



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



**VI Международная молодежная научная конференция
«Актуальные проблемы современной механики
сплошных сред и небесной механики - 2016»
г. Томск, 16–18 ноября 2016 г.**



**VI International Scientific Conference
«Current issues of
continuum mechanics and celestial mechanics – 2016»,
November, 16–18, 2016**

Томск-2016

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» 16–18 ноября
2016 г.: Материалы конференции. Ч. 1 / под ред. М.Ю. Орлова. – Томск. 2016. –
146 с.

ISBN 978-5-7511-2317-8

Представлены материалы конференции молодых ученых «Актуальные проблемы
современной механики сплошных сред и небесной механики», прошедшей 16–
18 ноября 2016 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 14-31-10180 и государственного
задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности №1624*

Публикуется в авторской редакции

ISBN 978-5-7511-2317-8

© Томский государственный университет, 2016

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

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

Члены программного комитета:

Архипов В.А. , профессор, д.ф.-м.н., зав. отд. НИИ ПММ ТГУ	Ищенко А.Н. , профессор, д.ф.-м.н., зам. директора НИИ ПММ ТГУ
Бородовицына Т.В. , профессор, д.ф.м.н, зав. отд. НИИ ПММ ТГУ	Крайнов А.Ю. , профессор, д.ф.-м.н. ТГУ
Биматов В.И. , профессор, зав. кафедрой ФТФ ТГУ	Кульков С.Н. , профессор, д.ф.-м.н. ТГУ
Бутов В.Г. , профессор, зав. отд. НИИ ПММ ТГУ	Масловский В.И. , доцент, директор МЦ ТГУ
Васенин И.М. , Заслуженный деятель науки РФ, д.ф.-м.н., профессор ТГУ	Разоренов С.В. , профессор, д.ф.-м.н., ТГУ
Васильев А.Н. профессор С-Пб. политехнического университета им. Петра Великого	Скрипняк В.А. , профессор, д.ф.-м.н., зав. кафедрой ФТФ ТГУ
Глазырин В.П. профессор, д.ф.-м.н. зав. лаб. НИИ ПММ ТГУ	Шваб А.В. , профессор, д.ф.-м.н., зав. кафедрой ФТФ ТГУ
Орлов М.Ю. к.ф.-м.н., НИИ ПММ ТГУ	Шрагер Г.Р. , профессор, д.ф.-м.н., зав. кафедрой ФТФ 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, Республика Казахстан)
Ахмед Брага (директор RIB, Алжир)
Момчило Милинович (Белградский университет, Сербия)
Аль Карагулай Хуссам Али Халаф (Ди Кар университет, Ирак)
Паскаль Форкью (Университет Ж. Форье, Франция)
Ашрат Икбал (Университет Нью Дели, Индия)
Джонсон Аленгарам (Малайский университет, Малазия)
Абрахам Кристиан (Национальный университет Сингапура, Сингапур)
Юлий Бай (Пекинский технологический университет, Китай)
Александр Фильков (Университет Мельбурна, Австралия)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

Орлов Максим Юрьевич, к.ф.-м.н., научный сотрудник НИИ ПММ ТГУ
Секретари конференции:

Сидоров А.Д., аспирант ТГУ; **Никитась О.С.**, студент 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

VI International Youth Scientific Conference
«Current issues of modern continuum mechanics
and celestial mechanics – 2016»:

Co-Chairs:

Aleksey Lipanov, Ph.D., academician of RAS

Anatoly Glazunov, Ph.D., professor, TSU

Ernst Shrager, Ph.D., professor, TSU

Program Committee Members:

V. Arhipov (RSI AMM), **T. Bordovitsina** (RSI AMM), **V. Bimatov** (TSU),
V. Butov (RSI AMM), **I. Vasenin** (TSU), **A. Vasilev** (SPbPolyTechU), **V. Glazyrin** (RSI AMM), **I. Eremin** (RSI AMM), **A. Ishchenko** (TSU), **A. Kraynov** (TSU), **S. Kul'kov** (TSU), **V. Maslovskiy** (TSU), **S. Razorenov** (TSU),
V. Skripnyak (TSU), **A. Shvab** (TSU), **G. Shrager** (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), **Hussam Ali Khalaf**, PhD Marshes Research Center, University of Thi-Qar (Iraq), **M. Drdlova**, PhD, Research Institute for Building Materials (Czech Republic), **Pascal Forquin**, Prof. Dr., Université Joseph Fourier (France), **Yulie Bai**, Ph.D, Beijing University of Technology (China), **Abraham Christian**, Ph. D. National University of Singapore (Singapore), **U. Johnson Alengaram**, Prof. Dr., University of Malaya (Malasia), **Iqbal M.A. Ph.D. Dr. Indian Institute of Technology Roorkee (India)**, **Al. Filkov**, Ph.D. **The University of Melbourne (Australia)**

Organizing and Technical Committee Members:

M. Orlov (Ph.D., RSI AMM, Committee Chair), **Alex. Sidorov** (TSU Conference Technical Secretary), **N. Savkina**, **A. Kozulin**, **Yu. Ryzhikh**, **E. Borzenko**, **E. Pikushchak**, **S. Kul'kov**, **M. Hmeleva**, **V. Poryazov**, **M. Martsenko**, **N. Chinchikeeva**, **V. Solonenko**, **Al. Zhurmuhambetova**, **D. Kasyrov**, **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: orloff_m@mail.ru

ПРЕДИСЛОВИЕ

16–18 ноября 2016 г. на базе Национального исследовательского Томского государственного университета прошла ежегодная международная молодежная научная конференция «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики». В конференции приняли участие молодые исследователи из России, Казахстана, Украины, Болгарии, Польши, Сербии, Канады и Италии. В России участниками конференции стали молодые ученые из Томска, Москвы, Новосибирска, Барнаула, Н.Новгорода, Казани, Комсомольск-на-Амуре, Биробиджана, Новокузнецка и других городов.

Декан физико-технического факультета профессор Шрагер Э.Р. поприветствовал участников конференции и пожелал плодотворной научной работы. С пленарными докладами выступили представитель ООО «КузбассСпецВзрыв», который рассказ о возможностях компании по производству взрывных работ на огромной территории Сибири. Главный инженер к.т.н. Садохин А.Н. продемонстрировал наиболее интересные работы на тему взрывного нагружения геологических материалов и не исключил сотрудничества в экспериментальных исследованиях. Старший научный сотрудник НИИ прикладной математики и механики Черепанов Р.О. доложил о возможностях вейвлет-преобразований для решения современных задач механики сплошных сред.

Доклад к.ф.-м.н. Бобсуновского А.Б. посвящен гибридной схеме системы мониторинга, в которой на основе измеренных параметров решается обратная задача по определению деформирования несущих конструкций сооружения. Будущим исследователям презентовали новые продукты инновационной компании «Саровский Инженерный Центр». Результаты российско-польских научных исследований озвучены в последнем докладе на тему ударно-взрывного нагружения льда. Презентована новая разработка томских ученых для изучения динамического разрушения конденсированных сред – мобильная лаборатория «Взрывное нагружение природных и геологических материалов».

