

МИНОБРНАУКИ РФ
Российский фонд фундаментальных исследований
Национальный исследовательский Томский государственный университет
НИИ прикладной математики и механики Томского госуниверситета
Физико-технический факультет
Совет молодых учёных ТГУ

**V Международная молодежная научная конференция
«Актуальные проблемы современной механики
сплошных сред и небесной механики»
25–27 ноября 2015 г., Томск**

**Vth International Youth Scientific Conference
«Currently issues of
continuum mechanics and celestial mechanics – 2015»,
25–27 November, 2015**



Томск-2015

УДК 539.3.004
ББК 22.25; 22.251.22.62
М43

Международная молодежная научная конференция «Актуальные проблемы М43 современной механики сплошных сред и небесной механики» 25–27 ноября 2015 г.: Материалы конференции. / под ред. М.Ю. Орлова. – Томск. 2015. – 144 с.

ISBN 978-5-7511-2411-3

Представлены материалы конференции молодых ученых «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики», прошедшей 25-27 ноября 2015 г.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

УДК 539.3.004
ББК 22.25; 22.251.22.62

Конференция проведена при поддержке гранта РФФИ 15-31-10512.

Публикуется в авторской редакции

ISBN 978-5-7511-2411-3

© Томский государственный университет, 2015

Editor
Maxim Yu. Orlov
National Research Tomsk State University
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics
36 Lenin prospect
Tomsk, 634050
Tomsk Region
Russian Federation

E-mail: orloff_m@mail.ru

To learn more about the Conference Proceeding, please visit the webpage:
<https://ftf.tsu.ru/konferentsii/>

«Currently issues of continuum mechanics and
celestial mechanics 2015»
Vth International Youth Scientific Conference
Tomsk, Russia, 25-27 November 2015



EDITOR

Maxim Yu.Orlov

National Research Tomsk State University
Research Institute of Applied Mathematics
and Mechanics of Tomsk State University
Tomsk, Russia

Sponsoring organizations

The Ministry of Education and Science Russia
Russian Fund of Basic Research
National Research Tomsk State University

ISBN 978-5-7511-2411-3
@ Tomsk State University
Printed in the Russian Federation

Программный комитет V-й Международной молодежной научной конференции «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики-2015»

Со-Председатели:

Липанов Алексей Матвеевич, д.ф.-м.н., академик РАН
Глазунов Анатолий Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор, ТГУ
Шрагер Эрнест Рафаилович, д.ф.-м.н., профессор, ТГУ

Программный комитет:

Архипов В.А., профессор, д.ф.-м.н., ТГУ, **Бородовицына Т.В.**, профессор, д.ф.-м.н., НИИ ПММ ТГУ, **Биматов В.И.**, д.ф.-м.н., профессор, ТГУ, **Буттов В.Г.**, профессор, НИИ ПММ ТГУ, **Васенин И.М.**, Заслуженный деятель науки РФ, д.ф.-м.н., профессор, ТГУ, **Васильев А.Н.** профессор С-Пб. Политехнического университета им. Петра Великого, **Герасимов А.В.**, профессор, д.ф.-м.н., НИИ ПММ ТГУ, **Еремин И.В.**, к.ф.-м.н., ученый секретарь НИИ ПММ ТГУ, **Ищенко А.Н.**, профессор, д.ф.-м.н., НИИ ПММ ТГУ, **Крайнов А.Ю.**, профессор, д.ф.-м.н., ТГУ, **Кульков С.Н.**, профессор, д.ф.-м.н., ТГУ, **Масловский В.И.**, доцент, МЦ ТГУ, **Разоренов С.В.**, профессор, д.ф.-м.н., ТГУ, **Скрипняк В.А.**, профессор, д.ф.-м.н., ТГУ, **Шваб А.В.**, профессор, д.ф.-м.н., ТГУ, **Шрагер Г.Р.**, профессор, д.ф.-м.н., ТГУ

Международный комитет конференции:

Кружка Л.С. (Военно-технологический университет им. Домбровского, Польша), **Фомин Н.А.** (Институт тепло-массообмена им. Лыкова, Белоруссия), **Кусаинов К.К.** (Карагандинский госуниверситет им. А.Е. Букедова, Казахстан), **Брара Ахмед** (Исследовательский Центр, Алжир); **Милинович Момчило** (Белградский университет, Сербия), **Аль Карагулай Хуссам Али Халаф** (Ди Кар университет, Ирак), **Дрдлова Мартина** (НИИ материалов, Чехия), **Паскаль Форкью** (университет Ж. Форье, Франция)

Организационный комитет конференции:

Орлов Максим Юрьевич (*Председатель*) к.ф.-м.н., НИИ ПММ ТГУ,

Гойко В.Л. (Ответственный секретарь), ТГУ, **Савкина Н.В.**, к.ф.-м.н., доцент ТГУ; **Козулин А.А.**, к.ф.-м.н., доцент ТГУ; **Рыжих Ю.Н.**, к.ф.-м.н., доцент ТГУ; **Борзенко Е.И.**, к.ф.-м.н., доцент ТГУ; **Пикушак Е.В.**, к.ф.-м.н., доцент ТГУ; **Кульков С.С.**, к.ф.-м.н., доцент ТГУ; **Хмелева М.Г.**, магистрант ТГУ; **Порязов В.А.**, аспирант ТГУ; **Марценко М.С.**, к.ф.-м.н., доцент ТГУ; **Чинчикеева Н.А.**, аспирант ТГУ; **Солоненко В.А.**, к.ф.-м.н., доцент ТГУ; **Жармухамбетова А.М.**, магистрант ТГУ; **Касымов Д.П.**, аспирант, ТГУ; **Кагенов А.М.**, аспирант ТГУ; **Моисеева К.М.**, к.ф.-м.н., ТГУ; **Хрусталева А.П.**, магистрант ТГУ; **Жуков И.А.**, к.ф.-м.н., НИИ ПММ ТГУ

Vth International Youth Scientific Conference
«Currently issues of modern
continuum mechanics and celestial mechanics – 2015»,

Committee Co-Chairs:

Aleksey Lipanov, Ph.D., academician of RAS

Anatoly Glazunov, Ph.D., professor, TSU

Ernst Shrager, Ph.D., professor, TSU

Alexander Starchenko, Ph.D., professor, TSU

Committee Members:

I. Alexandrov (TSU), Vl. Arhipov (RSI AMM), A. Astanin (TSU), T. Borodovitsina (RSI AMM), V. Bimatov (TSU), A. Bubenchikov (TSU), V. Butov (RSI AMM), I. Vasenin (TSU), A. Gerasimov (RSI AMM), A. Grishin (TSU), S. Gul'ko (TSU), I. Eremin (RSI AMM), I. Ivonin (TSU), A. Ishchenko (TSU), A. Kraynov (TSU), P. Krylov (TSU), S. Kul'kov (TSU), E. Loboda (TSU), V. Maslovskiy (TSU), S. Razorenov (TSU), V. Skripnyak (TSU), A. Shvab (TSU), G. Shrager (TSU), N. Shcherbakov (TSU)

International Committee Members:

L. Kruzhka, Ph.D., Military University of Technology (Poland), **N. Fomin**, Professor, Ph.D., A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of NASB (Belorussia), **K.Kusainov**, Professor, Ph.D., The Karaganda State University of the name of academician E.A.Buketov (Kazakhstan), **A. Brara**, Ph.D., director of CNERB Research Center (Algeria), **M. Milinovich**, professor, Ph.D., University of Belgrad (Serbia), **Martina Drdlova**, PhD, Research Institute for Building Materials (Czech Republic)
Pascal Forquin, Prof. Dr., Université Joseph Fourier, France
Hussam Ali Khalaf, PhD Marshes Research Center, University of Thi-Qar (Iraq)

Organizing committee:

Maxim Orlov (Ph.D., RSI AMM, Committee Chair), **V.Goiko** (TSU Conference Technical Secretary), N. Savkina, A. Kozulin, M. Martsenko, V. Solonenko, E. Borzenko, V. Poryazov, S.Orlov, M. Hmeleva, A. Usanina, S. Kul'kov, Yu. Ryzhikh, E. Pikushchak, N. Chinchikeeva, Al. Zhurmuhambetova, N. Skripnyak, D. Kasymov, A. Kagenov, K.Moiseva, A. Chrustalev, I. Gukov

Address: Faculty of Physics and Engineering,
National Research Tomsk State University,
36, Lenin Ave., Tomsk, Russia, 634050
Tel.: +79059905354 – Maxim Orlov
E-mail: confmail@ftf.tsu.ru, orloff_m@mail.ru

ПРЕДИСЛОВИЕ

25–27 ноября 2015 г. в Национальном исследовательском Томском государственном университете прошла V-ая Международная молодежная научная конференция «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики». Участниками конференции были молодые ученые, аспиранты и студенты из Томска, Москвы, Новосибирска, Барнаула, Бийска, Н. Новгорода, Комсомольска-на-Амуре, Биробиджана, Новокузнецка, Нижневартовска, также приняли участие молодые исследователи из Казахстана, Алжира, Польши, Сербии и Ирака.

Декан физико-технического факультета профессор Э.Р. Шрагер поприветствовал участников и пожелал плодотворной научной работы. Выступили с докладами Т.В. Бордовицына (зав. отдела НИИ ПММ ТГУ) доложила о вековых резонансах в динамике околоземных космических объектов; Л.Н. Мухин (сотрудник отдела практики и трудоустройства) говорил о возможностях, которые открываются перед выпускниками Томского государственного университета; Ю.П. Михайленко (директор физического кабинета) рассказал о физических экспериментах, которые демонстрируют физические законы таких разделов физики, как механика, оптика и электричество.

Доклад В.Н. Лукина был посвящен стилю программирования, который, по мнению автора, необходим для разработки отечественных конкурентных программных продуктов. А.Б. Бобсуновский рассказал об оригинальной гибридной схеме системы мониторинга, в которой на основе измеренных параметров решается обратная задача по определению деформирования несущих конструкций сооружения. Продемонстрированы оригинальные натурные эксперименты по динамическому нагружению природных материалов, которые стали возможны благодаря мобильной лаборатории «Взрывное нагружение природных материалов».

На пленарном заседании прозвучали также доклады о некоторых компаниях, деятельность которых соответствует тематике конференции: ООО «КузбассСпецВзрыв», ЗАО «Нижневартовский центр по техническому освидетельствованию оборудования и промышленной экспертизе объектов», ООО «Саровский Инженерный Центр» и ООО «Академкнига».

Одной из основных целей конференции являлось привлечение и закрепление в сфере науки и инноваций молодых исследователей – будущего отечественной науки. Работа конференции проходила в рамках 6 секций:

1. Взрывные, детонационные процессы и свойства вещества при высокоэнергетических воздействиях.

2. Численные методы, алгоритмы, программы и точные решения задач механики сплошных сред.

3. Исследования новых перспективных материалов в приложениях механики сплошных сред.

4. Баллистика и небесная механика.

5. Математическое и физическое моделирование технических и природных систем.

6. «Математика, физика и информатика» для молодых исследователей и учащихся общеобразовательных школ и лицеев.

На закрытии выступил со-председатель конференции академик РАН А.М. Липанов. Он рассказал о плодотворной научной работе по решению практически значимых задач для ракетно-космической отрасли и вручил памятные дипломы за лучшие доклады.

Сайт конференции: <https://ftf.tsu.ru/#>

До новых встреч!

Со-Председатель
Программного комитета конференции
профессор *Глазунов А.А.*
председатель Организационного комитета конференции
к.ф.-м.н., *Орлов М.Ю.*

PREFACE

25–27 November 2015 was held V-th International Youth Scientific Conference "Currently issues of modern continuum mechanics and celestial mechanics" at the National Research Tomsk State University. The conference participants were young scientists, post-graduate students and students from Tomsk, Moscow, Novosibirsk, Barnaul, Biisk, Nizhny Novgorod, Komsomolsk-on-Amur, Birobidzhan, Novokuznetsk, Nizhnevartovsk. Also were participated young researchers from Kazakhstan, Algeria, Poland, Serbia and Iraq.

Dean of the Faculty of Physics and Technics, prof. E.R. Schrager welcomed the participants and wished them a fruitful scientific work. T.V. Bordovitsyna (Head of the Department of Applied Mathematics and Mechanics Research Institute TSU) reported on secular resonances in the dynamics of near-Earth space objects; L.N. Mukhin (at the Department of Practice and Employment) spoke about the opportunities that are open to graduates of the Tomsk State University; Y.P. Mihaylechenko (director of the physics laboratory) spoke about the physical experiments which demonstrate the physical laws of such branches of physics as mechanics, optics and electricity.

The plenary session also included reports of some companies, the activity of which corresponds to the topics of the conference: "KuzbassSpetsVzryv", "Nizhnevartovsk center for technical inspection of the equipment and expertise of industrial facilities", "Sarov Engineering Center" and "Akadembook".

One of the main goals of the conference was to attract and retain in the field of science and innovations of young researchers - the future of Russian science. The conference was held within the framework of 6 sessions:

1. Explosion and detonation processes and properties of matter under high energy impacts
2. Numerical methods, algorithms, programs and exact solutions of continuum mechanics problems
3. New materials research in application to continuum mechanics
4. Ballistics and celestial mechanics
5. Physical and mathematical modeling of natural and technical systems
6. "Mathematics, physics and computer science" session for schools

At the closing acts as co-chairman of the conference academician Lipanov AM. He spoke about the fruitful scientific work on solving practically important problems for the space industry and awarded diplomas for the best reports.

Conference Website is following: <https://ftf.tsu.ru/#Until we meet again!>

Co-Chairman

Program committee of the conference

Prof. *Glazunov A.A.*

Chairman of the Conference Organizing Committee

Ph.D., *Orlov M.Yu.*

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

PLENARY SESSION

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ ЛЬДА THE INVESTIGATION OF THE ICE UNDER EXPLOSIVE LOADING

¹М.Ю. Орлов, ²Л.С. Кружка,
¹M.Yu. Orlov, ²L.S. Kruzka

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Томского государственного университета
Военно-технологическая академия им. Я. Домбровского,
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University
Military University of Technology, Poland
orloff_m@mail.ru

The research of the behavior of certain natural materials are now relevant. This is due to the development of the northern territories, the extraction of natural resources in the Far North, etc. Currently, few works were devoted to this scientific problem (Carney K.S. et al. 2006; Combes A et al. 2011; Sherburn A. et al. 2010; Gorelski V.A. et al. 2012; Orlov M. Yu. et al. 2014). It is known that many natural materials under certain conditions have a common mechanism of destruction.

Ice is a little known natural material. The modern concept of failure of ice are just beginning to develop. This is due to the complex structure of the ice, the presence of phase transitions during deformation, unique plastic properties. There are over 16 types of ice, the latter type of ice has an extraterrestrial origin. In the United States resumed the program "SCICEX" within which there is a collection of scientific data using the ships of the Navy. The existing experimental data on dynamic loading of ice is not consistent with each other due to the complex structure of ice. Experimental data on explosive loading of ice were not found.

In 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 (Glazyrin V.P. et al. 2006;). Also the scientific data (theoretical and experimental) on the behavior of polycrystalline ice under shock and explosion have been summarized. Was modified numerical method for the calculation of explosive loading of ice for the problems of explosive destruction of thick ice (2 meters). For the development of a numerical method requires reliable experimental data on the processes of destruction the ice with explosive conditions.

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.

In the present research was to investigate the process of explosive loading of bar ice. The object of this study is the medium first year ice. The explosive mass was 8 kg. The diameter holes in the ice was 11 cm. The ice thickness was 70 cm. The full-scale tests was conducted in this year on the Tom River in Siberian. The ice cover has been studied in detail for the presence of polynyas and other defects (crack, thaw holes, etc). The depth of water under the ice cover was more than 7 meters. The width of the river at this place was more than 500 meters. The water flow was not significant. The full-scale tests were carried out in conjunction with "KuzbassSpetsVzryv."

After under explosive the following results were obtained. Ice formed a diameter of 4.3-4.5 meters. The geometrical shape of the lane as close to a circle. Detonation products formed by a large number of small fragments of ice, which can be seen in and around the lane. Large fractions of ice (more than 100 cm) is not found. Radius of scatter debris was about 5 meters. Radial cracks on the surface of the ice is not revealed. The data are summarized in a relational database «ExplosiveIceBaseDate».

Literature

1. Physics and mechanics of ice Symposium. Copenhagen, Technical University of Denmark, Editor P. Tryde, 1983, p. 352.
2. Glazyrin V.P., Orlov M.Yu. and Orlov Yu.N. The destruction of the ice under the detonation products, *Physics*, no 8/2, 51 (2008), p. 136–142.

**ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НИЖНЕВАРТОВСКИЙ
ЦЕНТР ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЮ
ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ
ОБЪЕКТОВ»**

**CLOSE JOIN-STOCK COMPANY «NIZHNEVARTOVSK CENTER OF
TECHNICAL SURVEY OF THE EQUIPMENT AND INDUSTRIAL
EXAMINATION OF OBJECTS»**

**Г.Н. Богомоллов, Д.С. Кравченко, А.В. Левченко
G.N. Bogomolov, D.S. Kravchenko, A.V. Levchenko**

Нижневартровский центр по техническому освидетельствованию
оборудования и промышленной экспертизе объектов
Nizhnevartovsk center of technical survey of the equipment and industrial examination of object
bogomol-ncto@mail.ru

Основная деятельность ЗАО "НЦТО" оказание услуг по техническому диагностированию и экспертизе промышленной безопасности устройств, проведение разрушающих и неразрушающих методов контроля, стилоскопирование и металлография оборудования, энергетическое обследование, экспертиза проектной и иной технической документации. Многолетний опыт, высококвалифицированный персонал, современное техническое оснащение и уникальная приборная база вот основные качества ЗАО "НЦТО", которые позволяют предприятию быть одним из лучших по стране в области экспертно-диагностических услуг.

ЗАО "НЦТО" имеет за плечами многолетний опыт успешной работы в области промышленной безопасности. Основанное в 1999 г. небольшим коллективом, предприятие одним из первых начало проводить диагностические услуги на месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа. На сегодняшний день территория оказания услуг намного шире границ Югры и включает в себя субъекты Российской Федерации: Томская и Тюменская области, Ямало-Ненецкий и Таймырский автономные округа, Красноярский край, а партнерские отношения давно вышли за пределы нашей страны. Благодаря накопленным знаниям, предприятие способно эффективно выполнять договорные обязательства, решать нестандартные задачи на опасных производственных объектах, а в ряде случаев проводить уникальные для нефтегазовой отрасли работы.

Шагая в ногу со временем, предприятие постоянно анализирует мировой рынок диагностического оборудования и приборов измерения. Подбирая наиболее подходящее оборудование для конкретных задач, в лаборатории ЗАО "НЦТО" собран уникальный перечень приборов, позволяющих дать максимальную информацию о техническом состоянии объекта. Начиная с высокоточных ультразвуковых толщиномеров Olympus 38DL Plus и вибродиагностических анализаторов STD-3300, рыночная цена которых превышает 350 тыс. руб. за прибор, до систем сплошного сканирования TesTex и Wevemaker G3, стоимость которых превышает

10 млн. руб. Одним из новых и приоритетных направлений в предприятии является внутритрубная диагностика трубопроводного транспорта с использованием ультразвуковых и магнитных снаряд-дефектоскопов.

Особое внимание на предприятии уделяется квалификации персонала. Сегодня невозможно провести качественную оценку технического состояния оборудования без подготовленного персонала. Техническая сложность обследуемого оборудования, трудоемкая в освоении приборная база и прилагаемое программное обеспечение, требуют постоянного расширения теоретических знаний и совершенствования практических навыков специалистов. В штате предприятия 2 кандидата технических наук, 40 экспертов в области промышленной безопасности и более 80% сотрудников имеют высшее образование. В ЗАО «НЦТО» существует собственный учебный центр, который позволяет проводить обучения специалистов без отрыва от производства. В целях углубленного изучения основных методов контроля (ВИК, УЗК, РК, ВД и др.) в учебный центр приглашаются преподаватели различных центров неразрушающего контроля, где молодые специалисты набираются необходимыми для работы знаниями. Для освоения более сложных методов контроля (АЭ, МПМ, НДС и др.) организуется выезд специалистов в специализированные учебные центры, что позволяет опытным специалистам осваивать новые направления диагностирования. Такой подход в обучении позволяет максимально эффективно использовать передачу личного опыта между специалистами, занятыми на разных объектах (промысловый и технологический трубопровод, сосуды под давлением и РВС, краны и подъемные сооружения и т.д.).

О высоком профессионализме предприятия можно судить по отзывам от своих клиентов. ОАО "НК "Роснефть", ОАО "Газпром-нефть", ООО "Газпром Трансгаз Сургут", ОАО "СИБУР Холдинг", ОАО "Сургутнефтегаз", ОАО НК "ЛУКОЙЛ", ОАО "Славнефть-МНГ", ОАО "ТомскНефть", ЗАО "РОСПАН Интернэшнл", Компания "Халлибуртон Интернэшнл" и др. – всего более 300 предприятий в различных регионах страны. Новые задачи стоящие перед нефтегазовыми предприятиями по освоению трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья в ближайшее время, автоматически устанавливают новые горизонты развития для предприятий оказывающих экспертно-диагностические услуги.

ЗАО "НЦТО" всегда открыто для предложений и рассмотрит все варианты сотрудничества с промышленными предприятиями, научными центрами и учебными заведениями. Отдел кадров предприятия приглашает на работу экспертов, молодых специалистов с дипломами бакалавриата и магистратуры для трудоустройства, а студентов старших курсов технических специальностей для прохождения летней практики. С более подробной информацией можно ознакомиться на сайте предприятия [1].

Литература

1. www.ncto-nv.ru

ВЕКОВЫЕ РЕЗОНАНСЫ В ДИНАМИКЕ ОКОЛОЗЕМНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

SECULAR RESONANCES IN DYNAMICS OF NEAR-EARTH SPACE OBJECTS

Т.В. Бордовицына

T.V. Bordovitsyna

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National research Tomsk State University

tvbord@sibmail.com

По данным НАСА (<http://www.nasa.gov>) в настоящее время в околоземном пространстве находится около 20000 объектов размером от 10 см и более. Вся эта масса неуправляемых объектов движется по законам небесной механики в сложном поле сил, определяемом гравитационным влиянием Земли, Луны и Солнца, и постоянно создает опасность столкновения с функционирующими объектами. Важным, но недостаточно изученным, возмущающим фактором в движении околоземных объектов являются вековые резонансы. Вековые резонансы – это наличие соизмеримости между скоростями изменения долготы перицентра и долготы восходящего узла спутника с одной из собственных частот третьего тела (Луны или Солнца), к которым относятся среднее движение третьего тела и скорости изменения их долгот перицентра и восходящего узла.

Характерной особенностью влияния ряда вековых резонансов является возрастание эксцентриситета орбиты объекта, что существенным образом меняет положение орбиты в пространстве. В результате орбита отработавшего объекта становится отличной от номинальной, что может приводить к столкновениям отработавших объектов с функционирующими. При наложении резонансов в движении объектов может возникать хаотичность, что делает их движение плохо предсказуемым.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что проблема исследования влияния вековых резонансов на долговременную орбитальную эволюцию околоземных объектов является актуальной.

Группой сотрудников НИИПИМ ТГУ разработана численно-аналитическая методика [1, 2] выявления и исследования влияния вековых резонансов на движение неуправляемых околоземных космических объектов. Проведен обширный численно-аналитический эксперимент по исследованию распространенности вековых резонансов в околоземном орбитальном пространстве и их влияния на долговременную орбитальную эволюцию объектов космического мусора. Построены динамические портреты, а также рассмотрена эволюция во времени критических аргументов для всех вековых резонансов, действующих в диапазоне больших полуосей от 8000 до 55000 км и в диапазоне наклонов от 0 до 90°, для значений эксцентриситетов орбит 0.01, 0.6 и 0.8.

Показано, что область наибольшего влияния вековых резонансов начинается от значений большой полуоси 20000 км и наклонений. Причем в области орбитального пространства с большими полуосями от 40000 км и выше и наклонениями – на движение объектов одновременно влияет большое количество вековых резонансов. Среди них могут быть как устойчивые резонансы, так и неустойчивые, у которых критический аргумент неоднократно меняет характер изменения с либрационного на циркуляционный и обратно. Движение таких объектов является нерегулярным, а в динамике имеют место долгопериодические колебания эксцентриситета и наклонения с большими амплитудами и стремительная хаотизация. Эволюция приполярных орбит с наклонениями и градусов является особенно сложной. Причем орбитальная эволюция объектов с наклонениями и градусов является катастрофичной при любых значениях эксцентриситетов. Кроме того, движение таких объектов является хаотичным.

Полученные результаты позволяют выделить несколько общих закономерностей в динамике околоземных объектов, подверженных действию вековых резонансов: а) среди вековых резонансов, связанных со средним движением третьего тела наибольшее влияние на движение объектов оказывают вековые резонансы, связанные со средним движением Солнца; б) наложение нескольких устойчивых вековых резонансов не приводит к возникновению хаотичности, в то же время вхождение объекта в орбитальный резонанс с вращением Земли при наличии вековых резонансов может сопровождаться возникновением хаотичности в движении объектов; в) хаотичность возникает также при наложении устойчивых вековых резонансов одного спектрального класса и нескольких резонансов того же класса, для которых критический аргумент меняет либрационный характер изменения на циркуляционный и обратно.

Литература

1. *Бордовицына Т.В., Томилова И.В., Чувашов И.Н.* Влияние вековых резонансов на долговременную орбитальную эволюцию неуправляемых объектов спутниковых радионавигационных систем в области МЕО // *Астрон. вестн.* 2012. Т. 46, № 5. С. 356 – 368.
2. *Александрова А.Г., Томилова И.В., Бордовицына Т.В.* Анализ влияния вековых резонансов на динамическую эволюцию околоземных объектов, движущихся по почти круговым орбитам в области супер-ГЕО // *Изв. вузов. Физика.* 2014. № 10/2. С. 95–102.

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ
В ПАССАЖИРСКОМ САЛОНЕ САМОЛЕТА SSJ-100
PARAMETERS CALCULATING OF AIR ENVIRONMENT
IN PASSENGER CABIN IN AIRCRAFT SSJ-100**

А.Ю. Кудрявцев, А.Н. Говорунов

A.Y. Kudryavtsev, A.N. Govorunov

ООО «Саровский Инженерный Центр», Саров, Россия

Sarov Engineering Center, Sarov, Russia

mikhail.kochetkov@cd-adapco.com

При создании гражданских самолетов важным требованием является обеспечение комфортных условий в пассажирском салоне, которые в значительной степени определяются состоянием воздушной среды (распределением давления, температуры, влажности, концентрации углекислого газа, скоростей движения воздуха с учетом тепловыделения и дыхания пассажиров) во всех необходимых режимах эксплуатации лайнера. ОАО «Компания «Сухой» (г. Москва) одна из ведущих Российских корпораций, разрабатывающих авиационную технику различного назначения.

Саровскому Инженерному Центру было предложено провести численные расчеты термодинамического состояния воздушной среды в салоне нового пассажирского самолета Superjet-100 в заданных условиях. Расчеты должны отражать реальную форму салона с элементами подачи и отбора воздуха, багажными стеллажами и креслами с пассажирами, выделяющими углекислый газ и тепловую энергию

Для качественного моделирования термодинамики воздуха в салоне необходимо детальное пространственное разрешение дискретной модели, учитывающей реальную сложную форму газовой полости, что ведет к большой размерности задачи. На основе 3D CAD модели, предоставленной Заказчиком, средствами STAR-CCM+ создана односвязная область сложной формы, отражающая все особенности реального объекта, включая манекены пассажиров. Размерность разработанной компьютерной модели составляет 115.4 млн ячеек

Для решения задачи использовались кластерные вычислительные ресурсы «Саровского Инженерного Центра», позволившие получить детальную картину распределения температуры, скорости движения и влажности воздуха, концентрации углекислого газа в пассажирском салоне лайнера при работе климатического оборудования на заданных режимах.

Результаты расчетов и их анализ позволили специалистам ЗАО «ГСС» обосновать правильность принятых технических решений при проектировании и обеспечить комфорт пассажиров при эксплуатации нового самолета.

Компания «Саровский Инженерный Центр» (СИНЦ) является научно-инженерным предприятием, работающим в области компьютерных техно-

логий инженерного анализа и моделирования мирового уровня. Компания активно участвует в процессе внедрения технологий CAD, CAE, FEA, CFD в практическую работу Российских предприятий на основе эффективных решений широкого круга прикладных проблем механики сплошных сред: статической, динамической, вибрационной прочности и тепломассопереноса: аэродинамики, газодинамики, гидравлики, теплопроводности. СИНЦ единственный официальный представитель компании CD-HYPERLINK "<http://www.cd-adapco.com/>" adapco и официальный представитель компании Dassault Systemes SIMULIA на территории России и стран СНГ. Специалисты СИНЦ имеют многолетний опыт работы в различных отраслях промышленности и оказывают весь спектр услуг, включая комплексную интеграцию (поставку, обучение, техническую поддержку) программных комплексов CD-HYPERLINK "<http://www.cd-adapco.com/>" adapco и Dassault Systemes SIMULIA, а также выполняет расчеты на собственных вычислительных ресурсах по техническим заданиям Заказчиков.

СОПРОВОЖДЕНИЕ СИСТЕМ И СТИЛЬ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ SUPPORT AND THE STYLE OF PROGRAMMING FOR STUDENTS

**В.Н. Лукин,
V.N. Lukin**

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)
Moscow Aviation Institute (National Research University)
lukinvn@list.ru

Рассматривается сопровождение – наиболее трудоёмкий этап жизненного цикла программных систем. Уменьшить трудоёмкость предлагается за счёт стиля программирования, которому нужно обучать студентов.

We consider the support as the most time-consuming phase of the life cycle of software. The students need to study to use the style of programming that is the reason to reduce the laboriousness of support.

Прикладное программное обеспечение, особенно разработанное на заказ, обходится недёшево, поэтому важно, чтобы затраты на него окупались достаточно быстро. Значит, его функциональность должна соответствовать потребностям владельца (заказчика), а взаимодействие с ним должно быть удобным. Поддержка системы в работоспособном состоянии в изменяющихся условиях, в том числе, при появлении новых требований обеспечивается процессом сопровождения.

Несмотря на то, что этап сопровождения входит в стандартный жизненный цикл программного обеспечения, в вузовских программах он занимает

весьма скромное место. Действительно, проводить работы по сопровождению программных систем в вузе практически нереально: нет объекта исследования, да и преподавателей, имеющих соответствующий опыт, тоже.

По оценкам, сопровождение поглощает в среднем 60% общих затрат на систему, из них больше половины идёт на модификацию [1]. Цикл внесения типичного изменения содержит следующие фазы: определение изменений, ознакомление с документацией, трассировка логики, внесение изменений, отладка, обновление документации. Трудоёмкость второй и третьей фаз непосредственно зависит от качества текста программы и составляет, по тем же оценкам, 45% времени. Трудоёмкость других фаз может быть уменьшена, например, за счёт использования соответствующих методологий, но сам код от них лучше не становится. Современные программы должны приспосабливаться к изменяющимся условиям. Чем выше качество кода, тем он удобнее для анализа, тем дешевле обходится сопровождение.

Таким образом, естественный путь снижения трудоёмкости, а, стало быть, и стоимости сопровождения – это улучшение качества текста программы, особенно его понятности. Текст понятен, если он базируется на небольшом наборе конструкций и снабжён необходимым количеством пояснений. Именно это чаще всего понимают под стилем программирования. Фирмы, разрабатывающие программные продукты, нередко требуют от сотрудников соблюдения «корпоративного стиля», который в значительной мере способствует появлению качественного кода.

Кошмар сопровождающего программиста – текст программы юного гения, который гордится, что его изделие работает, а никто не может понять, почему. Обычно это результат увлечения олимпиадными задачами. Таких работников приходится переучивать, получая обвинения в ретроградстве, нарушении прав и свобод и феодальному подходу к руководству. Поэтому при обучении студентов следует обращать особое внимание на стиль написания программного текста.

В работе [4] под *стилем программирования* понимается общая и внутренне согласованная совокупность базовых конструкций программ и способов их композиции, обладающая общими фундаментальными особенностями, как логическими, так и алгоритмическими. Стилль включает также совокупность базовых концепций, связанных с этими программами.

В структурном программировании управляющие структуры образуют иерархию, с которой должны согласовываться потоки передачи данных. Этот стиль лучше всего обоснован теоретически.

Объектно-ориентированный стиль оперирует объектами (моделями), которые меняются при выполнении методов их обработки.

Качеству программного обеспечения, особенно такому его аспекту, как сопровождаемость (см. ISO 9126), в вузе уделяется не так много внимания: считается, что главное – научить студента хоть как-то программировать.

Действительно, качество программы включает многие аспекты, которые не всегда могут быть понятны на младших курсах. Но качество именно текста – понятие достаточно простое, которое практически всегда может обеспечиваться его стилем. Таким образом, преподаватель может заранее определить некоторый стиль, который обеспечит лёгкость понимания текста не только преподавателем, но и коллегами-студентами.

Если студент впервые знакомится с программированием, он обычно принимает предложенный стиль. В противном случае, особенно если он успел испортить стиль в школе или при самостоятельном обучении, требование подчиняться заданному стилю воспринимается плохо, и приемлемое качество программирования не достигается. Нужно, чтобы студент осознал необходимость придерживаться принятого (возможно, и не им) стиля и умел к нему адаптироваться. Наплевательское отношение к требованиям стиля может сыграть злую шутку с автором во время работы в приличной программистской фирме.

Правда, бывает, что и преподаватели, ориентированные на академический подход, недооценивают роль стиля. Порой и в самом деле есть желание вообще как-нибудь выучить программировать, не то, что качественно. Но это неверно хотя бы потому, что обучение с учётом стиля даёт лучшие, более устойчивые результаты.

Итак, при обучении студентов следует обращать внимание, прежде всего, на ясную структуру текста, чтобы с одного взгляда оценить его суть. Именно этот навык станет наиболее ценным, когда бывший студент приступит к сопровождению программной системы. Нужно всячески избегать конструкций, которые могут быть поняты неоднозначно. Заметим, что витиеватые фрагменты – предмет гордости молодых непрофессиональных программистов («я ещё и не так могу!»). Печально, что изобретение программных ребусов нередко поддерживается преподавателями и всячески стимулируется олимпиадными задачами, которые не имеют никакого отношения к реальному программированию.

Второй вопрос – комментарии. Студенческая программа пишется для однократного употребления: сдал и забыл. Конечно, прямого стимула, если этого не требует преподаватель явно, для их написания нет. Тогда можно взять сданные программы по более ранней теме, перетасовать их и раздать студентам для внесения каких-либо улучшающих изменений. Заодно станет понятным, что значит улучшать чужую программу. Но на подобные действия обычно не хватает времени, так что приходится просто формулировать правила комментирования и требовать их исполнения. Примерными правилами могут служить следующие:

- программа должна иметь заглавие, которое содержит её назначение, идентификаторы автора, время написания, основные особенности и, если нужно, алгоритм или хотя бы метод;

- каждое улучшающее изменение должно быть идентифицировано: указана причина изменения, автор, дата и, по возможности, место;
- структурные единицы (процедуры, функции, модули) должны быть озаглавлены;
- комментарии поясняют не что делается, а зачем: комментарии типа «здесь складываются два числа» вредны;
- поясняются сложные места или ключевые позиции алгоритма, комментировать всё подряд не следует.

Третье – это имена переменных. Надо требовать, чтобы они были содержательными. Ясно, что к «абстрактным» задачам, например, умножение матриц, или переменным типа параметра цикла это не относится. Недопустимо, чтобы одна переменная использовалась для разных целей: много здесь не наэкономишь, а неприятностей будет достаточно.

Одинаковый стиль следует выдерживать на протяжении всего текста, программа не должна походить на лоскутное одеяло. В качестве контроля может выступить, в частности, структурное тестирование. Следует потребовать от студента набор тестов, отвечающих структуре проверяемой программы.

И ещё одна сторона проблемы. Это проверочные материалы, которые предлагаются студентам на всех уровнях контроля. Как правило, задание, содержащее текст программы, производит удручающее впечатление в смысле стиля. Понятно желание авторов как-то его усложнить, но они делают это не за счёт алгоритма, а за счёт стиля, что нельзя считать правильным. В результате не проверяются ни знания, ни профессиональные умения. Но при этом провоцируется написание своего текста в том же стиле. Приведённый фрагмент в некоторой степени иллюстрирует тестовые задания:

```
// Определить, что будет выведено на печать
var a,b: char;
procedure AAA(a: integer); const b=true; begin writeln(a,' ',b) end;
procedure BBB; var a: char; begin a:=succ(b); b:='+'; writeln(a,' ',b) end;
begin a:='a'; b:='1'; AAA(2); writeln(a,' ',b); BBB; writeln(a,' ',b) end.
```

Завершим интересным наблюдением Н.Н. Непейводы [4]: «Программирование больше похоже на стихи, чем на прозу. Без самоограничения не достигнешь совершенства, и во всех случаях, когда пытались обеспечить программистам «свободу выражения», это приводило лишь к концептуальным противоречиям и открывало настежь двери для хакерства. Так что нужно нацеливать мысль, а не освобождать ее. Свобода для творца не является ценностью, если продуктами его творения будут вынуждены пользоваться другие».

Литература

Гласс Р. Программирование и конфликты 2.0. СПб.: Символ-Плюс, 2010.

Лукин В.Н. Обучение качественному программированию: Материалы XVI Международ. конф. по вычисл. механике и совр. прикладным программным системам, Алушта, Крым., М.: Вузовская книга, 2009.

Лукин В.Н., Чернышов Л.Н. О подготовке специалистов в области ПО. Восьмая конференция «Свободное программное обеспечение в высшей школе»: Тезисы докладов / Переславль. М.: Альт Линукс, 2013.

