В.А.</i> Математическое моделирование заблаговременной дегазации угольного пласта.....	104
<i>Попт М.Ю.</i> Численное моделирование нестационарного теплообмена в цилиндрической емкости с тонкой стенкой.....	105
<i>Порязов В.А., Крайнов Д.А., Горбенко Т.И.</i> Расчет скорости горения высокоэнергетического вещества с примесью порошка алюминия.....	107
<i>Раевская Е.А.</i> Информационная система мониторинга результатов научно-исследовательской деятельности.....	109
<i>Разина А.В.</i> Голоморф свободной абелевой группы.....	111
<i>Рогозинский М.И.</i> О k -вполне транзитивности жестких вполне разложимых абелевых групп без кручения.....	113
<i>Роман Н.В.</i> Многоуровневое моделирование деформации и разрушения хрупких пористых материалов методом подвижных клеточных автоматов.....	115
<i>Рудь М.Н.</i> Применение робототехники в телемедицине.....	117
<i>Самбаров Г.Е., Сюсина О.М.</i> Оценивание влияния систематических ошибок модели движения малых тел Солнечной системы на точность построения доверительных областей.....	119
<i>Самылкина О.А.</i> Оптимизация раскроя осесимметричного параболического рефлектора с использованием пакета Maple.....	121
<i>Сарапулова Т.В.</i> Информационная система для реализации гипотетического объединения регионов.....	122
<i>Сенатова О.А.</i> Оценка влияния межфазного слоя на деформационные характеристики полимерного композиционного материала.....	124
<i>Середова О.И.</i> Компьютерное моделирование структурно-неоднородных материалов.....	127
<i>Ситников Г.И., Касаткина Т.В.</i> Информационные технологии в курсе обыкновенных дифференциальных уравнений.....	128
<i>Сороквашин К.В.</i> Сравнение методов определения координат пунктов по данным спутниковых измерений.....	130
<i>Сорокова С.Н.</i> Моделирование влияния добавок наночастиц на динамику процесса спекания алюмосиликатной керамики.....	131
<i>Султонова Ш.Х.</i> О численном решении математической модели усиления иммунного ответа.....	132
<i>Терентьева М.В., Касаткина Т.В.</i> Качественный анализ одного дифференциального уравнения.....	134
<i>Ткачева А.В., Сергеева А.М., Одинокоев В.И.</i> Математическая модель зарождения трещин в ледяном покрове.....	135
<i>Томилова И.В., Чувашов И.Н.</i> Исследование долговременной орбитальной	

эволюции объектов спутниковых радионавигационных систем	137
<i>Ульянов А.Д., Штейнбрехер О.А.</i> Применение технологии Nvidia CUDA при решении задач механики	139
<i>Чепак-Гизбрехт М.В.</i> Моделирование процессов переноса и деформирования в условиях обработки потоками частиц	140
<i>Черных А.А., Мамонова Т.Е.</i> Моделирование гидродинамических процессов от времени в нефтепроводе при утечке	142
<i>Чувашов И.Н.</i> Моделирование процесса соударения объектов космического мусора и их последующей орбитальной эволюции	144
<i>Чуруксаева В.В.</i> Выбор численного метода и расчеты течения жидкости в канале	145
<i>Шабаршова Л.А.</i> Применение задач размещения на реальных данных	147
<i>Шанин С.А., Князева А.Г.</i> Исследование влияния технологических параметров на фазовый и химический состав карбидного покрытия, растущего в импульсной электродуговой плазме	149
<i>Шеломенцев Е.Е.</i> Применение методов одометрии в мобильной робототехнике	155
<i>Шишкина А.А.</i> Автоматизация учета входящей и исходящей корреспонденции	157
<i>Маслов Е.А.</i> Некоторые аспекты математического моделирования процесса взаимодействия импактной струи с поверхностью преграды сложной формы	158
<i>Облупин А.Ю., Маслов Е.А.</i> Математическое моделирование газодинамических процессов в каналах методом контрольного объема	160