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. Вопросы теоретической математики,
6. Математическое и физическое моделирование технических и природных систем.

На закрытии конференции выступил академик РАН Липанов А.М., директор Института Механики УрО РАН. Академик рассказал о плодотворной работе по решению практически значимых задач для ракетно-космической отрасли и вручил памятные дипломы за лучшие доклады молодым участникам конференции.

Информация о конференции находится на сайте: <http://ftf.tsu.ru/node/818>

До новых встреч!

Председатель
Программного комитета конференции
Профессор Глазунов А.А.,
Председатель Организационного комитета конференции
К.ф.-м.н., Орлов М.Ю.

PREFACE

16–18 November 2016 at the National Research Tomsk State University hosted the annual International Youth Scientific Conference "Currently issues of modern continuum mechanics and celestial mechanics – 2014". The conference brought together young researchers from Russia, Kazakhstan, Ukraine, Bulgaria, Poland, Serbia, Canada and Italy. In Russia, the conference participants were young scientists from Tomsk, Moscow, Novosibirsk, Barnaul, N.Novogorod, Kazan, Komsomolsk-on-Amur, Birobidzhan, Novokuznetsk and other cities.

Dean of the Faculty of Physical technical prof. Schrager E.R. welcomed the participants and wished good scientific work. Plenary reports made by the representative of "KuzbassSpetsVzryv" ltd., which is the story of the company's ability to manufacture blasting in the vast territory of Siberia. Chief Engineer Ph.D. Sadokhin A.N. demonstrated the most interesting work on the topic of explosive loading of geological materials and did not rule out cooperation in experimental studies. Senior researcher Ph.D. Cherepanov R.O. (Institute of Applied Mathematics and Mechanics at Tomsk State University) reported about the possibilities of wavelet-transforms to solve modern problems of continuum mechanics.

Report Ph.D. Bobsunovskiy A.B. dedicated hybrid circuit monitoring system, which based on the measured parameters solve the inverse problem of determining the deformation structures bearing structures. Future researcher presented new products innovative company "Sarov Engineering Center" ltd. The results of the Russian-Polish research announced in the last report on the subject of shock-explosive loading ice. A new development of Tomsk scientists to study the dynamic fracture of Condensed Matter: mobile laboratory "Explosive loading of natural and geological materials" was presented.

One of the main goals of the conference was to attract and retain the science and innovation of young researchers — the future of Russian science. The conference was held within the framework of six sections:

1. Explosion, detonation, phenomena and properties of matter at high intensive,
2. Numerical methods, algorithms, codes, and accurate solutions of the continuum mechanics,
3. Investigation of advanced materials in applications of continuum mechanics,
4. Ballistics and Celestial mechanics,
5. Aspects of theoretical mathematics,
6. Mathematical and physical modeling of technical and natural systems.

At the close of the conference was attended by Academician Lipanov A.M., director Institut Mechanics UB RAS (Izhevsk). Academician spoke about the fruitful work to address practically significant problems for the space industry and awarded diplomas for the best reports the young participants.

Information about the conference can be found at: <http://ftf.tsu.ru/node/818>

Until next time!

Co-chairman Conference Program Committee
Professor *Glazunov A.A.*
Chairman Conference Organizing Committee
Ph.D., *Orlov M.Yu.*

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

PLENARY SESSION

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИНАМИКИ ОКОЛОЗЕМНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Т.В. Бордовицына

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
tvbord@sibmail.com

Обсуждаются следующие проблемы современной динамики околоземных космических объектов (ОКО): высокоточное моделирование движения объектов с учетом особенностей влияния светового давления; вероятностное описание движения и прогнозирование столкновений объектов в околоземном космическом пространстве (ОКП); исследование динамической структуры ОКП. Современным требованием к прогнозированию движения внеатмосферных ОКО является достижение субсантиметровой точности предсказания пространственных положений объекта. Численные модели движения ОКО способны, в принципе, давать такую точность.

Однако главным препятствием в большинстве случаев становится учет влияния светового давления на движение спутника. Этот возмущающий фактор способен кардинально менять орбитальную эволюцию объектов. Влияние радиационных сил сильно зависит от геометрических и физических свойств поверхности ОКО. Задача построения мгновенной модели освещенной поверхности объекта в настоящее время актуальна как для высокоточного прогнозирования движения действующих космических аппаратов сложной формы, таких как ГЛОНАСС и GPS, так и для объектов космического мусора, имеющих неизвестную, иногда весьма причудливую форму и трехосное вращение вокруг центра масс.

Второй проблемой динамики является вероятностное прогнозирование движения ОКО и предсказание возможных столкновений объектов. По своей сути все модели движения объектов, полученные по наблюдениям, являются вероятностными. Наблюдения, даже самые современные, имеют случайные ошибки. Поэтому параметры движения определяются методом наименьших квадратов, который позволяет получить не столько сами параметры, сколько вероятностный эллипсоид рассеяния в фазовом пространстве параметров, в который эти параметры попадают. Вероятность попадания истинного решения в эллипсоид рассеивания близка к единице при условии малости систематических ошибок в наблюдениях и модели движения. При таком подходе орбитальная эволюция представляет собой эволюцию областей возможного движения объекта.

Области возможных движений рассчитываются как совокупность эволюционирующих орбит многочисленных клонов исследуемого объекта, начальные параметры которых выбраны случайным образом из начального эллипсоида рассеяния. Точность представления тем выше, чем большее число клонов рассматривается. Вероятность столкновения объектов друг с другом оценивается как отношение числа столкнувшихся орбит к общему числу орбит клонов. Для получения надежной оценки нужно рассматривать орбитальную эволюцию не менее 100000 клонов.

Процесс очень трудоемкий и реализуемый только с использованием многопроцессорных вычислительных систем. Поэтому в настоящее время развиваются всевозможные быстрые методы и преобразования, ускоряющие процесс решения.

И, наконец, в последние десятилетия остро встала проблема знания динамической структуры ОКП в целом. Дело в том, что в течение 50 лет ОКП интенсивно пополняется отработавшими космическими аппаратами (КА), последними ступенями ракет-носителей, разгонными блоками и фрагментами, образовавшимися в результате распада объектов на орбите. В настоящее время в околоземном космическом пространстве (ОКП) существует около 20 000 только зарегистрированных и регулярно наблюдаемых космических объектов (КО) размером больше 10 см.