Непейвода Н.Н. Стили программирования как общий подход к системе понятий информатики: [http:// is.ifmo.ru/aboutus/_log_prog2.pdf](http://is.ifmo.ru/aboutus/_log_prog2.pdf)

**О ФИЗИКЕ КАК О РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ НАУКЕ
ПО МАТЕРИАЛАМ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
В ФИЗКАБИНЕТЕ ТГУ
PHYSICS IS THE DEVELOPING SCIENCE THAT SCIENTIFIC AND
METHODICAL WORK
OF PHYSICS DEMO ROOM OF TSU IS SHOWING**

Ю.П. Михайличенко

Yu.P. Mikhailichenko

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
mup@phys.tsu.ru

В любом деле важно хорошее начало. Томской физике в этом плане повезло, потому что первым ректором Томского университета был физик профессор по кафедре физики с физической географией и метеорологией Гезехус Николай Александрович. Одной из причин, повлиявшей на его назначение, был тот факт, что он имел зарубежный опыт, который приобрел во время стажировки у знаменитого физика Гельмгольца в Берлинском университете. Поэтому он заранее, ориентируясь на организацию преподавания в Германии, перед поездкой в Томск заказал приборы для физкабинета в Москве и Санкт-Петербурге. И в первый год своей работы на кафедре физики Гезехус Н.А. начал создавать лабораторный практикум для студентов, который с удовольствием посещали студенты, несмотря на то, что тогда такой практикум еще не был обязательным.

Сейчас физкабинет нашего университета обслуживает курсы общей физики для физических факультетов (ФФ, ФТФ, РФФ), для ММФ и ХФ, для ГГФ и для других факультетов. Эти курсы общей физики конечно отличаются по количеству часов, но следует добавить, что за годы развития в физкабинете были разработаны особые специфические опыты с учетом профиля факультетов, что дает сейчас преподавателям возможность дополнительного выбора.

Традиционно курс физики начинается с механики. Но и в этом разделе встречаются удивительные явления, такие, например, как гайка Джанибекова. Необходимы пояснения движения непонятных на первый взгляд

вращений льдин на замерзающих реках, видеозаписи которых встречаются в Интернете. Из явлений такого плана остановимся на "загадочном" движении "кельтского камня".

Пожалуй, важнейшим явлением в разделе электричества является электромагнитная индукция. Улучшить наглядность опытов удалось с применением современных мощных постоянных магнитов на основе NdFeB. Легко конструируются различные типы униполярного двигателя Фарадея, выразительно демонстрируется магнитное торможение. Здесь нам помогает развитие современных технологий и важно своевременно применить новые материалы для более выразительного проведения классических опытов.

Конечно, в разработках нашего физкабинета нашли отражение явления по самоорганизации. Мы создали установки для демонстрации "вихрей Тейлора" и "ячеек Бенара".

Остановимся на интерферометрах. Самым известным прибором в нашем физкабинете является демонстрационный интерферометр Майкельсона. Еще отметим изготовленный в физкабинете интерферометр Маха-Цендера, который был использован Перкальским Б.Ш. и Лариным В.Л. в научной работе, выполненной в НИИПММ, для зондирования плазмы при взрыве фольги.

Интересна серия разработок для демонстрации свойств кристаллов. Удачной оказалась серия демонстраций по свойствам древесины, которые обладают двойным лучепреломлением для СВЧ волн.

Уникальны наши опыты с демонстрацией конической рефракции в оптическом диапазоне на кристаллах ромбической серы. Нам удалось осуществить эксперименты по внешней конической рефракции, которые не удавались авторам и последователям с 1832 года. Наша работа была отмечена в журнале *Europhysicsnews*, volume 37, number 3, 2006.

Физика развивается постоянно. И это требует от нас как от преподавателей следить за новинками и внедрять их в практику обучения. Так в университете осуществляется гармоничное отражение научных достижений в преподавании. Поэтому важно для каждого студента (и школьника, выбирающего себе профессию исследователя в университете) готовить себя к деятельности такого рода, так как именно такая организация труда оказывается наиболее продуктивной.

ВОЗМОЖНОСТИ ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ OPPORTUNITIES OF EMPLOYMENT OF GRADUATES – PHYSICISTS AND MATHEMATICIANS

Л.Н. Мухин

L.N. Mukhin

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National research Tomsk state university

cstv@mail.tsu.ru

Во время учебы в бакалавриате и магистратуре у студентов появляется множество возможностей выбрать направление своей дальнейшей трудовой деятельности. Основное условие – заняться этим всерьез.

Самая первая возможность – заняться наукой в университете. Закончить аспирантуру, защитить диссертацию и остаться на кафедре или в научно-исследовательском или академическом институте. Студентов ТГУ всегда готовы видеть у себя академические институты, объединенные в Томском филиале СО РАН. С ТГУ их связывают многолетние научные контакты и многие десятки выпускников, работающие по различным специальностям.

Самым лучшим способом попасть на выбранное место работы была и остается производственная практика. На сайте предприятия, как правило, присутствует раздел, посвященный карьере, вакансиям, условиям приема молодых специалистов и прохождения практики студентами. Там можно познакомиться с условиями, отправить свое резюме, получить консультацию. Про предприятия, которые приглашают студентов на производственную практику в 2016г. можно узнать в Отделе практик и трудоустройства (ОПиТ) ТГУ.

Успешно пройдя производственную практику в научном учреждении, шансов попасть туда на работу становится значительно больше. Кстати, и место практики можно организовать самостоятельно, разослав несколько десятков резюме и сопроводительных писем. Главное условие здесь – активность самого студента.

Но наукой можно заниматься и на промышленных предприятиях, где теснее связь с производством и больше возможностей увидеть результаты своей работы «в железе». У факультетов и кафедр есть научные и деловые партнеры, связи с выпускниками прошлых лет, которые сами уже набирают себе сотрудников.

В 2010-х гг. резко увеличилось количество предложений от крупных компаний о приеме на работу молодых специалистов инженерных и физико-математических специальностей. Крупнейшие промышленные предприятия России, испытывая дефицит кадров, агитации, стараются рекрутировать будущих сотрудников еще со студенческой скамьи. В течение

учебного года менеджеры по персоналу посещают вузы и проводят презентации. Любое крупное предприятие ведет политику не только рекрутинга, но и адаптации, поддержке и развитию выпускников, стремясь в короткий срок превратить их в квалифицированных специалистов. В качестве примера можно привести предприятия корпорации «Росатом» – Федеральные ядерные центры ВНИИТФ (г. Снежинск) и ВНИИЭФ (г. Саров). Зарплата молодых специалистов начинается с 40000 тыс. руб. (по данным 2015 г.), предоставляется место в общежитии одиноким, комната в общежитии молодым семьям, независимо от профессии и квалификации второй половинки. Гарантируется участие в грантовых и хоздоговорных программах, поощряется занятие научной работой, обучение в аспирантуре, участие в общественной, спортивной и культурной жизни предприятия. Число таких предприятий ограничено, выбирать они стараются лучших, но попасть туда можно.

Еще одна возможность трудоустройства выпускников физико-математических направлений подготовки – это вакансии «экономист-математик», «математик-аналитик». В таких специалистах нуждаются банки, крупные кредитные организации, брокерские конторы. Крупные промышленные и добывающие предприятия постоянно анализируют уровень и прогноз изменения цен на мировых рынках на свою и смежную продукцию. Вот некоторые из направлений деятельности таких специалистов, взятые из реальных вакансий:

- разработка и сопровождение математических моделей спроса, ценообразования, оценки рисков и т.п.;
- анализ и прогнозирование рынков нефтепродуктов России и СНГ;
- ведение информационной базы рыночной статистики и т.д.

Для работы в этой области необходимы дополнительные компетенции в области экономики, которые можно получить, прослушав отдельные курсы. Современная система образования дает такую возможность.

Очень хороший способ приобрести компетенции в области экономики – выучиться и получить сертификат программиста 1С:Бухгалтерия. Да и сами вакансии программиста 1С встречаются очень часто, поэтому эта область тоже может стать возможностью для занятости выпускника – математика.

В сети интернет можно найти множество источников информации о возможностях трудоустройства. В первую очередь это, конечно, специализированные сайты с прямыми вакансиями предприятий. В Томске основными сайтами для поиска работы являются: vacancy-tomsk.ru, tomsk.zarplata.ru, hh.ru. Многие предприятия обозначают свои потребности в специалистах на своих корпоративных сайтах в разделе «вакансии» или «карьера». Базу ссылок на страницы вакансий предприятий г. Томска можно найти на сайте ОПиТ ТГУ: cstv.tsu.ru/vacancyu.pdf. Интересную информацию о возможностях трудоустройства можно получить на профес-

сиональных форумах, обсуждениях в блогах и т.д. Где, как не на профессиональных тусовках можно узнать чем и где занимаются специалисты определенного профиля, куда и кому можно предложить свои услуги.

Еще одно направление поиска интересных вакансий – это социальные сети. В первую очередь, для специалистов это, конечно, LinkedIn. Эта сеть специально предназначена для встречи и профессиональных контактов специалистов. Некоторым отдаленным аналогом в России является сеть professionali.ru.

Таким образом, перед студентами физико-математических направлений подготовки открывается множество возможностей найти и выбрать интересную работу после окончания вуза. Для этого надо определиться с выбором будущей занятости, поставить себе цель еще на 2–3 курсе и искать людей, работодателей, предприятия, которые помогут ее достичь.

ООО КУЗБАСССПЕЦВЗРЫВ: ПРОИЗВОДСТВО ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

KUZBASSPETSVMZRYV COMPANY: PRODUCTION BLASTING

А.Н. Садохин

A.N. Sadochin

ООО «КузбассСпецВзрыв»

Ltd «KuzbassSpetsVzryv»

kusbassv@mail.ru

На сегодняшний день ООО «КузбассСпецВзрыв», располагая производственной базой и высококлассными специалистами, а также необходимым оборудованием для ведения взрывных работ и доставки ВМ до места производства взрывных работ имеет лицензии на применение и хранение взрывчатых материалов промышленного назначения. Расширяя сферу производственной деятельности в 2012 г., нами получено свидетельство СРО НП «Межрегиональное объединение строительных компаний» на отдельные виды работ, включая буровзрывные и горнопроходческие работы.

Успешная работа предприятия заключается в применении современных технологий сноса сооружений, в использовании уникальной современной техники для безопасного разрушения и промышленного демонтажа строений. Без преувеличения можем сказать – мы обладаем богатым опытом по демонтажу производственных зданий и сооружений не только в Кузбассе, но и во многих регионах России. Наше предприятие готово выполнять работы по сносу зданий и сооружений всех типов. Осуществляем быстрый, эффективный и максимально безопасный снос сооружений и зданий всех типов: промышленных, жилых, подземных убежищ, дымовых труб, элеваторов и силосов и других строительных конструкций из сборного и монолитного железобетона.

Взрывными работами, выполняемыми с применением взрывчатых веществ, обладающими большим количеством скрытой химической энергии, на строительстве разрабатываются скальные породы и производится рыхление мерзлых и тяжелых глинистых грунтов; для образования выемок различного назначения; для разрушения зданий и сооружений, подлежащих сносу, для дробления льда на крупных реках в весенний период, для корчевания пней и пр.

В строительстве для взрывных работ применяют главным образом промышленные ВВ, к которым относятся аммиачно-селитренные взрывчатые вещества – аммонит, аммонал, динамон и др. как менее опасные в обращении и игданит, составные части которого совершенно безопасны в обращении.

При возможности решения ключевых вопросов демонтажа выведенных из эксплуатации зданий и сооружений, а также при ликвидации недействующих производств, химически опасных предприятий бывшего советского оборонного комплекса и ликвидации чрезвычайных ситуаций применяются различные технологии специальных взрывных работ. Разработанные и реализуемые на нашем предприятии технологии взрывных работ, позволяют снижать вредное воздействие взрыва на окружающую среду до минимума и обеспечить промышленную безопасность труда, что допускает производить работы в стесненных условиях, в условиях действующих промышленных производств и коммуникаций, вблизи жилых застроек.

Наше предприятие базируется в Кузбассе и выполняет работы полностью собственными силами и средствами, самостоятельно решая весь комплекс подготовительных работ и взрывного дела, а также рекультивации территории с экологическим мониторингом. Подготовительный этап, необходимый для начала производства взрывных работ, управленческий состав нашего предприятия решает в сжатые сроки, что позволяет нам производить работы на всей территории Российской Федерации.

Руководство ООО «КузбассСпецВзрыв» приветствует участников международной молодежной научной конференции «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики-2014» и является партнером секции №1 «Взрывные, детонационные процессы и свойства вещества при высокоэнергетических воздействиях». Желает плодотворной работы и новых научных результатов. Приглашаем к сотрудничеству в рамках грантов РФФИ, ФЦП «Научные кадры» для проведения экспериментальных взрывных работ.

Литература

1. <http://кузбасспецвзрыв.рф/articles>

Секция 1
**ВЗРЫВНЫЕ, ДЕТОНАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ
И СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА
ПРИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

Session 1

**EXPLOSION AND DETONATION PROCESSES
AND PROPERTIES OF MATTER UNDER HIGH ENERGY
LOADING**

STRAIN RATE EFFECTS FOR CONCRETE IN TENSION

A. Brara

Research Director, Head of the Materials Research Division, National Center of Studies and Integrated Research on Building Engineering (CNERIB), Cité Nouvelle El Mokrani, Souidania, Algiers, Algeria
brahm2358@yahoo.com

Concrete structures may be subjected to loading at very high stress rates in a number of instances including accidental natural actions as well as military attacks or terrorist acts. These loadings involve impact and natural events – such a military bunker or any protective structure when struck by missiles or flying projectiles (like airplanes) - or buildings when submitted to strong earthquake, tornados, or explosion.

Nowadays, with the sophistication of the computational tools and the advanced current knowledge on modelling, concrete structures can be calculated under complex loading conditions. Especially, it has become possible over the last decades to make detailed numerical simulations of dynamics events in personal computers, significantly increasing the availability of these computational methods. Nevertheless, the numerical methods, such as the finite (or discrete) element method, require comprehensive material models including the tensile behaviour of concrete. The application of these advanced codes only makes sense when accurate constitutive relations for the dynamic material behaviour are available, which generally differs from the quasi-static behaviour. However, despite many applications reliable data with regard to the dynamic behaviour of concrete are only available to a limited extent.

In the several reviews of the properties of concrete under dynamic loading completed recently, more emphasis is placed on the concrete compressive behaviour. Less data are available on the tensile response, for which limited number of publications can be found, up to relatively low strain rates (typically up to 25 s^{-1}).

The lack of available experimental data is mainly due to the difficulty in development and operation of the most effective experimental technique assuring

high loading rates. The complexity in design of efficient experimental technique explains to some extent the limited number of available experimental data. Furthermore, the mechanisms associated with the dynamic behaviour of concrete are not completely understood.

In a brief state of art, the most recent results of concrete dynamic tensile behaviour, notably those performed with the spalling technique coupled with the Hopkinson bar at strain rate higher than 1.0 s^{-1} , are gathered and compared with the existing data. A physical interpretation of concrete behaviour within this strain rates range is discussed.

The data gathered support clearly the considerable and puzzling strength increase of 600 % observed earlier for strain rate greater than 1.0 s^{-1} . Based on experimental observations, a plausible explanation of the physical mechanisms of strain rate is proposed relates the substantial increase of the tensile strength of concrete materials above the critical strain rate of $\sim 1.0 \text{ s}^{-1}$ to micro-cracking inertia, micro-crack shielding and cleavage of aggregates.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА СЭНДВИЧ СТРУКТУРЫ ПРИ ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗКАХ INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF THE ICE COVER SANDWICH STRUCTURE UNDER EXPLOSIVE LOAD

Г.Н. Богомолов

G.N. Bogomolov

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National research Tomsk State University

bogomol-ncto@mail.ru

В настоящее время актуальным является изучение поведения льда при динамическом нагружении. Российская Федерация входит в пятерку ледовых стран, между которыми обострилась конкурентная борьба за добычу природных ископаемых на шельфе Северного Ледовитого океана. Развитие арктической зоны является очень важным для нашей страны. Лед - это древнейший природный материал, прочностные свойства которого все еще малоизучены. Это связано со сложной внутренней структурой льда, наличием многократных фазовых переходов в процессе нагружения, особенностью кристаллической решетки и т.д. Следует отметить, что данный факт известен еще со времен пионерских работ Кана, Маэно, Богородского и др.

На базе лаборатории НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета по инициативе сотрудников организована мобильная лаборатория «Исследования поведения природных материалов при взрывном нагружении». Основная цель заключается в экспресс-анализе поведения природных материалов при взрыве. При проведе-

нии натурных экспериментов (испытаний) объектами исследования были заснеженный, бесснежный и ледяной покров сэндвич структуры. Экспериментальные результаты, которые были достигнуты в ходе экспедиций, вполне могут использоваться при верификации разрабатываемых средств математического моделирования. Подавляющее большинство экспедиций были проведены в Сибирском Федеральном Округе. Постоянными партнерами являются МЧС России по Томской области и ООО «КузбассСпецВзрыв» [1, 2].

В НИИМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского ведется активная работа по созданию экспериментальной базы для изучения микроструктуры геоматериалов, их связи с макромеханическими свойствами. Систематически проводились исследования динамической сжимаемости и прочностных свойств мягких, мерзлых грунтов и горных пород. Были развиты методы теоретического анализа волновых процессов в геоматериалах с использованием современных модельных представлений и численных схем. Разработаны интегрированные пакеты программ "Динамика-2", UPSGOD для решения широкого класса задач ударного и взрывного нагружения конструкций при взаимодействии со средами различной физической природы, в том числе с грунтами и горными породами [3].

Целью настоящей работы являлось комплексное теоретико-экспериментальное исследование поведения льда сэндвич структуры при подрыве в воде заряда эмульсионного ВВ. Ледяной покров имел сэндвич структуру и состоял из снега, шуги и однородного льда. Совместная работа состояла из проведения натурных испытаний и численному моделированию данной задачи при помощи оригинальных методик расчета в 2D, 3D постановках.

При проведении UNDEX-эксперимента (Under explosive/подводный взрыв) были получены диаметры взрывных майн, радиус разлета осколков, исследована кромка и лицевая поверхность ледяного покрова вблизи эпицентра взрыва. Результаты получены фото и видео-роликами процесса. При численном моделировании данной задачи рассчитано напряженно-деформированное и термодинамическое состояние льда (взято несколько контрольных точек в различных местах преграды), зависимость скорости льда лицевой поверхности, поврежденность льда. Сопоставление экспериментальных и расчетных данных указывает на их 10% расхождение.

Работа поддержана РФФИ (код проекта 15-38-51219).

Литература

1. Орлов М.Ю., Богомолов Г.Н., Голубятников В.В., Садохин А.Н. Исследование процессов динамического нагружения природных материалов. Часть 1. Эксперимент и расчет взрывного нагружения известняка // Фундаментальные основы баллистического проектирования: IV Всероссийская научно-техническая конференция. Санкт-Петербург,

23–28 июня 2014 г.: Сборник материалов / под ред. Б.Э. Керта; Балт. гос. техн. университет. СПб, 2014. С. 164–165.

2. Глазырин В.П., Орлов М.Ю., Орлова Ю.Н., Орлов Ю.Н. Численное моделирование процессов разрушения льда // Решетневские чтения: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева (10–14 нояб. 2015, г. Красноярск): в 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова. Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. 2015. Ч. 2. С. 144–146.

3. Глазова Е.Г., Кочетков А.В., Крылов С.В., Зефилов С.В. Численное моделирование процессов нормального удара и проникания осесимметричного тела в мерзлый грунт // Изв. РАН. Механика твердого тела. №5. 2015. С. 48–56.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ СМЕСЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ СОДЕРЖАЩИХ СМЕШАННОЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ГОРЮЧЕЕ INVESTIGATION OF COMBUSTION OF COMPOSITE COMPOSITIONS CONTAINING MIXED METAL FUEL

Н.Н. Золоторев

N.N. Zolotorev

Национальный Исследовательский Томский государственный университет,
Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики, Томск, Россия
Tomsk State University, Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Tomsk, Russia
nikzolotorev@mail.ru

Одним из основных направлений при создании газогенераторов и двигательных установок широкого назначения является поиск новых высокоэффективных энергетических материалов. По мере развития техники все более широкое применение находят газогенераторы, работающие на смесевых композициях (СК), содержащих металлическое горючее. Известно, что применение металлического горючего значительно улучшает энергетические характеристики СК [1]. Одним из путей повышения энергетических характеристик СК является использование в их составе металлов в виде порошков с различной степенью измельчения. Наибольшее распространение в энергетических установках получили алюминий, магний, бериллий, бор, цирконий и другие металлы.

Температура плавления окиси алюминия Al_2O_3 лежит в пределах 2010–2050 °С, а температура кипения 2980 °С [2]. Температура кипения окиси алюминия, выше температуры кипения металла, металл испаряется и пары его, диффундируя через окисел, смешиваются с кислородом и сгорают.

Добавка бора в пиротехнические составы и топлива, облегчает их воспламенение, поэтому он находит широкое применение в воспламенительных составах, реже в безгазовых и твердых топливах. Применение бора сдерживается значительной агломерацией частиц при горении состава, низкой полнотой сгорания и невысокой температурой горения, что объясняется низкой температурой плавления образующейся на частицах бора плёнки оксида бора и значительными затратами тепла на его плавление и

испарение [3]. Температура плавления оксида бора B_2O_3 составляет $450\text{ }^{\circ}\text{C}$. В связи с этим образующаяся на поверхности частицы оксидная пленка обладает защитными свойствами. В работе [4] отмечается, что согласно экспериментальным данным температура частиц бора в момент воспламенения находится между температурой плавления $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температурой кипения бора $3658\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Изучение конденсированных систем при субатмосферных давлениях имеет важное практическое значение. При понижении давления химические реакции идут медленнее, что способствует более яркому проявлению влияния соотношения компонентов, добавок на характеристики горения. Более точное представление о механизме горения СК необходимо при разработке новых рецептов высокоэнергетических материалов (ВЭМ), а так же важно при поиске путей расширения области применения.

Основной функцией при расчете внутрибаллистических характеристик энергетических систем является зависимость скорости горения от давления.

В данной работе было исследовано горение СК на основе перхлората аммония (ПХА) дисперсностью меньше 50 мкм , инертного горючего–связующего СКДМ–80 и металлического горючего алюминий/бор, при субатмосферных давлениях. Коэффициент избытка окислителя смесевой композиции $\alpha=0,5$. Экспериментально был получен степенной закон скорости горения в диапазоне давлений $0,02\div 0,07\text{ МПа}$

Анализ результатов показал, что в исследованных смесевых композициях замена порошка алюминия микронных размеров АСД-6 на ультрадисперсный алюминий УДП, при прочих равных условиях, приводит к тому, что в диапазоне давлений $p=0,02\div 0,07\text{ МПа}$ скорость горения образцов ПХА/СКДМ-80/Алех/В увеличивается в 1,4 раза, а показатель степени ν в законе скорости горения снижается от 0,78 до 0,54.

Замена смешанного металлического горючего с добавлением бора в СК приводит к увеличению скорости горения, а так же сокращает время задержки воспламенения и повышает эффективность горения алюминия в СК.

Работа проведена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.578.21.0034, уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57814X0034.

Литература

1. Лемперт Д.Б., Ничипоренко Г.Н., Манелис Г.Б. Энергетические возможности высокоплотных смесевых твердых ракетных топлив, содержащих цирконий или его гибриды // Физика горения и взрыва. 2011. Т. 47, № 1. С. 52–61.
2. Чалый В.П. Гидроокиси металлов. Киев: Наукова думка, 1972.

3. Жуков Б.П. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь. М.: Янус-К, 2000.

4. Похил П.Ф., Беляев А.Ф., Фролов Ю.В. и др. Горение порошкообразных металлов в активных средах. М.: Наука, 1972.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА SOME FEATURES OF EXPLOSIVE LOADING LIMESTONE

М.Ю. Орлов, А.А. Кулешов, Б.С. Гусев

M.Yu. Orlov, A.A. Kuleshov, B.S. Gusev

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National research Tomsk State University

orloff_m@mail.ru

Интерес к изучению поведения природных материалов при взрывном нагружении в настоящее время не угасает. Это объясняется необходимостью построения физико-математических моделей поведения материалов при экстремальных нагрузках. Очевидно, что для более глубокого понимания процессов, протекающих в природных материалах под нагрузкой, наряду со средствами математического моделирования, следует привлекать современные экспериментальные методики исследования. Проведение полномасштабных экспериментальных работ является важнейшим направлением исследований в рамках фундаментальной проблемы изучения поведения природных материалов при динамическом нагружении.

Создание мобильной лаборатории «Взрывное разрушение материалов» на базе отдела МДТТ НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета расширяет исследовательские возможности [1]. На сегодняшний день в арсенале мобильной лаборатории имеется современное измерительное оборудование, в том числе штангенциркуль, линейки и измерительные рулетки от 1 до 50 метров, лазерный цифровой ультразвуковой дальномер, строительные алюминиевые уровни от 50 до 150 см и другие меры длины и принадлежности. Состояние объектов исследования после подрыва заряда ВВ (ледяного покрова, известняка) фиксируется при помощи цифровой фотокамеры с разрешением матрицы до 20 МПикс. Все участники экспедиции снабжены индивидуальными средствами защиты. Основными результатами, которые могут быть получены в процессе проведения экспериментальных работ, являются: диаметры и глубины взрывных майн и кратеров, радиус разлета осколков от эпицентра взрыва, температура окружающего воздуха и объектов исследования, фиксируется состояние кромок с различных ракурсов. На наш взгляд, этого вполне достаточно для проведения некоторых качественных и даже количественных тестов.

Ниже представлены результаты натурного испытания по подрыву известнякового массива. Экспериментальные работы проведены на одном из

карьеров Сибирского Федерального Округа в конце 2015 года. Экспериментальная площадка составила более 50 м². На площадке подготовлены 6 лунок глубиной 2 метра и диаметром 11 см. Расстояние между лунками ~ 3 метра. Известняк относится к крепким горным породам, поэтому процесс бурения лунки произведен при помощи погружного пневмоударника. Проведенные геологоразведочные работы установили, что на глубине более 10 метров под известняком находится вода в жидкой фазе.

В качестве взрывчатки использовалась штатное эмульсионное ВВ марки Эмуласт АС-30-ФП-90 в полиэтиленовой оболочке массой 4 кг. Общая масса ВВ была 16 кг (13, 12 кг в тротиловом эквиваленте). ВВ располагалась полностью в скважине. После одновременного подрыва ВВ продуктами детонации были выброшены куски породы различных размеров (в основном небольших). Радиус разлета осколков составил более 10 метров. Детальный осмотр места эксперимента позволил определить диаметр первой скважины, который составил 1,5–1,7 метра. Результаты натурного испытания получены в виде фото и видео материалов.

Авторы благодарят главного инженера ООО «КузбассСпецВзрыв» к.т.н. Садохина А.Н. и к.ф.м.н., доцента Козулина А.А. за помощь в проведении экспериментальных работ.

Литература

1. Орлов М.Ю., Орлова Ю.Н. Мобильная лаборатория «Исследование поведения природных материалов при взрывном нагружении». Итоги научно-исследовательской работы 2013/14 // Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспект / под ред. И.И. Мирошкина. Уфа: Аэтерна, 2015. С. 60–71.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ ЛЬДА. ЧАСТЬ 2. ПОДВОДНЫЙ ВЗРЫВ ЗАСНЕЖЕННОГО ПОРИСТОГО ЛЬДА INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF EXPLOSIVE LOADING OF ICE. PART 2. UNDERWATER EXPLOSION POROUS SNOW-COVERED ICE

**Ю.Н. Орлова
Yu.N. Orlova**

Национальный Исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk Polytechnic University
orlovaun@mail.ru

Актуальность исследований поведения льда при ударно-взрывных нагрузках в настоящее время не вызывает сомнений. Российская Федерация входит в пятерку «ледовых» стран, поэтому существует необходимость в развитии транспортных связей и проектировании портов в замерзающих морях Крайнего Севера, а также увеличение добычи природных ископае-

мых в районах вечной мерзлоты. Следует отметить, что в нашей стране нет государственной поддержки ледовых исследований, как, например, в США, где совместно с военно-морскими силами возобновлена программа “SCICEX”, в рамках которой идет сбор научных данных с помощью новейших надводных и подводных средств. Поэтому получение надежных экспериментальных данных является крайне важным при построении физико-математической модели деформирования и разрушения льда при динамических нагрузках.

Настоящая работа является продолжением систематических исследований взрывного нагружения речного льда [1]. В работе проведены экспериментальные исследования процесса взрывного нагружения заснеженного ледяного покрова штатным эмульсионным взрывчатым веществом (ВВ) – Эмуласт АС-30 ФП. Начальная плотность $1,34 \text{ г/см}^3$, скорость детонации – 4700 м/с. Эксперименты проведены совместно с ОАО «Кузбасс-СпецВзрыв» и МЧС РФ по ТО в рамках ежегодных противопоаводковых мероприятий. Объект исследования – заснеженный ледяной покров (толщина льда 70 см). Температурный режим, установленный накануне эксперимента, позволяет утверждать, что речной лед был более пористый, чем обычно. Рассмотрено 10 лунок, диаметр каждой 16 см. Подрыв ВВ осуществлялся подо льдом 4-х кг зарядом ВВ. Результаты получены в виде фото- и видеоматериалов.

Литература

1. Орлов М.Ю., Орлова Ю.Н. Исследование процесса взрывного нагружения льда // Вестник Томского государственного университета. Математика и Механика № 6(38), 2015. С. 81–89.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ТВЕР- ДЫХ ТОПЛИВ С УЧЕТОМ ПРОЦЕССОВ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ MATHEMATICAL MODELING OF METALLIZED SOLID ROCKET PROPELLANT COMBUSTION TAKING INTO ACCOUNT PROCESSES IN GAS PHASE

В.А. Порязов

V.A. Poryazov

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk Polytechnic University
poryazov@mail.ru

Современные возможности получения порошков металлов в диапазоне от нано- до микронных размеров создали возможности для разработки высокоэнергетических веществ нового поколения, в частности смесевых твердых ракетных топлив, содержащих в качестве добавки порошок алю-

миния. Известно, что добавление порошка металла в состав высокоэнергетического конденсированного вещества влияет на линейную скорость его горения. Для определения линейной скорости горения таких смесевых составов проводится большой объем экспериментальных работ. В связи с этим возникает необходимость разработки физико-математических моделей горения металлизированных твердых ракетных топлив (ТРТ), позволяющих провести предварительный анализ макрокинетических процессов, происходящих при горении ТРТ и определить основную характеристику ТРТ – линейную скорость его горения в зависимости от компонентного состава ТРТ и давления над поверхностью горения.

Разработана физико-математическая модель горения металлизированного твердого топлива, учитывающая экзотермическую химическую реакцию, конвекцию и диффузию в газовой фазе, нагрев и горение частиц металла в потоке газа, движение продуктов сгорания, различие скорости движения частиц и газа. При построении модели предполагалось, что в газовой фазе происходит экзотермическая химическая реакция первого порядка по закону Аррениуса, конвекция и диффузия реагентов, горение происходит в изобарических условиях, частицы алюминия представляют собой шарики, частицы имеют заданный закон распределения по размерам, горение частиц алюминия описывается согласно экспериментальным данным, воспламенение частиц алюминия происходит при достижении частицей заданной температуры, предполагается, что продуктом реакции алюминия с кислородом является оксид алюминия Al_2O_3 и он равномерно накапливается на поверхности частицы, теплообмен между частицами и газом происходит по закону Ньютона, движение частиц происходит под действием сил трения со стороны газа, из-за малой объемной концентрации частиц в газе влиянием движения частиц на движение газа пренебрегается. Закон горения частиц алюминия описывается согласно экспериментально определенным данным по времени сгорания частицы алюминия в среде окислителя.

Математическая постановка задачи состоит из уравнений сохранения энергии газа и частиц алюминия, сохранения массы газа, массы частиц и числа частиц алюминия, выгорания реагента в газовой фазе, движения частиц в потоке газа, уравнения состояния газа. Начальных и граничных условий. Уравнения записываются в системе координат, привязанной к поверхности горения.

Система уравнений математической модели решается численно, с использованием разностной аппроксимации исходных уравнений. Уравнения для энергии газа и выгорания окислителя решаются по неявной разностной схеме методом прогонки. Уравнения для энергии фракций частиц алюминия, сохранения массы частиц и массы газа, движения частиц и газа, концентрации частиц решаются по явной разностной схеме с использованием аппроксимации конвективных слагаемых разностями против потока. Для

устойчивости численного решения используется условие вида: $\Delta t < \Delta x / \max[u_i]$, где Δt – величина шага по времени, Δx – величина шага по пространству, u_i – величина скорости в точках разностной сетки.

Проведено численное исследование влияния дисперсности порошка алюминия, его массовой доли в составе топлива, давления над поверхностью горения на линейную скорость горения смесового твердого топлива на основе перхлората аммония и исследование влияние давления над поверхностью горения на линейную скорость горения замороженной суспензии нанодисперсного алюминия с водой (топливо ALICE).

Доказано, что линейная скорость горения металлизированного топлива увеличивается с уменьшением размера частиц вылетающих с поверхности горения.

Показано, что для расчета скорости горения металлизированных твердых топлив, при горении которых происходит агломерация исходных частиц металла на поверхности топлива, важна информация о распределении по размерам частиц металла вылетающих с поверхности.

Сравнение результатов математического моделирования горения металлизированных твердых топлив с экспериментальными данными показало, что созданная математическая модель адекватно отражает основные процессы, проходящие при горении смесовых твердых топлив, и может использоваться для оценки линейной скорости горения.

СЕКЦИЯ 2
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ,
ПРОГРАММЫ И ТОЧНЫЕ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

Session 2
NUMERICAL METHODS, ALGORITHMS, CODES,
AND ACCURATE SOLUTIONS OF THE CONTINUUM
MECHANICS

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ОБРАЗЦОВ С УЧЁТОМ ИХ СТРУКТУР
И ГОРНЫХ МАССИВОВ С НЕРОВНЫМ РЕЛЬЕФОМ
STRESS-STRAIN ANALYSIS OF THE ROCK SAMPLES WITH
TAKING INTO ACCOUNT THEIR STRUCTURES AND ROCK
MASSIVE WITH IRREGULAR RELIEF

А.Ж. Ахметов ^a, И.Ю. Смолин ^{a,b}, А.С. Кульков ^{a,b}
A.Zh. Akhmetov ^a, I.Yu. Smolin ^{a,b}, A.S. Kulkov ^{a,b}

^aНациональный Исследовательский Томский государственный университет

^bИнститут физики, прочности и материаловедения СО РАН

^aNational Research Tomsk State University

^bInstitute of Strength Physics and Materials Science SB RAS

ayan.akhmetov93@gmail.com

Изучение общих закономерностей эволюции напряженно-деформированного состояния горных массивов и элементов геосреды разных масштабов, а также механизмов формирования зародышей разрушения, имеет не только большую научную значимость, но также и большое прикладное значение для горных технологий.

Проблеме влияния неровности рельефа земной поверхности на напряженное состояние массива горных пород посвящены работы различных авторов [1–3]. Несмотря на проведенные исследования как аналитическими, так и численными методами, некоторые аспекты этой проблемы остались неизученными. В частности, не полностью исследовано совместное влияние коэффициента бокового распора и гористого рельефа на особенности напряженного состояния горных пород в массиве.

В данной работе с использованием конечно-разностного метода численно изучены зоны влияния возвышенностей и углублений различной формы на напряженное состояние горных пород в верхней части земной коры. Показано, что рельеф может оказывать существенное влияние на распределение вертикальных и особенно горизонтальных напряжений и приво-

доть к образованию растягивающих горизонтальных напряжений в горном массиве.

Так как физико-механические свойства горных пород обусловлены, главным образом, минеральным составом и текстурно-структурными особенностями [4], поврежденностью и пористостью, то при разработке структурных моделей горных пород все эти параметры были изучены для ряда горных пород, прежде всего песчаников. Песчаники были выбраны, поскольку они являются вмещающими породами угольных пластов.

Для изучения структуры образцов песчаника был применен рентгеноструктурный анализ. Затем на основе полученных фотографии были построены двумерные модели горных образцов для численного исследования их напряженно-деформированного состояния. Были выявлены очаги зарождения пластических деформаций и повреждений в образцах, а также показано, что они располагаются в местах стыка структурных составляющих с сильно различающимися механическими свойствами.

Указанные особенности напряженно-деформированного состояния горных массивов и образцов песчаника важны для анализа возможности обрушения вокруг подземных выработок в области изменения напряженного состояния горного массива, обусловленного топографией.

Данная работа была выполнена в рамках проекта РНФ №14-17-00198.

Литература

1. *Работа Э.Н.* К определению напряженного состояния нетронутого массива при негоризонтальной земной поверхности // Горное давление и горные удары. Труды ВНИМИ. 1974. № 91. С. 39–48.
2. *Марков Г.А. Савченко С.Н.* Напряженное состояние пород и горное давление в структурах гористого рельефа / отв. ред. Д.М. Бронников. Л.: Наука, 1984. 140 с.
3. *Боровков Ю.А.* Исследования влияния рельефа земной поверхности на напряженно-деформированное состояние массива пород и параметры горных выработок: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1999. 355.
4. *Абсатаров С.Х., Мосейкин В.В.* Особенности физико-механических свойств минеральных разновидностей железистых кварцитов Лебединского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 9. С. 285-291.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОРА С ПОИСКОМ ФОРМЫ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ¹

STRESS-STRAIN STATE SIMULATION OF SPACE REFLECTORS WITH FORM FINDING OF REFLECTIVE SURFACE

**С.В. Белов, А.В. Бельков, А.П. Жуков, , М.С. Павлов,
В.С. Пономарев С.В. Пономарев
S.V. Belov, A.V. Belkov, A.P. Zhukov, M.S. Pavlov, V.S. Ponomarev,
S.V. Ponomarev**

НИИ Прикладной математики и механики Томского государственного университета
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University
belovsv@niipmm.tsu.ru

В настоящее время космические рефлекторы спроектированные с использованием стретчевых вантовых и оболочечных элементов находят широкое применение из – за их способности разворачиваться на большую площадь при относительно небольшой массе.

Расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) рефлекторов проводится с точки зрения нелинейной теории упругости, которое описывается стационарной нелинейной системой уравнений, приведенной в работе [1]. Данная система решается численно методом конечных элементов с помощью последовательного изменения граничных условий. Однако, при таком подходе существует проблема определения граничных условий при которых задача будет сходиться к искомому решению. Кроме того, при расчете НДС на вантовую формообразующую структуру рефлекторов накладываются дополнительные ограничения по значениям натяжений ее элементов.