CONTENTS

PREFACE.....	7
PLENARY REPORTS	
<i>Glazyrin V.P., Orlov M.Y., Orlov Yu.N.</i> The investigation of deformation and fracture processes of polycrystalline ice	9
<i>Boriseyko P.P.</i> Problems of the modern design of the electronics.....	18
THE THESIS REPORT PARTICIPANT TO INTERNATIONAL YOUTH CONFERENCE "MODERN PROBLEM PRIKLADNOY MATHEMATICIANS AND INFORMATICSES" WITHIN THE FRAMEWORK OF FESTIVAL OF THE SCIENCE (19–21 september 2012)	
<i>Abrikosov I.A., Barannikova S.A., Nadezhkin M.V.</i> Macroscopic and microscopic parameters for the description of localized plastic flow in deforming alloys Ti and Zr	23
<i>Akimov A.A.</i> Information system to support the management processes of the university department.....	25
<i>Aleksandrov I.A.</i> The numerical method of integrate (the unite method of parabolas)	27
<i>Aleksandrova S.Y.</i> The cycles of kinetics counts and oscillation on chemical reactions	29
<i>Aleksandrova S.Y., Konova E.S.</i> The static model of hard salt and quality of mineral water.....	30
<i>Anikeeva G.M., Smolin A.Yu.</i> Identification of nanoscopic pores and defects in brittle materials by mobile cellular automata	31
<i>Barbara A.D.</i> The role of information systems in personnel management	33
<i>Bogomolov G.N., Orlov M.Yu.</i> Numerical simulation of interaction impact of steel with beryllium barrier.....	35
<i>Boltysheva D.S., Grigoriev M.V., Buyakova S.P., Kulkov S.N.</i> Structure and properties OF ZrO ₂ (Y ₂ O ₃)-tic composites.....	37
<i>Bondarenko S.V., Chernomas V.V., Odinokov V.I.</i> Experimental study of the process deformirovaniya on installation vertical litho and deforming the metal	39
<i>Voronin A.</i> Robot-spider	41
<i>Vymova E.A.</i> Images with S-averaged by feature and Q-gomeomorfizm	42
<i>Goiko V.L.</i> Application of parallel technologies to calculate the motion of the cosmic body at hypersonic speeds in the atmosphere	44
<i>Gorbanov E.S.</i> A quantum algorithm for finding the discrete logarithm	46
<i>Gubanov S.M.</i> Mathematical modeling of heat transfer in the cooling block containers for desublimation processes of gas.....	47
<i>Gubin V.N.</i> System models with operated by reserve	48
<i>Danilkin E.A., Degi D.V., Starchenko A.V.</i> Parallelization of iteration methods for solving difference equations.....	50