При этом только 7% объектов являются функционирующими КА, остальные относятся к пассивным объектам космического мусора (КМ), которые движутся по законам небесной механики и подчиняются тем динамическим закономерностям, которые характерны для соответствующей области ОКП. Это и делает необходимым знание динамических особенностей отдельных интенсивно используемых областей и всего ОКП. Краткий обзор результатов и перечень нерешенных вопросов по трем перечисленным выше проблемам представлен в настоящем докладе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 15-02-02868

ACTUAL PROBLEMS OF THE DYNAMICS OF NEAR-EARTH SPACE OBJECTS

T.V. Bordovicyna

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
tvbord@sibmail.com

We discuss the following issues of modern dynamics of near-Earth space objects (NEO): High-precision the motion simulation of objects taking into account features of the influence of the light pressure; Probabilistic description of the motion prediction and collision of objects in near-Earth space (NES); The study of the dynamical structure of the NES.

ВОЗМОЖНОСТИ ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ

Л.Н. Мухин

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National research Tomsk state university
cstv@mail.tsu.ru

Для подавляющего большинства молодых людей высшее образование это не самоцель, а инструмент для успешной трудовой деятельности, построения собственной карьеры. Поэтому задумываться о будущем трудоустройстве студент должен, начиная с первых дней первого курса. А возможностей выбора дальнейшей трудовой деятельности за годы обучения будет предостаточно.

В первую очередь университет готовит ученых-исследователей. Серьезное занятие наукой предполагает защиту диссертации и продолжение деятельности на кафедре или в научно-исследовательском или академическом институте. Студентов и аспирантов ТГУ всегда готовы видеть у себя академические институты не только Томского филиала СО РАН, но и институты Новосибирского Академгородка. Все эти институты связывают с ТГУ многолетние научные контакты и многие десятки выпускников, работающие в различных направлениях.

Знакомство с будущим работодателем можно начать через Интернет. На сайте институтов, 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.

Наукой можно заниматься и на промышленных предприятиях, где теснее связь с производством и больше возможностей увидеть результаты своей работы «в железе». На их сайтах также есть вся информация.

Хорошим заделом к будущему трудоустройству является производственная практика. Место практики можно выбрать себе самостоятельно, разослав несколько десятков резюме и сопроводительных писем. Главное условие здесь, конечно, активность самого студента, но большую помощь могут и должны оказывать преподаватели и сотрудники кафедры: очертить круг предприятий, помочь составить первое профессиональное резюме, написать сопроводительное письмо, характеристику.

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, 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, поддержки и развития выпускников, стремясь в короткий срок превратить их в квалифицированных специалистов. В качестве примера можно привести Федеральные ядерные центры ВНИИТФ (г. Снежинск) и ВНИИЭФ (г. Саров), «Информационные спутниковые системы» (г. Железнодорожск) и многие другие.

Другая 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: Предприятие. Да и сами вакансии программиста 1С встречаются очень часто, поэтому эта область тоже может стать возможностью для занятости выпускника – математика.

Кроме собственных сайтов предприятий, в Интернете можно найти множество источников информации о возможностях трудоустройства. В первую очередь это, конечно, специализированные сайты с прямыми вакансиями работодателей. В Томске основными сайтами для поиска работы являются: vacancy-tomsk.ru, tomsk.zarplata.ru, hh.ru. 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 профессиональных 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 professional.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.

OPPORTUNITIES OF EMPLOYMENT OF GRADUATES - PHYSICISTS AND MATHEMATICIANS

L.N. Mukhin

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
cstv@mail.tsu.ru

Presents sources of information about vacancies and future prospects of employment of graduates. A list of companies that employ young professionals.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ С ПОЗИЦИЙ САМООРГАНИЗАЦИИ

Ю.П. Михайличенко

Томский государственный университет
mup@phys.tsu.ru

Образование упорядоченных структур, которые происходят в результате внутренней перестройки системы, не за счет внешнего воздействия, называется самоорганизацией. Самоорганизация – фундаментальное понятие, указывающее на развитие системы в направлении от менее сложных объектов к более сложным и упорядоченным формам организации. В каждом конкретном случае самоорганизация проявляется по-разному, что зависит от сложности и природы изучаемой системы. При этом с одной стороны различают равновесные формы организации, а с другой стороны в особый нелинейно-динамический класс самоорганизующихся структур объединяются практически все физические, химические и биологические структуры, которые раньше принципиально не сводились вместе.

Здесь мы ставим перед собой задачу рассмотреть ряд явлений и процессов из курсов физики, которые получают иную дополнительную трактовку как представители этого нелинейно-динамического класса. В результате такого рассмотрения возможен переход сложных по содержанию физических явлений в более простые учебные курсы.

Очень наглядна в гидродинамике демонстрация дорожки Кармана, которую мы, например, показывали ранее в курсе общей физики лишь как иллюстрацию турбулентного течения. На опыте судить об устойчивости дорожки следует, пожалуй, не по двум парам ближайших вихрей, которые

видны в обычной демонстрационной установке, а по гораздо большему числу вихрей.

В физкабюинете ТГУ демонстрируются ячейки Бенара, которые образуются в слое масла, налитого в круглую металлическую кювету [1]. При нагреве этой кюветы возникает неустойчивость Релея – Тейлора когда теплые слои с меньшей плотностью находятся снизу, а сверху располагаются холодные слои с большей плотностью. В таких условиях возникает конвекция нагретой и холодной жидкостей с возникновением встречных потоков. При достижении параметров, определяемых числом Рэлея, в жидкости формируются ячейки, в центре которых нагретая жидкость поднимается вверх, а холодная жидкость по периферии опускается вниз. При правильной постановке опыта ячейки должны иметь оптимальную форму в виде шестиугольников. Если перемешать жидкость и разрушить возникшую структуру из регулярных шестиугольных ячеек, то через несколько мгновений она возникает снова по всему объему. Так демонстрируется кооперативность, как общая черта процессов самоорганизации.

В образовании ячеек Бенара определенную роль выполняют силы поверхностного натяжения [2]. Объяснение этих сил приводит нас к рассмотрению интересных вопросов об устойчивости мыльной пленки, которые в повседневной жизни обычно не возникают.

Вихри Тейлора образуются в жидкости, находящейся в зазоре между двумя вращающимися коаксиальными цилиндрами. В наиболее простом варианте достаточно вращать один внутренний цилиндр. При таких условиях возникает неустойчивое расслоение жидкости, так как частицы, находящиеся вблизи внутренней стенки, стремятся под действием центробежной силы переместиться в наружные слои. При постепенном увеличении скорости вращения, начиная с какого-то момента, в жидкости возникают правильно чередующиеся вихри в виде торов с правым и левым вращением. Условие возникновения тороидальных вихрей в этом случае выражается числом Тейлора

Следует подчеркнуть, что рассмотренные гидродинамические явления наблюдаются и в огромных размерах в атмосфере Земли

Литература

1. Аржаник А.Р., Михайличенко Ю.П.¹, Сотириади Г. Н. Постановка демонстраций ячеек Бенара и вихрей Тейлора. // Физическое образование в вузах «Серия Б». М.: Изд. Московского физ. общ., 2000, Т. 6, № 4. С. 60–67.
2. Саранин В.А. Равновесие жидкостей и его неустойчивость. Простая теория и доступные опыты. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1995. 173 с.