Для решения поставленной задачи, авторами предлагается использовать метод плотности сил (МПС) для поиска формы вантовой структуры отражающей поверхности рефлектора. МПС был разработан Ликвицом и Чеком при проектировании вантовой крыши олимпийского стадиона в Мюнхене [2, 3]. Основная идея МПС заключается в линеаризации системы нелинейных уравнений равновесия относительно координат соединений (узлов) вантовых прямолинейных элементов с помощью введения параметра плотности силы: $q_e = L_e / T_e$, где L_e , T_e – длина и натяжение вантового элемента соответственно, который считается известным. При таком подходе находится некоторая конфигурация вантовой сети в состоянии равновесия, без каких-либо ограничений на вантовые элементы. Для описания ограничений на сеть, вводится система нелинейных уравнений:

$$\mathbf{g}^*(\mathbf{q}_e) = \mathbf{g}(\mathbf{x}(\mathbf{q}_e), \mathbf{y}(\mathbf{q}_e), \mathbf{z}(\mathbf{q}_e)) = \mathbf{0} \quad (1)$$

где $\mathbf{x}(\mathbf{q}_e), \mathbf{y}(\mathbf{q}_e), \mathbf{z}(\mathbf{q}_e)$ – векторы координат искомых узлов зависящих от плотностей сил элементов. В качестве ограничений могут быть определенные значения натяжений элементов, длин в деформированном и не деформированном состоянии. Таким образом, задача сводится к нахождению значения вектора $\mathbf{q}_e$, который удовлетворяет (1). Задача (1) решается итерационным методом Ньютона. В окрестности некоторого начального значения $\mathbf{q}_e^0$ ищется такое значение $\mathbf{q}_e^1 = \mathbf{q}_e^0 + \Delta \mathbf{q}$ чтобы имело место приближенное равенство: $\mathbf{g}^*(\mathbf{q}_e^1) \approx \mathbf{0}$. Система (1) линеаризуется в окрестности $\mathbf{q}_e^0$ с помощью разложения в ряд Тейлора, что приводит к системе линейных уравнений относительно $\Delta \mathbf{q}$:

$$\mathbf{G}^T \Delta \mathbf{q} = \mathbf{r}, \quad (2)$$

где $\mathbf{G}^T = \partial \mathbf{g}^*(\mathbf{q}_e^0) / \partial \mathbf{q}$ - матрица Якоби, $\mathbf{r} = -\mathbf{g}^*(\mathbf{q}_e^0)$. Система (2), вообще говоря, не определённая так как количество ограничений не превосходит количество элементов сети, поэтому среди множества решений ищется то, которое имеет минимальную норму. Решение (2) определяется выражением: $\Delta \mathbf{q} = \mathbf{G}(\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{r}$. Получив решение задачи (1) находятся координаты неизвестных узлов сети, значения натяжений в элементах сети и значения усилий в искомых узлах сети. Полученное решение из МПС используются в качестве граничных условий для определения НДС всего рефлектора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификационный номер RFMEFI57814X0073

Литература

1. Пономарев С.В., Жуков А.П., Бельков А.В. и др. Моделирование напряженно-деформируемого состояния строительных стержневых вантово-оболочечных систем // Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014). Материалы международной конференции молодых ученых [Электрон.текстовые дан.] Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. С. 407–414
2. Linkwitz K., Schek H. Einige bemerkungen zur berechnung von vor gespannten seilnetzkonstruktionen. Archive of Applied Mechanics 40 (3). С. 145–158.
3. Schek H. The force density method for form finding and computation of general networks. Computational Methods in Applied Mechanics and Engineering 3. 1974. С. 115–134.

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЗОНТИЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОРА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ¹

BUCKLING ANALYSIS OF UMBRELLA –TYPE SPACE REFLECTOR AND IT'S ELEMENTS

**С.В. Белов^{*}, А.В. Бельков^{*}, А.П. Жуков^{*}, М.С Павлов^{*},
В.С. Пономарев^{*}, С.В. Пономарев^{*}, О.К. Валишевский^{**},
Д.О. Шендалев^{**}**

**S.V. Belov, A.V. Belkov, A.P. Zhukov, M.S. Pavlov,
V.S. Ponomarev, S.V. Ponomarev, O.K. Valishevsky, D.O. Shendalev**

НИИ Прикладной математики и механики Томского государственного университета^{*}

Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University

АО « Информационные спутниковые системы » имени академика М.Ф.Решетнева^{**}

JSC Academician M.F. Reshetnev

Information satellite systems

belovsv@niipmm.tsu.ru

В работе рассматривается анализ устойчивости перспективного рефлектора зонтичного типа, состоящего из балочных, веревочных и оболочечных элементов.

Под устойчивостью конструкции рефлектора и его элементов понимается их способность сохранять исходную форму после снятия с них внешних нагрузок. Если после снятия нагрузок рефлектор и его элементы изменили свою форму то имеет место потеря устойчивости. Значения нагрузок при которых произошла потеря устойчивости называются критическими.

Основной задачей исследования на устойчивость является определения значений критических нагрузок на рефлектор и его элементы.

Анализ устойчивости проводится численно методом конечных элементов. Существуют работы [1, 2] где приводится анализ устойчивости балочных и оболочечных элементов по отдельности, однако не отмечено работ где бы анализировалась система состоящая из балок, оболочек и вант одновременно.

При моделировании устойчивости рефлектора и его элементов используются три основных подхода:

- Линейный анализ.
- Нелинейный анализ.
- Динамический анализ.

При выполнении линейного анализа решается задача нахождения критической нагрузки для идеальных линейных упругих элементов рефлектора. Этот подход применим к основным несущим элементам силового каркаса рефлектора таких как элементы спиц. Линейный анализ полезно использовать перед проведением нелинейного анализа.

Нелинейный анализ устойчивости это исследование больших перемещений элементов рефлектора и рефлектора в зависимости от приложенных к ним усилий. Нелинейный анализ это более точный способ определения

критической силы так их значения меньше значений полученных в линейном анализе.

Динамически анализ устойчивости хорошо проиллюстрирован в работе [1], где исследуется шарнирно опертый стержень. Показано, что потеря устойчивости стержня происходит при его нулевой собственной частоте. Этот факт используется при анализе отдельных элементов рефлектора и его элементов. Поскольку элементы рефлектора и рефлектор в целом гораздо более сложные системы чем стержень в [1], то целью было показать что при увеличении нагрузок на элементы рефлектора и рефлектор в целом происходит снижение их собственной частоты. В качестве критической силы берется то ее значение при которой собственная частота элементов рефлектора и рефлектора в целом минимальны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификационный номер RFMEFI57814X0073

Литература

1. *Вольмир А.С.* Устойчивость деформируемых систем / А.С. Вольмир. / гл. ред. физико-математической литературы. М.: Наука, 1967. 984 с.
2. *Дашенко А.Ф.* ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дашенко, Д.В. Лазарева, Н. Г. Сурьянинов. 2-е изд, перераб. и доп. / ред. Н.Г. Сурьянинова. Харьков: «БУРУН и К», 2011. 504 с

СВЕРХЗВУКОВОЕ ОБТЕКАНИЕ КОНУСА ПРИ ВДУВЕ ГАЗА ЧЕРЕЗ ГОЛОВНУЮ ЧАСТЬ THE SUPERSONIC FLOW AROUND A CONE AT BLOWING GAS THROUGH THE HEAD

**И.А. Бородачева, В.И. Биматов
I.A. Borodacheva, V.I. Bimatov**

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk Polytechnic University
vbimato@mail.ru

Вдув в передней части поверхности тела, движущегося со сверхзвуковой скоростью, может возникать в результате абляции, в случае организации активной тепловой защиты, либо как средство управления его аэродинамическими характеристиками.

На протяжении этих лет в дискуссиях постоянно встаёт вопрос: как влияет сильный встречный вдув в передней части тела на устойчивость его полёта со сверхзвуковой скоростью в атмосфере Земли?

Пионерные задачи о сверхзвуковом обтекании тел со вдувом с поверхности затупления навстречу набегающему потоку [1–2] решались в осе-

симметричной постановке и, естественно, не могли дать ответ на вопрос о влиянии вдува на подъёмную силу и момент вращения.

Эффект увеличения запаса статической устойчивости при вдуве с носка установлен и в последующих работах [3-4]. Причём, если в [3] улучшение аэродинамических характеристик при сильном встречном вдуве касалось только затупления, то в [4] тот же результат получен и для длинных тонких конусов с длиной $L=10 R_0$, $L=31,5 R_0$, где R_0 – радиус точки сопряжения боковой поверхности с затуплением.

В данной работе, путём прямого численного моделирования, получены результаты, позволяющие ответить на главный вопрос: как повлияет сильный, дозвуковой вдув с поверхности затупления на динамику направленного свободного движения тела конической формы со сверхзвуковой скоростью в атмосфере Земли с учётом реактивного действия вдуваемого газа.

Первая попытка оценки динамических свойств моделей летательных аппаратов в сверхзвуковом потоке в рамках вычислительного эксперимента была предпринята в [5]. В настоящей работе для описания изменения угла атаки при движении тела конической формы используется классическая математическая модель Р.Е. Соркина.

Если вопрос с запасом статической устойчивости при вдуве уже решён, то с учётом выше сказанного, можно, опираясь на систему уравнений, провести качественную оценку того, чего ожидать от реактивного воздействия вдува с носка на изменение искомых функций.

Поставленная задача решалась на примере обтекания затупленного по сфере конуса с углом полураствора 15^0 и радиусом донного среза $2.5 R_0$, так что его длина составляет $6.466 R_0$.

Для решения системы уравнений, описывающей динамику полёта, использовался численный метод Рунге – Кутта четвёртого порядка точности относительно шага интегрирования: $\Delta t = 10^{-6} \text{ сек}$. Шаг по углу атаки при этом составлял: $\Delta \alpha = 0.25^0$. Необходимые для решения аэродинамические характеристики определялись путём расчёта обтекания модели при соответствующем угле атаки до установления по времени последних. Для решения при этом использовался конечно – разностный метод С.К. Годунова первого порядка точности относительно независимых переменных с явным выделением головной ударной волны.

Представленные в статье результаты позволяют сделать вывод о том, что сильный дозвуковой вдув газа с поверхности затупления конуса навстречу набегающему сверхзвуковому потоку, не приводит к потере первоначальной динамической устойчивости.

Литература

1. Стулов В.П. Сильный вдув на поверхности затупленного тела в сверхзвуковом потоке // Изв. АН СССР. МЖГ. 1972. № 2. С. 89–97.

2. Левин В.А. Сильный вдув на поверхности тела, обтекаемого сверхзвуковым потоком газа // Изв. АН СССР. МЖГ. 1973. № 5. С. 97-104.

3. Антонов В.А., Гришин А.М., Пахомов Ф.М. Влияние угла атаки на сверхзвуковое обтекание осесимметричных затупленных тел при наличии вдува с поверхности // Изв. АН СССР. МЖГ. 1987. №5. С. 95-101.

4. Антонов В.А., Гольдин В.Д., Пахомов Ф.М. Аэродинамика тел со вдувом. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. 192 с.

5. Пахомов Ф.М. Динамическая устойчивость модели в отсутствие и при наличии падающей ударной волны в набегающем сверхзвуковом потоке // Вестн. Том. гос. ун-та. 2007. № 295. С. 99-104.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ РАЗГОНЕ
СТАЛЬНОГО ВЕДУЩЕГО ПОЯСКА ПО КАНАЛУ
Артиллерийской Установки
NUMERICAL SIMULATION OF THE THERMAL CONDUCTIVITY
AT HIGH SPEED ACCELERATION OF STEEL MASTER BELT IN
GUN TUBE**

А.В. Гуськов, Я.С. Зезюлинский, К.Е. Милевский

A.V. Guskov, Y.C. Zezuylinsky, K.E. Milevsky

Новосибирский государственный технический университет

Novosibirsk State Technical University

a.guskov@corp.nstu.ru

Во время высокоскоростного движения типового ведущего пояска (ВП), выполненного из материала М1 и закрепленном на артиллерийском снаряде (АС), под действием фрикционного контакта с поверхностью канала ствола (КС) происходит интенсивный нагрев его приповерхностного сильнодеформированного. В результате теплового воздействия приповерхностный слой материала рекристаллизуется и частично переходит в расплавленное состояние, что служит причиной переноса материала тонких приповерхностных слоев ВП на поверхность КС. Для исключения этого явления предлагается изготавливать ВП из материала корпуса снаряда, т.е. стали, так как её температура плавления 1500°C. Для определения температурного поля приповерхности слоя медного ведущего пояска при движении по КС проведено численное моделирование процесса теплопроводности.

Закономерности изменения температуры в области контакта ВП с каналом ствола можно установить с помощью теории Х. Блока:

$$T_{max} = 2fp\left(\frac{BV}{\pi k_{КС}}\right)^{1/2} \quad (1)$$

P – среднее контактное давление; k – теплопроводность; ρ – плотность; c – удельная теплоемкость; V – скорость скольжения; B – характерный размер источника в направлении скольжения; f – коэффициент трения.

Допущения: внутренние источники теплоты на участках отсутствуют, материал ведущего пояска однороден и изотропен, физические параметры постоянны, деформация исследуемого объема является малой величиной по сравнению с самим объемом.

Результаты расчета температур с использованием (1) на участках медного ВП во время высокоскоростного разгона в КС показывает, что на всех участках контакта зависимости изменения температуры от времени движения ВП идентичны, но наиболее интенсивно нарастание температуры в начальный период движения АС по КС (до $t = 0,023$ с). Температура в это время достигает 1100°C (выше температуры плавления М1) и продолжает расти.

Решено уравнение теплопроводности для ВП, изготовленного из материала корпуса снаряда:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (2)$$

где ρ – плотность материала ВП, кг/м^3 ; λ – коэффициент теплопроводности материала ВП, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$; c_p – удельная теплоемкость материала ВП, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; t – время, с.

Зависимости распределения температуры по всем трем участкам отличаются незначительно. Максимальная интенсивность возрастания температуры соответствует участку от начала движения АС до момента времени $0,005$ с, а в интервале от $0,005$ с до $0,04$ с (процесса завершения движения АС по КС) интенсивность нарастания температуры уменьшается (происходит повышение температуры от 1000 до 1162°C).

Анализируя полученные зависимости $T(t)$ на исследуемых участках можно отметить, что температуры всех рассматриваемых поверхностей ($T = 800^\circ\text{C}$) превышают температуру начала рекристаллизации стали в момент времени $t = 0,01$ с. Максимальная температура на поверхности стального ВП составляет $T = 1260^\circ\text{C}$, т.е. температура материала не достигает температуры плавления стали.

Литература

1. Эттлс С.М. Влияние тепловых эффектов на трение при высоких скоростях скольжения / С.М. Эттлс // Проблемы трения. 1986. № 1. С. 71–78.
2. Гуськов А.В. Исследование процесса движения ведущего пояска артиллерийского снаряда в тепловой машине / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, Е.Ю. Слесарева // Изв. высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56, №6–3. С. 14–16.

3. Патент 149768 Российская Федерация, МПК F 42 В 14/02. Артиллерийский снаряд к нарезному оружию/ А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, М.С. Хребтова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ «Новосибирский государственный технический университет». № 2014128916/11; заявл. 14.07.2014; опубл. 20.01.15, Бюл. № 2.

4. Гуськов А.В., Зезюлинский Я.С., Милевский К.Е., Неживых Е.О. Теплоперенос на поверхности фрикционного контакта пары «ведущий поясok – канал ствола» в процессе высокоскоростного разгона / А.В. Гуськов и др. // Наука. Промышленность. Оборона 2015. Ч. 1. С. 259–262.

5. Гуськов А.В., Милевский К.Е., Чайка Н.Ф., Зезюлинский Я.С. Теплоперенос в процессе высокоскоростного разгона типового ведущего пояса по каналу артиллерийской установки / А.В. Гуськов и др. // СибОптика-2015. 2015. Т. 3. С. 107–111.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ В МАТЕРИАЛЕ С ПОРИСТЫМ ПОКРЫТИЕМ NUMERICAL INVESTIGATION OF DEFORMATION AND FRACTURE IN A POROUS-COATED MATERIAL

А.В. Зиновьев

A.V. Zinoviev

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences
zav@ispms.tsc.ru

В работе численно исследовано механическое поведение композиции «керамическое пористое покрытие – стальная подложка» при одноосном растяжении и сжатии вдоль интерфейса «покрытие – подложка», а также при сжатии, направленном ортогонально интерфейсу. Внутреннее строение композиции соответствовало экспериментально наблюдаемому. Построена двумерная структурно-механическая численная модель материала с хрупким пористым покрытием. Для точного описания внутренних границ раздела композиции на основе метода механической аналогии разработан подход к дискретизации расчетного объема криволинейной регулярной сеткой. Зеренная структура стальной подложки генерировалась методом клеточных автоматов с оригинальными модификациями. Краевая задача решалась в постановке плоской деформации методом конечных разностей. Покрытие описывалось упругохрупкой моделью, подложка – упругопластической. Использован энергетический критерий типа Губера–Мизеса, учитывающий зарождение разрушения в областях локального растяжения.

Показано, что как при внешнем растяжении, так и при внешнем сжатии вдоль интерфейса трещины зарождаются в областях локального растяжения вблизи пор. При растяжении трещины распространяются перпендикулярно оси нагружения, покрытие откалывается кусками вплоть до подложки и теряет свои защитные свойства. При сжатии трещины распространяются параллельно оси нагружения, покрытие постепенно отслаивается до

тех пор, пока вблизи подложки не останется тонкий беспористый слой, сохраняющий часть защитных свойств покрытия. При развитом пластическом течении в подложке обнаружено квазиоднородное напряженное состояние, при котором наблюдается отсутствие концентрации интенсивности напряжений вблизи интерфейса между покрытием и подложкой.

Для исследования влияния размера зерна в подложке на эволюцию напряженно-деформированного состояния (НДС) композиции в условиях сжатия ортогонально интерфейсу между покрытием и подложкой рассматривались три группы образцов: с однородной подложкой, осредненными механическими характеристиками и прямолинейным интерфейсом, с явным учетом зеренной структуры подложки и прямолинейным интерфейсом, а также образцы с явным учетом зеренной структуры подложки и криволинейным интерфейсом. Размер зерна варьировался от 5 до 30 мкм. В зависимость от размера зерна ставился предел текучести стали согласно закону Холла-Петча. Выявлен экспоненциальный рост деформации разрушения с увеличением размера зерна подложки. Показано, что вклад межзеренных границ в прочностные характеристики композиции при прямолинейном интерфейсе между покрытием и подложкой статистически сопоставим с вкладом зубчатого интерфейса. Обнаружено, что области локального растяжения вблизи интерфейса на начальных этапах нагружения формируются в подложке во впадинах, а в покрытии начинают формироваться вблизи зубцов при деформации, превышающей деформацию квазиоднородного состояния.

С целью установить вклад системы пор в НДС композиции был рассмотрен мезообъем покрытия с различным распределением пор. Продемонстрировано влияние взаимного расположения пор на такие механические характеристики композиции как модуль Юнга, предел прочности и деформация разрушения. Проведен ряд численных экспериментов нагружения образцов покрытия с равной пористостью, но различным количеством и размером пор, а также расстоянием между ними. Показано, что максимальная интенсивность напряжений меняется пропорционально отношению расстояния между порами к их радиусу.

Проведены исследования влияния модуля Юнга наполнителя в покрытии на прочностные характеристики композиции. Образец со структурой, соответствующей экспериментальной, подвергался растяжению. Модуль Юнга материала включений варьировался в диапазоне от близкого к нулю, соответствующего поре, до пятикратно превышающего модуль Юнга матрицы покрытия. Показано, что композиция, модуль Юнга включения в которой превышает модель Юнга матрицы покрытия на 50%, обладает наилучшими прочностными характеристиками.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-08-00277-а) и в рамках Программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета. Автор

выражает признательность научному руководителю д.ф.-м.н. Р.Р. Баллонову за полезные дискуссии и ценные замечания.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ
МОНОКРИСТАЛЛОВ ТИТАНА В РАМКАХ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ
A MICROMECHANICAL MODEL FOR THE DEFORMATION
BEHAVIOR OF TITANIUM POLYCRYSTALS**

**О.С. Зиновьева^{1,2}, В.С. Шахиджанов¹
O.S. Zinovieva^{1,2}, V.S. Shakhijanov¹**

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

¹National Research Tomsk State University

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

²Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS
emelyanova@ispms.tsc.ru

Цель работы – разработка модели упруго-пластического поведения ГПУ кристаллов титана на основе физической теории пластичности в квазистатической постановке.

В работе обсуждается модель физической теории пластичности на примере монокристаллов титана. Разработана процедура пользователя VUMAT, и показано, что решение согласуется с решением в рамках встроенной модели ABAQUS, а также с аналитическими оценками скоростей распространения упругих волн в монокристаллах титана с различной ориентацией. Были выбраны несколько показательных случаев кристаллографических ориентаций, чтобы проанализировать распределение пластических деформаций на разных плоскостях скольжения.

Выражается благодарность за наставления и помощь в работе Романовой В.А.

Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда № 13-01-00114-а.

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ АЭРОДИНАМИКИ В ВОЗДУШНО-ЦЕНТРОБЕЖНОМ КЛАССИФИКАТОРЕ

COMPARISON OF TURBULENCE MODELS IN THE CALCULATION OF AERODYNAMICS IN THE AIR CENTRIFUGAL CLASSIFIER

Н.С. Евсеев

N.S. Evseev

Национальный Исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

evseevns@gmail.com

В работе приводится сравнение результатов тестовых расчетов аэродинамики двухфазного закрученного турбулентного потока в сепарационной камере воздушно-центробежного классификатора с использованием моделей турбулентности $k-\omega$ и $k-\varepsilon$. Представлены поля составляющих вектора скорости несущей среды и кинетической энергии.

Поле скоростей закрученного турбулентного потока газовой фазы определялось на основе уравнений Рейнольдса, замыкание которых осуществлялось при помощи двухпараметрических моделей турбулентности Уилкокса и моделей $k-\varepsilon$. Расчет аэродинамики двухфазного турбулентного течения по модели $k-\omega$ Уилкокса проводился аналогично работам [1, 2]. В качестве моделей $k-\varepsilon$ были использованы модели Лаундер-Шарма и Нагано-Хишида [3].

Решение системы уравнений переноса импульса и уравнения неразрывности для несущей среды проводилось в переменных «скорость-давление» методом физического расщепления по времени полей давления и скорости. Конвективные и диффузионные слагаемые уравнения переноса радиальной, аксиальной, окружной составляющих вектора скорости, а также кинетической энергии и удельной скорости диссипации записывались с помощью экспоненциальной схемы.

Достоверность и работоспособность численного решения установившегося турбулентного закрученного потока несущей среды проверялась тестовыми исследованиями на сеточную и итерационную сходимость, а также сравнением численных расчетов с экспериментальными данными [4].

Литература

1. Shvab A.V., Evseev N.S. Studying the Separation of Particles in a Turbulent Vortex Flow // Theoretical Foundations of Chemical Engineering, ISSN 004005795, 2015, Vol. 49, No. 2, p. 191–199.
2. Shvab A.V., Evseev N.S. Published in Teoreticheskie Osnovy Khimicheskoi Tekhnologii, 2015, Vol. 49, No. 2, p. 197–205.

3. Шваб А.В., Хайруллина В.Ю. Исследование закрученного турбулентного течения между вращающимися профилированными дисками // Теорет. основы хим. технологии. 2011. Т. 45. №5. С. 557–565.

4. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений СПб., 2001. 108 с.

5. Singh A., Vyas B.D., Powle U.S. //Int.J. Heat and Fluid Flow, 1999. №. 20. P. 395–401.

ДВА СПОСОБА МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ В ЗАДАЧАХ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ РДТТ TWO TECHNIQUES IN MODELLING SHIFTING SURFACE FOR PROBLEMS IN INTERNAL BALLISTICS OF SOLID ROCKET MOTORS

А.Е. Кирюшкин

A.E. Kiryushkin

Национальный Исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

sashakir94@mail.ru

Для внутренней баллистики РДТТ характерны задачи, в которых необходимо вычислять параметры течения в камере сгорания и сопле двигателя, учитывая прогорающую поверхность топлива [1–2]. Численное моделирование движущейся поверхности может быть реализовано путем подвижной сетки либо с помощью постепенного добавления узлов.

В данной работе рассматривается численное решение нестационарных уравнений газовой динамики для двумерной области на неструктурированной сетке методом установления с заданными газоприходом и энтальпией на левой границе и давлением на правой границе, а на боковых границах задаются условия непротекания [3–5]. Численное решение получено для двух случаев. В первом из них неструктурированная сетка выбрана таким образом, чтобы обеспечить малое изменение площади расчетной ячейки при переходе от одной ячейки к другой. Во втором случае при переходе через границу между каналом и соплом происходит резкое увеличение площади ячеек. Показано как влияет такой скачок площади ячеек в расчетной области на изолинии основных параметров течения.

Также сравнивается численное решение задачи для случая прогорающего торца с аналогичными граничными условиями, как и для предыдущей задачи. Моделирование движущейся прогорающей поверхности реализуется двумя вышеперечисленными способами. Полученные результаты сравниваются между собой.

Рассмотренные задачи решаются численно по схеме Ван-Лира [6], что обеспечивает первый порядок точности по пространственным координатам и времени.

Литература

1. Райзберг Б.А. Основы теории рабочих процессов в ракетных системах на твердом топливе / Б.А. Райзберг, Б.Г. Ерохин, К.П. Самсонов. М.: Машиностроение, 1972. 383 с.

2. *Ерохин Б.Т.* Теория внутрикамерных процессов и проектирование РДТТ / Б.Т. Ерохин. М.: Машиностроение, 1991. 560 с.
3. *Годунов С.К.* Численное решение многомерных задач газовой динамики / С.К. Годунов. М.: Наука, 1976. 400 с.
4. *Андерсон Д.* Вычислительная гидромеханика и теплообмен Т. 1 / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. М.: Мир, 1990. 384 с.
5. *Андерсон Д.* Вычислительная гидромеханика и теплообмен Т. 2 / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. М.: Мир, 1990. 392 с.
6. *Van Leer B.* Flux-Vector Splitting for the Euler Equations // Lecture Notes in Physics. 1982. Vol. 170. P. 507–512.

РАСЧЕТ НЕРАВНОВЕСНОГО СВЕРХЗВУКОВОГО ТЕЧЕНИЯ В СОПЛЕ ЗАДАННОЙ ФОРМЫ CALCULATION OF NONEQUILIBRIUM SUPERSONIC FLOW IN THE NOZZLE OF A GIVEN SHAPE

Д.С. Кононов, Н.С. Северина
D.S. Kononov, N.S. Severina

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
Moscow Aviation Institute
severina@mai.ru

Численно изучены особенности квазиодномерного стационарного течения горючей смеси в сопле Лавала со сверхзвуковой скоростью на входе с целью определения геометрии канала, при которой происходит самовоспламенение горючей смеси с сохранением сверхзвукового режима течения во всей области. Для различных параметров на входе в канал определены геометрические параметры, при которых возможно прохождение смеси по каналу без возникновения точки замирания.

Исследуется квазиодномерное стационарное течение реагирующего газа в сопле, эффектами теплопроводности, вязкости и диффузии пренебрегается. Для описания используется следующая система уравнений [1]:

$$\begin{aligned}\rho u F &= Q_0, \\ H + \frac{u^2}{2} &= H_0, \\ u \frac{du}{dx} + \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dx} &= 0, \\ \frac{d\gamma_i}{dx} &= \frac{W_i}{\rho u},\end{aligned}$$

Здесь ρ – плотность, u – скорость, P – давление, T – температура, H – энтальпия, γ_i – концентрация i -ого компонента в смеси, H_0 – полная энтальпия, Q_0 – расход газа через сечение канала. Двухточечная разностная аппроксимация имеет вид:

$$\rho_1 u_1 F_1 = \rho_2 u_2 F_2 = Q,$$

$$\frac{1}{2} (\rho_1 u_1 + \rho_2 u_2) (u_2 - u_1) + P_2 - P_1 = 0,$$

$$H(T_2) + \frac{u_2^2}{2} = H_0.$$

$$\gamma_{i2} - \gamma_{i1} - s \Delta x \frac{W_{i2}}{\rho_2 u_2} - (1 - s) \Delta x \frac{W_{i1}}{\rho_1 u_1} = 0.$$

Здесь s – параметр схемы, в расчетах инициализированный как 0,4.

Для интегрирования уравнений химической кинетики в работе использовался метод У. Г. Пирумова[2].

Для иллюстрации алгоритма рассматривался поток в плоском симметричном канале с гладко меняющейся площадью поперечного сечения с радиусами входного сечения $l_1 = 0.0164$ м, критического сечения $l_2 = 0.0051$ м и выходного сечения $l_3 = 0.0195$ м. $x_1 = 0.125$ м, $x_2 = 0.25$ м, $x_3 = 0.375$ м – их координаты соответственно. Параметры стехиометрической водородокислородной смеси на входе в канал имеют следующие значения: $P_0 = 101325$ Па, $T_0 = 350$ К, число Маха в начальном сечении варьировалось.

Расчетным путем получена следующая картина течения при числе Маха потока $M = 5$. Температура сначала была постоянна в начальной трубе, затем начала расти в области скругления контура, достигнув локального максимума, равного ~ 920 К в точке 0.25, затем наблюдался спад до ~ 840 К в точке 0.262, далее происходил резкий рост до ~ 3770 К с последующим спадом и выходом на постоянное значение ~ 3200 К. Необходимо отметить, что данная задача является крайне чувствительной к изменениям входных параметров: при числе Маха потока $M = 5.01$ не происходило воспламенения смеси, при потоке с числом Маха $M = 4.99$ в контуре обнаруживалась точка запирания.

Литература

1. Элементарные модели и вычислительные алгоритмы физической газовой динамики. Термодинамика и химическая кинетика / Гидаспов В.Ю., Северина Н.С. М.: Факториал, 2014. 84 с.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
УДАРНЫХ ВОЛН С МНОГОСЛОЙНЫМИ ПРОНИЦАЕМЫМИ
ПРЕГРАДАМИ С КОНСОЛИДИРОВАННЫМИ ИЛИ
РАЗНЕСЕННЫМИ СЛОЯМИ**
**NUMERICAL MODELING OF INTERACTION SHOCK WAVES WITH
MULTILAYER PERMEABLE BARRIERS WITH CONSOLIDATED OR
SPACED LAYERS**

Е.Г. Глазова, А.В. Кочетков, И.А. Турыгина

E.G. Glazova, A.V. Kochetkov, I.A. Turygina

Научно-исследовательский Институт Механики Нижегородского Университета им. Н.И. Лобачевского
Research Institute of Mechanics in Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod
hodykinainna@gmail.com

Проницаемые преграды различной структуры применяются для снижения газодинамической нагрузки на элементы конструкции и являются перспективными защитными средствами от воздействия ударных волн (УВ) [1]. Такие преграды представляют собой слои металлической плетеной сетки: одно- или многослойные, с консолидированными или разнесенными на некоторое расстояние слоями. Методами численного моделирования исследуются процессы взаимодействия УВ с подобными преградами, анализируются амплитуды проходящих и отраженных волн. Расчеты проведены с помощью вычислительного комплекса STAR-CCM+ 10.06.009.

Смоделированы сетки со следующими параметрами: размер ячейки 2×2 мм, диаметр проволоки 0.5 мм, что дает коэффициент проницаемости (отношение площади свободного сечения одного слоя сетки к общей фронтальной площади поперечного сечения преграды) $\alpha = 0.64$. Толщина одного такого слоя сетки составляет 1.5 мм. В рамках постановки задачи предполагается: неподвижность и недеформируемость проволок в пакете сетки в процессе расчета и симметрия пакета относительно двух плоскостей параллельных нитям сетки. Область определения задачи включает в себя объем, ограниченный плоскостями симметрии, поверхностями проволок и плоскостями входа и выхода УВ. В качестве начальных условий принимаются параметры набегающей УВ. Возмущенная среда задается в ограниченной области перед пакетом, размеры которой выбираются с тем, чтобы в процессе моделирования отраженные от границ входа и выхода УВ не искажали течение в окрестности пакета.

Для моделирования взаимодействия УВ с проницаемыми многослойными преградами различной конфигурации использовалась набегающая плоская УВ со следующими параметрами ($M_0 = 3.09$):

$$P = \begin{cases} 1.1, y < 0 \\ 0.1, y \geq 0 \end{cases} [\text{МПа}], \quad V = \begin{cases} 779, y < 0 \\ 0, y \geq 0 \end{cases} [\text{м/с}], \quad \rho = \begin{cases} 4.82, y < 0 \\ 1.23, y \geq 0 \end{cases} [\text{кг/м}^3]$$

Произведен ряд расчетов взаимодействия УВ различной интенсивности для пакетов сетки состоящих из трех и восьми слоев (консолидированных или отстоящих друг от друга на различное расстояние), проницаемостью $\alpha = 0.64$ для каждого слоя. Анализируются зависимости основных параметров течения газа (давления, скорости, плотности, температуры) от координаты вдоль линии, проходящей сквозь всю расчетную область, параллельно оси ОУ и перпендикулярно пакету, в моменты времени, когда формируется квазиодномерное течение на некотором удалении от пакета. Вслед за проходящей ударной волной во всех рассмотренных вариантах движется волна разрежения, то есть формируется многоволновая конфигурация в проходящем потоке. Интенсивность как отраженной, так и проходящей УВ для разнесенных слоев меньше, чем для консолидированных. Это объясняется большими потерями энергии в процессе взаимодействия проходящих волн с разнесенными слоями пакета. С увеличением количества слоев в пакете амплитуды отраженных волн увеличиваются, а амплитуды проходящих уменьшаются. Установлено, что для набегающей УВ меньшей амплитуды ($M_0 = 1.3$) процессы качественно остаются такими же.

Для оценки влияния расстояния между разнесенными слоями в пакете сетки на газодинамическое течение, проводилась серия расчетов с различными значениями расстояний: 20, 35, 60 мм. Установлено, что амплитуды проходящих и отраженных УВ различаются слабо для рассматриваемых расстояний.

Для оценки достоверности получаемых численных результатов проведены расчеты взаимодействия УВ различной интенсивности с одним слоем сетки проницаемостью $\alpha = 0.36$ в сравнении с экспериментальными данными [1], полученными для проницаемости $\alpha = 0.347$. Полученные численно зависимости числа Маха проходящей УВ от числа Маха набегающей УВ соответствуют экспериментальным данным.

Работа выполнена при частичном финансировании гранта РФФИ (проект № 13-08-00219).

Литература

1. Гельфанд Б.Е., Фролов С.М. Приближенный расчет ослабления ударных волн проницаемыми преградами // ПМТФ, 1990. Н 4, с. 42-46.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПАКЕТОВ ПЛЕТЕННЫХ СЕТОК STUDIES OF DYNAMIC AND QUASI-STATIC DEFORMATION PROPERTIES PLAITING PACK NETS

И.А. Модин

I.A. Modin

Научно-исследовательский институт механики Нижегородского государственного университета

им. Н.И. Лобачевского

Research Institute of Mechanics, Lobachevsky University

mianet@mail.ru

Методики испытаний и образцы

Пакеты из металлических плетеных сеток являются перспективным демпфирующим элементом с точки зрения защиты конструкций от ударных и взрывных воздействий. По своему конструктивному строению пакеты сеток представляют собой элемент, имеющий различные деформационные свойства в направлениях нормали к слоям и в направлениях нитей. Экспериментальные исследования динамических свойств проводились в системе разрезного стержня Гопкинсона [1]. Испытывались образцы состоящие из 10 и 20 слоев. Для испытания сборки в условиях ударного растяжения использовался аналог схемы Николаса, представляющей из себя модификацию метода Кольского [1]. Ударный импульс, отражаясь от свободного торца стержня, меняет знак и превращается в импульс растяжения, который движется в сторону образца и нагружает его. Регистрация деформации фиксируется в тензодатчиках и позволяет по формулам рассчитать деформацию образца и силу, которая действовала на образец в процессе нагружения. Используемая в экспериментах установка состояла из дюралевых мерных стержней диаметром 30 мм.

Результаты динамических испытаний на сжатие

Скорость деформации изменялась в пределах $1500\text{--}3500\text{ с}^{-1}$. Нагружение проводилось стальным ударником длиной 300 мм. Начальная скорость ударника для каждого испытания фиксировалась. Деформирование образца проходило в несколько циклов, связанных с распространением волн сжатия и растяжения в стержнях. Деформирование носит ярко выраженный нелинейный характер. Разгрузки близки к прямым линиям. Разгрузочный модуль для проведенных испытаний E от 19 ГПа до 26 ГПа. Кривые деформирования слабо зависят от количества слоев. Полученные динамические кривые в сравнении со статическими испытаниями [2] располагаются значительно выше, т.е. наблюдается высокая зависимость от скорости деформации.

Результаты динамических испытаний предварительно обжатых образцов на растяжение

Влияние предварительного обжатия незначительно, динамические кривые лежат в интервале с учетом разброса эксперимента. При статическом растяжении [2] влияние предварительного обжатия более значительно.

Литература

1. *Bragov A.M., Lomunov A.K.* «Methodological aspects of studying dynamic material properties using the Kolsky method» // Int.J. of Impact Engineering, 1995. №16(2), p. 321–330.
2. *Горохов А.Н., Казаков Д.А., Кочетков А.В., Модин И.А., Романов В.И.* Исследование деформационных свойств пакетов плетеных металлических сеток при квазистатическом сжатию и растяжении // Проблемы прочности пластичности. 76(3). Н. Новгород, 2014. № 251.