<i>Doroganov V.S., Kim K.I.</i> Intellectual assessment of arrival of a passenger vehicle.....	52
<i>Dubinova A.D.</i> Modeling of stress-strain state of rock massif around working face for estimation of roof fall criteria.....	54
<i>Duchko A.N., Kalinin K.V., Bykov A.D.</i> Application of Rayleigh-Schrödinger perturbation theory to calculate the molecule HD ¹⁶ O energy Levels.....	56
<i>Guskov A.V., Zhitelva A.V., Milevskiy K.E., Moreva N.A., Prihodko E.A.</i> Microstructure of material of steel ropes as influenced by long-term storage.....	58
<i>Zhiltsov K.N., Gorelski V.A.</i> Numerical analysis of self-ignition of peat with different kinetics.....	60
<i>Zhuravlev E.V.</i> Mathematical modeling of the established current of viscous liquid behind a ledge in a flat pipe.....	62
<i>Zinovieva O.S., Zinoviev A.V., Emelyanova E.S.</i> Surface roughening in polycrystals with modified surface layer.....	64
<i>Ivanyuk Y.V.</i> Autoregressive AR (p) model and its application to predict.....	66
<i>Kamchatniy S.A.</i> Mathematical simulation of generation process for gear parts with EC-gearing.....	68
<i>Kasymov D.P., Grishin A.M., Zyma V.P.</i> Investigation of thermal picture in the fire front, which initiated by the action of forest fire.....	69
<i>Koksin A.M.</i> Development of software for modeling exoplanets' transit light curves.....	71
<i>Kondratyuk S.V.</i> On the division of the graph into domains.....	73
<i>Konovalenko I.S., Zolnikov K.P., Psakhie S.G.</i> Molecular dynamics investigation of metallic thin-film nanostructure formation and their behavior under heating.....	74
<i>Kravtsova Ju. A., Selimov I.A.</i> On the hypothesis Tymoshenko in solving problems of statics and stability beam constructions.....	76
<i>Krasnoyevykin V.A., Skripnyak V.V., Suhoyarskiy M.A.</i> Modeling of deformation behavior of the alloy under severe plastic deformation.....	78
<i>Kriviakova E., Grune K.N.</i> Research of population migration in the city of Tomsk.....	80
<i>Kurganov S.M.</i> High-performance computing with Tesla gpus.....	82
<i>Kozulin A.A., Li U.V., Kulkov S.S.</i> Structure formation in the cumulative coatings on titanium containing multilayer carbon nanotubes.....	83
<i>Kozulin A.A., Li U.V., Skripnyak E.G., Skripnyak V.V.</i> Fracture of ceramic composites under quasistatic and dynamic tests.....	86
<i>Lozovskaya E.G.</i> Modelling of objects detection algorithm in the image at the movement of the self-contained mobile robot on unknown locality.....	88
<i>Lopatin M.L.</i> The method of constructing a three-dimensional model of the object based on the model of the polyhedron.....	90
<i>Lopatin M.L.</i> The reconstruction of three-dimensional object using a partition on the gradient vector.....	92
<i>Marenin D.V.</i> Ит-аутсорсинга simulation modeling of the enterprise it outsourcing.....	94
<i>Nekrasova V.S.</i> Modeling of the deep extraction sample from light konstrukcionnyh alloy under dynamic test.....	96
<i>Nuterman R.B., Starchenko A.V., Danilkin E.A.</i> About pollutions dispersion in an urban conditions.....	99
<i>Olimpieva N.V., Bodrov A.S., Zelepugin S.A.</i> Numerical simulation of chips formation at high speed orthogonal cutting.....	99
<i>Onoprienko O.O., Sorokova S.N.</i> Simulation of the sintering process in the Ti-Cu system under controlled heating.....	103
<i>Pichugin V.A.</i> Mathematical modeling of the preliminary degassing of coal seams.....	104
<i>Popp M.Yu.</i> Numerical simulation of unsteady heat transfer in a cylindrical tank with a thin wall.....	105