PHYSICAL PHENOMENA FROM THE VIEWPOINT OF SELF ORGANIZATION

Yu.P. Mikhailichenko

National Research Tomsk State University
mup@phys.tsu.ru

We set ourselves the task to consider a number of phenomena and processes of physics courses that receive other additional treatment as the representatives of the non-linear dynamic class. Bénard convection is one of the most commonly studied convection phenomena because of its analytical and experimental accessibility. Taylor-Couette flow (toroidal Taylor vortices) is frequently studied because it is easy to produce in small closed systems. This phenomenon is beautiful to observe. As a result of this review, a number of complex phenomena can be explained with one position and consider phenomena in simple physics lessons.

МОБИЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «ВЗРЫВНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ». ИТОГИ ПЯТИЛЕТНЕЙ РАБОТЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

М.Ю. Орлов

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
orloff_m@mail.ru

Актуальность исследования поведения природных материалов при динамических нагрузках в настоящее время не вызывает сомнения. Поисковые научно-исследовательские работы по взрывному разрушению материалов постоянно ведутся в различных научных центрах планеты. Это обусловлено многими практическими приложениями. В НИИ прикладной математики и механики на базе отдела Механики деформируемого твердого тела организована мобильная лаборатория «Взрывное разрушение природных материалов». В настоящий момент моб. Лаб. развивается как инициативный проект, основная цель которого является экспресс-анализ поведения природных материалов при взрывных нагрузках.

Мобильная лаборатория (моб. лаб.) была создана как альтернатива американской исследовательской программы ScilcExe, возобновленной в США несколько лет назад. Следует отметить, что объектами исследования помимо льда были природный известняк, и бетон. Около 5 лет назад под руководством автора была проведена первая экспедиция, для изучения заснеженного ледяного покрова средней толщины. В качестве ВВ использовали эмульсионную взрывчатку Эмуласт АС-ФП (Россия). Осуществлен

взрыв ВВ в воде подо льдом (UNDEX). В последующие годы изучены бес-снежный ледяной покров, ледяной покров сэндвич структуры (Снег – Шуга – Лед) и ледяной покров по типу игольчатого льда. Получены диаметры взрывных майн в ледяном покрове, состояние кромки льда и морфология его разрушения. Общая масса подорванного ВВ более 200 кг в тротиловом эквиваленте. Результаты исследований доложены на международной конференции «Полярная механика».

Следующим объектом исследования был природный известняк – твердая горная порода. Проведен ряд взрывных экспериментов по подрыву известняка тремя типами ВВ, в том числе взрывной смесью. Помимо эмульсионного ВВ использовали аммонит ПЖВ-20 и гранулит ГС-5, а также взрывную смесь из данных компонентов. Выявлены профили взрывных кратеров, их приблизительный диаметр, состояние кромки и глубина. Анализ состояния экспериментальных площадок после подрыва позволил установить тип ВВ после которого наблюдалось наибольшее количество мелких осколков (~ 10 см). Общая масса подорванного ВВ ~1500 кг. Результаты исследований доложены на международной конференции по Защитным Системам в Пекине.

Проведение экспериментальных исследований невозможно без нового оборудования. Автором и сотрудниками лаборатории запланирована закупка средств регистрации быстротекущих процессов, сопутствующих взрывному нагружению. Для установления конкретного диаметра разлета осколков необходим квадрокоптер с высокоскоростной камерой. До настоящего момента полученные результаты можно рассматривать как качественные тесты.

Партнерами моб.лаб. является МЧС РФ по ТО и ООО «КузбасСпец-Взрыв».

MOBILE LABORATORY «EXPLOSIVE DESTRUCTION OF NATURAL MATERIALS». RESULTS OF THE FIVE-YEAR STUDYES. DEVELOPMENT PROSPECTS

M.Yu. Orlov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
orloff_m@mail.ru

The mobile laboratory "Explosive Loading of Natural Materials" is created. Ice and granite, limestone were objects of a research. As explosive the Russian standard explosive was used. Diameters and depths of explosive craters and Main are received. Mob. Lab. needs the new equipment, including high speed cameras and quadcopters.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ ТЕЛ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ФОРМЫ

Е.А. Маслов

ФГАОУ ВО НИ ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30
maslov_eugene@mail.ru

Ракетно-прямоточные двигатели (РПД) сочетают достоинства твердотопливных и воздушно-реактивных двигателей. В процессе работы РПД изменяются геометрические характеристики проточного тракта вследствие выгорания твердотопливного заряда. Одним из основных факторов, влияющих на внутрибаллистические характеристики РПД, является закон скорости горения твердого топлива в потоке воздуха. В связи с этим важным этапом при разработке РПД является определение полей температуры, давления и скорости обдувающего потока в проточном тракте двигателя. Математическое моделирование динамики и теплообмена в тракте РПД позволяет получить информацию о структуре потока, о распределении газодинамических параметров по длине канала с учетом изменения его геометрических характеристик вследствие выгорания твердого топлива. Оценка адекватности используемых математических моделей базируется на результатах сравнительного анализа численных и экспериментальных данных, полученных на моделях РПД.

EXPERIMENTAL STUDY OF A SUPERSONIC FLOW OF BODIES AXISYMMETRIC SHAPE

E.A. Maslov

FGAOU VO NI TPU, Rossiya, 634050, g. Tomsk, pr. Lenina, d. 30
maslov_eugene@mail.ru

Rocket ramjet engine (RAP) combines the advantages of solid-fuel, and jet engines. In the process of RAP vary the geometric characteristics of the flow path due to the burnout of the solid charge. One of the main factors affecting the internal ballistics characteristics of the RAP, is the law of the speed of solid fuel combustion in a stream of air. In this regard, an important step in the development of the RAP is to determine the fields of temperature, pressure and purge flow rate in the flow path of the engine. Mathematical modeling of dynamics and heat transfer in the path of the RAP provides information on the flow pattern of the distribution of the gas-dynamic parameters along the channel, adjusting its geometric characteristics as a result of burning solid fuel. Evaluation of adequacy of mathematical models based on the results of the comparative analysis of numerical and experimental data obtained in the RPD model.