ЦИРКУЛЯЦИОННОЕ ТЕЧЕНИЕ СТЕПЕННОЙ ЖИДКОСТИ В КАНАЛЕ ОДНОШНЕКОВОГО ЭКСТРУДЕРА CIRCULATORY POWER-LAW FLUID FLOW IN A SINGLE-SCREW EXTRUDER CHANNEL

М.А. Пономарева, М.П. Филина

M.A. Ponomareva, M.P. Filina

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
filina.mari@mail.ru

Полимерная среда в канале одношнекового экструдера совершает сложные движения, поэтому в реальных условиях описать течение продукта в шнеке очень сложно, поскольку помимо течения вдоль канала, имеет место циркуляционное течение в поперечном к оси канала направлении. При построении математических моделей процесса течения вводится ряд упрощающих предположений: течение ламинарное, на стенках нет проскальзывания, массовые силы пренебрежимо малы, шнековый канал разворачивается на плоскость и используется принцип обращенного движения [1]. Кроме того, при построении плоской модели канала считается, что глубина канала шнека значительно меньше его ширины. Таким образом, полагается, что влияние боковых стенок канала отсутствует. Это позволяет представить циркуляционное течение в канале шнека как течение в бесконечно длинном прямоугольном канале, верхняя стенка которого движется с постоянной скоростью в горизонтальном направлении [1, 2]. В тоже время в литературе отсутствует обоснование этого предположения.

Настоящая работа посвящена определению величины отношения ширины к глубине канала шнека, при котором допустимо предположение об отсутствии влияния боковых стенок. Рассматривается задача о ползущем те-

чении полимерной среды поперек канала шнека, верхняя стенка которого движется с постоянной скоростью в горизонтальном направлении. Полимерная среда считается неньютоновской жидкостью. В качестве реологической модели выбрана модель Оствальда де-Вилля. Математическая постановка задачи включает уравнения Стокса в приближении ползущего течения и уравнение неразрывности. Граничные условия состоят в задании компонент скорости на стенках канала.

Приводится методика получения приближенного решения для профиля циркуляционной составляющей вектора скорости без учета влияния боковых стенок. Достоверность полученного решения подтверждается сравнением с данными, представленными в литературе [1, 2]. Для численного решения с учетом влияния боковых стенок используется непрямой метод граничных элементов. Значение показателя нелинейности варьировалось в диапазоне от 0.2 до 1.2. Построены профили циркуляционной составляющей вектора скорости. Рассчитана разница этих решений в норме. Определено отношение ширины канала к его глубине, при котором допустимо пренебрежение влиянием боковых стенок канала на профиль скорости в его середине.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ (МК-3687.2014.1) и РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-31579 мол_а и проекта № 12-08-00313а.

Литература

1. *Тадмор З., Гогос К.* Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1984. 632 с.
2. *Янков В.И., Боярченко В.И., Первадчук В.П.* Переработка волокнообразующих полимеров. Т. 1. Москва; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 998 с.

АНАЛИЗ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПО КРИТЕРИЮ РЕЛЕВАНТНОСТИ ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ANALYSIS OF GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION PROBLEM CRITERION RELEVANT FORM ELEMENT AIRCRAFT

К.А. Степанов

К.А. Stepanov

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University

Задача оптимизации формы элементов летательных аппаратов (ЛА) имеет сложную нелинейную многоэкстремальную целевую функцию с множеством ограничений. Это сокращает выбор генетических алгоритмов

(ГА), делая некоторые нерелевантными. Классический ГА имеет ряд недостатков: возможность ложной сходимости и невысокую эффективность на заключительных этапах, которые делают его недостаточно релевантным. Примерно такой же релевантностью отличается модель Genitor. В ней поиск гиперплоскостей происходит лучше, а сходимость быстрее, чем у классического ГА. Различную релевантность может иметь алгоритм СНС (Cross-population selection, Heterogeneous recombination and Cataclysmic mutation), который довольно быстро сходится. Избегание ложной сходимости в данном алгоритме не гарантировано, поэтому его релевантность имеет вероятностный характер. Гибридизация сочетает в себе достоинства и недостатки детерминированного и генетического подходов и является слабо релевантной при решении задач оптимизации формы элементов летательных аппаратов, которые не решаются градиентными методами. Преимущество Particle Swarm Optimization (PSO) заключается в простоте реализации и в наличии малого количества параметров, требующих настройки. PSO способен работать со сложными целевыми функциями, имеющими множество локальных минимумов, но не работает с разрывными функциями. Поскольку в ходе решения задачи оптимизации формы элементов ЛА возможны разрывы целевой функции, PSO не является для нее релевантным.

При введении в генетические алгоритмы вещественного кодирования возрастают точность вычислений, скорость работы алгоритмов и удобство их реализации. Использование турнирной селекции приводит к отсутствию стагнации и делает реализацию алгоритмов более удобной. Включение в алгоритм арифметического скрещивания и неоднородной мутации, определенной З. Михалевичем, приводит к увеличению сходимости. Добавление метода инцеста предотвращает ложную сходимость. Использование элитизма дает гарантию сохранения оптимального решения.

Секция 3
**ИССЛЕДОВАНИЯ НОВЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
МАТЕРИАЛОВ В ПРИЛОЖЕНИЯХ МЕХАНИКИ
СПЛОШНЫХ СРЕД**

Session 3
**STUDY OF PERSPECTIVE MATERIALS IN APPLICATIONS
OF CONTINUUM MECHANICS**

**ПРОЧНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА КОМПОЗИТА $ZrO_2(Mg)$ - MgO
STRENGTH PARAMETERS DEPENDING ON STRUCTURE AND
COMPOSITION of $ZrO_2(Mg)$ - MgO**

А.С. Буюков, С.Н. Кульков

A.C. Buyakov, S.N. Kulikov

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
Alesbuyakov@gmail.com

Пористые керамики на основе оксидов металлов - перспективный конструкционный материал. Уникальные физико-механические и химические свойства, делают возможным их применение в медицине, в качестве биокерамики, в аэро-космической, атомной и химической промышленности, в качестве фильтрующего и теплоизоляционного материала, работающих в широком диапазоне температур и агрессивных средах.

Один из таких материалов – диоксид циркония. ZrO_2 обладает высокой прочностью и коррозионной стойкостью, а так же входит в реестр ISO, как материал, пригодный для остеозамещения. Другой материал, представляющий интерес – MgO , который активно применяется для производства огнеупоров, цемента, очистки нефтепродуктов, а так же в медицине. Благодаря свойствам этих материалов композит на их основе может представлять большой интерес для различных областей науки и техники [1].

Несмотря на работы по изучению композита на основе этих материалов, опубликованные рядом авторов, в полной мере не изучены закономерности изменения морфологии и фазовых превращений в таких композитах при изменении концентраций и температур спекания, что определило цель исследований: изучение структуры и свойств композитов $ZrO_2(Mg)$ – MgO .

В работе изучены композиционные керамические материалы различного состава на основе ультрадисперсных порошков стабилизированного оксидом магния диоксида циркония $ZrO_2(Mg)$ и оксида магния (MgO), спеченные при температурах от 1200 °С до 1650 °С.

Показано, что с увеличением температуры спекания происходит превращение в диоксиде циркония от моноклинной к кубической фазе. Видно, что с увеличением в составе композита концентрации MgO происходит рост областей когерентного рассеяния и размера кристаллитов обеих фаз, а микродисторсия кубической решетки уменьшается, что может быть обусловлено уменьшением дефектности.

Пористость композитов снижается от 60 до 5 % с ростом температуры спекания, в то время как содержание MgO в композите на пористость почти не влияет. Такое увеличение пористости ведет к снижению предела прочности материала при сжатии [2].

Исследование структуры и поверхности образцов методами растровой электронной и оптической микроскопии показало иерархическое распределение включений и пор в матрице композита в зависимости от состава и температуры спекания. Размер пор меняется в значительных пределах в зависимости от состава, температуры спекания: размер пор составляет около 5 мкм в фазе ZrO_2 и около 1 мкм в MgO. На РЭМ снимках образца, спеченного при температуре 1650 °C с соотношением MgO и $ZrO_2(Mg)$ 1:1 в составе. $ZrO_2(Mg)$ представляет собой светлые области на снимке, а MgO – темные. Показано, что значительная доля пористости приходится на $ZrO_2(Mg)$.

Размер пор в композите зависит не только от состава и температуры спекания, но и от локализации: так во включения MgO средний размер поры составляет 1.5 мкм, а в $ZrO_2(Mg)$ порядка 3.5 мкм.

Литература

1. *Кульков С.Н.* Структура, фазовый состав и механические свойства наносистем на основе ZrO_2 // Физическая мезомеханика. 2007. Т. 10. №. 3.
2. *Сидоренко Ю.Н.* Прогнозирование механических свойств стохастических композиционных материалов. Томск, 2004. 142 с.

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТ THE USE OF ACOUSTIC EMISSION FOR DETECTION DEFECTS IN ELECTRONIC BOARDS

А.А. Жуков, С.В. Пономарев

A.A. Zhukov, S.V. Ponomarev

НИИ Прикладной математики и механики Томского государственного университета
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University
Kus70rus@gmail.com

В работе рассматривается применимость акустической эмиссии к выявлению дефектов паяных соединений электронных плат.

Метода акустической эмиссии наилучшим образом подходит для предупреждения появления дефектов печатной платы, так как он основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в процессе пла-

стической деформации и разрушения (роста трещин) контролируемых объектов. Это позволяет формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на объект.

Характерными особенностями метода акустической эмиссии, определяющими его возможности и области применения, являются:

- обеспечивает обнаружение и регистрацию только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности;
- обладает весьма высокой чувствительностью к растущим дефектам, что позволяет выявить в рабочих условиях приращение трещины порядка долей миллиметра;
- положение и ориентация объекта не влияет на выявляемость дефектов;
- позволяет проводить контроль различных технологических процессов и процессов изменения свойств и состояния материалов.

Предметом исследования является долговечность контактных элементов электронных модулей аппаратуры космических аппаратов.

Основной целью научно-исследовательской работы является создание научно-технического задела в области разработки метода выявления латентных технологических дефектов бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов с длительным сроком активного существования, которые могут привести к отказам при эксплуатации на околоземных орбитах.

Не смотря на большое количество статей и патентов на тему применимости акустической эмиссии для выявления латентных дефектов, практически полностью отсутствуют исследования и разработки применительно к печатным платам, что потребовало разработки методики проведения испытаний применительно к электронным платам. Основными моментами, влияющими на точность и стабильность локации, являются способы крепления датчиков и имитации сигнала акустической эмиссии.

Проведён анализ наиболее подходящих к поставленной задаче способов крепления датчиков акустической эмиссии, а именно:

- при помощи пластилина;
- при помощи магнитов;
- при помощи инденторов.

Каждый способ проверяется экспериментально, определяются преимущества и недостатки каждого из них.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CERAMICS OBTAINED ALUMINUM HYDROXIDE

Р.В. Левков^{1,2}, С.Н. Кульков^{1,2,3}

R.V. Levkov, S.N. Kul'kov

¹ Национальный Исследовательский Томский государственный университет

² ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia,

² Institute of Strength Physics and Materials Science, Tomsk, Russia,

³ Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Levkov.r.v@mail.ru

Исследована структура и физико-механические свойства пористой керамики Al_2O_3 , полученной с использованием порошка гидратированного оксида алюминия, полученного разложением алюминатного раствора.

Согласно рентгенофазовому анализу, порошок гидроксида алюминия представлен структурной модификации $Al_2O_3 \cdot 4H_2O$, часть которого находилась в рентгеноаморфном состоянии, о чем свидетельствует высокий фон на малых углах дифракции.

Результаты растровой электронной микроскопии показали, что порошок гидроксида алюминия состоял из ограненных изолированных поликристаллических частиц. Частицы имели размер от 0.5 до 4 мкм, так же присутствовали единичные частицы размером до 8 мкм. Средний размер частиц составил 2.6 мкм при среднем квадратичном отклонении 1.5 мкм.

Порошки прессовались в стальной пресс-форме при давлении 200 МПа. Спекание прессовок осуществлялось на воздухе при температурах 1300, 1400, 1500 °С с изотермической выдержкой в течение 1 часа.

Отжиг гидроксида алюминия приводит к перестройке до оксида алюминия, тем самым позволяя добиться пористости в керамике, без добавления порообразователя и избежать присутствия посторонних примесей. Необходимое значение пористости достигалось варьированием температуры спекания образцов.

После спекания при температуре 1300 °С в структуре керамики наблюдались зерна оксида алюминия двух видов: неправильной формы и близкой к сферической. В керамиках, спеченных при температуре 1400 и 1500 °С, зерна оксида алюминия имели преимущественно сферическую форму.

Коэффициент усадки керамики увеличивался от 7 до 30% с ростом температуры спекания от 1300 до 1500 °С. Общая пористость спеченных образцов (θ) составляла 60 % при температуре спекания 1300 °С, $\theta \approx 45$ % при температуре 1400 °С и не превышала 20 % для образцов, спеченных при температуре 1500 °С. Исследования механических свойств полученных керамик показали, пористость образцов уменьшалась по мере повышения температуры спекания от 1300 до 1500 °С, что вело за со-

бой повышение плотности керамических образцов и, как следствие увеличение прочности на сжатие с 6 МПа при 1300 °С до 800 МПа при 1500 °С, соответственно.

Выявлено, что при увеличении температуры спекания происходит значительное увеличение прочности на сжатие с 6 МПа при 1300 °С до 800 МПа при 1500 °С. Увеличение температуры спекания с 1300 до 1500 °С способствовало изменению формы зерен с неправильной на сферическую. Показано, что в структуре керамики присутствовала межчастичная пористость, которая уменьшалась по мере повышения температуры спекания. Механические свойства керамики увеличиваются с ростом температуры спекания. Повышение прочностных свойств связано с уменьшением пористости спеченных керамик и, как следствие увеличением плотности.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента России МК-5681.2014.8 и в рамках соглашения с Минобрнауки 14.575.21.0040 (RFMEFI57514X0040)

Литература

1. Буякова С.П. Структура и свойства пористой керамики $ZrO_2-Al_2O_3$ / И.А. Жуков, А.В. Козлова и др. // Изв. вузов. Физика. 2011. Т. 54. № 9/2. С. 120–124.
2. Лукин Е.С. Современная оксидная керамика и области ее применения / Е.С. Лукин, Н.А. Макаров, А.И. Козлов и др. // Конструкционные материалы. 2007. С. 4–13.
3. Козлова А.В. Структура и свойства оксид-гидроксидных материалов $ZrO_2-Al_2O_3$ / И.А. Жуков, С.П. Буякова, и др. // Изв. вузов. Физика. 2010. № 12/2. С. 172–176.

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ НА ЛОКАЛИЗАЦИЮ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ СПЛАВА СИСТЕМЫ AL-CU-MG EFFECT OF HYDROGEN EMBRITTLEMENT ON PLASTIC FLOW LOCALIZATION OF AL-CU-MG ALLOY

Ю.В. Ли^{1,2}, С.А. Баранникова^{1,2}, А.В. Бочкарёва^{1,3}
Y.V. Li^{1,2}, S.A. Barannikova^{1,2}, A.V. Bochkaryova^{1,3}

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия,

²НИ Томский государственный университет, Томск,

³НИ Томский политехнический университет, Томск, Россия

¹Institute of Strength Physics and Materials Science, Tomsk, Russia,

²National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia,

³Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

jul2207@mail.ru, bsa@ispms.tsc.ru, avb@ispms.tsc.ru

Явление прерывистой текучести, характерное для дисперсионно-твердеющих алюминиевых сплавов обычно связывают с образованием и развитием системы мезоскопических шеек на поверхности деформируемых образцов [1]. Сплавы с высокой концентрацией легирующих элементов, к которым относят сплавы системы Al-Cu-Mg, при

62

условии существования в агрессивных средах, подвержены коррозионному растрескиванию. Причиной такого растрескивания, в том числе, может служить водород (H).

В настоящей работе проведены исследования по влиянию H в результате электролитического насыщения на локализацию пластической деформации сплава Д1 после искусственного старения, а также подвергнутого электролитическому наводороживанию в течение 100 часов в трехэлектродной электрохимической ячейке при постоянном контролируемом потенциале в 1N растворе H_2SO_4 с добавлением тиомочевины [2]. Механические испытания образцов в форме двойной лопатки с размерами рабочей части $50 \times 10 \times 2$ мм проводились при 300 К по схеме одноосного растяжения со скоростью растяжения $6,67 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ на испытательной машине LFM-125, снабженной для изучения макролокализации деформации автоматизированным лазерным измерительным комплексом для анализа цифровых спекл-изображений (ALMEC-tv).

Насыщение водородом образцов сплава Д1 изменяет деформационное поведение, снижая прочность и пластичность. Разрушение происходит без образования макроскопической шейки. Понижение пластичности и переход к межзеренному разрушению в результате электролитического насыщения H связан с разрушением по электрохимическому механизму.

Анализ цифровых спекл-изображений позволил наблюдать в момент резкого спада напряжения на диаграмме нагружения зарождение одиночных фронтов локализованной деформации, подобных полосам Чернова-Людерса, и их перемещение во всем интервале деформаций. Наличие дефектов на поверхности наводороженных образцов в результате расслаивающей коррозии не явилось препятствием для распространения фронтов локализованной деформации.

Установлено, что водород оказывает влияние на количественные характеристики распространяющихся фронтов деформации, а именно увеличивает скорость полос локализации пластической деформации.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Государственной академии наук в 2013–2020 гг. и «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2014–2015 гг.

Литература

1. Данилов В.И., Бочкарёва А.В., Зуев Л.Б. Макролокализация деформации в материале с прерывистой текучестью // Физика металлов и металловедение. 2009. № 6. Т. 107. С. 660–667.
2. Баранникова С. А., Надежкин М.В., Мельничук В.А., Зуев Л.Б. О локализации пластической деформации растяжения монокристаллов аустенитной стали, электролитически насыщенных водородом // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. №. 17. С. 9–17.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОНИЦАЕМОСТИ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

THE METHOD OF ASSESSMENT OF THE PERMEABILITY OF BIOCOMPATIBLE POROUS MATERIALS

Ю.А. Рикун

Yu.A. Rikun

Национальный Исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

yulirik.93@mail.ru

Восстановление костной ткани является чрезвычайно важным и актуальным разделом медицины. Костная ткань способна к естественной регенерации, но в некоторых случаях, при очень большом повреждении, естественной способности кости к регенерации оказывается недостаточно [1]. Поэтому изучению материалов, способных обеспечить такую функцию кости, как регенерация, уделяется особое внимание. Такие материалы находят свое применение в стоматологии, челюстно-лицевой хирургии и т.д., а также позволяют сократить время реабилитации от полученной травмы.

Подобные материалы должны быть в первую очередь биологически совместимыми с живыми тканями человека. Одним из ведущих классов таких материалов является высокопористая керамика. Наличие развитой системы пор и соединяющих их каналов дает возможность живым тканям организма человека «прорасти» внутрь керамического изделия [2,3]. При этом в порах идет постепенное образование твердых костных тканей. Таким образом, со временем формируется, так называемый биологический композиционный материал, где в роли включения выступает живая ткань человека, а матрицу образует – керамический материал. Такой вид композита называется биокомпозитом. Чем больше каналов образует материал, тем лучше кость сможет прорасти внутрь данного материала. Поэтому изучению проницаемости таких изделий следует уделить внимание.

Целью данной работы является оценка проницаемости биосовместимого пористого материала.

В рамках рассматриваемой задачи использовалась модель биокомпозита, содержащая в себе поры и каналы. Для рассматриваемого объема строился триангуляционный граф. Далее выбирались связные точки, образующие ребро графа. Данные ребра формировали некоторую область – «коридор». Количество каналов, входящих в «коридор», характеризует проницаемость данной области, а следовательно и всего материала. Результаты показали, что высокая проницаемость «коридора» приводит к созданию наилучших условий прорастания живой ткани в материал, используемый в качестве имплантата, и таким образом быстрее произойдет регенерация костной ткани.

Литература

1. *Копылов А.Н.* Сверхвысокомолекулярный полиэтилен как основа пористых имплантатов для восстановления костных дефектов, исследование in vivo // Российский биотерапевтический журнал. 2013. №4. Т. 12. С. 39–42.
2. *Канюков В.Н.* Материалы для современной медицины: учеб. пособ. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. 113 с.
3. *Буякова С.П.* Структура, фазовый состав и механическое поведение керамики на основе диоксида циркония // Вестник ТГУ. 2003. Вып. 13. С. 61–87.

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ МЕДИ THE EFFECT OF ELECTRIC POTENTIAL ON COPPER MICRONHARDNESS

О.С. Стаскевич¹, Д.В. Орлова², В.И. Данилов²
O.S. Staskevich, D.V. Orlova, V.I. Danilov

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

National research Tomsk State University

Institute of Strength Physics and Materials Science, Tomsk

Solessya92@inbox.ru

На данный момент установлено, что внешние энергетические воздействия на твердые тела способны изменять пластические и прочностные характеристики [1–3]. Токовое воздействие высокой частоты на металлы и сплавы хорошо изучено. Но, в настоящее время известно, что механические свойства металлов изменяются не только при пропускании электрического тока, но и при воздействии значительно более слабых электростатических воздействий. Так, рядом авторов было обнаружено изменение микротвердости при воздействии электрического потенциала, объясняемое образованием двойного электрического слоя на поверхности исследуемого металла и соответственным изменением плотности поверхностной энергии [4–6]. В настоящей работе проанализировано воздействие электрического потенциала на микротвердость меди.

Измерения проводились на микротвердомере ПМТ-3М. Для изменения поверхностного электрического потенциала образцы подключали к одному полюсу стабилизированного источника постоянного напряжения. Для создания электрического контакта образец приклеивался проводящим клеем «Контактол» к медной подложке, которая в свою очередь была соединена с источником медным экранированным проводом. Во время измерений микротвердости образец изолировался от микротвердомера и Земли. Емкость образующего конденсатора «Земля – образец» составляла ~ 50 пФ. Подача потенциала производилась пошагово от нуля до заданного значения с измерением микротвердости при каждом

его промежуточном значении. От момента приложения поля до начала индентирования производилась выдержка в течение 30 мин, чтобы учесть возможное запаздывание эффекта.

Установлено, что при увеличении значения электрического потенциала микротвердость меди уменьшается. Существенные изменения наблюдаются в интервале 0...0,05 В, а при дальнейшем увеличении абсолютной величины потенциала микротвердость практически не меняется. Максимальное уменьшение микротвердости меди составляет 23 % при росте абсолютного значения потенциала от нуля до 0,1 В с пошаговой выдержкой, соответствующей времени запаздывания.

Для выявления общих закономерностей влияния величины электрического потенциала на микротвердость материалов проанализированы зависимости микротвердости от приложенного потенциала, полученные для циркония, алюминия, монокристаллического цинка, железа [4–6]. Обнаружено, что при действии электрического потенциала микротвердость циркония и железа возрастает, а алюминия, кобальта и монокристаллического цинка, напротив, снижается.

Предположено, что интенсивность и знак изменений микротвердости определяются величиной и знаком константы Холла, то есть, типом проводимости металла. Так, у меди, алюминия, кобальта, и цинка константа Холла отрицательная (электронный тип проводимости), а у циркония и железа – положительная (дырочный тип). По абсолютной величине постоянной Холла максимальна у кобальта, в котором и наблюдается наибольший эффект.

Литература

1. Кишкин С.Т. Эффекты магнитного и электрического воздействия на ползучесть металлов и сплавов // Доклады АН СССР. 1973. №2. С. 325–327.
2. Венстрем Е.К., Ребиндер П.А. Электрокапиллярный эффект облегчения деформаций растяжения металлов // Журн. физ. химии. 1952. Т. 26, № 12. С. 1847–1852.
3. Зуев Л.Б., Данилов В.И., Филиппов Р.А., Котова Н.В. О вариациях механических характеристик металлов при действии электрического потенциала // Металлы. 2010. № 4. С. 39–45.
4. Зуев Л.Б., Данилов В.И., Коновалов С.В., Филиппов Р.А., Громов В.Е. О влиянии контактной разности потенциалов и электрического потенциала на микротвердость металлов // ФТТ. 2009. Т. 51. Вып. 6. С. 1077–1080.
5. Данилов В.И., Зуев Л.Б., Коновалов С.В., Филиппов Р.А., Семухин Б.С. О влиянии электрического потенциала на сопротивление микроиндентированию поверхности металлов // Поверхность. 2010. № 2. С. 85–89.
6. Орлова Д.В. Характер изменения микротвердости плоскости (0001) монокристаллов цинка под действием электростатического поля и возможная причина этого эффекта / Д.В. Орлова, Л.Б. Зуев, В.И. Данилов // ФТТ. 2013. Т. 55, вып. 2. С. 313–317.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС
СОРБЦИИ**
**PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING OF THE ELECTRIC
FIELD ON THE PROCESS OF SORPTION**

М.Ю. Степкина, О.Б. Кудряшова
M.Y. Stepkina , O.B. Kudryashov

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск
Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences IPCET SB RAS

Для решения задач очистки поверхности после техногенных и промышленных аварий, военных действий, приводящих к образованию в замкнутых помещениях высокотоксичных облаков пыли и паров, а также заражения вирусами и бактериями предлагается использовать физико-химический метод, позволяющий подобрать и распылить вещество, взаимодействующее с вредным продуктом, нейтрализуя его. Далее отработанный сорбент подвергается сбору с помощью технического средства очистки.

Проведены сравнительные экспериментальные исследования адсорбционной способности частиц аэрозоля модельного вещества (псевдобемита) при различных способах распыления. В качестве способов распыления рассматриваются следующие: пневматическое распыление с помощью инжекторного пескоструйного аппарата, импульсное диспергирование с помощью ударно-волнового распылителя, импульсное распыление с помощью порошкового огнетушителя. Проведен анализ дисперсности и удельно-массовой поверхности частиц распыленных аэрозолей.

В настоящей работе подробно рассмотрен метод распыления мелкодисперсных порошков и создание аэрозольного облака посредством коронного разряда (электростатическое распыление). Проведена экспериментальная оценка времени удержания мелкодисперсного порошка на поверхности различных материалов и конфигурации с применением электростатического напыления. Определено изменение дисперсности в процессе электростатического распыления и последующего распределения частиц мелкодисперсных аэрозольных сред на поверхности. Стоит отметить, что такой метод распыления позволяет достигать равномерного поверхностного распределения частиц; частицы долго (в течение суток и более) сохраняют заряд, удерживаются на поверхности разной структуры и материала. Электростатический метод распыления также приводит к разбиванию агломератов мелкодисперсных порошков.

Для возможности прогнозировать временные и пространственные характеристики электростатического воздействия на взвешенные и осажденные частицы продуцируемого аэрозоля необходимо провести измерения

потенциала и величины электрического заряда при электростатическом распылении. В результате выявлено, что частицы действительно приобретают заряд, отличный от единичного в несколько раз, что необходимо учитывать при дальнейших исследованиях по сорбции.

Разработана физико-математическая модель электростатического взаимодействия частиц порошков. Получены зависимости относительной массы сорбированного порошка от времени для полидисперсных частиц; при учете силы трения о поверхность приведено условие возможности электростатического взаимодействия частиц.

Проведены комплексные испытания макета по очистке поверхности для выбранных сорбентов с целью определить их эффективности. Для того, чтобы собрать и утилизировать отработанный порошок сорбента с поверхности разработано техническое средство сбора, включающее вакуумную систему сбора порошка и три ступени очистки.

**ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ
ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА СВОЙСТВА
КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ.
INFLUENCE OF ANNEALING ULTRAFINE PLASMA-CHEMICAL
POWDERS ON PROPERTIES OF CERAMICS BASED ON ZIRCO-
NIUM DIOXIDE.**

**А.Д. Пшеничный
A.D. Pshenichny**

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
Национальный Исследовательский Томский государственный университет
Institute of strength physics and materials science SB RAS
National Research Tomsk State University
adpshenichny@gmail.com

Процесс изготовления керамических изделий сложной формы требует особых условий формования порошка. Традиционный метод прессования порошков в пресс формы, для формования изделий сложной формы не подходит из-за не равномерного распределения давления в объеме сложной формы. Перспективной технологией получения изделий сложной формы является литье термопластичного шликера. При использовании исходного порошка ZrO_2 , литейная способность достигалась при добавлении связки в количестве не менее 40%, что привело к большой величине порового объема (45–55%), высокой величине линейной усадки (15–20%), низким механическим и упругим характеристикам готового изделия.

Целью исследований настоящей работы является уменьшение количества вводимой связки в смесь «порошок-связка», для уменьшения величины пористости в объеме спеченной керамики, способствуя росту механических свойств и упругих характеристик.

В качестве исходного материала использовался ультрадисперсный плазмохимический порошок ZrO_2 , стабилизированный 3 мол.% MgO , полученный путём термического разложения водных растворов азотно-кислых солей металлов в плазме высокочастотного разряда.

Процесс приготовления термопластичного шликера осуществлялся при добавлении к порошку термопластичной связки, в качестве которой, в данной работе, выступала органическая связка – парафин. Далее происходило смешивание компонентов до однородного состояния, после чего производилось формование полученной массы в форму под давлением. При использовании исходного порошка, литье шликера было возможно, при количестве связки не менее 40%. При таком количестве связки, после спекания, были получены высокопористые образцы, обладающие низкими упругими характеристиками и механическими свойствами.

Для повышения технологических свойств керамики проводился предварительный отжиг порошка при температурах 800, 900, 1100 °C, с изотермической выдержкой – 1 час. Процесс отжига порошка привел к образованию агломератов с увеличением размера зеренной структуры порошка. Далее, спеченный порошок подвергался механической активации в шаровой мельнице в течение 50 часов.

Предварительный отжиг и последующая механическая обработка порошка, позволили снизить количество термопластичной связки до 13–18% для достижения необходимой литейной способности шликера. Уменьшение количества связки в термопластичном шликере позволило уменьшить объем порового пространства, увеличить плотность, увеличить механические характеристики готового изделия.

Исследование пористости спеченных образцов показало, что с ростом температуры предварительного отжига порошка величина пористости уменьшается. Средний объем порового пространства в образцах полученных из порошков отожжённых при температурах 800, 900, 1100 °C, составляет 28–32, 15–22, 8–10% соответственно. Результаты металлографического анализа и анализ зеренной структуры керамики показали наличие зависимости между средним размером пор и температурой отжига порошка: с увеличением температуры происходит увеличение размера зерен (от 10 до 50 мкм), что привело к уменьшению среднего размера пор (от 17 до 3 мкм). Проведенный рентгенофазовый анализ образцов показал наличие в спеченной керамике высокотемпературной кубической и моноклинной фазы, причем в керамиках, полученных из порошков подвергнутых отжигу при более высоких температурах (900, 1100 °C), величина процентного содержания кубической фазы больше, чем у керамики на основе порошков подвергнутых отжигу при низких температурах (800 °C). Исследование механических свойств показало увеличение упругих характеристик с ростом температуры предварительного отжига порошка. Модуль Юнга

увеличился с 7 до 40 ГПа, предел прочности на сжатие увеличился с 50 до 400–500 МПа.

Исследованиями установлено, что отжиг плазмохимического порошка ZrO_2 , стабилизированного 3 мол.% MgO , изменяет технологические свойства порошка, такие как: насыпную плотность, площадь удельной поверхности, влияя тем самым на характеристики термопластичного шликера и свойства спеченной керамики. Увеличение насыпной плотности порошка после отжига позволяет снизить количество вводимой в термопластичный шликер связки с 40% для исходного порошка, до 13% для отожженного, при этом литейная способность шликера не ухудшается, а механические свойства спеченной керамики возрастают.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Соглашения № 14.607.21.0069 (RFMEF160714X0069).

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ INVESTIGATION OF STRENGTH PROPERTIES AND FATIGUE BEHAVIOR OF OXIDE ZIRCONIA CERAMICS

**В.Д. Алиев¹, А.С. Нарикович², А.А. Козулин¹
V.D. Aliev, A.S. Narikovich, A.A. Kozulin**

¹Национальный Исследовательский Томский государственный университет

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

² Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Voldemar4ik@mail.ru

Возможности использования имплантатов, изготовленных из керамического материала, для реконструктивного восстановления органов с поврежденной костной тканью весьма ограничены. Причина состоит в необходимости обеспечения показателей биосовместимости и прочности имплантатов, приближенных к свойствам естественной костной ткани. Благодаря своим уникальным свойствам керамические материалы на основе ZrO_2 нашли свое применение в реконструктивно-восстановительной хирургии. Однако показатели их механической прочности, в том числе усталостной долговечности еще мало изучены, поэтому исследования являются актуальными.

Целью данной работы было определение прочностных характеристик образцов из керамики на основе ZrO_2 и циклической долговечности при трехточечном изгибе.

Образцы для исследований в виде балок размером 40х6х5 мм, в количестве достаточном для проведения экспериментов и статистической обработки, получены из мелкокристаллического порошка системы ZrO_2 - MgO . Порошок состоит из пустотелых частиц сферической формы со средним

размером 1.8 мкм. Получение образцов заключалось в прессовании порошка в пресс-формах и последующем высокотемпературном спекании прессовок. Спекание производилось при температуре 1600 °С и выдержке 1 час.

С использованием современных методов рентгеновской томографии с использованием томографа Y.Cheetah фирмы YXLON проводилась оценка дефектности внутренней структуры, определения пористости, наличия микротрещин, пустот в объеме обработанных материалов без разрушения исследуемого объекта. Установлено, что образцы после спекания обладали пористостью в диапазоне 15–30 %. Определение физико-механических свойств образцов проводили при испытаниях методом трехточечного изгиба на электродинамической испытательной системе Instron ElectroPuls E1000. Особенностью данной испытательной системы является возможность проведения испытаний при статических и динамических условиях нагружений с усилием до 1 кН.

Величину предела прочности и модуля упругости при статическом трехточечном изгибе керамических образцов определяли при скорости нагружения 0.2 мм/мин. Для определения прочности при изгибе использовали 5 образцов одной партии. Среднее значение предела прочности на изгиб для исследуемого материала составило $\sigma_u = 43.7$ МПа при максимальном прогибе 0.12 мм, модуль упругости при изгибе $E = 22$ МПа.

Для определения усталостной долговечности производили построение кривой усталости Веллера. Кривую усталости строили по экспериментальным точкам в координатах «максимальное напряжение цикла σ_{max} – число циклов до разрушения N ». Условия нагружения по схеме однополярного синусоидального нагружения от 10 Н с размахом цикла в трех диапазонах нагрузки соответствующих $0.91-0.98 Y_u$, $0.8-0.83 Y_u$, $0.73-0.77 Y_u$ и частотой воздействия 10 Гц. Предел выносливости определен в диапазоне 31.75–33.86 МПа, что составляет около $0.75 Y_u$. Результаты усталостных испытаний данных керамических образцов имеют повышенный разброс. Это обусловлено природой материала – керамические образцы, изготовленные методами порошковой металлургии, имеют большое количество дефектов в виде пор и включений, которые служат источниками усталостных трещин и понижают усталостную прочность материала.

Методом рентгеновской томографии показана возможность исследования внутренних дефектов микроструктуры в объеме материала, оценки повреждаемости при многоцикловом нагружении методами неразрушающего контроля.

**ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД И АЛГОРИТМ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ
АЭРОЗОЛЯ ПО РАЗМЕРАМ
NUMERICAL METHODS AND ALGORITHMS IN SOLVING
PROBLEMS RESTORATION DISTRIBUTION FUNCTION AEROSOL
PARTICLES IN SIZE**

А.А. Жирнов, О.Б. Кудряшова

A.A. Girnov, O.B. Kudryashova

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем
химико-энергетических технологий

Сибирского отделения Российской академии наук
Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian

Предложен численный метод оптимизации интегрирования в решении задачи определения дисперсных характеристик аэрозоля в турбидиметрическом высокоселективном методе. Описывается алгоритм восстановления функции распределения частиц аэрозоля по размерам.

Бесконтактные оптические методы диагностики потоков являются перспективным направлением в исследовании аэрозолей, так как они не вносят возмущения в исследуемую среду. Турбидиметрический высокоселективный метод (ТВСМ) является оптическим методом (модификация метода спектральной прозрачности) и позволяет определять дисперсные характеристики аэрозольных сред в диапазоне от ~20-6000 нм [1].

В ТВСМ при решении задачи восстановления функции распределения частиц аэрозоля по размерам (обратная задача оптики аэрозолей) производится перебор параметров гамма-распределения таким образом, чтобы теоретические расчёты наиболее точно описывали экспериментальные данные. Минимизируется функционал:

$$\Pi = \min_{\theta, b} \left\{ \sum_{i=1}^N \left| k_{\lambda_i}^{\text{теор}} - k_{\lambda_i}^{\text{эксп}} \right| \right\},$$

где

$$k_{\lambda_i}^{\text{эксп}} = \frac{\Phi_{\lambda_i}^{\text{эксп}}}{\Phi_{\lambda_i}^{\text{эксп}}}, \quad k_{\lambda_i}^{\text{теор}} = \frac{\Phi_{\lambda_i}^{\text{теор}}}{\Phi_{\lambda_i}^{\text{теор}}}$$

— соответственно, экспериментально и теоретически определяемые коэффициенты спектральной прозрачности. При переборе параметров распределения решение обратной задачи происходит с помощью решения серии прямых задач оптики аэрозолей. Очевидно, что при таком подходе требу-

ются большие вычислительные затраты. В частности, при численном решении задачи значительное время расчёта занимает нахождение интеграла по формуле:

$$\Phi_{\lambda_i}^{\text{теор}} = \int_0^{\infty} Q\left(\frac{pD}{\lambda_i}, m(\lambda_i)\right) D^2 f(D) dD,$$

где $\Phi_{\lambda_i}^{\text{теор}}$ – теоретически определяемая оптическая толщина на разных длинах волн; $i=1...N$ – индекс длины волн;

$Q\left(\frac{pD}{\lambda_i}, m(\lambda_i)\right)$ – фактор эффективности ослабления;

D – диаметр частиц;

$f(D)=aD^b \exp^{-vD}$ – функция распределения частиц по размерам, в которой b и v – параметры распределения, a является нормировочным коэффициентом.

Для ускорения расчётов предлагается использовать численное интегрирование по методу Симпсона с двойным перерасчётом, что позволит автоматически вычислять результат с заданной точностью. В соответствии с алгоритмом [2] и его модификацией в виде замены подынтегрального выражения удалось ускорить расчёт интеграла и увеличить точность. Как показывают результаты вычислений, данный интеграл в диапазоне длин волн от 570 до 740 нм сходится значительно хуже – требуется, приблизительно, 800 итераций, – в то время как в диапазоне длин волн 850 нм до 1010 нм требуется около 300 итераций при точности 10^{-8} .