<i>Poryazov V.A., Kraynov D.A., Gorbenko T.I.</i> Calculation of the speed of combustion of high-energy substances mixed with aluminum powder	107
<i>Raevskaya E.A.</i> Information system for monitoring the results of research	109
<i>Razina A.V.</i> Holomorph of a free abelian group.....	111
<i>Rogozinsky M.I.</i> On <i>K</i> -fully transitivity rigid completely decomposable torsion free abelian groups	113
<i>Roman N.V.</i> Multilevel simulation of deformation and fracture of brittle porous materials using movable cellular automaton method	115
<i>Rud M.N.</i> Application of robotics in telemedicine	117
<i>Sambarov G.E., Syusina O.M.</i> The influence systematic biases model of motion minor bodies of the Solar system on the accuracy construction of confidence regions	119
<i>Samylnina O.A.</i> Optimization of cutting an axially symmetric parabolic reflector using the package maple	121
<i>Sarapulova T.V.</i> Information system for the implementation of a hypothetical merging regions.....	122
<i>Senatova O.A.</i> Assessment of influence of an interphase layer on the deformation characteristics of a polymeric composite material	124
<i>Seredova O.I.</i> Numerical simulation of the structural and inhomogeneous materials.....	127
<i>Sitnikov G.I., Kasatkina T.V.</i> Informational technology in the course of ordinary differential equation	128
<i>Sorokvashin K.V.</i> Comparison of methods for determining the coordinates of points on the satellite measurements.....	130
<i>Sorokova S.N.</i> Modeling of the effect of additives on the dynamics of nanoparticles aluminosilicate ceramic sintering process.....	131
<i>Sultonova Sh.H.</i> On computational solution of immune response enhancement mathematical model	132
<i>Terentjeva M.V., Kasatkina T.V.</i> Qualitative analysis of some differential equation	134
<i>Tkacheva Ms., Sergeeva A.M., Odinokov V.I.</i> Mathematical model of the development of cracks in the ice cover.....	135
<i>Tomilova I.V., Chuvashov I.N.</i> Investigation of long-term orbital evolution of objects of satellite navigation systems	137
<i>Uliyanov A.D., Shteynbreher O.A.</i> Nvidia cuda technology application in problems of mechanics.....	139
<i>Chepak-Gizbreht M.V.</i> Modeling of the processes of the carrying and deformirovaniya in condition of the processing flow particles	140
<i>Chernykh A.A., Mamonova T.E.</i> Hydrodynamic modeling of processes in time in the pipeline for leaks	142
<i>Chuvashov I.N.</i> Modeling of the collision space debris and their further orbital evolution	144
<i>Churuksaeva V.V.</i> Choice of the method and modeling fluid flow in the channel	145
<i>Shabarshova L.A.</i> The use of location problems on the real data.....	147
<i>Shanin C.A., Knyazeva A.G.</i> Study of the influence technological parameter1 on phase and chemical composition karbidnogo covering, rising in pulsed elektrodugovoy plasma	149
<i>Shelomentsev E.E.</i> Application of odometry methods in mobile robotics	155
<i>Shishkina A.A.</i> Accounting automation of incoming and outgoing correspondence	157
<i>Maslov E.A.</i> Some aspects of mathematical simulation impact jet interact on complicated form barrier.....	158
<i>Oblupin A.Yu., Maslov E.A.</i> Mathematical modelling gas-dynamic processes in canals by finite-volume method	160

*Физико-математический кружок
им. М.В. Ломоносова «Юный механик»
НИИ прикладной математики и механики ТГУ*



Приглашаются старшеклассники, гимназисты и лицеисты, а также студенты младших курсов технических специальностей в физико-математический кружок им. М.В. Ломоносова «Юный механик», созданный на базе отдела механики деформируемого твердого тела НИИ ПММ Томского госуниверситета. Физико-математический кружок был организован в 2010 г. в рамках ФЦП «Кадры» с целью популяризации научных исследований и закрепления молодых кадров в сфере науки, образования и инноваций.

Вы научитесь программировать на языке объектно-ориентированного программирования СИ++, проведете физические эксперименты на уникальных баллистических установках, примете участие в молодежных научных конференциях. Ознакомитесь с передовыми методиками расчета динамического нагружения материалов, не имеющих аналогов в мировой практике численного моделирования быстропотекающих процессов, а главное – проведете свое ПЕРВОЕ научное исследование.

Добро пожаловать в удивительный мир науки!

Научный руководитель Орлов М.Ю.
orloff_m@mail.ru

Научное издание

Международная молодежная конференция
«Современные проблемы прикладной математики и информатики»
в рамках Фестиваля науки
19–21 сентября 2012 г.

Редактор Е.В. Лукина
Компьютерная верстка Г.П. Орлова

Подготовлено в печать 09.12.2012 г. Формат 60x84¹/₁₆
Печ. л. 10,5; усл. печ. л. 9,6; уч.-изд. л. 9,6.
Тираж 100. Заказ

ООО «Издательство ТГУ», 634029, г. Томск, ул. Никитина, 4
ООО «Интегральный переплет», 634040, г. Томск, ул. Высоцкого, 28, стр. 1