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

Session 1
**EXPLOSION AND DETONATION PROCESSES
AND PROPERTIES OF MATTER UNDER HIGH
ENERGY IMPACTS)**

**ИМПУЛЬСНЫЙ НАГРЕВ СРЕДЫ АНСАМБЛЯМИ ПОЛЫХ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ, ИНДУКЦИОННО
НАГРЕВАЕМЫХ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СОЛЕНОИДА**

С.В. Синяев, С.И. Володченко

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский
институт экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ);
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 37
serg_vol666@mail.ru

Представлены результаты математического моделирования процесса нагрева теплопроводной среды ансамблями тонкостенных полых цилиндрических проводников, которые нагреваются вихревыми токами в переменном магнитном поле соленоид. При постановке задачи использованы точные аналитические решения задач сопряженного теплообмена проводников со средой и генерации токов в проводниках при электрическом разряде конденсаторной батареи через соленоид. Анализируется влияние различных параметров проводников, их количества и расположения в соленоиде на эффективность и время нагрева примыкающих к ним слоев среды применительно к задаче многоочагового зажигания метательных зарядов.

**PULSED HEATING of a MEDIUM by ENSEMBLES OF THE HOLLOW
CYLINDRICAL CONDUCTORS INDUCTIVELY HEATED
IN MAGNETIC FIELD OF A SOLENOID**

S.V. Sinyaev, S.I. Volodchenkov

Russian Federal Nuclear Center - All-Russian Research Institute of Experimental Physics (VNIIEF);
607188, Nizhny Novgorod region., Sarov, pr. Mira, 37
serg_vol666@mail.ru

The results of mathematical modeling of induction heating of heat-conducting medium by ensembles of the hollow thin-walled cylindrical conductors heated by Foucault currents in variable magnetic field of solenoid are pre-

sented. Exact analytical solutions of problems of conjugate heat transfer from conductors to medium and electric current generation in the conductors during capacitor bank discharge through solenoid were used for target setting. Effect of different conductors' parameters, their number and position inside the solenoid on efficiency and heating time of adjacent medium layers is analyzed for multi-point throwing charge ignition problem.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДОВ ВВ МАЛОГО ДИАМЕТРА

О.А. Зимоглядова, Л.А. Мержиевский

Новосибирский государственный технический университет;
Российская Федерация, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20
zimogldv@rambler.ru

Современные представления о стационарной детонации взрывчатых веществ (ВВ) основываются на гидродинамической модели Михельсона – Чепмена – Жуге (МЧГ) и её развитию – модели Зельдовича – Неймана – Дёринга (ЗНД). Принципиальными в данных моделях являются гипотезы о стационарности процессов и о плоском фронте детонационной волны. В лабораторных условиях при экспериментальном исследовании особенностей протекания детонационных явлений зачастую используются заряды ВВ относительно малых диаметров и длин, в которых эти гипотезы могут нарушаться. В данной работе численно моделируется процесс детонации малых цилиндрических зарядов малого диаметра и различной длины из взрывчатого вещества Comp В. Для моделирования используется пакет ANSYS AUTODYN 17.0. Анализируется процесс выхода детонационной волны на стационарный режим, формирование устойчивой кривизны фронта детонации, определяется критический диаметр зарядов.

DETONATION MODELING OF SMALL SIZE CHARGE

O.A. Zimoglyadova, L.A. Merzhievsky

Novosibirsk State Technical University;
The Russian Federation, 630073, Novosibirsk, Ave Karl Marx, 20
zimogldv@rambler.ru

In this paper is investigated the dynamics of the output of the detonation process on steady state which is characterized by a constant velocity of the detonation and a constant curvature of the detonation front. The critical diameter of the charge is determined. For modeling package ANSYS AUTODYN 17.0. is used.

СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ ПРЕССОВАННЫХ ТАБЛЕТОК PETN НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ

Г.Э. Иващенко, К.А. Радченко, Е.В. Галкина

Кемеровский Государственный Университет; Российская Федерация,
650046, г. Кемерово, ул. Красная, 6
kriger@kemsu.ru

С высоким временным разрешением исследованы процессы взрывного разложения прессованных таблеток PETN-наночастицы алюминия и никеля при инициировании основной гармоникой неодимового лазера длительностью 14 нс. Исследованы кинетические закономерности допороговых и взрывных режимов разложения образцов, определены эффективные константы наблюдаемого свечения. Сформулированы и исследованы механизмы рассматриваемых процессов, основанные на модели теплового взрыва в микроочаговом варианте. Показано согласие теоретических и экспериментальных результатов. Показано, что критическая температура очага зависит как от длительности импульса, так и от радиуса наночастицы. Получены аналитические выражения для зависимостей критических параметров инициирования реакции от радиуса и теплоемкости металлических наночастиц, критической температуры очага от длительности импульса. Обнаружен инвариант, связывающий критическую плотность энергии и характерное время развития реакции.

SENSITIZATION OF PETN PRESSED PELLETS OF NANOPARTICLES OF METALS

G.J. Ivashenko, K.A. Radchenko, E.V. Galkina

Kemerovo State University; The Russian Federation, 650046, Kemerovo, ul. Red, 6
kriger@kemsu.ru

The explosive decomposition of PETN-aluminum and nickel nanoparticles pressed pellets initiated with the irradiation of 1st harmonics of the neodymium laser, pulse duration 14 ns, was studied experimentally with high temporal resolution. The glow kinetics in the explosion and under-threshold modes was researched into, the effective constants of the glow increasing were determined. The mechanisms of the processes observed based on the thermal hot-spot model of laser initiation were suggested and analyzed. The simulation and experimental results agree well with each other.

СОВРЕМЕННЫЙ ВАРИАНТ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО ВЗРЫВА В МИКРООЧАГОВОМ ВАРИАНТЕ

Н.В. Газенаур, М.В. Ананьева, Е.В. Галкина

Кемеровский государственный университет;
Российская Федерация, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6
kriger@kemsu.ru

В работе рассматриваются основные пути модернизации микроочаговой модели теплового взрыва при нагревании наночастиц в матрице взрывчатого вещества лазерным импульсом. Учитываются: поглощение энергии излучения наночастицей в рамках теории Ми (индивидуальные оптические свойства) и теории переноса излучения (коллективные оптические свойства композита), теплоперенос в системе наночастица – матрица взрывчатого вещества, плавление материалов наночастицы и матрицы, экзотермическое разложение взрывчатого вещества. Учет зависимости оптических свойств наночастиц от радиуса позволило предсказать экстремальную зависимость порога инициирования от радиуса наночастицы, экспериментально обнаруженную в последнее время. Включение в модель эффектов многократного рассеяния света позволяет улучшить согласие теории и эксперимента при сравнении порогов инициирования излучением с различной длиной волны. Учет температурной зависимости оптических свойств наночастиц проявляется в увеличении сечения поглощения и уменьшении коэффициента освещенности в образце с ростом температуры. При учете плавления происходит увеличение рассчитанного значения критической плотности энергии инициирования. В случае большого радиуса наночастиц появляется необычный режим развития процесса: формирование очага реакции происходит до полного расплавления наночастицы, что может приводить к наличию участка его затвердевания до перехода к взрывному режиму.