Литература

1. *Титов С.С.* Турбидиметрический высокоселективный метод и быстродействующий измерительный комплекс определения параметров нестационарных многофазных сред: дис. ... канд. техн. наук / С.С. Титов Бийск, 2011. 153 с.
2. *Царегородцева В.В.* Вычислительная математика: лабораторный практикум по курсам «Численные методы» и «Вычислительная математика» для студентов всех специальностей и направлений подготовки / В.В. Царегородцева, Г.И. Севодина. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. 78 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВСПЛЫТИЯ ПОДВОДНЫХ СУДОВ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ГЛУБИНЕ АКВАТОРИИ EXPERIMENTAL STUDY OF POSSIBILITY OF SUBMARINE VESSELS EMERGING IN THE ICE CONDITIONS

**В.М. Козин, В.Л. Земляк, Н.О. Баурин
V.M. Kozin, V.L. Zemlyak, N.O. Baurin**

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема, г. Биробиджан.
Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan
vellkom@list.ru

Традиционно всплытие субмарин из-под ледяного покрова осуществляется путем статического нагружения льда снизу за счет создания положительной плавучести главными балластными цистернами. Однако величина проламываемого льда (порядка 1 метра) из под которого может всплывать современная субмарина существенно ограничивает возможность использования традиционного метода, особенно при эксплуатации субмарин в тяжелых ледовых условиях Арктического региона. Для всплытия подводных судов в ледяном покрове большей толщины, могут быть использованы изгибно-гравитационные волны (ИГВ), возникающие при движении субмарины с определенной скоростью вблизи нижней поверхности льда [1]. Известно, что в прибрежных районах глубина дна часто составляет менее 100 метров, поэтому весьма актуальным становится решение задачи влияния глубины акватории на параметру генерируемых изгибно-гравитационных волн и их ледоразрушающую способность.

В работе выполнено экспериментальное исследование влияния глубины дна на ледоразрушающую способность изгибно-гравитационных волн, генерируемых от движения модели субмарины вблизи нижней поверхности сплошного ледяного покрова.

Экспериментальные исследования движения модели подводного судна под сплошным ледяным покровом при ограниченной глубине акватории проводились в ледовом бассейне размерами 10×3×1 м лаборатории “Ледотехники” Приамурского государственного университета имени Шолом-Алейхема (г. Биробиджан) [2].

Подвесное дно моделировалось с помощью трех секций установленных на подвижные модули, позволяющие с помощью компьютерного управления задавать необходимую глубину дна.

Модель субмарины, выполненная в масштабе $\lambda_l=1:120$ представляла собой тело вращения каплевидной формы с относительным удлинением $L_m/V_m=8.4$ (где $L_m=1.15$ м длина модели; V_m -ширина модели). Длина цилиндрической вставки модели составила $L_{cm}=0.7$ м. Полное подводное водоизмещение после пересчета на натуру равнялось $D_n=24000$ т. Параметры модели выбирались с учетом ранее проведенных экспериментальных ис-

следований и являются оптимальными с учетом моделируемых ледовых условий.

В качестве критерия разрушения модельного льда использовался коэффициент α , равный максимальному значению тангенса угла наклона пластины.

Зависимость между разрушением пластины и коэффициентом α была установлена ранее эмпирически в экспериментальной работе [1]. При этом проводились серии модельных экспериментов по разрушению натурального ледяного покрова различной толщины при помощи моделей подводного судна и судов на воздушной подушке.

И для движения нагрузки по льду, и для движения подводного тела было получено, что в случае, когда максимальное значение угла наклона ледяной поверхности превышает значение 0.04, происходит полное разрушения льда и раскрытие трещин. Значение α в экспериментальных исследованиях определялось по формуле

$$\alpha = 2\pi\omega_m/\lambda_m,$$

Глубина акватории определялась безразмерным параметром. В экспериментах он составлял 0.35, 0.45, 0.55 и 0.65. Для проведения опытов была спроектирована и изготовлена необходимая оснастка и сформирован измерительный комплекс для регистрации колебаний модельного льда. В процессе буксировки модели определялась скорость ее движения, и записывались профили взволнованной поверхности льда. В ходе экспериментов были определены зависимости параметров изгибно-гравитационных волн от рассматриваемых ледовых условий. Установлено влияние глубины акватории на величину критической скорости перемещения модели, при которой генерировались изгибно-гравитационные волны наибольшей интенсивности. Определен характер разрушения ледяного покрова. Выполнена оценка ледоразрушающей способности изгибно-гравитационных волн, с помощью критерия ледоразрушения. Выявлены режимы движения, при которых разрушение льда было наиболее интенсивным.

Литература

1. Козин В.М., Онищук А.В., Марьин Б.Н. Ледоразрушающая способность изгибно-гравитационных волн от движения объектов. Владивосток: Дальнаука. 2005. 191 с.
2. Земляк В.Л., Курбацкий Д.А., Баурин Н.О. Лаборатория «Ледотехники» // Вестн. Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2013. Т. 12. № 1. С. 75-84.

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГОРЯЧЕПРЕССОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ
Al₂O₃ – ZrO₂ – TiC НА ИХ МЕХАНИЧЕСКИЕ И РЕЖУЩИЕ
СВОЙСТВА
INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF HOT-PRESSED
COMPOSITES Al₂O₃ - ZrO₂ - TiC ON MECHANICAL AND CUTTING
PROPERTIES**

**Н.Л. Котельников³, М.В. Григорьев^{1,2}
N.L. Kotelnikov, M.V. Grigoriev**

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет

³ Национальный исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

National Research Tomsk Polytechnic University

Institute of Strength Physics and Materials

n.l.kotelnikov@yandex.ru

Керамические композиты Al₂O₃–TiC и Al₂O₃–ZrO₂ широко используются в промышленности [1]. Композит Al₂O₃–TiC известен как «черная керамика» и имеет состав 70% Al₂O₃ и 30% TiC, благодаря высокому модулю упругости и твердости карбида титана «черная керамика» обладает повышенной твердостью порядка 22 ГПа, но недостаточной вязкостью разрушения – не более 4 МПа*м^{1/2} [2]. Добавление до 20% ZrO₂ частично стабилизированного иттрием, обладающего очень высокой вязкостью разрушения 10 МПа*м^{1/2}, в матрицу оксида алюминия напротив повышает вязкость разрушения композита, но ухудшает твердость, в данном случае твердость и вязкость разрушения Al₂O₃- ZrO₂ композитов составляют 18 ГПа и 5 МПа*м^{1/2}, соответственно. В связи с этим вызывает интерес создание трехкомпонентного композита с добавлением, как диоксида циркония, так и карбида титана в матрицу оксида алюминия, что, по-видимому, позволит повысить вязкость разрушения композита при сохранении его высокой твердости.

Цель исследования – получить оксикарбидный трехкомпонентный композит на основе оксида алюминия и добавок в него диоксида циркония и карбида титана, и исследовать его структуру и физико-механические свойства, а так же провести испытание режущих свойств.

В работе использованы нано порошки оксида алюминия (США) и диоксида циркония (TOSOH, Япония), и субмикронный порошок карбид титана производство Россия.

Получение однородной порошковой композиции достигалось следующим образом: создавали водные суспензии отдельных компонентов, смешивали их друг с другом с помощью магнитной мешалки, с последующей обработкой суспензии ультразвуком. Осаждение полученной композиции производили путем флокуляции частиц из раствора за счет повышения

уровня РН, с последующей вакуумной сушкой. В результате были получены композиционные смеси состав которых указан в табл. 1.

Керамические композиты были получены методом горячего прессования в среде аргона, при температуре спекания 1500 градусов, давление прессования 50 МПа, и выдержке 10 минут.

Плотность образцов определяли гидростатическим методом. Твердость определяли методом Викерса по формуле, прикладываемая нагрузка составляла 5 кг, индентирование проводили не менее 10 раз.

Проведены испытания композитов на режущие свойства, при условии обработки закаленной стали резанием с ударом. Резание с ударом осуществлялось за счет обработки рабочей части сверла. В качестве обрабатываемой заготовки использовались сверла из закаленной стали 40Х диаметром 34мм, для каждого образца бралась новая заготовка. Условия резания: скорость вращения заготовки 150м/с; подача 0,1 мм на 1 оборот; глубина съема 0,3 мм; количество проходов 7.

Лучшее сочетание твердости и трещиностойкости достигается в составах содержащих диоксид циркония 10%. Добавление карбида титана более 20% понижает твердость и трещиностойкость.

Был проведен сравнительный анализ образцов серии AZT 1–4 на твердость и трещиностойкость в объеме материала (О) и на его поверхности (П). При этом в объеме параметры рассчитывались двумя способами на супервикерсе, и на нанотвердомере.

Механические свойства на поверхности и в объеме композитов отличаются, во всех образцах. Твердость на поверхности меньше чем в объеме, а трещиностойкость наоборот выше. С увеличением содержания карбида титана в системе прочность на изгиб уменьшается.

Показано, что метод горячего прессования в среде аргона, при температуре спекания 1500 градусов и выдержке 10 минут, позволяет получать композиты системы $Al_2O_3 - ZrO_2 - TiC$ с ультрамелкозернистой структурой и минимальной пористостью.

Наилучшее сочетание механических свойств и минимальный износ при точении с ударом показал состав 70% Al_2O_3 – 10% ZrO_2 – 20% TiC его твердость и вязкость разрушения составили 21,3 ГПа и 5,12 МПа*м^{1/2} соответственно. Модуль упругости составил 503 ГПа. Предел прочности на изгиб – 393 МПа.

Литература

1. Григорьев М.В., Буякова С.П., Кульков С.Н. Влияние механической обработки на структуру и свойства порошков ZrO_2 и TiC и спеченных на их основе керамик // Огнеупоры и техническая керамика -2013. №11/12 С. 20–25.
2. Zhang Y, Wang L, Jiang W, Chen L, Bai G. Microstructure and properties of Al_2O_3-TiC nanocomposites fabricated by SPS from high-energy ball milled reactants. // J Eur Ceram Soc. 2006. 26:3393–7.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КЕРАМИК МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ MODELING ELASTIC PROPERTIES OF ADVANCED CERAMICS FOR MEDICAL PURPOSES

В.А. Микушина

V.A. Mikushina

Национальный Исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

mikushina_93@mail.ru

В настоящее время керамические материалы благодаря своей биосовместимости широко применяются в современной медицине. Среди таких материалов можно выделить керамику на основе диоксида циркония, т.к. она занимает особое место в списке перспективных для развития видов керамики. Прежде всего, она обладает высокими показателями механических свойств, включая прочность, и характеризуется высокими показателями трещиностойкости, коррозионностойкости и термостойкости. Диоксид циркония не вызывает раздражения для тканей и не вызывает аллергических реакций. Кроме того, он не участвует в гальванических процессах и пропускает рентгеновские лучи [1]. В процессе внедрения в организм имплантата из керамики происходит врастание костных тканей в поры керамики, что позволяет говорить об образовании нового специфического материала – биокompозита «кортикальная костная ткань – керамика на основе ZrO_2 ». Важной является задача прогнозирования характеристик этого материала. В связи с этим представляет интерес исследование упругих свойств образовавшегося биокompозита.

Исследования проводились в рамках компьютерного моделирования в двумерной постановке. Структура пористости биокompозита описывается при помощи геометрической модели. Распределение размеров пор соответствует известным экспериментальным данным [2]. Поры при построении геометрической модели представлены дискретными элементами, хаотично размещенными в пределах моделируемого объема. Рассмотрен случай статического одноосного нагружения. Полагается, что вследствие такого способа нагружения в материале реализуется плоско-деформированное состояние. Используемая методика решения задачи изложена в работах [3, 4].

В результате проведенного исследования получено распределение локальных модулей упругости, показано, что это распределение является несимметричным и хорошо описывается законом Вейбулла, найдены параметры этого закона. Результаты статистического исследования позволяют найти наиболее вероятное значение распределения локальных модулей упругости (моду распределения), которое может быть принято в

качестве эффективного значение модуля упругости биокompозита. Показано что для модельного биокompозита, характеризующегося содержанием костной ткани $C=40\%$ величина эффективного модуля упругости составляет 80 ГПа.

Литература

1. Канюков В.Н., Стрекаловская А.Д., Килькинов В.И. Материалы для современной медицины : учеб. пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. 113 с.
2. Калатур Е.С. Влияние пористости на структурно-фазовое состояние, деформацию и разрушение пористой керамики $ZrO_2(Me_xO_y)$: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.С. Калатур. Томск, 2013. 18 с.
3. Советова Ю.В., Сидоренко Ю.Н., Скрипняк В.А. Многоуровневый подход к определению эффективных свойств композита с учетом повреждаемости // Физ. мезомех. 2013. Т. 16. № 5. С. 59–65.
4. Советова Ю.В., Сидоренко Ю.Н., Скрипняк В.А. Многоуровневый подход к исследованию влияния объемного соотношения компонентов волокнистого однонаправленного углепластика на его механические характеристики // Вестн. Том. гос. ун-та. Матем. и мех. 2014. № 2(28). С. 79–87.

ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ АРМИРОВАНИЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА INFLUENCE OF REINFORCEMENT SCHEMES ON THE LOAD BEARING CAPACITY OF ICE

К.И. Ипатов

K.I. Ipatov

ФГБОУ ВПО Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, г.Биробиджан
Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan
vellkom@list.ru

Примеры использования естественного ледяного покрова в качестве ледовых переправ известны очень давно но, несмотря на это экспериментальное и теоретическое определение несущей способности льда под действием статической и динамической нагрузки (грузовых и пассажирских автотранспортных средств) началось сравнительно недавно и вызвано повышением веса передвигаемых по льду грузов. Для повышения несущей способности ледяного покрова могут быть использованы армирующие элементы.

Известны различные способы создания ледовых переправ, которые могут использоваться, если толщина ледяного покрова составляет не менее 1 метра. Однако часто может возникнуть необходимость ввода в строй ледовых переправ и грузонесущих платформ при значительно меньшей толщине льда. Поэтому весьма актуальным становится решение задачи, разработки таких способов повышения несущей способности льда, при которых

требуемая прочность обеспечивается при малых толщинах (от 20 см и выше).

Целью работы является разработка схем армирования льда и экспериментальная оценка предельной несущей способности ледяного покрова при воздействии на него статически приложенной нагрузки.

Для решения поставленной задачи на базе лаборатории Ледотехники Приамурского государственного университета имени Шолом-Алейхема (г. Биробиджан) была спроектирована и собрана экспериментальная установка, в основе которой использовался гидравлический пресс с номинальным усилием до 20 т. Пресс был дополнен специально спроектированным и изготовленным цельносварным металлическим поддоном, на который укладывалась ледовая балка, а также бесконтактным лазерным датчиком LAS-Z компании Way Con (Германия), который записывал величину прогиба испытуемого образца. Полученные с датчика значения использовались для построения графиков в программе Test Viewer. Для заготовки ледовых балок размерами $L \times B \times H = 2000 \times 200 \times 200$ мм, были спроектированы и изготовлены универсальные деревянные опалубки в количестве 10 штук. Для армирования ледовых балок использовались цельносварные каркасы из стальной арматуры диаметром 6 мм. Каркасы различались количеством и расположением (направлением) армирующих элементов.

Модельные эксперименты показали увеличение несущей способности армированного ледяного покрова, по сравнению с обычными ледовыми балками более чем в два раза. Был установлен характер разрушения образцов. Определены те схемы армирования, при которых несущая способность льда была максимальной.

Литература

1. Земляк В.Л. Лаборатория «Ледотехники» / Курбацкий Д.А., Баурин Н.О. // Вестн. Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2013. № 1(12), С. 75–84.

Секция 4
БАЛЛИСТИКА И НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА

Session 4
BALLISTICS AND CELESTRAL MECHANICS

**УТОЧНЕНИЕ КООРДИНАТ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПО ДАННЫМ
СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ, С ПОМОЩЬЮ
ВВЕДЕНИЯ СТЕПЕНЕЙ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
REFINEMENT OF COORDINATES OBTAINED FROM OBSERVA-
TION OF NAVIGATIONAL SATELLITES BY MEANS OF IMPLI-
MENTATION OF POWERS OF WEIGHT COEFFICIENTS**

А.А. Аксенов, А.П. Батури

A.A. Axenov, A.P. Baturin

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
National Research Tomsk State University
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University
alexbaturin@sibmail.com

Выполнено сравнение точности ряда способов решения задачи определения координат наземных пунктов по данным спутниковых навигационных систем. Первый способ – стандартный метод наименьших квадратов (МНК) с заданием одинаковых весов для всех измеряемых дальностей до навигационных спутников, используемый как «эталонный» при оценивании точности других рассматриваемых способов. Второй способ заключается в задании для измеренных дальностей весов как величин, обратных остаточным невязкам, полученным в результате применения первого способа. Третий способ основан на получении разброса возможных решений в пространстве определяемых координат. Этот разброс состоит из решений, каждое из которых соответствует одному наблюдаемому спутнику и получено по реальной измеренной дальности до него и трем модельным дальностям, рассчитанным на основе МНК-оценки определяемых координат. Положения трех модельных спутников задаются при этом из соображений «наилучшей геометрии», обеспечивающей наиболее высокую точность решения, получаемого по данной четверке спутников, т.е. являются вместе с реальным спутником вершинами тетраэдра, центр которого расположен в МНК-оценке. Полученный разброс возможных решений используется далее при назначении весов измеренных дальностей с последующим применением метода наименьших квадратов. В последних двух способах применяется возведение весов в некоторые степени.

С помощью решения большого числа модельных задач, различающихся числом и расположением навигационных спутников, и усреднения результатов, полученных с применением различных последовательностей случайных чисел при моделировании измерений, выполнено сравнение точности рассматриваемых способов. Кроме того, показано, что при увеличении показателя степени, в которую возводятся веса во втором и третьем способе, их точность заметно возрастает.

Литература

1. Инженерная геодезия: учебник для вузов / под ред. Д.Ш. Михелева М.: Высш. шк., 2000. 464 с.
2. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: в 2 т. Т. 2. М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006. 360 с.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРОЯТНОСТНОГО ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ SOME FEATURES OF THE PROBABILISTIC DESCRIPTION OF CELESTIAL MOTION

Е.А. Баранников

Е.А. Barannikov

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
yegor.barannikov@gmail.com

В работе рассматривается вероятностный подход к описанию движения небесных тел и особенности его применения при прогнозировании столкновения астероидов с планетами. На примере двух фиктивных астероидов, один из которых заведомо должен столкнуться с Землей, а второй пройти на опасном расстоянии от нее, исследуется общепринятый способ оценивания вероятности столкновения астероида с Землей. В этой задаче нами использована наиболее простая кеплеровская модель движения, и проведено сравнение двух способов задания методом Монте-Карло доверительной области для оценки вероятности столкновения астероида с Землей. В первом способе области задавались множеством точек, распределенных в пространстве определяемых параметров по многомерному нормальному закону. Особенностью такого распределения является отсутствие моделируемых точек в центральной части доверительной области, обусловленное тем, что мы вынуждены при моделировании шестимерных фазовых точек использовать одномерные датчики случайных чисел [1]. Кроме того, распределение по нормальному закону приводит к малому количеству точек вблизи ее граничной поверхности. Такая картина имеет место даже в случае построения области с большим (1000000) количеством точек, не говоря

уже о традиционно используемом их количестве (10000) [2]. Следствием этого может быть малое количество выявленных столкновительных орбит или даже полное их отсутствие. Такая ситуация вполне возможна в случае значительного расхождения между номинальной и истинной орбитами астероида. В результате мы можем получить нулевую вероятность столкновения в случае, когда она отлична от нуля. Во втором способе доверительные области задавались множеством точек, равномерно распределенных на ее граничной поверхности. Проекция на трехмерное физическое пространство заданной таким способом области будут равномерно заполнены моделируемыми точками, что позволит избежать заведомо заниженного количества возможных столкновительных точек/орбит вблизи граничной поверхности. Результаты численных экспериментов позволяют сделать следующие выводы.

- Использование варианта представления доверительной области точками, распределенными по ее объему, может привести к недостоверному результату оценивания вероятности столкновения, когда все столкновительные точки находятся вблизи граничной поверхности.

- Использование варианта представления доверительной области точками, распределенными на ее граничной поверхности, позволяет получить более достоверный результат при значительно меньшем количестве точек.

- При задании доверительной области ее граничной поверхностью, оценки вероятности столкновения оказываются несколько заниженными. Однако, в виду большого разброса расчетных оценок вероятности, для нас важен лишь сам факт отличия этих оценок от нулевого значения.

- Оба варианта представления области позволяют получить абсолютно достоверный результат только в случае достаточно информативного мерного интервала (большие выборки наблюдений и/или большие мерные дуги).

Данное научное исследование (проект 8.1.54.2015) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2015 г.

Литература

1. Баранников Е.А., Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А. Методы определения граничных точек доверительных областей в задаче исследования движения астероидов // Изв. вузов. Физика. Приложение. Небесная механика и прикладная астрономия. 2013. № 10/2. С. 119–125.
2. Черницов А. М., Тамаров В.А., Баранников Е.А. Оценивание вероятности столкновения астероида с Землей методом Монте-Карло // Изв. вузов. Физика. 2015(в печати).

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК НА ТОЧНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ INFLUENCE OF SYSTEMATIC ERRORS ON THE ACCURACY OF CREATING CONFIDENCE REGIONS

Е.А. Баранников

Е.А. Barannikov

Национальный Исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

yegor.barannikov@gmail.com

Рассмотрена проблема влияния систематических ошибок в наблюдениях астероидов на точность построения доверительных областей [1]. Показано, что влияние систематических ошибок наблюдений на точность определения областей возможных движений объекта может быть разным в зависимости от величины этих ошибок, общего количества наблюдений, количества наблюдений, отягощенных систематическими ошибками, и распределения наблюдений внутри мерного интервала. Чем больше доля наблюдений с систематическими ошибками в общем количестве наблюдений, тем большим будет смещение параметров номинальных орбит и доверительных областей, определяемых по данным всех наблюдений, относительно точных, неизвестных нам, параметров орбиты. Можно также отметить, что максимальный уровень систематических ошибок наблюдений, при котором отбраковка имеет смысл, должен быть больше одной десятой от точности наблюдений. В ряде случаев, в зависимости от распределения случайных ошибок, могут быть отклонения от этого уровня. В целом, влияние систематических ошибок на точность построения вероятностных областей является достаточно сложным, но оно может быть исследовано при помощи предложенных нами показателей эффективности отбраковки наблюдений $\varepsilon^{отн}$, $V^{отн}$ и $\chi^{отн}$ [2].

Данное научное исследование (проект 8.1.54.2015) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2015 г.

Литература

1. Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А. Построение доверительных областей в задаче вероятностного исследования движения малых тел Солнечной системы // Астрономический вестник. 2012. Т. 46. № 3. С. 209–222.
2. Черницов А.М., Тамаров В.А., Баранников Е.А. Оценивание эффективности отбраковки наблюдений // Изв. вузов. Физика. 2015 (в печати).

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА КАНАЛА СТВОЛА ЛАБОРАТОРНОЙ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ THE RESEARCH OF THE WEAR OF THE BARREL OF THE BALLISTIC LABORATORY INSTALLATION

А.С. Дьячковский, Н.М. Саморокова, А.Д. Сидоров

Diachkovsky A.S, Samorokova N.M, Sidorov A.D.

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University
alex_sid92@mail.ru

Каждый артиллерийский ствол в процессе стрельбы постепенно изнашивается и перестает удовлетворять тактико-техническим требованиям [1]. Поэтому к стволам артиллерийского оружия предъявляются следующие требования: прочность, живучесть, жёсткость, износостойкость, коррозионная и эрозионная стойкость. В связи с этим к материалам для изготовления стволов также предъявляются определённые требования: высокие значения прочности, пластичности, вязкости, износостойкости, жаропрочности, коррозионной и эрозионной стойкости.

Изучать процессы износа актуально в лабораторных условиях. Особую актуальность проблема износа канала ствола приобретает при переходе на новые нетрадиционные схемы артиллерийского выстрела с использованием новых топлив.

Разделим причины износа канала ствола на две группы [2]: воздействие снаряда (метаемой сборки) и воздействие газа на внутреннюю поверхность ствола. Все явления в той или иной мере были обнаружены на установках НИИ ПММ ТГУ:

Воздействие снаряда (метаемой сборки):

- Трение ведущих устройств метаемых сборок о внутреннюю поверхность канала ствола, в том числе омеднение канала ствола медным ведущим пояском.

Воздействие газа (смесь продуктов сгорания заряда и присоединенного заряда (ПЗ), в том числе и несгоревшие частицы – К-фаза):

- Термическое воздействие – кратковременное воздействие раскаленных газов ($T_{\text{газ}}$ около 3000 К) на оружейную сталь ($T_{\text{плав}}$ около 1700 К). Внутренняя поверхность ствола оплавляется и становится пластичной.

- Механическое воздействие – газ имеет высокие давление (сотни МПа) и скорость, он «раздувает», «обдирает» и «вымывает» поверхность ствола). Чем выше скорость и давление газа, тем интенсивнее идет износ.

- Химическое воздействие – газ может как обогащать, так и обеднять поверхностный слой канала ствола углеродом. Это приводит к уменьшению пластичности и повышению хрупкости. Появляется вероятность возникновения трещин при растяжении ствола в момент метания.

В данной работе было рассмотрено изменение внутреннего диаметра (как одного из критериев износа) гладкоствольной баллистической установки от начала эксплуатации до выхода из строя. Было проведено 234 опыта различных схем заряжания, в том числе и нетрадиционных. Для определения изменения внутреннего диаметра канала ствола производились замеры диаметра с казенной стороны на расстоянии до 190 мм с помощью микрометрического нутрометра фирмы TESA IMICRO.

В ходе испытаний был спрогнозирован износ данной установки [3]. Предположения авторов не подтвердились, поскольку не был учтен диапазон максимальных давлений, а также не были рассмотрены разные схемы заряжания и типы используемых топлив.

Проведена систематизация полученных данных в зависимости от типа топлива, его температуры горения. Рассмотрено влияние способа воспламенения заряда - с помощью электро-капсюльной втулки (ЭКВ) и при помощи электро-термохимического воспламенения (ЭТХ). Результаты показали, что наличие высокотемпературной плазмы не вносит значительного вклада в изменение внутреннего диаметра канала ствола.

Были проведены расчеты внутрибаллистических параметров выстрела для экспериментов с ЭКВ воспламенением топлива с К-фазой и без нее. Для одного из экспериментов с использованием топлива без К-фазы был проведен расчет внутрибаллистических процессов в камере и стволе, показавший, что ПЗ загорается вне исследуемого участка ствола (674 мм от казенного среза). Это подтверждает то, что износ меньше, чем дискрета измерения. Аналогичный расчет был проведен для произвольного топлива, содержащего К-фазу в продуктах сгорания и имеющего большую температуру горения. Он показал, что топливо загорается на расстоянии 62 мм от казенного среза (внутри исследуемого диапазона канала ствола). Это объясняет наличие износа канала ствола.

Обработка данных, полученных при измерении внутреннего диаметра канала ствола показала, что топливо с содержанием К-фазы дает износ в среднем на 34 % больше, чем топливо без К-фазы в каждом из измеряемых сечениях на расстоянии 190 мм от казенного среза.

Литература

1. Орлов Б.В. Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий / Б.В. Орлов, Э.К. Ларман, В.Г. Маликов. М.: Машиностроение, 1976. 432 с.
2. Карюкин С. Подход к обеспечению живучести стволов артиллерийских орудий / С. Карюкин, О. Митрохин // Военная мысль. 2012. №1. С. 72–78.
3. Сидоров А.Д. Изучение износа гладкоствольной лабораторной баллистической установки / А.Д. Сидоров, К.С. Рогаев // Материалы XX Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых. Ижевск, 27 марта – 3 апреля 2014 г. Ижевск, 2014. С. 103–107.

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ОРРЕРИЙ ТОМСКОГО МУЗЕЯ НАУКИ THE HUMAN ORRERY OF TOMSK SCIENTIFIC MUSEUM

И.Е. Лялюхова

I.E. Lyalyuhova

Национальный Исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

79539224426@yandex.ru

Создание нового просветительского центра – Музея науки и техники в г. Томске, послужило толчком к проектированию человеческого оррерия, который должен стать парковым продолжением тематической зоны «Космос и Вселенная». Данный доклад посвящен описанию результатов расчета оррерия.

Оррерий представляет собой динамическую модель Солнечной системы, в которой люди играют роль движущихся планет [1]. Оррерий прост в использовании и интересен для людей разных профессий. Это инновационная концепция создана для того, чтобы в веселой и занимательной форме, представить основные понятия в области астрономии и космической науки.

Положения объектов Солнечной системы представлены в виде стальных дисков, расположенных на земле. Каждая плитка является ключом к орбитальному движению объекта. Во-первых, плитки пронумерованы и показывают количество шагов от начального момента времени; во-вторых, каждая плитка отображает эклиптическую долготу, расстояние от Солнца и истинную аномалию.

Расчет человеческого оррерия Томского музея науки выполнен на начальную эпоху 2020.0. Данные получены для 5 планет с использованием приближенных аналитических аппроксимаций изменения угловых элементов планеты, приводимых в астрономических ежегодниках [2]. Поскольку отведенная под оррерий территория ограничена 100 кв. м размеры Солнечной системы ограничены орбитой Юпитера. Расстояние в 1 м на местности соотнесено с 1 а.е. Вычислены орбитальные периоды планет в эпоху 2020.0, угловые расстояния между планетами, временной интервал и угловые расстояния между дисками для каждой планеты. С помощью этих данных пользователи смогут определить положения планет на любой момент времени.

Помимо больших планет в оррерии Томского музея науки и техники представлена орбита короткопериодической кометы 67P/Чурюмова-Герасименко.

Литература

3. The Human Orrery [Electronic resource]: Portal // Armagh Observatory, College Hill, Armagh BT61 9DG. <http://star.arm.ac.uk/orrery/ru> (data of treatment : 20.04.2015).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ АСТЕРОИДОВ THE INVESTIGATION OF POTENTIALLY HAZARDOUS ASTEROIDS

Г.Е. Самбаров, О.М. Сюсина

G.E. Sambarov, O.M. Syusina

Национальный Исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики

Томского государственного университета

Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics Tomsk State University,

detovelli@vtomske.ru, kleo77@sibmail.com

В данной работе рассматриваются данные о потенциально опасных астероидах за последние пять лет. Приводится описание способа отбраковки наблюдений, основанного на сравнении размеров доверительных областей и смещении НК-оценок номинальных орбит, определяемых для разных выборок наблюдений, и оценивается его эффективность.

В настоящее время исследование динамики движения потенциально опасных астероидов (РНА) является одной из наиболее важных задач небесной механики. Это обусловлено осознанием опасности, которую могут представлять такие объекты для Земли. Особый интерес вызывают потенциально опасные объекты, наблюдавшиеся в одном появлении. Это связано с тем, что нелинейность задачи оценивания для таких объектов может быть большой. В этом случае для решения задачи построения начальных доверительных областей неприемлемо применять линейные методы и ее следует решать уже более трудоемкими нелинейными способами. В любом случае начальную доверительную область можно задавать граничной поверхностью [1], так как это позволяет минимизировать количество возможных траекторий объекта и тем самым упрощает решение задачи отображения данной области во времени. В данной работе мы проследили динамику изменения данных, приведенных центром малых планет (MPC, Minor Planet Center), о потенциально опасных объектах, наблюдавшихся в одном появлении, за последние пять лет, и привели распределение потенциально опасных астероидов по степени нелинейности их задач оценивания на август 2015 г. Для трех новых объектов с показателем нелинейности выше допустимого значения была определена вероятность возможного столкновения с Землей на ближайшие сто лет.

Задача построения начальных доверительных областей является одним из важных этапов исследования движения малых тел Солнечной системы. На точность попадания изучаемого объекта в расчетную область может оказывать влияние не только выбор модели возмущающих сил, но и вы-

борка наблюдений, на основе которой эта область была определена. С помощью отбраковки можно улучшить исходную выборку. Отбраковку наблюдений можно проводить, например, на основе оценивания невязок «О – С». В данной работе рассмотрены показатели эффективности, с помощью которых можно оценить насколько проводимая отбраковка была эффективна. Первый показатель ε^{otn} характеризует смещение доверительных областей, определяемых по полной и неполной (с отбраковкой) выборкам наблюдений. Второй показатель V^{otn} оценивает отношение объемов этих доверительных областей. Чем меньше размер области, тем точнее решаются задачи идентификации и исследования эволюции движения объекта. На примере ряда потенциально опасных астероидов была осуществлена отбраковка наблюдений и определена ее эффективность.

Данное научное исследование (проект 8.1.54.2015) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2015 г.

Литература

1. Сюсина О.М., Черницын А.М., Тамаров В.А. Построение доверительных областей в задаче вероятностного исследования движения малых тел Солнечной системы // Астрономический вестник. 2012. Т. 46. № 3. С. 209–222.
2. Сюсина О.М., Самбаров Г.Е., Черницын А.М., Тамаров В.А. Исследование влияния ошибок модели движения астероидов на точность построения начальной доверительной области // Изв. вузов. Физика. 2012. Т. 55. № 10/2. С. 50–59.
3. Сюсина О.М., Черницын А.М., Тамаров В.А., Самбаров Г.Е. Способ оценки влияния модели сил на систематическую ошибку определения областей возможных движений астероидов // Изв. вузов. Физика. 2013. Т. 56. № 6/3. С. 235–237.
4. Сюсина О.М., Самбаров Г.Е. Новые данные о потенциально опасных астероидах, наблюдавшихся в одной оппозиции // Изв. вузов. Физика. 2015(в печати).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТ МЕТЕОРОВ ПО ОДНОМУ НАБЛЮДЕНИЮ ORBIT DETERMINATION METEORS ON ONE OBSERVATION

А.А. Семенихин

A.A. Semenihin

ГАУК ЯО «Центр им. В. В. Терешковой»
Center named Tereshkova
semeniha78@mail.ru

Наряду с другими проблемами выживания человечества в современную эпоху в последние годы очень серьезно заявила о себе проблема астероидно-кометной опасности, которая является одной из 16 опасностей России. Накопление и осмысление новых наблюдательных данных и теоретиче-

ских оценок о малых телах Солнечной системы, обнаружение следов все большего числа космических катастроф на земной поверхности, новые факты о катастрофических столкновениях в Солнечной системе в настоящее время – все это произвело существенный сдвиг в восприятии научными кругами и общественностью той реальной опасности, которую представляют собой столкновения крупных космических тел с Землей. Все больше возрастает понимание того, что падения крупных космических тел на Землю играли очень важную роль в развитии жизни на Земле в прошлом и могут оказать решающее влияние на нее в будущем.

В данной работе предлагается новый метод определения орбит метеоров по известному положению Земли на её гелиоцентрической орбите и направлению скорости метеорной частицы, движущейся по эллиптической орбите. По таким неполным данным удастся оценить долготу восходящего узла, большую полуось орбиты потока и её эксцентриситет. Составлена соответствующая вычислительная программа.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ АСТЕРОИДОВ С МАЛЫМИ ПЕРИГЕЛИЙНЫМИ РАССТОЯНИЯМИ THE DYNAMICS INVESTIGATION OF ASTEROIDS WITH SMALL PERIHELION DISTANCES

**П.В. Скрипниченко¹, Т.Ю. Галушина², А.А. Шагабутдинов¹,
К.В. Ярославцев¹, В.И. Чекис¹
P.V. Skripnichenko¹, T.Yu. Galushina², A.A. Shagabutdinov¹,
K.V. Yaroslavcev¹, V.I. Chekis¹**

¹ Институт Естественных Наук Уральского федерального университета

² Национальный Исследовательский Томский государственный университет

¹ Institute of Natural Sciences of Ural Federal University

² Tomsk Research State University
savl.silverheart@gmail.com

В работе представлены результаты исследования вероятностной орбитальной эволюции группы астероидов с малыми перигелийными расстояниями. В качестве критерия малости перигелийного расстояния выступает значение перигелийного расстояния объекта 3200 Phaethon – $q = 0.14$ а.е. Причина, по которой из среды астероидов, сближающихся с Землей, в данной работе выделяется класс объектов с малыми перигелийными расстояниями, заключается в существовании особых динамических свойств 3200 Phaethon, а именно, в наборе возмущающих факторов, необходимых для корректного описания его движения и включающего релятивистские возмущения от Солнца и сжатие Солнца, а также возможности регулярных тесных сближений с планетами земной группы и Юпитером, что существенным образом может отразиться на эволюции элементов орбит. На мо-

мент написания работы по критерию малости перигелийного расстояния отобрано 32 астероида. Для каждого объекта проведено исследование вероятностной орбитальной эволюции, т.е. необходимые расчеты проведены для номинальной орбиты и для 10000 тестовых частиц из начальной доверительной области. Изучалось поведение элементов орбит – большой полуоси, эксцентриситета и наклона, выявлялись тесные сближения с планетами земной группы и Юпитером, исследовались резонансные характеристики движения, оценивался параметр хаотичности MEGNO [1].

Совокупный анализ результатов исследования динамики данной группы объектов позволяет выдвинуть гипотезу о существовании общей долгопериодической эволюции, в то время как различные астероиды с малыми перигелийными расстояниями находятся на разных ее этапах, исключая резонансные объекты. Выводы по каждому конкретному объекту включают в себя поведение элементов орбит на интервалах, ограниченных точностью интегрирования, и зависимости амплитудных скачков по большой полуоси, эксцентриситету или наклону от параметров сближений с планетами Солнечной системы, а также изменения размеров вероятностной области и оценки времени предсказуемости движения.

Работа выполнена с использованием программного комплекса «IDA», разработанного в НИИ ПММ ТГУ [2]. Источник данных о наблюдениях объектов данной группы – база данных международного центра малых планет и наблюдения, проведенные на телескопе СБГ АО УрФУ.

Основные результаты получены на оборудовании уникальной научной установки «Коуровская астрономическая обсерватория». Работы проведены при финансовой поддержке государства в лице Министерства образования и науки Российской Федерации (уникальный идентификатор проекта RFMEFI59114X0003).