THE MODERN VERSION OF THE MODEL OF THERMAL EXPLOSION IN A HOT-SPOT OPTION

N.V. Gazenaur, M.V. Anan'eva, E.V. Galkina

Kemerovo State University; The Russian Federation, 650043, Kemerovo, ul. Red, 6
kriger@kemsu.ru

The main ways of the thermal explosion hot-spot model modernization in the conditions of nanoparticles' laser heating in the explosive's volume are discussed. The energy absorption by individual nanoparticles in terms of Mie theory and radiative transport theory (collective optical properties of the composite), heat transport in the system nanoparticle – explosive's matrix, nanoparticles' and explosive's melting and explosive's exothermal decomposition are taken into account. The nanoparticles' optic properties in the dependence on

their radius consideration allowed us to predict the extremal dependence of the radius on the critical energy density of the laser pulse that was discovered experimentally recently. The introduction of the multiple light-scattering effects gives better agreement of the theoretical and experimental values of the explosion initiation threshold at different laser wavelength. The melting leads to the augmentation of the calculated critical energy density of laser initiation.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ РЕАЛИЗАЦИИ ЦЕПНОГО И ТЕПЛОВОГО ВЗРЫВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Н.В. Газенаур, М.В. Ананьева, А.А. Звекон

Кемеровский государственный университет; Российская Федерация,
650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6
kriger@kemsu.ru

В работе проведено сравнительное экспериментальное и теоретическое исследование процессов инициирования монокристаллов азида серебра (АС) и прессованных таблеток тетранитрата пентаэритрит (тэн) – наночастицы металлов импульсом неодимового лазера. Основные отличия взрывного разложения образцов связаны с отсутствием индукционного периода и наличием допороговых эффектов инициирования композитов на основе тэна. При инициировании монокристаллов АС, наоборот, всегда наблюдается индукционный период и отсутствуют допороговые эффекты.

Показано, что наблюдаемые экспериментальные различия закономерностей взрывного разложения связаны с тем, что в монокристаллах АС реализуется механизм цепного, а прессованных образцах тэн – наночастицы металлов – теплового взрыва в микроочаговом варианте. Проведенные в рамках существующих модельных представлений расчеты кинетики инициирования реакции согласуются с экспериментом.

Сформулированы экспериментальные критерии, позволяющие различить проявления механизмов цепного и теплового (в микроочаговом варианте) инициирования взрыва в условиях импульсного лазерного воздействия, согласно которым отсутствие индукционного периода и выраженное проявление допороговых эффектов является следствием развития теплового взрыва, а наличие индукционного периода и отсутствие допороговых эффектов – цепного взрыва.

EXPERIMENTAL PERFORMANCE CRITERIA OF CHAIN AND THERMAL EXPLOSION OF ENERGETIC MATERIALS BY PULSED LASER RADIATION

N.V. Gazenaur, M.V. Anan'eva, A.A. Zvekov

Kemerovo State University; The Russian Federation, 650043, Kemerovo, ul. Red 6
kriger@kemsu.ru

The comparative experimental and theoretical study of the silver azide (SA) single crystals and pentaerythritol tetranitrate (petn) pressed pellets initiated with neodymium laser pulse was carried out. The experimental criterions allowing one to discern the appearance of thermal hot-spot and chain branching mechanisms were suggested. According to them, the absence of the time delay and apparent under-threshold effects are typical for thermal explosion, while the significant time delay and the absence of the under-threshold effects are key features of the chain branching explosion.

РЕЗОНАНСНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ПАЛЛАДИЯ В ПРОЗРАЧНЫХ МАТРИЦАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Н.В. Газенаур, М.В. Ананьева, Е.В. Галкина

Кемеровский государственный университет;
Российская Федерация, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6
kriger@kemsu.ru

В работе рассчитаны спектральные закономерности коэффициента эффективности поглощения наночастиц палладия различного радиуса в прозрачных матрицах с показателями преломления 1, 1.5, 2 и 2.5. Показано, что плазмонный резонанс в наночастицах палладия в видимой части спектра возможен в двух последних матрицах. При этом максимальное значение коэффициента эффективности поглощения в матрице с показателем преломления 2 составляет 2.9224 для радиуса наночастицы 20.3 нм и длины волны 430 нм.

Результаты необходимы для оптимизации эффективности фотокатализа дожигания выхлопных газов и создания оптического детонатора.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (16-32-00286мол_a).

RESONANT ABSORPTION OF PALLADIUM NANOPARTICLES IN TRANSPARENT MATRICES WITH DIFFERENT REFRACTIVE INDICES

N.V. Gazenaur, M.V. Anan'eva, E.V. Galkina

Kemerovo State University; The Russian Federation, 650043, Kemerovo, ul. Red 6
kriger@kemsu.ru

In this work the spectral dependence of the absorption efficiency coefficient of palladium nanoparticles with different radii in transparent matrices with refractive indices of 1, 1.5, 2 and 2.5 was calculated. It is shown that the plasmon resonance in palladium nanoparticles in the visible part of the spectrum possible in the last two matrices. The maximum value of the absorption efficiency coefficient in the matrix with a refractive index of 2 is 2.9224 for the radius of the nanoparticle 20.3 nm and the wavelength of 430 nm. For optimize the efficiency of photocatalysis afterburning of exhaust gases and the creation of optical detector these results are necessary. The work is executed at support of RFBR (16-32-00286mol_a).

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА

А.П. Никитин

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН;
Российская Федерация, 650000, г. Кемерово, пр. Советский, 18.
palich-xumuk@yandex.ru

Целью настоящей работы является расчет температурных зависимостей коэффициентов эффективности поглощения и рассеяния света наночастиц золота в матрицах бромида калия при варьировании радиуса и длины волны. Температурные зависимости показателей преломления наночастицы и матрицы выбирались в виде набора Лоренцевских осцилляторов, к которым добавлялось слагаемое, описывающее взаимодействие света с газом свободных электронов металла. Рассчитаны спектральные зависимости коэффициентов эффективности поглощения и рассеяния электромагнитного излучения наночастицами золота с радиусами от 10 до 150 нм при температурах 300–1000 К. Повышение температуры во всех случаях приводит к понижению коэффициента эффективности рассеяния света наночастицами золота. В случае малых наночастиц коэффициент эффективности поглощения в области плазмонной полосы поглощения уменьшается с ростом температуры. В остальных случаях рост температуры приводит к увеличению коэффициента эффективности поглощения. Проанализировано влияние изменения показателя преломления матрицы на температурные зави-

симости коэффициентов эффективности поглощения и рассеяния света наночастицами золота. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментом.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (16-32-00286мол_а), гранта президента РФ (МК-4331.2015.2) и Министерства образования и науки РФ (НИР № 3603 по заданию №64/2014).

THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE OPTICAL PROPERTIES OF GOLD NANOPARTICLES

A.P. Nikitin

Federal Research Centre Coal and Coal Chemistry of SB RAS;
The Russian Federation, 650000, Kemerovo, etc. The Soviet, 18.
palich-xumuk@yandex.ru

The target of the present work is to calculate the temperature dependencies of gold nanoparticles' in potassium bromide matrix scattering and absorption efficiencies with variation of wavelength and nanoparticles' radius. The spectral dependencies of absorption and scattering efficiencies of electromagnetic radiation by gold nanoparticles with radii from 10 to 150 nm in the temperature range 300–1000 K were calculated. It was elucidated that temperature increasing makes the scattering efficiency of gold nanoparticles decrease. This effect was observed in the entire range of radii and wavelengths studied. The absorption efficiency decreases as temperature rises for small particles in the area of plasmon resonance absorption. In other conditions the temperature augmentation causes the absorption efficiency increasing. The maximal relative increasing of the gold nanoparticles' absorption efficiency is observed in the infrared region where the albedo of single scattering is close to unity.

КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МИКРООЧАГОВОЙ МОДЕЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДЛИТЕЛЬНОСТЯХ ИМПУЛЬСА

А.П. Никитин

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН;
Российская Федерация, 650000, г. Кемерово, пр. Советский, 18
palich-xumuk@yandex.ru

В рамках микроочаговой модели проведены расчеты критерия инициирования составов азид свинца – свинец и PETN-наночастицы кобальта при варьировании длительности импульса. В рамках модернизированной микроочаговой модели показано, что учет эффективности поглощения приводит к изменению критерия инициирования взрывного разложения при малых длительностях импульса. Им, в соответствии с экспериментом, стано-

вится плотность энергии импульса. При длительностях импульса менее 50 нс радиус наиболее прогретой наночастицы свинца изменяется менее чем на 15% и составляет 63 нм в пределе коротких длительностей импульса. В случае наночастиц кобальта в матрице PETN радиус наиболее прогретой наночастицы при $t_i \rightarrow 0$ равен 85 нм (на основной гармонике неодимового лазера), что незначительно меньше радиуса наночастицы, поглощающей лазерное излучение используемой длины волны (1064 нм) с наибольшей эффективностью. Следовательно, в пределе малых длительностей импульса очаг взрывного разложения образуется на наночастицах с достаточно большим радиусом, а не стремящимися к 0. Сделан вывод, что учет зависимости коэффициента эффективности поглощения от радиуса наночастицы является достаточным для разрешения «парадокса малых частиц».

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 14-03-00534 А), гранта президента РФ (МК-4331.2015.2) и Министерства образования и науки РФ (НИР № 3603 по заданию №2014/64).

THE CRITICAL PARAMETERS OF THE HOT-SPOT MODEL AT VARIOUS DURATIONS OF THE PULSE

A.P. Nikitin

Federal Research Centre Coal and Coal Chemistry of SB RAS;
The Russian Federation, 650000, Kemerovo, etc.. The Soviet, 18.
palich-xumuk@yandex.ru

In terms of the micro hot-spot model the criterion of initiation compositions lead azide – lead nanoparticles and pentaerythritol tetranitrate (PETN) – cobalt nanoparticles were calculated. It was shown that the incorporation of the absorption efficiency coefficient dependence on the nanoparticles' radius changes the initiation criterion in the limit of the short pulse durations. This criterion becomes the critical energy density matching the experimental results. At the pulse durations less than 50 ns the radius of the optimally heated lead nanoparticles is varied in less than 15% and achieves 63 nm in the limit of the short pulse durations. In the case of cobalt nanoparticles in PETN the radius of the optimally heated nanoparticle in the limit $t_i \rightarrow 0$ is 85 nm (on the main wavelength of the neodymium laser) which is slightly less than the radius of the nanoparticle most effectively absorbing the laser irradiation of the same wavelength. Therefore, in the limit of low pulse durations hearth explosive decomposition is formed by nanoparticles with a sufficiently large radius, while not tending to 0. It is concluded that consideration of dependency of the absorption efficiency coefficient of the radius of nanoparticles is sufficient to eliminate the "paradox of small particles". The work is executed at support of RFBR (№ 14-03-00534 А), grant of President of RF (МК-4331.2015.2) and the Ministry of education and science of the Russian Federation (research project No. 3603 task No. 2014/64).

МИКРООЧАГОВАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО ВЗРЫВА С УЧЕТОМ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

А.П. Никитин

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН;
Российская Федерация, 650000, г. Кемерово, пр. Советский, 18
palich-xumuk@yandex.ru

Одним из эффектов, оказывающих влияние на процесс лазерного инициирования, является световой режим в объеме взрывчатого вещества, вызванный многократным рассеянием света. Цель работы: расчет коэффициентов освещенности и критической плотности энергии инициировании взрывного разложения компаундов PETN-наночастицы алюминия при учете процессов многократного рассеяния света. Расчеты проведены при двух значениях длины волны 1064 и 532 нм, соответствующих первой и второй гармоникам неодимового лазера. Радиусы наночастиц варьировались в диапазоне 20–200 нм. Показано, что минимум на зависимости плотности энергии инициирования взрывного разложения от массовой доли наночастиц может определяться оптимальной освещенностью в образце. Учет многократного рассеяния позволяет улучшить согласие теоретических оценок и результатов эксперимента и необходим при сравнении условий инициирования компаундов на основе прозрачных взрывчатых веществ с наночастицами металлов излучением различной длины волны.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (16-32-00286мол_а) и Министерства образования и науки РФ (НИР № 3603 по заданию №64/2014).

THE HOT-SPOT MODEL OF THERMAL EXPLOSION WITH ACCOUNT FOR MULTIPLE LIGHT SCATTERING

A.P. Nikitin

Federal Research Centre Coal and Coal Chemistry of SB RAS;
The Russian Federation, 650000, Kemerovo, etc.. The Soviet, 18.
palich-xumuk@yandex.ru

One of the effects influencing the laser initiation is the irradiation mode in the explosive's volume that formed by multiple scattering. The aim of the present work is to calculate the optic properties including the radiance increasing factor and critical energy densities of PETN-aluminum nanoparticles explosion initiation considering the multiple scattering influence. The calculations were performed at the wavelength 1064 and 532 nm matching the first and second harmonics of the neodymium laser. The nanoparticles' radii were varied in the range 20–200 nm. The multiple scattering consideration allows one to improve the agreement between theory and the experiment. The effect is essential when

one compares the critical laser initiation conditions of transparent explosives containing metal nanoparticles at different wavelength.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ ГАДФИЛЬДА ПОСЛЕ НИЗКОСКОРОСТНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И ОБРАБОТКОЙ ВЗРЫВОМ

А.В. Гуськов, А.С. Долматов, К.Е. Милевский, Ю.П. Яковлева

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
al.dolmatow88@yandex.ru

В статье проводится анализ изменения механических свойств стали Гадфильда после различных способов обработки. Методы обработки классифицированы на высокоскоростные и низкоскоростные (до и выше скорости звука). Изучены механические свойства стали после низкоскоростных обработок, таких как термомеханическая, ковка, накатка. Исследованы механические свойства высокоскоростной обработки после ударно-волнового нагружения (упрочнение взрывом).