Литература

1. *Cincotta P.M., Girdano C.M., Simo C.* Phase space structure of multi-dimensional systems by means of the mean exponential growth factor of nearby orbits // *Physica D.* 2003. Vol. 182. P. 151–178.
2. *Быкова Л.Е., Галушина Т.Ю., Батулин А.П.* Прикладной программный комплекс «ИДА» для исследования динамики астероидов // *Изв. вузов. Физика.* 2012. Т. 55. № 10/2. С. 89–96.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИСЗ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НАЛОЖЕНИЯ РЕЗОНАНСОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ STUDY SPEAKERS ISZ UNDER THE ACTION OF IMPOSITIONS RESONANCE DIFFERENT TYPES

И.В. Томилова, А.Г. Александрова

I.V. Tomilova, A.G. Aleksandrova

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики и
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University
irisha_tom@mail.ru, aleksann@sibmail.com

В работе рассматривается влияние вековых резонансов на долговременную орбитальную эволюцию объектов, расположенных в околоземном пространстве от зоны LEO до расширенной зоны супер-GEO [1].

В работах [4–8] было показано, что вековые резонансы явление весьма распространенное в околоземном орбитальном пространстве. Они оказывают заметное влияние на долговременную орбитальную эволюцию околоземных объектов. При наложении этих резонансов на орбитальные (тессеральные) резонансы, а также при совместном действии нескольких вековых резонансов возможно возникновение хаотичности в движении объектов.

В данном исследовании используется методика, которая состоит из следующих частей: аналитического способа выявления вековых резонансов [4], численного моделирования долговременной орбитальной эволюции с помощью программного комплекса «Численная модель движения систем ИСЗ» [9] и MEGNO-анализа орбитальной эволюции объектов [10]. Кроме того, данная методика была дополнена анализом связанных с вековыми резонансами критических аргументов [3] и фазовых портретов [2]. Анализ эволюции критического аргумента совместно с фазовым портретом позволяет определить, является ли действие данного векового резонанса устойчивым.

Данное научное исследование (проект 8.1.54.2015) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2015 г.

Литература

1. Flury W. Searching for small debris in the geostationary ring / W. Flury [et al] // ESA Bulletin. 2000. Vol. 104. P. 92–100.
2. Morbidelli A. Modern celestial mechanics: aspects of solar system dynamics // London: Taylor & Francis. 2002. 380 p.
3. Александрова А.Г., Томилова И.В., Бордовицына Т.В. Анализ влияния вековых резонансов на динамическую эволюцию околоземных объектов, движущихся по почти круговым орбитам в области супер-GEO // Изв. вузов. Физика. 2014. № 10/2. С. 95–102.
4. Бордовицына Т.В. Вековые резонансы как источник возникновения динамической хаотичности в долговременной орбитальной эволюции неуправляемых объек-

тов спутниковых радионавигационных систем / Т.В. Бордовицына, И.В. Томилова, И.Н. Чувашов // Астрон. вест. 2012. Т. 46. № 5. С. 356–368.

5. Томилова И.В. Вековых резонансы как источник хаотичности в движении околоземных космических объектов по почти круговым орбитам / И.В. Томилова, И.Н. Чувашов, Т.В. Бордовицына // Изв. вузов. Физика. 2013. Т. 56 № 10/2. С. 159–165.

6. Бордовицына Т.В. Вековые резонансы в динамической эволюции околоземных космических объектов на вытянутых орбитах / Т.В. Бордовицына, И.В. Томилова // Изв. вузов. Физика. 2014. Т. 57. № 4. С. 84–91

7. Бордовицына Т.В. Вековые резонансы в динамической эволюции околоземных космических объектов на приполярных орбитах / Т.В. Бордовицына, И.В. Томилова // Изв. вузов. Физика. 2014. Т. 57. № 6. С. 102–109.

8. Бордовицына Т.В. Вековые резонансы как источник возникновения динамической хаотичности в долговременной орбитальной эволюции неуправляемых объектов спутниковых радионавигационных систем / Т.В. Бордовицына, Т.В. Томилов, И.В. Томилова, И.Н. Чувашов // Астрон. вест. 2014. Т. 48. № 4. С. 280–289.

9. Бордовицына Т.В. Численное моделирование движения систем ИСЗ в среде параллельных вычислений / Т.В. Бордовицына [и др.] // Изв. вузов. Физика. 2009. Т. 52. № 12/2. С. 5–11.

10. Бордовицына Т.В. Комплекс алгоритмов и программ для исследования хаотичности в динамике искусственных спутников Земли / Т.В. Бордовицына, А.Г. Александрова, И.Н. Чувашов // Изв. вузов. Физика. 2010. Т. 53. № 8/2. С. 14–21.

Секция 5
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ
И ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ**

Session 5
**MATHEMATICAL AND PHYSICAL MODELING OF
TECHNICAL AND NATURAL SYSTEMS**

**ПОСТРОЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАСТИЧЕСКОГО
ТЕЧЕНИЯ ТОНКОСТЕННОЙ ОБОЛОЧКИ
CONSTRUCTION OF A PHYSICAL MODEL OF THIN SHELLS
PLASTIC FLOW**

**Я.Ю. Бакулин, В.Ю. Журавлев
J.Iu. Bakulin, V.Yu. Zshuravlev**

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнева
Siberian State Aerospace University named academician M.F. Reshetnev
bakulin.1992@yandex.ru

Для гарантированного запуска и работы жидкостного ракетного двигателя малой тяги (ЖРД МТ) в условиях невесомости необходимо обеспечить бесперебойную подачу в камеру сгорания компонента, что обеспечивается гарантированным разделением жидкой и газообразной фаз в топливном баке механическим способом. Для решения данной задачи наиболее эффективно применяются металлические пластически выворачивающиеся разделители, вытесняющие компонент из бака, одновременно обеспечивающие управление положением центра масс двигательной установки.

При проектировании основная задача состоит в обеспечении процесса выворачивания разделителя за счет перемещения зоны пластического деформирования материала без потери местной устойчивости в зоне пластических деформаций и общей устойчивости в зоне находящейся в упругом состоянии.

На основе проведенных экспериментов форму поверхности зоны пластического деформирования принято считать близкой к торовой. Перемещение срединной части не вывернутого разделителя происходит за счет пластического деформирования материала в торовой зоне перекатывания. При пластическом деформировании материала в торовой зоне приняты две модели деформирования. В крайних зонах изменения кривизны меридиана деформации происходят за счет изгиба стенки вокруг крайних точек срединной поверхности [1]. На остальной поверхности пластической зоны наибольшие деформации обеспечиваются увеличением размера паралле-

лий Скорость перемещения меридиана в этих зонах определится произведением расстояния от мгновенных центров скоростей до соответствующего меридиана на величину угловой скорости [2].

$$V = s(\omega + \omega_{отн})$$

Скорость деформации меридиана в обеих зонах определяется как отношение скорости перемещения к расстоянию до точки от участка упруго деформирования разделителя dl :

$$\eta_M = \frac{V}{dl} = \frac{s(\omega + \omega_{отн})}{dl}, \text{ или } \eta_M = \frac{s \cdot \omega}{dl} \cdot (1 + \epsilon_M)$$

На основном участке тора за счет смещения материала диафрагмы - разделителя происходит изменение длины параллели равной $2\pi X_M$. Скорости деформации для пластической зоны связаны условием неизменности объема как и производные по времени от деформаций [1]: $B = \frac{\eta_3}{\eta_4}$. При

максимальной по модулю, скорости деформации η_1 знаки у скоростей деформации η_2 и η_3 противоположны знаку скорости деформации η_1 . В крайних сечениях зоны пластического деформирования максимальными деформациями приняты меридиональные, в остальной зоне максимальными деформациями приняты деформации параллелей. Точность вычисления всех параметров выворачивания разделителя определяется погрешностями определения интенсивности скоростей деформаций, радиусов торовой поверхности, толщины разделителя, размеров срединной поверхности упругих зон оболочки, механических и упругих постоянных материала.

Construction of a physical model of thin shells plastic flow, Bakulin Iaroslav Iurievich, Zshuravlev Victor Iurievich, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev.

Литература

1. Биргер И.А, Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания: справочник: в 3 т. М.: Машиностроение, 1968. Т. 1. 812 с.
2. Ефремов В.Н, Журавлев В.Ю. Металлические выворачивающиеся диафрагмы-разделители топливных баков. Сибирская аэрокосмическая академия им. М.Ф Решетнева. Красноярск, 1998. 104 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ВБЛИЗИ ЛОКАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА NUMERICAL MODELING OF NATURAL CONVECTION NEAR A LOCAL HEAT SOURCE

В.Д. Бармакина

V.D. Barmakina

Национальный Исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

valeria.barmakina@yandex.ru

Задача сохранения лесных покровов Земли, как производителей необходимого для жизни кислорода атмосфере, является сегодня как никогда актуальной. Наряду с вырубкой лесов, наиболее сильный ущерб лесным массивам наносят пожары. Ежегодно на территории России в летний период возникают тысячи лесных пожаров, в результате чего огнём уничтожаются миллионы гектаров леса. Для оптимизации борьбы с ними, повышения качества управленческих решений требуется прогноз динамики их развития. Такой прогноз может быть получен при проведении моделирования лесных пожаров.

Содержательный обзор исследований по проблеме моделирования распространения лесных пожаров сделан в [1]. Для их исследования применяют методы математического моделирования и проводят эксперименты в природных и лабораторных условиях. Натурные эксперименты довольно трудно провести и невозможно повторить. К тому же они являются ресурсозатратными. Математические модели позволяют осуществлять прогнозирование и мониторинг природных пожаров.

В работе рассматривается численное моделирование естественной конвекции воздуха в плоской постановке вблизи локального источника тепла. Течение газа, в котором имеет место процесс естественной конвекции, может быть описано уравнениями Навье–Стокса, уравнением переноса тепла и уравнением неразрывности [2]. Для описания явления свободного конвективного течения использовалось приближение Буссинеска, согласно которому можно принять жидкость несжимаемой, а изменение плотности учитывать только в члене, описывающем выталкивающую силу [3]. В качестве основных масштабов для обезразмеривания системы были выбраны вязкость, плотность, характерный размер и перепад температур, что позволило избавиться от числа Рейнольдса. Задача решалась с использованием переменных «вихрь-функция тока». Применение схемы Мак-Кормака обусловило достаточно высокий порядок точности по пространству и времени, а также устранило любое рассогласование, обусловленное дискретизацией односторонними разностями [4].

В работе проведено исследование и подробный анализ влияния критериев Прандтля и Грасгофа на распределение линий тока и температуры в расчетной области.

Литература

1. Кулешов А.А. Математические модели лесных пожаров // Математическое моделирование. Т. 14, № 11. М.: Институт математического моделирования. РАН, 2002. С. 33–42.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. М.: Наука, 1987. 840 с
3. Шваб А.В. Теория конвективного теплообмена / А.В. Шваб. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. 188 с.
4. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. М.: Мир, 1990. Т. 2 :Россия. 337 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ СО СКАЧКОМ СЕЧЕНИЯ THE NUMERICAL SIMULATION OF NON-NEWTONIAN FLUID FLOW THROUGH THE PIPE CONTRACTION OR EXPANSION

К.Е. Бояркина

K.E. Boyarkina

Национальный Исследовательский Томский Государственный университет
National Research Tomsk State University
kiraworkst@gmail.com

Ламинарные течения неньютоновской жидкости реализуются во многих технических устройствах, в состав которых входят трубы с различными конструктивными элементами. Исследования подобных течений являются актуальными, поскольку информация о местных гидравлических сопротивлениях для течения неньютоновских сред в трубах со скачком сечения весьма ограничена.

В данной работе рассматривается ламинарное стационарное течение неньютоновской жидкости в цилиндрической трубе со скачком сечения типа сужение или расширение. Задача формулируется в осесимметричной постановке с использованием переменных функция тока – вихрь в цилиндрической системе координат. Реологическое поведение среды описывается моделью Оствальда де Виля. Вязкая жидкость подается в трубу через входное сечение с постоянным расходом, профиль скорости при этом соответствует установившемуся течению рассматриваемой жидкой среды. На твердой стенке реализуются условия прилипания, на оси симметрии трубы выполняются условия симметрии. На выходе используются мягкие граничные условия.

Численное моделирование течения выполняется с помощью алгоритма на основе конечно-разностной схемы переменных направлений [1] и

метода установления [2]. Для обеспечения сходимости расчетов течения проводится регуляризация реологического уравнения [3].

Для проверки аппроксимационной сходимости алгоритма выполнена серия расчетов на различных сетках. Восстановлены картины течения в виде распределений линий тока. Для количественного анализа введены следующие безразмерные характеристики потока: длина циркуляционных зон, возникающих в окрестности углов, длины участков двумерного течения до и после скачка сечения трубы. Получены зависимости этих характеристик от числа Рейнольдса, отношения радиусов широкой и узкой частей трубы и параметра нелинейности в реологической модели жидкости. Определены местные гидравлические сопротивления в зависимости от значений определяющих параметров. Проведено сравнение полученных результатов с данными других исследователей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № 2014/223 (код проекта 1943) и РФФИ (проект № 15-08-03935)

Литература

1. Самарский А.А. Теория разностных схем. / А.А. Самарский; ред. А.В. Захаров, И.М. Овчинникова. М.: Наука, 1977. 656 с.
2. Годунов С.К. Разностные схемы. / С.К. Годунов, В.С. Рябенский. Физматгиз, 1977. 440 с.
3. Шрагер Г.Р. Моделирование гидродинамических процессов при переработке полимерных материалов / Г.Р. Шрагер, А.Н. Козлобородов, В.А. Якутенок. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1999. 219 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛИННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН С ДВОЙНЫМИ ПРЕГРАДАМИ NUMERICAL SIMULATION OF THE INTERACTION OF GRAVITATIONAL WAVES WITH LONG DOUBLE BARRIERS

Б.В. Бошнятов^{1, 2}, К.Н. Жильцов²

B.V. Boshenyatov, K.N. Zhiltsov

¹ Институт прикладной механики Российской Академии наук,

² Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики ТГУ,
Institute of Applied Mechanics Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,

² Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University, Tomsk, Russia,
konstantin@niipmm.tsu.ru

Волны цунами являются одним из наиболее опасных и катастрофических явлений природы. Длина этих волн в 10–100 раз больше глубины океана и они, распространяясь в океане как в мелкой воде, вовлекают в

движение огромные массы воды, обладающие колоссальной энергией и разрушительной силой.

В работе [1] была предложена математическая модель и ее программная реализация для комплексного исследования проблем длинных гравитационных волн (типа цунами) в гидродинамическом лотке. Проведена ее верификация, которая показала хорошее согласование численных расчетов с экспериментальными данными, полученными в лабораторной установке [2–4]. В работе [5] даны результаты исследований взаимодействия волн типа цунами с одиночными преградами, предложен безразмерный параметр преграды $h/(H+A)$, учитывающий амплитуду падающей волны и высоту преграды h , относительно которого данные обобщаются в более широком диапазоне безразмерного параметра $A/H < 0.3$.

В данной работе приведены предварительные результаты численного моделирования взаимодействия волн типа цунами с двойными преградами. Эксперименты и численное моделирование показали, что при определённых расстояниях между преградами относительная энергия прошедшей волны имеет минимумы.

Литература

1. Бошенятов Б.В., Лисин Д.Г. // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2013. № 6(26). С. 45–55.
2. Пат. 2485452 РФ. МПК G01F 23/18. Устройство измерения уровня воды / Б.В. Бошенятов, Ю.К. Левин, В.В. Попов. Заявлено 07.10.2010; опубл. 20.06.2013, бюл. № 17. 9 с.
3. Бошенятов Б.В., Левин Ю.К. Попов В.В., Семянистый А.В. // ПТЭ. 2011. № 2. С. 116–117.
4. Бошенятов Б.В., Попов В.В. // Изв. высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 9/3. С. 145–150.
5. Бошенятов Б.В. // ДАН. 2013. Т.452. № 4. С. 392–395.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ OPENACC НА ПРИМЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА С.К. ГОДУНОВА STUDY OF OPENACC TECHNOLOGY EFFICIENCY USING S.K. GODUNOV METHOD

В.Л. Гойко

V.L. Goiko

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
goiko.slava@gmail.com

В настоящее время получили широкое распространение гибридные вычислительные системы, где использование арифметических ускорителей (сопроцессоров) позволяет существенно ускорить вычисления за счет большого числа вычислительных ядер. В данной работе представлено ис-

следование эффективности использования графических карт для расчета газодинамических задач. Современные программные технологии позволяют эффективно использовать графические карты в качестве высокопроизводительных вычислительных комплексов, в работе рассматривается технология OpenACC [1], позволяющая использовать весь потенциал графических карт без существенных затрат на изменение кода собственной программы.

Для изучения эффективности технологии OpenACC реализован алгоритм расчета газодинамических уравнений. В качестве тестовой задачи выступила задача о пространственном взаимодействии двух газов. Два сжимаемых газа с различными значениями плотности, давления и начальных скоростей находились в емкости, разделенной перегородкой. После изъятия перегородки, газы взаимодействовали.

Основой для построения расчетного алгоритма выступила разностная схема численного решения нестационарных уравнений газовой динамики с нахождением потоков по методу С.К. Годунова [2]. Расчетная схема преобразована для использования параллельного алгоритма. Параллельность достигнута за счет использования технологии OpenMP [3] для проведения расчета с использованием ядер центрального процессора.

В качестве высокопроизводительного вычислительного комплекса для проверки эффективности параллельного алгоритма выступил кластер на базе Национального исследовательского Томского государственного университета СКИФ Cyberia [4]. Для расчета использовались узлы с двумя шестиядерными процессорами Intel Xeon X5670 и 24Гб оперативной памяти. Написан модуль для преобразования результатов вычислений в формат Silo [5], позволяющий использовать для визуализации полученных данных программный комплекс VisIt.[6]

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 для расчета на центральном процессоре использовался компилятор от Intel, для расчета на графической карте – компилятор PGI) можно эффективно использовать высокопроизводительные вычислительные комплексы. В рамках представленной работы проведена оценка эффективности технологии OpenACC для проведения расчетов, требующих высоких вычислительных затрат. Также представлен сравнительный анализ затраченного времени при расчете на центральном процессоре и на графическом ускорителе.

Литература

1. *OpenACC*. Directives for Accelerators [Электронный ресурс]. URL: <http://www.openacc.org>

2. Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. 400 с.
3. Немнюгин С.А. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем / Немнюгин С.А., Стесик О.Л. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 400 с.
4. Вычислительный кластер СКИФ Cyberia [Электронный ресурс]. URL: [http:// cyberia.tsu.ru](http://cyberia.tsu.ru)
5. Silo. A mesh and field I/O library and scientific database [Электронный ресурс]. URL: <https://wci.llnl.gov/codes/silo/index.html>
6. VisIt. Software that delivers parallel [Электронный ресурс]. URL: [https:// wci. llnl. gov/codes/visit](https://wci.llnl.gov/codes/visit)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ЗАКРУЧЕННОГО
ТЕЧЕНИЯ В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ
MODELING OF TURBULENT SWIRLING FLOW IN THE VORTEX
CHAMBER AND STUDY**

М.Ю. Гойко

M.Yu. Goiko

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk Polytechnic University
popp.marina@yandex.ru

В работе рассматривается численное моделирование закрученного турбулентного потока газа в вихревой камере, которая используется для разделения тонкодисперсных порошков на мелкую и крупную фракцию по заданному размеру частиц. Для повышения эффективности процесса фракционного разделения частиц предлагается дополнительно закручивать стенки вихревой камеры, что способствует выравниванию поля окружной скорости и тем самым стабилизирует баланс центробежных и аэродинамических сил, действующей на сепарируемые частицы. В работе проводилось исследование процесса разделения монофракции с помощью детерминированного метода, в результате получены траектории движения частиц и кривая разделения Тромпа.

Для численного исследования аэродинамики классификатора в качестве прототипа выбрана вихревая камера [2], которая представляет собой цилиндрическую область с не вращающимися стенками. В камере такого типа, закрученный поток газа вместе с частицами через входное сечение поступает в вихревую камеру и под действием перепада давления вместе с мелкой фракцией частиц выходит через выходное сечение камеры. Крупная же фракция частиц, за счет действия на нее центробежной силы, которая преобладает над аэродинамической силой сопротивления частиц, отбрасывается на периферийную стенку классификатора и, оседая по ней, попадает в крупный продукт фракционного разделения. Известно, что вихревые камеры такого типа обладают достаточно большой производительностью по расходу несущей среды и твердой фазы. Однако эффективность

фракционного разделения частиц по размерам существенно ниже, чем в воздушно-центробежных классификаторах [3–4]. С нашей точки зрения, одной из причин относительно низкой эффективности процесса фракционного разделения мелкодисперсных порошков является существенная неоднородность поля окружной скорости.

В настоящей работе использовался подход моделирования аэродинамики несущей среды в естественных переменных «скорость-давление». Решение системы уравнений переноса импульса и уравнения неразрывности в переменных «скорость-давление» проводилось методом физического расщепления по времени полей давления и скорости. Метод решения в переменных «скорость-давление» реализуется на разнесенной сетке, что позволяет добиться выполнения уравнения неразрывности во внутренних точках. Для каждого скалярного уравнения переноса в системе уравнений скорость-давление используется обобщенный неявный метод переменных направлений в дельта-форме, который имеет второй порядок точности по времени [6].

Численные исследования поля окружной скорости показали, что вблизи стенок вихревой камеры образуются существенные градиенты окружной скорости при отсутствии вращения стенок, что может стать причиной попадания крупных частиц в мелкий продукт процесса фракционного разделения. В случае же вращения стенок камеры поле окружной скорости существенно выравнивается не только вблизи стенок аппарата, но также во всей области (примерно при $r > 1.4$), где собственно и происходит сепарация крупных частиц.

Проведено численное моделирование течения газа с частицами. На основе траекторного метода определены траектории движения частиц в вихревой камере и процесс разделения тонкодисперсных порошков. В результате анализа полученных результатов определен граничный размер и построена кривая фракционного разделения частиц по размерам.

Достоверность проведенного исследования обосновано тестовыми исследованиями, а также путем сравнения получаемых решений с имеющимися экспериментальными данными.

Литература

7. Ушаков С.Г. Инерционная сепарация пыли / С.Г. Ушаков, Н.И. Зверев. М.: Энергия. 1974. 166 с.
8. Патент РФ № 2407601, ПК В07В7/083. Способ воздушно-центробежной классификации порошков и устройство для его осуществления / Зятиков П.Н., Росляк А.Т., Васенин И.М., Шваб А.В., Демиденко А.А., Садретдинов Ш.Р. // опубл. Б.И. №36, 27.12.2010.
9. Шваб А.В., Хайруллина В.Ю. Исследование закрученного турбулентного течения между вращающимися профилированными дисками // Теоретические основы химической технологии. 2011. Т. 45, №5. С. 557–565.

10. Роуч П. Вычислительная гидромеханика / П. Роуч. М.: Мир, 1977. 618 с.
11. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена / С. Патанкар, Б.С. Петухов. М.: Энергоатомиздат, 1984. 124 с.
12. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. М.: Мир, 1990. Т. 2. Россия. 337 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ
СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ВЫНУЖДЕННОЙ И СВОБОДНОЙ
КОНВЕКЦИИ В РАБОЧЕЙ КАМЕРЕ РЕАКТОРА
MODELING OF AERODYNAMICS AND HEAT TRANSFER IN
THE JOINT ACTION OF FORCED AND NATURAL CONVECTION IN
THE CHAMBER OF THE REACTOR**

Е.Д. Завьялов, Р.В. Брендаков

E.D. Zavyalov, R.V. Brendakov

Национальный Исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk Polytechnic University

zigidi1994@gmail.com

Интенсификация производства и технологическая модернизация российской экономики невозможна без передовых прикладных научных исследований и экспериментальных разработок, направленных на создание новых видов продукции и технологий, востребованных современными отраслями экономики. Широкое использование изделий из металлического вольфрама в различных отраслях народного хозяйства обусловлено уникальными свойствами этого металла.

В химической технологии для получения чистых металлов применяется реакция восстановления водородом путем нагрева смеси газов в рабочей камере химического реактора. Гидродинамика этого процесса определяется эффектами взаимодействия свободной и вынужденной конвекции.

В настоящей работе исследуются процессы взаимодействия разного вида конвекций, которые образуются в реакторе, геометрия которого представляет собой коаксиальный цилиндрический канал с нагреваемой внутренней стенкой. В работе рассматривается течение газа в химическом реакторе, в котором существенное значение имеет место процесс естественной и вынужденной конвекции [1]. Динамика движения газа может быть описана уравнениями Навье – Стокса и уравнением переноса тепла, записанных в цилиндрической системе координат в осесимметричной постановке задачи [2].

Численное решение полученной системы уравнений проводилась двумя способами. Решение задачи первым способом основывается на методе физического расщепления полей скорости и давления. Системы сводится к решению уравнения переноса импульса для составляющих вектора скорости и уравнения Пуассона для прибавки к давлению. Решение задачи про-

водится на разнесенной разностной сетке с использованием контрольного объема. Конвективные и диффузионные слагаемые описываются с использованием экспоненциальной разностной схемы [3]. Для получения достоверного решения данная задача также решалась с использованием переменных функция тока – вихрь [4]. В результате сравнения двух методов решения получено хорошее соответствие полей скорости, температуры и функции тока.

В работе проведено исследование по влиянию геометрии, режимных параметров, а также критериев Прандтля, Рейнольдса и Грасгофа на распределение полей температуры, вектора скорости и давления. Анализ показал, что вблизи нагреваемой стенки образуется тонкий тепловой пограничный слой, на который существенно влияют геометрические и режимные параметры исследуемой задачи.

Литература

1. Брендаков Р.В., Завьялов Е.Д. Статическая оценка параметров процесса фторирования металлического вольфрама / VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сб. тез. и докл., 14–16 октября 2015 г. Томск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2015. 147 с.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учеб. для вузов / Л.Г. Лойцянский. М.: Наука, 1987. 840 с.
3. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С.В. Патанкар; пер. с англ. под ред. В.Д. Виленского. М.: Энергоатомиздат, 1984. 149 с.
4. Роуч П. Вычислительная гидромеханика / П. Роуч. М.: Мир, 1977. 618 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИПЕРЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ ПВРД EXPERIMENTAL STUDY OF HYPERSONIC FLOW AROUND OF MODEL RAMJETS

¹И.А. Ионова, ^{1,2}Е.А. Маслов, ²Н.Н. Золоторев, ¹С.Ю. Чижов
¹I.A. Ionova, ^{1,2}E.A. Maslov, ²N.N. Zolotorev, ¹S.Y. Chizhov

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Национальный Исследовательский Томский государственный университет,

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики, Томск, Россия

²Tomsk State University, Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Tomsk, Russia
maslov_eugene@mail.ru

Прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД) является наиболее простым из воздушно-реактивных двигателей [1]. Поскольку рабочий цикл ПВРД происходит без механического сжатия рабочего тела, то отсутствуют соответствующие подвижные механические части. Прямоточный

воздушно-реактивный двигатель – единственный двигатель, способный обеспечить полёт с гиперзвуковыми скоростями в атмосфере Земли.

Одним из основных факторов, влияющих на внутрибаллистические характеристики, является закон скорости горения твердого топлива в высокоскоростном потоке окислителя – воздушного потока. Закон скорости горения определяется параметрами обтекающего воздушного потока. В связи с этим важным этапом при разработке прямоточного двигателя является определение полей температуры, давления и скорости обдувающего потока в проточном тракте. Математическое моделирование динамики и теплообмена в тракте ПВРД позволяет получить информацию о структуре потока, о распределении газодинамических параметров по длине канала. При этом для оценки адекватности разрабатываемых математических моделей необходимо проведение сравнительного анализа численных результатов и экспериментальных данных, полученных на моделях ПВРД.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований моделей ПВРД на аэродинамической установке.

Аэродинамическая труба разработана для получения сверхзвукового и гиперзвукового потока. Основной функцией аэродинамической установки является создание кратковременного сверхзвукового потока газа для проведения аэродинамических и аэрофизических исследований. Гиперзвуковой поток создается с помощью профилированных сопел с диаметром выходного сечения 100 мм. Рабочий газ – воздух. Суммарная масса сжатого воздуха в ресивере составляет 56 кг при давлении 15 МПа. Расход сжатого воздуха – до 5 кг/с. Длительность работы установки зависит от условий испытаний и обычно составляет ~ 3.0 с.

В опытах на плоской и осесимметричной моделях ПВРД с осевой сквозной полостью при обдувании регистрировались температура, статическое и динамическое давление, а также визуализировалась структура течения.

Эксперименты для плоской и осесимметричной моделей двигателя по измерению температуры, давления и визуализации потока воздуха были проведены в диапазонах чисел Маха $M = (1 \dots 7)$ и температур торможения набегающего потока в диапазоне $T_0 = (20 \dots 500)$ °С. Система предварительного подогрева рабочего газа до 500 °С реализована с использованием подогревателя кауперного типа.

Для определения числа Маха в проточном тракте применялся пневмометрический метод, который заключается в измерении полного и статического давления потока и давления в форкамере [2].

Параметры натекающего потока воздуха – скорость, статическое давление, статическая температура, плотность и число Маха – определяются значениями параметров воздуха в форкамере (параметры торможения) и степенью расширения сопла. Давление в форкамере в процессе испытаний измерялось датчиком давления ДМ 5007А – ДИ У2. В проточном тракте

ПВРД устанавливали комбинированный приемник давления, позволяющий измерять одновременно динамическое и статическое давление. Все датчики давления подключены к цифровой регистрирующей системе. При запуске аэродинамической трубы через заданные интервалы времени Δt измерялись амплитуды поступающих от датчиков сигналов.

Анализ визуализированной структуры потока показал, что для исследуемых режимов обтекания в проточном тракте моделей ПВРД развивается течение с набором косых скачков уплотнения.

Полученные на моделях ПВРД экспериментальные данные о структуре и основных параметрах воздушного потока в проточном тракте являются объективной информацией для математического моделирования внутрикамерных процессов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-19-10014).

Литература

1. Орлов Б.В., Мазинг Г.Ю., Рейдель А.Л. и др. Основы проектирования ракетно-прямоточных двигателей для беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1967. 424 с.
2. Иров Ю.Д., Кейль Э.В., Маслов Б.Н. и др. Газодинамические функции. М.: Машиностроение, 1965. 399 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ХРУПКИХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАЗНОМ ТИПЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА И ВИДАХ НАГРУЖЕНИЯ

NUMERICAL STUDY OF FEATURES OF DEFORMATION AND FRACTURE OF BRITTLE POROUS MATERIALS WITH DIFFERENT PORE SPACE TYPE OF ORGANIZATION AND TYPES OF LOADING

К.С. Матыко¹, И.Ю. Смолин^{1,2}.
K.S. Matyko¹, I.Yu. Smolin^{1,2}

¹Национальный Исследовательский Томский государственный университет,

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН.

¹National Research Tomsk State University, ²Institute of strength physics and materials science
matyko.ks@gmail.com

Хрупкие пористые материалы широко встречаются в природе и технике. Одним из представителей данного класса является спеченная керамика на основе нанокристаллических оксидов металлов (в частности, алюминия и циркония). В силу большого разнообразия технологических режимов получения керамики в ее структуре присутствуют поры различных размеров. Именно сочетание механических свойств и параметров поровой структуры

материала в значительной степени определяют область его функционального применения (теплозащита, катализаторы, импланты, фильтры). Поэтому одной из актуальных задач является изучение влияния размера и формы пор на механические свойства пористых керамик как экспериментальными, так и численными методами. Важное значение имеет также вид нагружения пористого материала.

В работе численно изучено влияния размера и форм пор на механическое поведение материалов на основе оксида циркония и оксида алюминия при одноосном сжатии и простом сдвиге. Рассмотрено два типа морфологии модельных пористых структур: перекрывающиеся сферические поры и перекрывающиеся сферические тела [1, 2]. Полученные результаты численного моделирования показали довольно хорошее совпадение расчетов с экспериментальными данными для сжатия и сдвига изученных пористых керамических материалов. При уменьшении размеров материальных сфер, составляющих твердый каркас, значения для модуля Юнга и модуля сдвига оказываются ближе к экспериментальным данным. Усредненная диаграмма нагружения является чувствительной не только к значению пористости, но и к морфологии пористой структуры.

Литература

1. Смолин И.Ю., Еремин М.О., Макаров П.В. и др. Численное моделирование механического поведения модельных хрупких пористых материалов на мезоуровне. // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2013. № 5(25). С. 78–90.
2. Bruno G., Efremov A.M., Levandovskyi A.N. Clausen Connecting the macro- and microstrain responses in technical porous ceramics: modeling and experimental B. validations // J. Mater. Sci. 2011. Vol. 46. P. 161–173.

ИССЛЕДОВАНИЕ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ВЗВЕСИ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В МЕТАНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ДВУХ КИНЕТИЧЕСКИХ СХЕМ РЕАКЦИИ THE SIMULATION OF THE LEAN METHANE-AIR MIXTURES COMBUSTION IN A SLOT BURNER WITH PREHEATED INERT INTERNAL

А.Ю. Крайнов, К.М. Моисеева
A.Yu. Krainov, K.M. Moiseeva

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
Moiseeva_KM@t-sk.ru

Решена задача самовоспламенения взвеси полидисперсной угольной пыли в метано-воздушной смеси, находящейся в замкнутом сферическом объеме. Постановка задачи основывалась на экспериментальной работе,

проведенной в [1]. Авторами работы были получены закономерности самовоспламенения частиц угольной пыли, перемешанных с метано-воздушной смесью. Из результатов работы [1] было получено, что присутствие частиц инертной пыли приводит к увеличению максимального давления в сферическом объеме по сравнению с самовоспламенением чистой метано-воздушной смеси.

Основываясь на данных о счетной концентрации частиц угольной пыли в объеме, а также о составе и размерах частиц, была разработана физико-математическая модель самовоспламенения взвеси частиц в метано-воздушной смеси. Математическая постановка задачи состоит из уравнений энергии для газа и частиц N фракций, изменения массы и радиуса частиц, изменения плотности частиц в связи с выходом летучих компонентов, изменения плотности окислителя и горючего в газе, сохранения массы газ-взвеси, уравнения состояния идеального газа. Постановка задачи учитывает выход летучих компонентов из частиц при их нагреве, излучение от частиц в окружающую среду, теплоотдачу от газа в окружающую среду через боковую поверхность сферического объема. Коэффициент массоотдачи частиц соответствует [2], учитывается зависимость коэффициента теплопроводности газа от температуры [3]. Учитывается полидисперсность угольной пыли: задается число фракций – N , которое определяет количество решаемых уравнений для частиц угольной пыли. Для инертных частиц записаны уравнения энергии, в которых учитывается теплообмен с газом и потери тепла за счет излучения. В уравнении изменения плотности окислителя учитывается расход окислителя на две реакции: гетерогенную на поверхности частиц и гомогенную в газе. Экзотермические химические реакции в газе определяются Аррениусовской кинетикой второго порядка. Гетерогенная реакция на частицах задается реакцией первого порядка.

Задача решалась методом Рунге – Кутты – Мерсона с автоматическим выбором шага. Достоверность расчетов проверялась путем решения частных постановок задачи. Согласно проверке на достоверность погрешность расчета составляет не более 3 %.

Согласно [1] помимо наноразмерной фракции в объеме присутствовало некоторое количество крупных образований («кластеров»). Размер «кластеров», как и содержание инертных частиц, варьировались для определения основных закономерностей воспламеняемости смеси реагирующего газа и частиц угольной пыли. В расчетах полагалось, что пыль состоит из $N = 3$ фракций, содержащих реагирующие и инертные частицы. Частицы каждого размера (150 нм, 20 нм и кластерные с размером r_{kl}) подразделялись на реагирующие и инертные в заданной пропорции, которая определяется процентным содержанием инертных частиц в угольной пыли.

Расчеты задачи были выполнены для двух наборов кинетических параметров реакции самовоспламенения метана в воздухе [4, 5]. В расчетах варьировалось количество инертных частиц в смеси, а также размер кла-

стерных частиц. В результате проведенных исследований выявлено влияние инертных частиц и размеров кластерных частиц на величину максимального давления, достигаемого в сферическом объеме при самовоспламенении полидисперсной реагирующей газовзвеси. Показано, что наибольшее значение давления достигается для состава смеси, близкого к стехиометрическому. Под стехиометрией понимается соотношение между метаном, воздухом и реагирующими частицами угольной пыли, для которого полностью выгорают компоненты реакций в газовой фазе и на поверхности частиц.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-03-02578 а.

Литература

1. Бакланов А.М., Валиулин С.В., Дубцов С.Н., Замащиков В.В., Клишин В.И., Контарович А.Э., Коржавин А.А., Онищук А.А., Палеев Д.Ю., Пуртов П.А. // Доклады Академии наук. 2015. Т. 461. № 3. С. 295.
2. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987.
3. Крайнов А.Ю., Моисеева К.М. // Физика горения и взрыва. 2016. Т. 52, №1. С. 1–9.
4. Основы практической теории горения: учеб. пособие для вузов / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.Б. Ахмедов и др. / под ред. В.В. Померанцев. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 312 с.
5. Шмелев В.М., Мохин Г.Н., Николаев В.М. Моделирование воспламенения бедной метановоздушной смеси при ее сжатии и тепловой активации // Химическая физика. 2014. Т. 33, № 1. С. 25–31.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ БЕДНЫХ МЕТАНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В ЩЕЛЕВОЙ ГОРЕЛКЕ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО РАЗОГРЕТОЙ ВНУТРЕННЕЙ ВСТАВКОЙ THE SIMULATION OF THE LEAN METHANE-AIR MIXTURES COMBUSTION IN A SLOT BURNER WITH PREHEATED INERT INTERNAL

А.Ю. Крайнов, Л.Л. Миньков, К.М. Моисеева

A.Yu. Krainov, L.L. Minkov, K.M. Moiseeva

Национальный Исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

Moiseeva_KM@t-sk.ru

На основе одномерной физико-математической модели горения метановоздушной смеси (МВС) [1] решается задача горения бедной МВС в щелевой горелке с инертной внутренней вставкой в двухмерном приближении. Целью исследования является определение границы устойчивого горения бедной МВС в зависимости от объемного содержания метана в смеси и скорости подачи газа на входе в горелку. Решение задачи в двухмерной

постановке проводится с целью учета двухмерных эффектов, возникающих при горении смеси в узких каналах и тонких трубках.

Холодная метано-воздушная смесь со скоростью u_{vh} , температурой T_{vh} , концентрацией горючей компоненты Y_{vh,CH_4} подается в узкую щелевую горелку с внутренней вставкой. Ширина проходного канала горелки больше толщины инертной вставки. Смесь поступает в горелку со стороны $x = 0$, $y \in (d_{lt}, d_t)$. В области поворотной части горелки, $x \in (L_1, L)$, $y \in (d_t, d_b)$, газ изменяет направление движения. На границе $x = 0$, $y \in (d_{lb}, d_b)$ газ вытекает. Инертная вставка определяется областью $x \in (0, L_1)$, $y \in (d_{lb}, d_{lt})$. Здесь d , d_1 – ширина проходного канала щелевой горелки и инертной вставки, соответственно. Индексами t и b отмечены верхняя и нижняя границы каналов щелевой горелки и инертной вставки. Полагается, что внутренняя вставка равномерно разогрета перед началом процесса до температуры T_{lv} . На границе между внутренней вставкой и газом предполагается идеальный контакт.

При постановке задачи приняты следующие допущения: внешние стенки горелки теплоизолированы; рассматривается ламинарное течение вязкого несжимаемого газа; коэффициенты диффузии D , теплопроводности λ газа зависят от температуры, аналогично [1]; химический процесс определяется одностадийной необратимой химической реакцией. Математическая постановка задачи при заданных допущениях содержит уравнения энергии для реакционной смеси и инертной вставки; уравнения для массовых долей компонентов смеси, а так же уравнения неразрывности, сохранения импульса и состояния газа.

На входной границе задавались температура газа, равная $T_{vh} = 300$ K, относительные массовые концентрации метана – $Y_{vh,CH_4} = 0.035 \div 0.0143$ (соответствующее объемное содержание – $a_{CH_4} 6 \div 2.5$ %), кислорода – $Y_{vh,O_2} = 0.23$ и продуктов реакции $Y_{vh,CO_2} = 0$, $Y_{vh,H_2O} = 0$. На всех стенках щелевой горелки для газа задавались условия неприлипания, а также нулевой тепловой поток на внешних стенках. На поверхности внутренней вставки ставились граничные условия IV рода. На выходе из щелевой горелки ставилось условие свободного вытекания газовой смеси.

Расчеты проводились методом SIMPLE со вторым порядком точности. Шаг по времени выбирался равным 10^{-5} с, влияние пограничного слоя учитывалось путем измельчения сетки в окрестности стенок, максимальный шаг по пространству составлял $5 \cdot 10^{-6}$ м. В расчетах контролировалось сохранение баланса массы и энергии. Полагалось, что расчет завершен, если выполнялись балансные соотношения, и величина невязок для рассчитываемых уравнений была меньше или равна 10^{-5} .

Скорость газа на входе задавалась следующим образом: полагалось, что поперечная компонента скорости $u_{y,vh}$ равняется нулю, продольная компонента варьировалась в диапазоне $u_{x,vh} = 0.01 \div 0.3$ м/с. Варьирование про-

водилось для определения максимального значения скорости подачи газа, при котором возможно установление устойчивого горения в заданных условиях. Результаты исследования для $u_{x,vh} = 0.01 \div 0.3$ м/с и $a_{CH_4} = 2.5 \div 6\%$ позволили определить границу области устойчивого горения МВС в координатах (a_{CH_4} , u_{vh}). Полученные результаты качественно совпадают с результатами расчетов для одномерной постановки задачи. В частности, было определено, что устойчивое горение МВС возможно только в случае установления фронта горения в верхней трубке щелевой горелки, что качественно соответствует работе [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания №2014/223 (код проекта 1943).

Литература

1. Крайнов А.Ю., Мусеева К.М. Влияние скорости подачи газа на устойчивость горения метановоздушной смеси в щелевой горелке с внутренней вставкой // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2015. № 1 (33). С. 63–71.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖКИ МЕТОДОМ РЕШЁТОЧНЫХ УРАВНЕНИЙ БОЛЬЦМАНА SIMULATION OF THE SPUTTERED PARTICLES DEPOSITION ON THE SUBSTRATE SURFACE USING LATTICE BOLTZMANN METHOD

Э.Р. Сайфуллин, А.Г. Князева

E.R. Saifullin, A.G. Knyazeva

Национальный Исследовательский Томский государственный университет¹

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук²

National Research Tomsk State university¹

Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch of Russian academy of science²

Ser_web@mail.ru, anna-knyazeva@mail.ru

В настоящее время одним из наиболее эффективных путей повышения характеристик изделий является нанесение покрытий, значительно увеличивающих прочность, жаростойкость, устойчивость к коррозии, химически агрессивным средам и многие другие характеристики изделий. Однако при нанесении покрытий не удаётся точно предсказать распределение плотности (а в общем и фазового состава) наносимого вещества на поверхности подложки, что в свою очередь приводит к несоответствию ожидаемых и получаемых свойств покрытия. В связи с этим возникает вопрос о физических причинах неоднородности распределения частиц мишени на подложке. Цель настоящей

работы состоит в численном моделировании процесса осаждения частиц на поверхности изделий и анализе полученных результатов.

Постановка задачи заключается в следующем: имеется камера прямоугольной формы, в которой находятся источник и изделие. На левой стенке находится источник распыляемого вещества мишени, обеспечивающий равномерный поток, на правой стенке расположена подложка. Задана начальная скорость потока напыляемого вещества $u(x, y, t) = \text{const}$. Граничные условия: твёрдые стенки по краям всей области. Данная задача была реализована с использованием метода решёточных уравнений Больцмана. В результате проведённой работы были получены распределения плотности и скорости осаждаемого вещества в последовательные моменты времени.

Литература

1. *McNamara G.R., Zanetti G.* Use of the Boltzmann equation to simulate lattice-gas automata // *Phys. Rev. Lett.* 1988. Vol. 61, N 20. P. 2332–2335.
2. *Bhatnagar P.L., Gross. E.P., Krook M.K.* A model for collision process in gases. I. Small amplitude process in charged and neutral one-component system // *Phys. Rev.* 1954. Vol. 94. N 3. P. 511–525.
3. *Куперитох А.Л.* Моделирование течений с границами раздела фаз жидкость-пар методом решёточных уравнений Больцмана // *Вестник НГУ: Сер.: Математика, механика и информатика.* 2005. Т. 5, № 3. С. 29–42.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В КУБИЧЕСКОЙ КАВЕРНЕ. NUMERICAL SIMULATION OF VISCOUS FLOW IN A CUBIC CAVITY

И.А. Рыльцев

I.A. Ryltsev

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
Stalak133@mail.ru

Движение жидкости происходит во многих технологических процессах и в природе, при этом существует необходимость его исследования в трехмерной постановке. В настоящее время существует большое количество подходов и способов моделирования гидродинамических процессов. В данной работе в качестве тестовой задачи для отработки алгоритма расчета исследована задача о пространственном течении ньютоновской несжимаемой жидкости в кубической каверне с подвижной верхней стенкой. Отметим, что решение данной задачи в плоскости симметрии является двумерным, вследствие чего хорошо изученным, что дает возможность сравнения не только с работами по трехмерному течению.

Математическую основу рассматриваемой задача образуют уравнения Навье - Стокса совместно с уравнением неразрывности. Задача формулируется в безразмерных переменных. В основе данной работы лежит метод конечных объемов, а отыскание стационарных полей скорости и давления осуществлялось с использованием алгоритма SIMPLE (Semi-ImplicitMethodforPressure-LinkedEquation). Конвективные слагаемые в уравнениях движения аппроксимируются разностями против потока для больших значений числа Рейнольдса, либо с помощью экспоненциальной схемы в противном случае, для аппроксимации уравнений движения и неразрывности вводится разнесенная разностная сетка. Кинематика течения описывалась с помощью траекторий движения частиц в области каверны, для чего в поток помещалась частица – маркер. Движение частицы описывалась кинематическими уравнениями, которые решаются с помощью многошагового метода Адамса-Башфорта четвертого порядка.

Расчеты показали, что картина рассматриваемого пространственного течения характеризуется наличием циркуляционных зон в центре каверны и в ее углах. Параметрические исследования в диапазоне изменения чисел Рейнольдса от 0,1 до 100 показывают его влияние на размеры, положение циркуляционных зон и интенсивность движения в них. Представлены картины распределения полей кинематических и динамических характеристик в объеме каверны. Полученные результаты согласуются с данными других авторов.

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ТРЕЩИНЕ ГИДРОРАЗРЫВА НА ДЕФОРМАЦИЮ В ЕЕ ВЕРШИНЕ EFFECT OF PRESSURE DISTRIBUTION IN THE FRACTURE FRAC- TURING DEFORMATION AT ITS TOP

А.С. Романов¹, Ю.П. Стефанов^{2,3}

A.S. Romanov, Yu.P. Stefanov

¹Национальный Исследовательский Томский государственный университет

²ИНГГ СО РАН, Россия; ³ИФПМ СО РАН

National Research Tomsk State University

²Institute of Strength Physics and Materials

alesandro_pato22@mail.ru, yu_st@mail.ru

Характер развития трещин гидроразрыва зависит от множества факторов, важнейшими из которых являются свойства и напряженное состояние окружающей среды, а также распределение давления нагнетаемой жидкости в трещине. От данных параметров зависят механизмы продвижения трещины и раскрытие ее берегов.

В работе рассмотрена задача о деформировании геологической среды с трещиной длиной 4 метра, в которую нагнетается жидкость. Размеры пласта: по оси X – 36 метров, по оси Y – 32 метра. Среда находится под дейст-

вием вышележащих слоев (σ_y) и сжимающих горизонтальных напряжений (σ_x). Моделирование процессов деформации горной породы выполнено для условий плоской деформации. В работе рассмотрено два варианта среды – упругая и упругопластическая (модифицированная модель Друкера–Прагера–Николаевского [Друкер, Прагер, 1975, Николаевский, 1972, Стефанов, 2002]), причем разрушение породы рассматриваться не будет. В расчетах этот эффект достигается путем искусственного задания высоких прочностных свойств горной породы.

Моделирование процессов деформации горной породы осуществлялось путем численного решения системы уравнений явным конечно-разностным методом [Уилкинс, 1967].

Распределение давления жидкости вдоль трещины принято: (а) – равномерным, (б) – параболическим. Давление в трещине превышало значение сжимающей компоненты напряжений σ_x на 10 МПа. Для наглядности влияния механических свойств породы на форму трещины и величину ее раскрытия расчеты проводились в слоистой среде, причем часть трещины находилась в упругом слое, другая часть в упругопластичном слое. Расчеты проводились для двух вариантов начального напряженного состояния среды: $\sigma_x = 40 \text{ МПа}$, $\sigma_y = 60 \text{ МПа}$ и $\sigma_x = 50 \text{ МПа}$, $\sigma_y = 60 \text{ МПа}$. Соответственно: $P_f = \sigma_x + 10 \text{ МПа}$, где P_f – давление жидкости в трещине.

Расчеты показали, что с увеличением горизонтальной составляющей начального напряженного состояния среды, увеличивается величина напряжений в вершине трещины, а также увеличивается раскрытие трещины. Причем, в случае равномерного распределения давления жидкости наблюдается наибольшее раскрытие трещины. По результатам видно, как состояние среды влияет на форму трещины, если в упругом случае форма имеет правильную овальную форму, то в случае упругопластичной среды заметно затупление в вершине трещины. В упругой среде величина раскрытия заметно меньше, чем в упругопластичной среде.

В процессе деформирования упругопластичного слоя среды наблюдается формирование зон пластических деформаций. В зависимости от прочностных свойств среды эти зоны могут повлиять на траекторию распространения трещины гидроразрыва. Симметрия в формировании областей пластических деформаций оставляет не решенным вопрос устойчивости траектории распространения трещины по критерию превышения предельных значений пластических деформаций.

Работа выполнена при поддержке Сколтеха (Соглашение № 711-MRA).

Литература

1. Друкер Д., Прагер В. Механика грунтов и пластический анализ или предельное проектирование // Механика. Новое в зарубежной науке. Вып. 2: Определяющие законы механики грунтов. М.: Мир, 1975. С. 166–177.

2. Николаевский В.Н. Механические свойства грунтов и теория пластичности // Механика твердых деформируемых тел. Т. 6: Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ АН СССР, 1972. С. 5–85.

3. Стефанов Ю.П. Локализация деформации и разрушение в геоматериалах. Численное моделирование // Физ. мезомех. 2002. Т. 5. № 5. С. 107–118.

4. Уилкинс М.Л. Расчет упругопластических течений // Вычислительные методы в гидродинамике. М.: Мир, 1967. С. 212–263.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ЗАКРУЧЕННОГО
ТЕЧЕНИЯ В ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ЦЕНТРОБЕЖНОМ
СЕПАРАТОРЕ**
**MODELLING OF AERODYNAMICS OF SWIRLED FLOW IN THE
PNEUMATIC CENTRIFUGAL SEPARATOR**

Р.Р. Турубает, А.В. Шваб

R.R. Turubaev, A.V. Shvab

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
roma_94_ktl@mail.ru, avshvab@inbox.ru

Пневматический центробежный аппарат имеет практический интерес при изучении процессов сепарации и классификации и может быть использован в порошковой металлургии, химической, атомной и других отраслях промышленности.

В данной работе проводится численное исследование аэродинамики вихревой камеры, которая представляет собой цилиндрическую область с невращающимися стенками, диском, центр которого совпадает с осью цилиндра и системой вращающихся дисков на выходе из камеры. Процесс сепарации происходит за счет того, что центробежная сила значительно превосходит силу аэродинамического сопротивления [1].

Для описания процессов происходящих в вихревой камере использовались уравнения Навье–Стокса в цилиндрической системе координат. После введения масштаба длины, в качестве которого взят радиус входного сечения и входной скорости, а также считая плотность газа постоянной, в силу небольших скоростей и с учетом осевой симметрии рассматриваемой задачи относительно окружной координаты. В результате получим безразмерную систему уравнений Навье–Стокса.

Полученная система решается методом физического расщепления полей скорости и давления. После расщепления получаем систему уравнений переноса импульса и уравнение Пуассона для поправки к давлению. Далее используется обобщенный метод переменных направлений, суть которого заключается в расщеплении шага по времени [2]. Он обладает вторым порядком точности по времени. Конвективные и диффузионные члены в этих уравнениях аппроксимировались с помощью экспоненциальной схемы, так как она снимает ограничение на число Рейнольдса и имеет второй порядок точности по пространственным координатам [3]. Безразмерная форма граничных условий приводит к появлению обратных чисел Россби.

Для достоверности получаемых результатов, система уравнений Навье–Стокса также решается в переменных «вихрь–функция тока». Вводятся составляющие вектора скорости таким образом, чтобы выполнялось уравнение неразрывности. Одна из особенностей этого метода заключается в том, что вихрь записывается относительно окружной составляющей, что в свою очередь приводит к исключению давления из системы уравнений. Одной из проблем при расчете в таких переменных является определение значения вихря в угловых точках. Поэтому было рассмотрено несколько различных вариантов их расчета: способ Кавагутти и др. [4]. Также были проведены тесты на сеточную сходимость и сравнение с известной аналитической формулой. В результате вычислений были получены распределения составляющих вектора скорости, функции тока и вихрь скорости в рассматриваемой области, при различных значениях числа Рейнольдса и закрутки дисковых элементов. Помимо этого было проанализировано влияние геометрии на течение внутри камеры, что в частности и послужило основным критерием для нахождения равномерного распределения изолиний функции тока у выхода из камеры.

Литература

1. Патент РФ № 2522674 Способ газовой центробежной классификации и измельчения порошков / Зятиков П.Н., Росляк А.Т., Шваб А.В., Демиденко А.А., Романдин В.И., Брендаков В.Н. / опубл., Б.И. № 20, 20.07.14.
2. *Андерсон Д.* Вычислительная гидромеханика и теплообмен / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер; пер. с англ. С.В. Сенина, Е.Ю. Шальмана; под ред. Г.Л. Подвидза. М.: Мир, 1990. Т. 1. 384 с.
3. *Патанкар С.В.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С.В. Патанкар: пер. с англ. / под ред. В.Д. Виленского. М.: Энергоатомиздат, 1984. 149 с.
4. *Роуч П.* Вычислительная гидромеханика / П. Роуч. М.: Мир, 1977. 618 с.

РАСЧЕТ КРИВЫХ ТЕЧЕНИЯ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ДИСЛОКАЦИОННОЙ КИНЕТИКИ СДВИГОВ И НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ХОДЕ ИХ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ CALCULATION OF FLOW CURVES OF ALUMINUM ALLOYS BASED ON THE MODELS OF DISLOCATION KINETICS OF DAMAGE ACCUMULATION, AND CHANGES IN THE COURSE OF THEIR PLASTIC DEFORMATION

И.В. Щербаков^{*}, Р.А. Бакеев^{}, П.В. Макаров^{***}**
I.V. Scherbakov^{*}, R.A. Bakeev^{}, P.V. Makarov^{***}**

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
 National Research Tomsk State University
 scherbakov_ilja@mail.ru, rustam@ispms.tsc.ru, pvm@ispms.tsc.ru

В представленной работе применен подход для описания кривых течения металлов на основе дислокационной кинетики пластических сдвигов и определяющих уравнений релаксационного характера, включая закритическую стадию пластического течения, включая ниспадающую ветвь. Основ-

ное внимание в работе сосредоточено на процессе накопления повреждений в ходе пластического деформирования и моделировании критического состояния как режима с обострением, при котором в нагружаемом материале структуры разрушения развиваются в сверхбыстром автокаталитическом режиме. Построен ряд кривых течения для разных значений параметров, определяющих скорость накопления повреждений. Показано, что при $\alpha \approx 1 + 2$ нагружаемый материал как нелинейная динамическая система обладает свойством самоорганизованной критичности.

Литература

1. Макаров П.В. Математическая многоуровневая модель упругопластического деформирования структурно-неоднородных сред: дис. ... д-ра. физ.-мат. наук / П.В. Макаров. Томск, 1995. 248 с.
2. Балохонов Р.Р. Иерархическое моделирование деформации и разрушения материалов композиционной структуры: дис. ... д-ра физ.-мат. наук / Р.Р. Балохонов. Томск, 2008. 306 с.
3. Макаров П.В., Еремин М.О. Модель разрушения хрупких и квазихрупких материалов и гео-сред // Физическая мезомеханика. 2013. Т. 16. № 1. С. 5–26.
4. Макаров П.В., Еремин М.О. Явление прерывистой текучести как базовая модель исследования неустойчивостей деформационных процессов // Физическая мезомеханика, 2013, Т. 16, № 4. С. 109–128.
5. Kelly J.M., Gillis P.P. Continuum descriptions of dislocations under stress reversals // J. Appl. Phys. 1974. № 43, 45. P. 1091–1096.
6. Макаров П.В. Математическая многоуровневая модель упругопластического деформирования структурно-неоднородных сред: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. ИФПМ, Томск, 1995. 251 с.
7. Пресняков А.А., Аубакирова Р.К. К вопросу о скоростной чувствительности напряжений течения при растяжении // ФММ. 1985. Т. 60, вып. 1. С. 205–206.
8. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 366 с.
9. Курдюмов С.П., Князева Е.Н. У истоков синергетического видения мира: режимы с обострением // Самоорганизация и наука: опыт философского осмысления. М.: Арго, 1994. С. 162–186.

Секция 6
«МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА И ИНФОРМАТИКА» ДЛЯ МОЛОДЫХ
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ И УЧАЩИХСЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ШКОЛ И ЛИЦЕЕВ

Session 6
MATHEMATICS, PHYSICS AND COMPUTER SCIENCE FOR YOUNG
RESEARCHERS AND STUDENTS OF SECONDARY SCHOOLS AND
LYCEUMS

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ УЧАЩИХСЯ
ИНТЕРНЕТ-ЛИЦЕЯ ТГУ В РАМКАХ ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN DIS-
TANCE WORK WITH PUPILS IN PHYSICS AND MATHEMATICS
SPECIALIZATION IN INTERNET - LYCEUM OF TOMSK STATE
UNIVERSITY

О.И. Бычкова, В.К. Дедова
O.I. Bychkova, V.K. Dedova

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
dedova@ido.tsu.ru, bychkova@ido.tsu.ru

Одним из организаторов дистанционной работы со школьниками в Национальном исследовательском Томском государственном университете с 2014 г. является Интернет-лицей. В круг задач Интернет-лицея входят выявление талантливых школьников и развитие их когнитивных и творческих способностей, повышение интереса школьников к научному знанию, подготовка учеников к освоению программ высшего профессионального образования, мотивация школьников на выбор классического университетского образования.

Одним из профилей обучения в Интернет-лицее является профиль физико-математического направления, который рассчитан на школьников, обучающихся в 8–11 классах. Школьники могут выбрать как весь класс профиля для изучения, так и отдельный модуль (предмет) программы, в зависимости от своих предпочтений и целей обучения. Программы курсов включают в себя обязательные модули и модули для самостоятельного изучения, в которых предложены для освоения учебные материалы и пособия с онлайн проверкой знаний. Также функционирует блок из 8 дисциплин для углубленного изучения физико-математического профиля: «Физика для гуманитариев», «Оптика», «Электричество и магнетизм», «Молекулярная физика», «Физика: решения олимпиадных задач», «Алгебра для

углубленного изучения», «Механика», «Геометрия для углубленного изучения». Помимо вышеуказанных курсов школьники имеют возможность обучаться на курсах подготовки к ЕГЭ и подготовки к олимпиадам по физике и математике. Основу дистанционных занятий в Интернет-лицее составляют различные формы активной работы со школьниками, реализуемые с помощью online-технологий. Для поддержки электронной образовательной среды специалистами Интернет-лица ТГУ используются программные средства и сервисы, обеспечивающие планирование и организацию дистанционного учебного процесса. Интернет-лицей осуществил перевод своих образовательных программ в виртуальную обучающую среду Moodle, поскольку эта система предлагает и педагогам и учащимся широкий функционал. Основным средством обеспечения коммуникации между преподавателем и учащимися являются вебинары в системе Adobe Connect Pro, которые позволяют имитировать реальное присутствие «удаленного» школьника в учебном классе, обеспечивая возможность совместной работы с доской, электронными документами, «живого» видео и звука, обмена файлами, видеозаписи занятий, коллективного обсуждения, проведения опросов и голосования. Также используются следующие инструменты и технологии: документ-камера, видеолекции, google сервисы, скринкасты.

Помимо учебной работы большое внимание уделяется внеурочной деятельности школьников. На площадке Интернет-лица для зарегистрированных пользователей регулярно проводятся научные и творческие конкурсы, олимпиады, чемпионаты. Ежегодно проводятся Онлайн конференция школьников, конкурс на лучшую научную работу, конкурс по 3d-моделированию «3D-мастер», чемпионат по шахматам с суперкомпьютером среди школьников. К чемпионату была написана специальная компьютерная программа для суперкомпьютера ТГУ «СКИФ Cyberia». Участие в этих мероприятиях требует от школьников демонстрации своих способностей в учебных дисциплинах физико-математического профиля.

В настоящее время в Интернет-лицее ТГУ существует большой спектр информационно-коммуникационных технологий, применяемых при дистанционном обучении и внеурочной работе со школьниками в рамках физико-математического профиля. Технологии создают возможность на практике осуществить гибкое сочетание самостоятельной познавательной деятельности обучающихся с различными источниками информации, групповую работу, оперативные и систематические коммуникации. Университет, благодаря дистанционным технологиям, включает в свою орбиту на раннем этапе большое количество школьников, заинтересованных в обучении по физико-математическому направлению, не зависимо от места их проживания, укрепляет связь с системой общего образования по всей стране и за ее пределами.

Литература

1. Макарова Л.Н., Голушко Т.К. Особенности применения дистанционных технологий профильного обучения в условиях дополнительного образования детей // Открытое и дистанционное образование. 2010. № 3. С. 74–80.
2. Можяева Г.В., Грибовский М.В. Обучение школьников с помощью дистанционных технологий: Интернет-лицей Томского государственного университета // Информатика и образование. № 6(266), 2015. С. 10–12.
3. Можяева Г.В., Руденко Т.В. Открытые профильные школы: информационные технологии в профильном обучении // Открытое и дистанционное образование. Томск, 2004. № 4 (16). С. 17–22.

ЧТО ТАКОЕ МАТЕМАТИКА? WHAT IS MATHEMATICS?

М.Н. Сёмочкина

M.N. Semoshkina

ООО «Академкнига»
Akadembook Company
akademkniga@mail.tomsknet.ru

Академкнига совместно с издательством МЦНМО представляет работу крупного математика Рихарда Куранта (одного из ведущих математиков XX в.), написанную в соавторстве с молодым топологом Гербертом Роббинсом. Книга призвана сократить разрыв между математикой в школе и современной математической наукой.

Перед вами одно из самых замечательных введений в математику в ряду тех, что обращены к широкой читательской аудитории. Ее смысл выражен в предисловии: «Нет ничего невозможного в том, чтобы, начиная от первооснов и следуя по прямому пути, добраться до таких возвышенных точек, с которых можно ясно обозреть самую сущность и движущие силы современной математики».

В книге последовательно изложены главы: «Натуральные числа», «Математическая числовая система», «Геометрические построения», «Топология», «Функции и пределы», «Максимумы и минимумы», «Основы математического анализа», а также приложения, задачи и упражнения со списком рекомендуемой литературы.

Первые три абзаца предисловия обращены к тем основным группам молодежи, для которых, по мнению Колмогорова, книга может быть наиболее полезна. Прежде всего, это школьники, ибо «существует большой разрыв между математикой, которая преподается в средней школе, и наиболее живыми и важными для естествознания и техники разделами современной математической науки». Затем, это студенты инженерных, химических, биологических и сельскохозяйственных вузов, в которых «оставляют совершенно в стороне ряд более общих и новых идей математики... Между

тем, эти идеи становятся все более существенными для всей совокупности точных и технических наук». Наконец, это «молодежь, избравшая своей специальностью математику или те разделы естественных наук (механика, астрономия, физика), изучение которых связано с прохождением вполне современного курса математики... и [и которая] часто нуждается в том, чтобы еще на стадии перехода из средней школы в высшую в более легкой и наглядной форме познакомиться с различными разделами математики, вплоть до самых важных и современных». Книга будет весьма полезна старшеклассникам при подготовке к ЕГЭ.

Литература

Курант Р., Роббинс Г. Что такое математика? 6-е изд., стереотип. М.: МЦНМО, 2013. 568 с.

ПУТЕШЕСТВИЕ ПО ПЛАНЕТАМ С ПРАЗДНИЧНЫМ, ФИЗИЧЕСКИМ ПРИВЕТОМ TRAVEL ON PLANETS WITH A FESTIVE, PHYSICAL GREETINGS

А. Антропов, В. Воронин, И. Гусев

A. Antropov, V. Voronin, I. Gusev

Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа № 5 им. А.К. Ерохина г. Томска.
school5@mail.tomsknet.ru

В этом году занимаемся на внеурочных занятиях по модулю «Путешествие по планетам с праздничным физическим приветом». На уроках природоведения в начальной школе мы узнали о том, что такое Солнечная система и сколько в ней планет. На внеурочные занятия отводится всего 11 уроков, поэтому успели изучить не все планеты. В этом модуле познакомились с планетами поближе, узнали, чем они отличаются друг от друга, почему они разных цветов, какие у них размеры и какое место среди них занимает наша Земля. Мы познакомились с такими физическими характеристиками, как масса и плотность, именно они нас интересовали, чтобы получились максимально похожими. Чтобы узнать больше, отправились на экскурсию в Томский планетарий, где внимательно слушали и смотрели на небесный свод.

Для работы выбрали Нептун, Венеру и Землю. Нептун нас заинтересовал, потому что это восьмая и самая дальняя планета Солнечной системы, она названа в честь римского бога морей. Венера очень понравилась девочкам, ведь она названа именем Венеры, богини любви из римского пантеона. Это единственная из восьми Солнечной системы, получившая женское имя. А Земля нам понравилась, потому что мы многое о ней знаем. Хотелось бы узнать еще больше, а также посмотреть на нее со стороны.

Кроме этих знаний мы узнали о традициях и праздниках Мексики. Своими руками сделали пиньяты (традиционные мексиканские игрушки). И, конечно же, в роли пиньят выступили наши планеты. Они получились разноцветными, разных размеров и массы. Теперь мы знаем спутники всех планет и климатические условия на разных планетах.

Вывод. Мы научились работать с бумагой, а именно: в стиле папье-маше; наглядно представили размеры нашей Солнечной системы.

Литература

1. Энциклопедия для детей. Т. 16: Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие вглубь материи. Механическая картина мира / под ред. В.А. Володина. М.: Аванта+, 448 с.
2. *Вселенная* / под ред. К.П. Станюкович / сост. В.А. Бронштэн 1960.
3. Ifly.ru/skolko-planet-v-solnechnoj-sisteme-harakteristiki-planet-i-chislo-i
4. www.contenton.ru/geo-solnechnay-sistema/

ПОИСК ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ СО СВОЙСТВАМИ ЧЕРНЫХ ДЫР SEARCHING FOR ELEMENTARY PARTICLES WITH PROPERTIES OF BLACK HOLES

И.В. Князев

I.V. Knyazev

(Государственное образовательное бюджетное учреждение дополнительного образования детей
Ярославской области «Ярославский региональный инновационно-образовательный
центр «Новая школа»)

(State education institution of additional education of children of Yaroslavl region
“Yaroslavl’s innovation and education center “New School”)

anet33@mail.ru

Известно, что существует качественное соответствие между параметрами черных дыр и элементарных частиц (масса – m , электрический заряд – e и момент импульса (спин) – L), за исключением истинно нейтральных частиц.

Объект является черной дырой при выполнении условия [2].

$$L^2 / (m^2 c^2) + G e^2 / c^4 < G^2 m^2 / c^4. \quad (1)$$

Из этого уравнения «построим» элементарные частицы со свойствами черных дыр.

Для частицы со спином равным L и с зарядом e найдем массу m , при которой частица будет обладать свойствами черной дыры.

$$m = \pm (1/(2G)) \cdot (\pm 2G(\pm e^2 + (e^4 + 4L^2 c^2)^{1/2}))^{1/2}. \quad (2)$$

Для частицы со спином равным L и с массой m найдем заряд e , при котором частица будет обладать свойствами черной дыры.

$$e = \pm (G (-L^2 c^2 + G^2 m^4))^{1/2} / (Gm). \quad (3)$$

Для частицы с массой m и зарядом e , найдем спин L , при котором частица будет обладать свойствами черной дыры.

$$L = \pm ((G^2 m^2 - G e^2)^{1/2} m) / c. \quad (4)$$

В частности, для электрона [1] имеем $e_e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ СГС q , $m_e = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $L_e/m_e = h/(2\pi m_e) = 1.157808487 \text{ см}^2/\text{с}$ [1], [2].

В системе СГС $h = 6.62 \cdot 10^{-27}$ эрг $\cdot$ с – постоянная Планка, $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с – скорость света, $G = 6.672 \cdot 10^{-8}$ см³/(с²г) – гравитационная постоянная.

Тогда соответствующие гипотетические частицы будут являться черными дырами при параметрах

$$m = 0.000021805 \text{ г.}$$

$$e = (-1)^{1/2} \cdot 1.344714 \cdot 10^{14} \text{ СГС}q.$$

$$L = 1.246719 \text{ г см}^2/(\text{с}).$$

Проверим, может ли Большой адронный коллайдер порождать черные дыры. Для этого от масс частиц перейдем к их энергиям E .

$$m = E/c$$

$$E_{\min} = c^2 (hc/(4\pi G))^{1/2} \quad (\text{для протонов, без учета заряда } e \text{ в формуле (2)})$$

$$E_{\min} = 9 \text{ эрг} = 9.46 \cdot 10^{20} \text{ эВ.}$$

$$E_{\min} = 1.51 \cdot 10^{16} \text{ эВ, } E$$

$$E_{\max \text{ БАК}} = 10^{16} \text{ эВ, } E_{\max \text{ БАК}} \ll E_{\min}.$$

БАК не может порождать черные дыры

В прошлом веке на якутской комплексной установке ШАЛ, с площадью 20 км^2 , проводились наблюдения космических лучей гигантских энергий: 10^{17} - 10^{20} эВ, при этом черные дыры себя не проявили.

Литература

1. Скорохватов М.Д. Физика нейтрино: промежуточные итоги // Природа. 2013. № 12. С. 45–55.
2. Физика Космоса: Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1986. 783 с.

ВОЛШЕБСТВО СТРАНЫ РАДУЖНЫХ СФЕР MAGIC RAINBOW COUNTRY AREAS

**Н.Е. Кухаренко, А.А. Текаева,
N.E. Kukharensko, A.A. Tekayeva**

Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа № 5 им. А.К. Ерохина г. Томска
school5@mail.tomsknet.ru

Цель работы:

Изучить физическую природу мыльного пузыря.

Задачи:

- 1) Исследовать явление интерференции на тонких пленках.
- 2) Исследовать поверхностное натяжения в жидкостях.
- 3) Создать мыльные пузыри другой формы.

Мыльный пузырь – тонкая многослойная плёнка мыльной воды, наполненная воздухом, обычно в виде сферы с переливчатой поверхностью. Мыльные пузыри обычно существуют лишь несколько секунд и лопаются при прикосновении или самопроизвольно. Их часто используют в своих играх дети.

Структура стенки мыльного пузыря Плёнка пузыря состоит из тонкого слоя воды, заключённого между двумя слоями молекул, чаще всего мыла. Эти слои содержат в себе молекулы, одна часть которых является гидрофильной, а другая гидрофобной. Гидрофильная часть привлекается тонким слоем воды, в то время как гидрофобная, наоборот, выталкивается. В результате образуются слои, защищающие воду от быстрого испарения, а также уменьшающие поверхностное натяжение.

Практическая часть. Для получения наиболее «качественных» мыльных пузырей из различных рецептов мы выбрали следующий: глицерин 25 г, сахар 2 ч.л., жидкость для мытья посуды 2 ст.л., вода 150 г.

Получения сферической формы мы добились сразу, используя разные насадки, а для получения формы прямоугольного параллелепипеда пришлось пересмотреть несколько видеосюжетов. Но результат был получен. Главным – держать раствор ровно, чтобы не взбалтывать его. Мы также помещали один пузырь внутрь другого и наблюдали как при этом менялись цвета. В процессе выполнения проекта мы обратили внимание на то, что если ловить пузыри сухими руками, то они лопаются, а если влажными – нет. И объяснение этому мы нашли в характеристике – поверхностное натяжение.

Явление интерференции свидетельствует о том, что свет — **это волна**. Интерференцией световых волн называется сложение двух когерентных волн, вследствие которого наблюдается усиление или ослабление результирующих световых колебаний в различных точках пространства.

Условия интерференции. Волны должны быть **когерентны**. В простейшем случае когерентными являются волны одинаковой длины, между которыми существует постоянная разность фаз.

Явление интерференции наблюдается: на поверхности жидкости при разливе нефти, бензина, керосина, на крыльях насекомых, на пленках оксидов на металлах, на мыльной пленке.

Вывод: Мы в своём проекте хотели заглянуть в разноцветный мир оптики и объяснить физическую природу мыльного пузыря, изучая явление интерференции и исследуя поверхностное натяжения мыльной плёнки. При проектировании и строительстве легких строительных конструкций сложных форм мыльные пленки помогают рассчитать поверхностное натяжение строительных материалов. Построить первую теорию деления атомных ядер удалось, сравнив ядро с каплей заряженной жидкости. А выдувание различных по форме и размерам мыльных шаров доставило нам особую эстетическую радость и вдохновение.

Литература

1. Физика. 11 класс / сост. Г.Я.Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин
2. festival.1september.ru/articles/616663
3. www.fizika.ru
4. www.afportal.ru
5. av-physics.narod.ru

ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР ЯРКОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ СЦЕНЫ АКТОВОГО ЗАЛА FOUR CONTROL THE BRIGHTNESS OF THE SCENE OF THE ASSEMBLY HALL

Г.В. Лазарейт

G.V. Lazareyt

МБОУ СОШ №49 г. Томска
glazareyt@gmail.com

После проведения реконструкции освещения сцены актового зала в школе, возникла необходимость создания устройства для управления 4 прожекторами с лампами накаливания по 500 Вт. Была поставлена цель разработать и изготовить данное устройство.

За основу была взята схема устройства плавного включения ламп накаливания [1]:

Данная схема была изменена для использования в качестве регулятора мощности следующим образом:

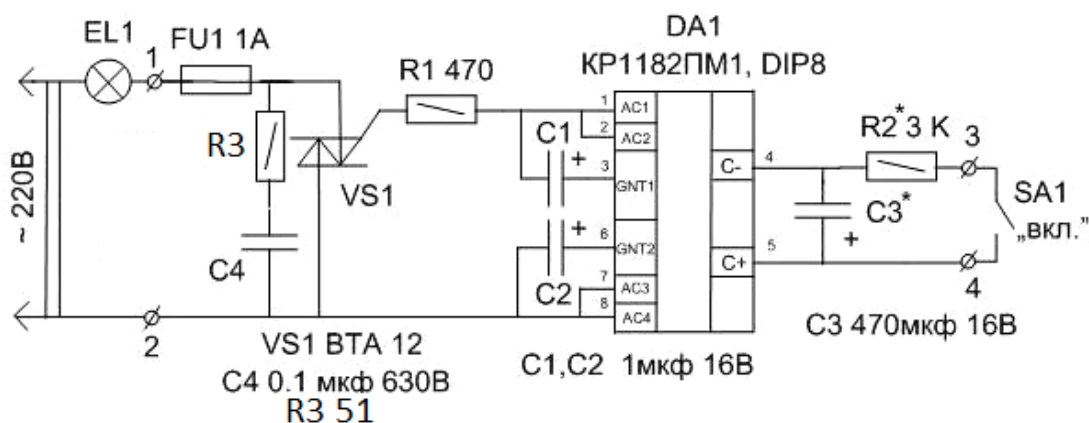


Рис. 1. Схема устройства плавного включения ламп накаливания

Конденсатор C3 и резистор R2 исключены из схемы, на место конденсатора подключен переменный резистор сопротивлением 50 кОм. Симистор BTA12 заменен на симистор BTA16-800CW для увеличения максимального тока нагрузки. Плавкий предохранитель FU1 заменен на автоматический выключатель номиналом 6А, который, одновременно, является сетевым выключателем. Для защиты схемы от помех сети служит конденсатор C4 и резистор R3.

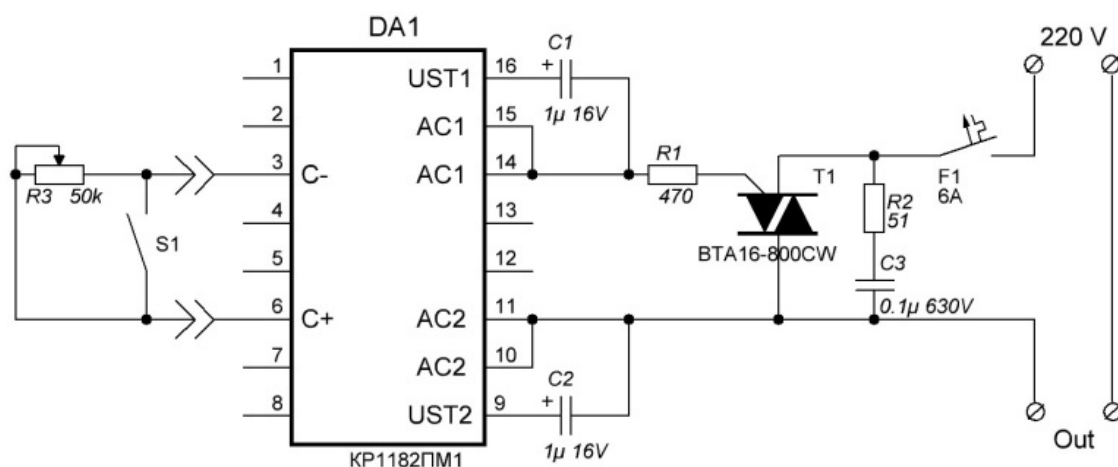


Рис. 2. Схема регулятора мощности

Схема собрана на односторонней печатной плате (рис.3) из стеклотекстолита, толщиной 2 мм, размером 40×80 мм, которая была разработана и изготовлена в домашних условиях.

Было изготовлено 4 экземпляра печатной платы (по одной на каждый канал).

Конструктивно устройство выполнено в виде двух силовых блоков, по 2 канала в каждом и пульта управления в отдельном корпусе. Для соединения блоков между собой и с пультом управления применяется кабель типа

«витая пара» со стандартными 8-контактными разъемами 8P8C. Для подключения питания и нагрузки к силовым блокам применяются 3-контактные силовые разъемы типа АС-3

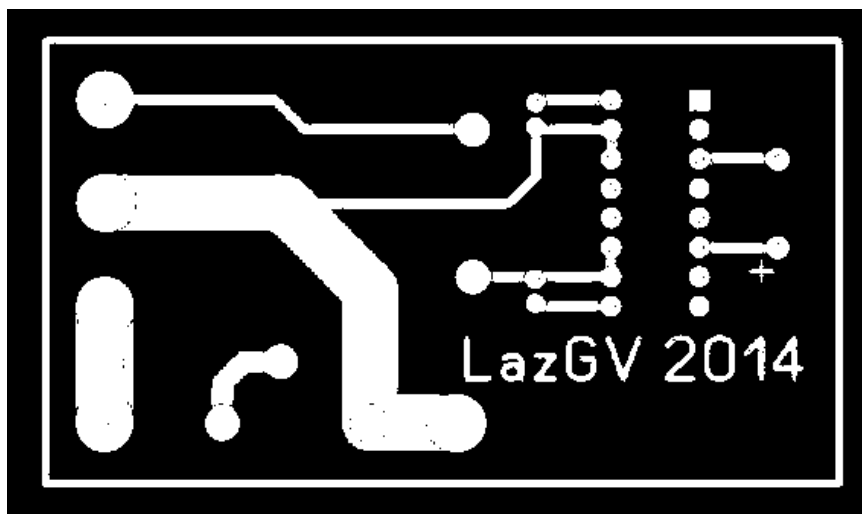


Рис. 3. Печатная плата регулятора мощности

Изготовленное устройство позволило использовать различные световые эффекты на мероприятиях, что сделало их более красочными и выразительными.

Литература

1. <http://cxem.net/electric/electric100.php>

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АМК-2 ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ A DEVICE FOR INCREASING THE STABILITY OF THE AUTO- MATIC WEATHER AMK-2 AT EXTREMELY LOW TEMPERATURE

Г.В. Лазарейт

G.V. Lazareyt

МБОУ СОШ №49 г. Томска
glazareyt@gmail.com

В 2009 г. была осуществлена поставка автоматических метеокомплексов в Федеральное государственное бюджетное учреждение «Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», в т.ч. Томский ЦГМС – филиал ФГБУ «Западно-Сибирское

УГМС». Проведено первое обучение местных технических специалистов специалистами фирмы ЛАНИТ («ЛАборатория Новых Информационных Технологий» – ведущая в России и СНГ многопрофильная группа ИТ-компаний) [1][2].

Новое оборудование было установлено и на метеорологических станциях Томской области. В первую же зиму при температуре воздуха ниже -25°C в работе оборудования появились периодические сбои. Так как мне нравится путешествовать и работать с техникой, то я часто выезжаю с папой (он ведущий инженер-электроник, обслуживает автоматическое метеорологическое оборудование в Томском ЦГМС) в командировки по Томской области на метеорологические станции. В одной из командировок возникла проблема недостаточного тепловыделения штатной системой обогрева бокса, в котором установлено оборудование АМК, и тогда было разработано альтернативное устройство обогрева бокса, которое в последующие годы было усовершенствовано и установлено на метеостанциях Томской области и в течение нескольких лет работает на благо Росгидромета. Вот моя разработка:

1. Первый вариант устройства, собранный в «полевых условиях», из подручных средств. Представлял собой галогенную лампу на 12 В мощностью 20 Вт, установленную в боксе с оборудованием. Ввиду отсутствия в наличии патрона, лампа была соединена с питающими проводами посредством винтовых клеммников, для удержания лампы в определенном положении применялась исключительно жесткость питающих проводов. Для коммутации питания лампы применялся двухполюсный автоматический выключатель. Недостатками данной версии устройства были: неудобство замены лампы, для которого требовалась отвертка и отсутствие индикации перегорания лампы, которое можно было определить только по появлению сбоев в работе комплекса. Несмотря на недостатки, первая версия успешно отработала 2 зимы, в течение которых метеорологический комплекс работал стабильно даже в самые сильные морозы

2. Для устранения недостатков первой версии устройства были сделаны следующие доработки:

3. Для более удобной замены ламп установлен патрон, закрепленный на DIN-рейке при помощи стандартного металлического ограничителя.

4. Для индикации необходимости замены лампы была разработана и изготовлена сигнализация перегорания лампы, состоящая из платы сигнализации, которая также была разработана и изготовлена в домашних условиях, устанавливаемой в боксе возле лампы и индикатора, устанавливаемого на видном месте в помещении наблюдателя. Плата сигнализации подключается параллельно лампе обогрева и представляет собой простейшее фотореле. Сигнал о перегорании лампы передаётся по неиспользуемому проводу в кабеле питания метеорологического комплекса.

Изготовленное устройство было установлено на большинстве метеорологических станций Томской области и обеспечивает бесперебойную работу автоматических метеокомплексов в любых погодных условиях. В январе 2015 года за проделанную работу мне была объявлена благодарность Томским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Литература

1. <http://www.meteorf.ru>
2. <http://www.lanit.ru>

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПРИ ДЕЙСТВИИ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF THE ICE COVER UNDER DETONATION PRODUCTS

В.В. Хомутенко

V.V. Homutenko

ЧОУ «Лицей ТГУ», г. Томск

В настоящее время исследования поведения льда при взрывной нагрузке являются крайне важными, поскольку разрушения ледяного покрова используются повсеместно в различных практических целях. Для обеспечения максимальной безопасности подобных мероприятий, требуется детальное изучение структуры льда в условиях высоких давления и температуры, сопутствующих взрыву. Таким образом, можно убедиться, что экспериментальное исследование взрыва льда является актуальным направлением научной деятельности.

Цель исследования. Изучить действие продуктов детонации на ледяной покров при формировании в нем взрывной майны. **Объект исследования.** Майны, образующиеся в ледяном покрове при взрыве заряда ВВ.

Работа содержит модель-анимацию, созданную с помощью алгоритмического языка C# в среде выполнения Microsoft Visual Studio 2010 Express; фото- и видеоматериалы с мест проведения натурных испытаний (СФО); презентацию, выполненную в Microsoft Office PowerPoint 2013, с применением анимаций, графиков, таблиц и гиперссылок;

Результаты натурного испытания. В результате испытания стало известно, что под действием течения заряд располагается в пространстве не симметрично относительно лунки, а разворачивается по направлению течения. В связи с этим взрывная майна имеет неправильную форму, отличную от окружности.

Вывод. Полученные в ходе испытаний данные не могут быть использованы для изучения поведения льда при высоких нагрузках. Необходимо провести новые испытания с применением дополнительных приспособлений, удерживающих заряд ВВ в вертикальном положении.

ОРГАНИЗАЦИИ – УЧАСТНИКИ АПСМСС-2015

Балтийский федеральный университет им. И. Канта
Военно-технологическая академия им. Я. Домбровского
Государственное автономное учреждение культуры Ярославской области
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
Институт естественных наук Уральского федерального университета
Институт прикладной механики Российской Академии Наук
Культурно-просветительский центр им. В.В. Терешковой
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Национальный Исследовательский Томский политехнический университет
Национальный Исследовательский Московский авиационный институт
National Center of Studies and Integrated Research on Building Engineering
(CNERIB)
Нижевартовский центр по техническому освидетельствованию
оборудования и промышленной экспертизе объектов
Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Томского государственного университета
«Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнёва»
Новосибирский государственный технический университет
Научно-исследовательский Институт Механики Нижегородского университе-
та им. Н.И. Лобачевского
ООО «Саровский Инженерный Центр»
ООО «КузбассСпецВзрыв»
ООО «Академкнига»
Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика
М.Ф. Решетнева
Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Алфавитный указатель

А

Александрова А.Г. 92
Алиев В.Д. 70
Аксенов А.А. 81
Антропов А. 121
Ахметов А.Ж. 36

Б

Врага А. 26
Белов С.В. 38, 40
Бельков А.В. 38, 40
Биматов В.И. 41
Бакеев Р.А. 116
Бакулин Я.Ю. 94
Баранникова С.А. 62
Баурин Н.О. 74
Баранников Е.А. 82, 84
Батурин А.П. 81
Богомолов Г.Н. 10, 27
Бордовицына Т.В. 12
Бармакина В.Д. 96
Бородачева И.А. 41
Бошенятов Б.В. 98
Бочкарёва А.В. 62
Бояркина К.Е. 97
Брендаков Р.В. 103
Буяков А.С. 58
Бычкова О.И. 118

В

Воронин В. 121
Валишевский О.К. 40

Г

Галушина Т.Ю. 90
Говорунов А.Н. 14
Гойко В.Л. 99
Гойко М.Ю. 101
Глазова Е.Г. 52
Григорьев М.В. 76
Гуськов А.В. 43
Гусев И. 31, 121

Д

Данилов В.И. 65
Дедова В.К. 118
Дьячковский А.С. 85

Е

Евсеев Н.С. 48

Ж

Жирнов А.А. 57, 72
Жильцов К.Н. 98
Жуков А.П. 38, 40, 59
Журавлев В.Ю. 94

З

Завьялов Е.Д. 103
Зезюлинский Я.С. 43, 70
Земляк В.Л. 74
Зиновьев А.В. 45
Зиновьева О.С. 47
Золоторев Н.Н. 29, 104

И

Ионова И.А. 104
Ипатов К.И. 79

К

Кравченко Д.С. 10
Кирюшкин А.Е. 49
Князев И.В. 122
Князева А.Г. 111
Кононов Д.С. 50
Кочетков А.В. 52
Козин В.М. 74
Козулин А.А. 70
Котельников Н.Л. 76
Кружка Л.С. 8
Кудрявцев А.Ю. 14
Кудряшова О.Б. 67, 72
Кульков А.С. 36, 58, 59, 61
Кулешов А.А. 31

Крайнов А.Ю. 107, 109
Кухаренко Н.Е. 124

Л

Лазарейт Г.В. 125, 127
Левченко А.В. 10
Лялюхова И.Е. 87
Левков Р. 61
Ли Ю.В. 62
Лукин В.Н. 15

М

Макаров П.В. 116
Маслов Е.А. 104
Матыко К.С. 106
Микушина В.А. 78
Милевский К.Е. 43, 70
Миньков Л.Л. 109
Модин И.А. 54
Михайличенко Ю.П. 19
Мухин Л.Н. 21333
Моисеева К.М. 107, 109

Н

Нарикович А.С. 70

О

Orlov M.Yu. 8, 31
Орлова Д.В. 65
Орлова Ю.Н. 32

П

Павлов М.С. 38, 40
Пономарев В.С. 36
Пономарев С.В. 38, 40, 59
Пономарева М.А. 38, 40, 55
Порязов В.А. 33
Пшеничный А.Д. 68

Р

Романов А.С. 113
Рикун Ю.А. 64
Рыльцев И.А. 112

С

Садохин А.Н. 24
Сайфуллин Э.Р. 111
Саморокова Н.М. 85
Самбаров Г.Е. 88
Северина Н.С. 50
Семенихин А.А. 89
Сёмочкина М.Н. 120
Скрипниченко П.В. 90
Смолин И.Ю. 34
Стаскевич О.С. 65
Стефанов Ю.П. 113
Смолин И.Ю. 36, 106
Сидоров А.Д. 85
Степанов К.А. 56
Степкина М.Ю. 65
Сюсина О.М. 88

Т

Текаева А.А. 124
Турыгина И.А. 52
Томилова И.В. 92
Турубаев Р.Р. 115

Ф

Филина М.П. 55

Х

Хомутенко В.В. 129

Ч

Чекис В.И. 90
Чижов С.Ю. 104

Ш

Шагабутдинов А.А. 90
Шахиджанов В.С. 45
Шендалв Д.О. 40
Щербаков И.В. 116
Шваб А.В. 115

Я

Ярославцев К.В. 90

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	6
-------------------	---

Пленарные доклады

<i>Кружка Л.С., Орлов М.Ю.</i> , Исследование процесса взрывного нагружения льда	9
<i>Богомолов Г.Н., Кравченко Д.С., Левченко А.В.</i> Закрытое Акционерное Общество «Нижевартовский центр по техническому освидетельствованию оборудования и промышленной экспертизе объектов»	11
<i>Бордовицына Т.В.</i> Вековые резонансы в динамике околоземных космических объектов	13
<i>Кудрявцев А.Ю., Говорунов А.Н.</i> Расчет параметров воздушной среды в пассажирском салоне самолета SSJ-100	15
<i>Лукин В.Н.</i> Сопровождение систем и стиль программирования для студентов	16
<i>Михайличенко Ю.П.</i> О физике как о развивающейся науке по материалам научно-методической работы в физкабинете ТГУ	20
<i>Мухин Л.Н.</i> Возможности трудоустройства выпускников вузов физико-математических направлений подготовки	22
<i>Садохин А.Н.</i> Компания «КузбассСпецВзрыв»: Производство взрывных работ	24

Секция 1. Взрывные, детонационные процессы и свойства вещества при высокоэнергетических воздействиях

<i>Brara A.</i> Strain rate effects for concrete in tension	26
<i>Богомолов Г.Н.</i> Исследование поведения ледяного покрова сэндвич структуры при взрывных нагрузках	27
<i>Золоторев Н.Н.</i> Исследование горения смесевых композиций содержащих смешанное металлическое горючее	29
<i>Орлов М.Ю., Кулешов А.А., Гусев Б.С.</i> Некоторые особенности процесса взрывного нагружения известняка	31
<i>Орлова Ю.Н.</i> Исследование процессов взрывного нагружения льда. Часть 2. Подводный взрыв заснеженного пористого льда	32
<i>Порязов В.А.</i> Моделирование горения металлизированных твердых топлив с учетом процессов в газовой фазе	33

Секция 2. Численные методы, алгоритмы, программы и точные решения задач механики сплошных сред

<i>Ахметов А.Ж., Смолин И.Ю., Кульков А.С.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния горных образцов с учётом их структур и горных массивов с неровным рельефом	36
--	----

<i>Белов С.В., Бельков А.В., Жуков А.П., Павлов М.С., Пономарев В.С., Пономарев С.В.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния космического рефлектора с поиском формы отражающей поверхности.....	38
<i>Белов С.В., Бельков А.В., Жуков А.П., Павлов М.С., Пономарев В.С., Пономарев С.В., Валишевский О.К., Шендалев Д.О.</i> Анализ устойчивости зонтичного космического рефлектора и его элементов	40
<i>Бородачева И.А., Биматов В.И.</i> Сверхзвуковое обтекание конуса при вдуве газа через головную часть.....	41
<i>Гуськов А.В., Зезюлинский Я.С., Милевский К.Е.</i> Численное моделирование процесса теплопроводности при высокоскоростном разгоне стального ведущего пояса по каналу артиллерийской установки	43
<i>Зиновьев А.В.</i> Численные исследования деформации и разрушения в материале с пористым покрытием	45
<i>Зиновьева О.С., Шахиджанов В.С.</i> Моделирование деформационного поведения монокристаллов титана в рамках физической теории пластичности	47
<i>Евсеев Н.С.</i> Сравнение моделей турбулентности при расчете аэродинамики в воздушно-центробежном классификаторе	48
<i>Кирюшкин А.Е.</i> Два способа моделирование движущейся поверхности в задачах внутренней баллистики РДТТ.....	49
<i>Кононов Д.С., Северина Н.С.</i> Расчет неравновесного сверхзвукового течения сопле заданной формы	50
<i>Глазова Е.Г., Кочетков А.В., Турыгина И.А.</i> Численное моделирование взаимодействия ударных волн с многослойными проницаемыми преградами с консолидированными или разнесенными слоями.....	52
<i>Модин И.А.</i> Исследование динамических и квазистатических деформационных свойств пакетов плетеных сеток	54
<i>Пономарева М.А., Филина М.П.</i> Циркуляционное течение степенной жидкости в канале одношнекового экструдера	55
<i>Степанов К.А.</i> Анализ генетических алгоритмов по критерию релевантности задаче оптимизации формы элементов летательных аппаратов	56

Секция 3. Исследования новых перспективных материалов в приложениях механики сплошных сред

<i>Буяков А.С., Кульков С.Н.</i> Прочностные параметры в зависимости от структуры и состава композита $ZrO_2(Mg)-MgO$	58
<i>Жуков А.А., Пономарев С.В.</i> Применение акустической эмиссии для выявления дефектов электронных плат	59
<i>Левков Р.В., Кульков С.Н.</i> Влияние водородного охрупчивания на локализацию пластического течения сплава системы $Al-Cu-Mg$	61
<i>Ли Ю.В., Баранникова С.А., Бочкарёва А.В.</i> Методика оценки проницаемости биосовместимых пористых материалов.....	62
<i>Рикун Ю.А.</i> Влияние малых электрических потенциалов на микротвердость меди ...	64
<i>Стаскевич О.С., Орлова Д.В., Данилов В.И.</i> Физико-математическое моделирование воздействия электрического поля на процесс сорбции.....	65
<i>Степкина М.Ю., Кудряшова О.Б., Пшеничный А.Д.</i> Влияние отжига ультрадисперсных плазмохимических порошков на свойства керамики на основе диоксида циркония.....	67
<i>Пшеничный А.Д.</i> Влияние отжига ультрадисперсных плазмохимических порошков на свойства керамики на основе диоксида циркония	68

<i>Алиев В.Д., Нарикович А.С., Козулин А.А.</i> Оценка прочности и циклической долговечности керамики на основе диоксида циркония	70
<i>Жирнов А.А., Кудряшова О.Б.</i> Численный метод и алгоритм в решении задачи восстановления функции распределения частиц аэрозоля по размерам	72
<i>Козин В.М., Земляк В.Л., Баурин Н.О.</i> Экспериментальное исследование возможности всплытия подводных судов в ледовых условиях при ограниченной глубине акватории	74
<i>Котельников Н.Л., Григорьев М.В.</i> Влияние состава горячепрессованных композитов $Al_2O_3 - ZrO_2 - TiC$ на их механические и режущие свойства	76
<i>Микушина В.А.</i> Моделирование упругих свойств перспективных керамик медицинского назначения	78
<i>Ипатов К.И.</i> Влияние схемы армирования на несущую способность ледяного покрова	79

Секция 4. Баллистика и небесная механика

<i>Аксенов А.А., Батулин А.П.</i> Уточнение координат, получаемых по данным спутниковых навигационных систем, с помощью введения степеней весовых коэффициентов	81
<i>Баранников Е.А.</i> Некоторые особенности вероятностного описания движения небесных тел	82
<i>Баранников Е.А.</i> Влияние систематических ошибок на точность построения доверительных областей	84
<i>Дьячковский А.С., Саморокова Н.М., Сидоров А.Д.</i> Исследование износа канала ствола лабораторной баллистической установки	85
<i>Лялюхова И.Е.</i> Человеческий оррерий томского музея науки	87
<i>Самбаров Г.Е., Сюсина О.М.</i> Исследование потенциально опасных астероидов	88
<i>Семенихин А.А.</i> Определение параметров орбит метеоров по одному наблюдению	89
<i>Скрипниченко П.В., Галушина Т.Ю., Шагабудинов А.А., Ярославцев К.В., Чекис В.И.</i> Изучение динамики астероидов с малыми перигелийными расстояниями	90
<i>Томилова И.В., Александрова А.Г.</i> Исследование динамики ИСЗ под действием наложения резонансов различных типов	92

Секция 5. Математическое и физическое моделирование технических и природных систем

<i>Бакулин Я.Ю., Журавлев В.Ю.</i> Построение физической модели пластического течения тонкостенной оболочки	94
<i>Бармакина В.Д.</i> Численное моделирование естественной конвекции вблизи локального источника тепла	96
<i>Бояркина К.Е.</i> Численное моделирование течения неньютоновской жидкости в трубе со скачком сечения	97
<i>Бошенятов Б.В., Жильцов К.Н.</i> Численное моделирование взаимодействия длинных гравитационных волн с двойными преградами	98
<i>Гойко В.Л.</i> Исследование эффективности технологии орепасс на примере использования метода С.К. Годунова	99
<i>Гойко М.Ю.</i> Моделирование турбулентного закрученного течения в вихревой камере и исследование процесса разделения частиц по размерам	101

<i>Завьялов Е.Д., Брендаков Р.В.</i> Моделирование аэродинамики и теплообмена при совместном действии вынужденной и свободной конвекции в рабочей камере реактора	103
<i>Ионова И.А., Маслов Е.А., Золоторев Н.Н., Чижов С.Ю.</i> Экспериментальное исследование гиперзвукового обтекания модельных ПВРД	104
<i>Матыко К.С., Смолин И.Ю.</i> Численное изучение особенностей деформирования и разрушения хрупких пористых материалов при разном типе организации порового пространства и видах нагружения	106
<i>Крайнов А.Ю., Моисеева К.М.</i> Исследование самовоспламенения взвеси полидисперсной угольной пыли в метано-воздушной смеси для двух кинетических схем реакции	107
<i>Крайнов А.Ю., Миньков Л.Л., Моисеева К.М.</i> Моделирование горения бедных метано-воздушных смесей в щелевой горелке с предварительно разогретой внутренней вставкой	109
<i>Сайфуллин Э.Р., Князева А.Г.</i> Моделирование процесса осаждения частиц на поверхности подложки методом решёточных уравнений Больцмана	111
<i>Рыльцев И.А.</i> Численное моделирование течения вязкой жидкости в кубической каверне	112
<i>Романов А.С., Стефанов Ю.П.</i> Влияние распределения давления в трещине гидроразрыва на деформацию в ее вершине	113
<i>Турубаев Р.Р., Шваб А.В.</i> Моделирование аэродинамики закрученного течения в пневматическом центробежном сепараторе	115
<i>Щербаков И.В., Бакеев Р.А., Макаров П.В.</i> Расчет кривых течения сплавов алюминия на основе моделей дислокационной кинетики сдвигов и накопления повреждений в ходе их пластического деформирования	116

Секция 6. «Математика, физика и информатика» для молодых исследователей и учащихся общеобразовательных школ и лицеев

<i>Бычкова О.И., Дедова В.К.</i> Информационно-коммуникационные технологии, применяемые в дистанционном обучении учащихся интернет-лицея ТГУ в рамках физико-математического профиля	118
<i>Сёмочкина М.Н.</i> Что такое математика?	120
<i>Антропов А., Воронин В., Гусев И.</i> Путешествие по планетам с праздничным, физическим приветом	121
<i>Князев И.В.</i> Поиск элементарных частиц со свойствами черных дыр	122
<i>Кухаренко Н.Е., Текаева А.А.</i> Волшебство страны радужных сфер	124
<i>Лазарейт Г.В.</i> Четырехканальный регулятор яркости освещения сцены актового зала	125
<i>Лазарейт Г.В.</i> Устройство для увеличения стабильности работы автоматического метеорологического комплекса АМК-2 при экстремально низких температурах	127
<i>Хомутенко В.В.</i> Исследование поведения ледяного покрова при действии продуктов детонации	129
Организации – участники АПСМСС-2015	131
Алфавитный указатель	132

CONTENTS

Preface	8
----------------------	----------

Plenary session

<i>Kruzskaya L.S., Orlov M.Yu.</i> The investigation of the ice under explosive loading	9
<i>Bogomolov G.N., Kravchenko D.S., Levchenko A.V.</i> Close joint-stock company "Nizhnevartovsk center of technical survey of the equipment and industrial examination of objects"	11
<i>Bordovitsyna T.V.</i> Secular resonances in dynamics of near-earth space objects	13
<i>Kudryavtsev A.Y., Govorunov A.N.</i> Parameters calculating of air environment in passenger cabin in aircraft SSJ-100	15
<i>Lukin V.N.</i> Support and the style of programming for students	16
<i>Mikhailichenko Yu.P.</i> Physics is the developing science that scientific and methodical Work of physics demo room of tsu is showing	20
<i>Mukhin L.N.</i> Opportunities of Employment of graduates - physicists and mathematicians	22
<i>Sadochin A.N.</i> KuzbassSpezVzryv Ltd: Production blasting	24

Session 1. Explosion, detonation phenomena and properties of matter at high-intensive

<i>Brara A.</i> Strain rate effects for concrete in tension	26
<i>Bogomolov G.N.</i> Investigation of the behavior of the ice cover sandwich structure under explosive load	27
<i>Zolotarev N.N.</i> Investigation of combustion of composite compositions containing mixed metal fuel	29
<i>Orlov M.Yu., Kuleshov A.A., Gusev B.S.</i> Some features of explosive loading limestone	31
<i>Orlova Yu.N.</i> Investigation of the processes of explosive loading of ice. Part 2. Underwater explosion porous snow-covered ice	32
<i>Poryazov V.A.</i> Mathematical modeling of metallized solid rocket propellant combustion taking into account processes in gas phase	33

Session 2. Numerical methods, algorithms, codes, and accurate solutions of the continuum mechanics

<i>Akhmetov A.Zh., Smolin I.Yu., Kulikov A.S.</i> Analysis of the rock samples with taking into account their structures and rock massive with irregular relief	36
<i>Belov S.V., Belkov A.V., Zhukov A.P., Pavlov M.S., Ponomarev V.S., Ponomarev S.V.</i> Stress-strain state simulation of space reflectors with form finding of reflective surface	38

<i>Belov S.V., Belkov A.V., Zhukov A.P., Pavlov M.S., Ponomarev V.S., Ponomarev S.V., Valishevsky O.K., Shendalev D.O.</i> Buckling analysis of umbrella – type space reflector and it's elements	40
<i>Borodacheva I.A., Bimatov V.I.</i> The supersonic flow around a cone at blowing gas through the head	41
<i>Guskov A.V. Zezuylinisky Y.C., Milevsky K.E.</i> Numerical simulation of the thermal conductivity at high speed acceleration of steel master belt in gun tube	43
<i>Zinoviev A.V.</i> Numerical investigation of deformation and fracture in a porous-coated material	45
<i>Zinovieva O.S., Shakhijanov V.S.</i> A micromechanical model for the deformation behavior of titanium polycrystals	47
<i>Evseev N.S.</i> Comparison of turbulence models in the calculation of aerodynamics in the air centrifugal classifier	48
<i>Kiryushkin A.E.</i> Two techniques in modelling shifting surface for problems in internal ballistics of solid rocket motors	49
<i>Kononov D.S., Severina N.S.</i> Calculation of nonequilibrium supersonic flow in the nozzle of a given shape	50
<i>Glazova E.G., Kochetkov A.V., Turygina I.A.</i> Numerical modeling of interaction shock waves with multilayer permeable barriers with consolidated or spaced layers	52
<i>Modin I.A.</i> Studies of dynamic and quasi-static deformation properties plaiting pack nets.....	54
<i>M.A. Ponomareva, M.P. Filina</i> Circulatory power-law fluid flow in a single-screw extruder channel.....	55
<i>Stepanov K.A.</i> Analysis of genetic algorithms by the criterion of relevance of the problem of optimization the shape of the elements of aircraft.....	56

Session 3. Investigation of advanced materials in applications of continuum mechanics

<i>Buyakov A.C., Kulikov S.N</i> Strength parameters depending on structure and composition of $ZrO_2(Mg)$ - MgO	58
<i>Zhukov A.A., Ponomarev S.V.</i> The use of acoustic emission for detection defects 55in electronic boards	59
<i>Levko R.V., Kul'kov S.N.</i> Physical and mechanical properties of ceramics obtained aluminum hydroxide.....	61
<i>Li Y.V., Barannikova S.A., Bochkaryova A.V.</i> Effect of hydrogen embrittlement on plastic flow localization of al-cu-mg alloy	62
<i>Rikun Yu.A.</i> The method of assessment of the permeability of biocompatible porous materials	64
<i>Staskevich O.S., Orlova DV., Danilov V.I.</i> The effect of electric potential on copper microhardness.....	65
<i>Stepkina M.Y., Kudryashov O.B.</i> Physical and mathematical modeling of the electric field on the process of sorption	67
<i>Pshenichny A.D.</i> Influence of annealing ultrafine plasma-chemical powders on properties of ceramics based on zirconium dioxide	68
<i>Aliev V.D., Narikovich A.S., Kozulin A.A.</i> Investigation of strength properties and fatigue behavior of oxide zirconia ceramics.....	70
<i>Girnov A.A., Kudryashova O.B.</i> Numerical methods and algorithms in solving problems restoration distribution function aerosol particles in size.....	72

<i>Kozin V.M., Zemlyak V.L., Baurin N.O.</i> Experimental study of possibility of submarine Vessels emerging in the ice conditions	74
<i>Kotelnikov N.L., Grigoriev M.V.</i> Influence of the composition of hot-pressed composites $Al_2O_3 - ZrO_2 - TiC$ on mechanical and cutting properties	76
<i>Mikushina V.A.</i> Modeling elastic properties of advanced ceramics for medical purposes ...	78
<i>Ipatov K.I.</i> Influence of reinforcement schemes on the load bearing capacity of ice	79

Session 4. Ballistics and Celestial mechanics

<i>Axenov A.A., Baturin A.P.</i> Refinement of coordinates obtained from observation of navigational satellites by means of implementation of powers of weight coefficients.....	81
<i>Barannikov E.A.</i> Some features of the probabilistic description of celestial motion.....	82
<i>Barannikov E.A.</i> Influence of systematic errors on the accuracy of creating confidence regions.....	84
<i>Diachkovsky A.S., Samorokova N.M., Sidorov A.D.</i> The research of the wear of the barrel of the ballistic laboratory installation.....	85
<i>Lyalyuhova I.E.</i> The human orrery of tomsk scientific museum	87
<i>Sambarov G.E., Syusina O.M.</i> The investigation of potentially hazardous asteroids.....	88
<i>Semenihin A.A.</i> Orbit determination meteors on one observation.....	89
<i>Skripnichenko P.V., Galushina T.Yu., Shagabutdinov A.A., Yaroslavcev K.V., Chekis V.I.</i> The dynamics investigation of asteroids with small perihelion distances	90
<i>Tomilova I.V., Aleksandrova A.G.</i> Study speakers ISZ under the action of impositions resonance different types	92

Session 5. Mathematical and physical modeling of technical and natural systems

<i>Bakulin J.Iu., Zshuravlev V.Yu.</i> Construction of a physical model of thin shells plastic flow	94
<i>Barmakina V.D.</i> Numerical modeling of natural convection near a local heat source	96
<i>Boyarkina K.E.</i> The numerical simulation of non-newtonian fluid flow through the pipe contraction or expansion.....	97
<i>Boshenyatov B.V., Zhiltsov K.N.</i> Numerical simulation of the interaction of gravitational waves with long double barriers.....	98
<i>Goiko V. L.</i> Study of OpenACC technology efficiency using S.K. Godunov method.....	99
<i>Goiko M.Yu.</i> Modeling of turbulent swirling flow in the vortex chamber and study	101
<i>Zavyalov E.D., Brendakov R.V.</i> Modeling of aerodynamics and heat transfer in the joint action of forced and natural convection in the chamber of the reactor.....	103
<i>Ionova I.A., Maslov E.A., Zolotorev N.N., Chizhov S.Y.</i> Experimental study of hypersonic flow around of model ramjets	104
<i>Matyko K.S., Smolin I.Yu.</i> Numerical study of features of deformation and fracture of brittle porous materials with different pore space type of organization and types of loading.....	106
<i>Krainov A. Yu., Moiseeva K. M.</i> The simulation of the lean methane-air mixtures combustion in a slot burner with preheated inert internal	107
<i>Krainov A. Yu., Minkov L.L., Moiseeva K. M.</i> The simulation of the lean methane-air mixtures combustion in a slot burner with preheated inert internal.....	109
<i>Saifullin E.R., Knyazeva A.G.</i> Simulation of the sputtered particles deposition on the substrate surface using lattice boltzmann method.....	111
<i>Ryltsev I.A.</i> Numerical simulation of viscous flow in a cubic cavity.....	112

<i>Romanov A.S., Stefanov Yu. P.</i> Effect of pressure distribution in the fracture fracturing deformation at its top	113
<i>Turubaev R.R., Shvab A.V.</i> Modelling of aerodynamics of swirled flow in the pneumatic centrifugal separator	115
<i>Scherbakov I.V., Bakeev R.A., Makarov P.V.</i> Calculation of flow curves of aluminum alloys based on the models of dislocation kinetics of damage accumulation, and changes in the course of their plastic deformation.....	116

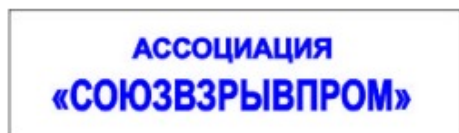
Session 6. Mathematics, physics and computer science for young researchers and students of secondary schools and lyceums

<i>Bychkova O.I., Dedova V.K.</i> Distance work with pupils in physics and mathematics specialization in internet - lyceum of tomsk state university	119
<i>Semeschkina M.N.</i> What is mathematics?	127
<i>Antropov, A., V. Voronin V, Gusev I.</i> Travel on planets with a festive, physical greetings..	121
<i>Knyazev I.V.</i> Searching for elementary particles with properties of black holes	122
<i>Kukhareenko N.E., Tekaeva A.A.</i> Magic rainbow country areas	124
<i>Lazareyt G.V.</i> Four control the brightness of the scene of the assembly hall	125
<i>Lazareyt G.V.</i> A device for increasing the stability of the automatic weather AMK-2 at extremely low temperature.....	127
<i>Homutenko V.V.</i> Investigation of the behavior of the ice cover under detonation products	129

СПОНСОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ



Книжный магазин «Академкнига». Новая литература по различным областям знаний. Учебники для школ и вузов. Постоянное поступление учебников по СИ++. Адрес: г. Томск, Набережная реки Ушайки, 18а, телефон (3822)516036, факс (3822)516036, E-mail: akademkniga@mail.tomsknet.ru



ООО "Кузбасское специализированное управление по производству буровзрывных работ «КузбассСпецВзрыв», производство взрывных работ и доставка взрывных материалов до места проведения взрывных работ. Адрес: Россия, 650905, г. Кемерово, ул. Баха, 15А, Тел/факс (3842) 71-25-34, бухг. 71-25-38, E-mail: ksv158@mail.ru, kuzbassv@mail.ru



Саровский Инженерный Центр
Компания «Саровский Инженерный Центр» является научно-инженерным предприятием, работающим в области современных компьютерных технологий. Специалисты компании имеют многолетний опыт работы в различных отраслях промышленности. Адрес: Нижний Новгород 603005, ул. Б. Покровская, д.20Б Тел: +7(831)4119596, E-mail: nn@saec.ru



Российский Фонд Фундаментальных Исследований (РФФИ)
Адрес: Россия, 119991, Москва, Ленинский проспект, 32а, 20-21 этаж, В-334, ГСП-1. Телефон: (499) 586-00-45, Факс: (495) 938-19-31, <http://www.rfbr.ru>



Российский информационный портал в области науки, медицины, технологии и образования. На платформе аккумулируются полные тексты и рефераты научных статей и публикаций. По состоянию на январь 2014 в базе данных eLIBRARY.ru насчитывается более 15 млн статей. <http://elibrary.ru/defaultx.asp>, 117105, Москва, ул. Нагатинская, д. 1, стр. 14, 1 подъезд, этаж 3.



Совет молодых учёных Томского государственного университета был утверждён приказом ректора ТГУ за № 527 от 13 ноября 2009 г.
Адрес: Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 36
<http://smu.tsu.ru/OSovet>

Научное издание

IV Международная молодежная научная конференция
«Актуальные проблемы современной механики
сплошных сред и небесной механики»
25–27 ноября 2015 г., Томск

Подписано в печать 27.12.2015 г.
Формат 60x84¹/₁₆. Печ. л. 13,1; усл. печ. л. 12,2; уч.-изд. л. 12,4.
Тираж 100 экз. Заказ