MECHANICAL PROPERTIES OF HADFIELD STEEL AFTER LOW SPEED METHOD FOR PROCESSING AND HANDLING EXPLOSION PRESSURE

A.V. Gusikov, A.S. Dolmatov, K.E. Milevskiy, Yu.P. Yakovleva

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, g. Novosibirsk,
pr. Chastised Marksa, 20
al.dolmatow88@yandex.ru

The article analysis of changes in the mechanical properties of Hadfield steel after the various processing methods. Processing methods classified on high-speed and low-speed (up to and above the speed of sound). The mechanical properties of the low-speed steel after treatments, such as thermo-mechanical forging, knurling. The mechanical properties of high-speed processing after shock-wave loading (hardening of the explosion).

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДРЫВА ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ЭМУЛЬСИОННЫМ ВВ

М.Ю. Орлов, Б.С. Гусев

Национальный исследовательский
Томский государственный университет
orloff_m@mail.ru

В настоящее время актуальным является исследование поведения природных, технологических и конструкционных материалов при взрывном нагружении. Очевидно, что практическая значимость объясняется разработкой новых средств защиты и поражения. Анализ научно-технической литературы указывает на то, что поисковые научно-исследовательские работы предметом которых является разрушение тел при взрывном нагружении, постоянно ведутся в ведущих мировых научных центрах, в том числе в нашей стране.

В Томском государственном университете на базе лаборатории 21 НИИ прикладной математики и механики организована мобильная лаборатория «Взрывное разрушение природных материалов». В настоящий момент лаборатория имеет статус инициативного проекта. Лаборатория организована три года назад и развивается как аналог американской исследовательской программы “SciIceExe”. При этом отечественный аналог не ограничивается только льдом как объектом исследования. В последнее время были изучены известняк и крупногабаритные тела вращения. Партнерами лаборатории являются МЧС РФ по Томской Области и ООО «Кузбас-СпецВзрыв».

Основные возможности моб. лаб. – это экспресс-анализ поведения объектом исследования при взрывном нагружении, в том числе диаметр взрывных майн, состояние кромки кратеров взрыва, диаметр и высота разлета осколков, морфология разрушения (размеры и форма осколков). Результаты исследований можно использовать как качественные тесты при апробации разрабатываемых средств математического моделирования.

В настоящей работе разработано удерживающее устройство для подрыва речного льда средней толщины эмульсионным зарядом ВВ. Устройство позволяет располагать заряд перпендикулярно ледяному покрову на глубину до 50 см. В качестве заряда можно использовать штатное ВВ (Эмуласт Ас-ФП-90) массой 4, 6 кг соответственно. Диаметр лунки варьируется от 11 до 16 см.

AN APPARATUS FOR BLASTING ICE EMULSION EXPLOSIVES

M.Yu. Orlov, B.S. Gusev

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
orloff_m@mail.ru

An apparatus for blasting ice by emulsion explosives have been developed. The device allows located explosives perpendicular to the ice cover. Explosive depth can reach 50.

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ РЕЖИМЫ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО ОБОГРЕВАЕМОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОЛОСТИ

С.А. Михайленко, М.А. Шеремет

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
stepanmihaylenko@gmail.com

Целью настоящей работы является анализ влияния вращения на режимы смешанной конвекции в замкнутой квадратной области с изотермическими противоположными стенками. Изучение влияния вращения на конвективное движение дополняется исследованием временной зависимости числа Нуссельта на изотермических стенках при различных значениях внешних параметров. Сформулирована вычислительная модель решаемой задачи. Было получено достаточно хорошее сравнение распределений температуры и изолиний функции тока с экспериментальными и численными данными других авторов. Проведен численный анализ при следующих значениях безразмерных комплексов, характеризующих режимы конвективного теплопереноса: $Ra = 120000$; $Pr = 0.7$; $Ta = 101023$. Были получены изолинии функции тока и изотермы при углах поворота $\varphi = 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315^\circ$. В результате моделирования конвективного теплопереноса в полости была исследована интенсивность теплообмена на изотермических стенках. Так же было установлено, что вращение рассматриваемой полости системы приводит к периодическому изменению среднего числа Нуссельта при числе оборотов > 4 .

MIXED CONVECTION IN A DIFFERENTIALLY HEATED ROTATING ENCLOSURE

S.A. Mikhaylenko, M.A. Sheremet

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
stepanmihaylenko@gmail.com

Convective heat transfer in rotating cavities is a wide-spread process in various engineering applications. The objective of the present work is a numerical analysis of fluid flow and heat transfer within rotating cavity having isothermal opposite walls. The formulated governing equations with corresponding initial and boundary conditions have been solved by finite difference method.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ ЛЬДА.

ЧАСТЬ 3. ВЗРЫВ ЭМУЛЬСИОННЫХ ЗАРЯДОВ ВВ (>10 кг ТНТ)

Ю.Н. Орлова

Томский политехнический университет
orlovaun@mail.ru

В настоящее время исследование поведения льда при взрывных нагрузках является актуальной и сложной научно-технической задачей. Актуальность обусловлена многочисленными практическими приложениями, а сложность тем, что выбранный объект исследования является малоизученным природным материалом. Отклик льда на взрывные нагрузки не всегда может быть однозначным и требует подробного рассмотрения. Текущие исследования являются развитием кандидатской авторской диссертации «Комплексное теоретико-экспериментальное исследование процессов взрывного нагружения льда». Под развитием следует понимать получение новых экспериментальных данных для разрабатываемой реляционной базы данных. Постановка эксперимента, место проведение эксперимента и тип ВВ не меняются более 5 лет. В англоязычной литературе аналогичные эксперименты называются UNDEX.

В настоящей работе проведены полномасштабные эксперименты по подрыву речного льда средней толщины эмульсионным зарядом ВВ. В качестве ВВ использовалось эмульсионное штатное ВВ Эмуласт АС-ФП-90 (Россия). Конструкция ВВ состояла из трех зарядов, расположенных параллельно ледяному покрову (тротиловый эквивалент –10 кг). Специального удерживающего устройства не было.

Научная ценность работы заключается в сравнение результатов экспериментов подрыва игольчатого льда и льда сэндвич структуры (Снег –

Шуга – Лед). Предметом сравнения являлся диаметр взрывной майны в ледяном покрове (в обоих случаях форма взрывной майны близка к окружности), кромка льда (ступенчатая или гладкая) и морфология разрушения льда (форма осколков льда).

Результаты получены в форме таблицы и видеоматериалов. Работа проведена средствами моб. лаб. «Взрывное разрушение природных материалов» при поддержке МЧС РФ по Томской Области и ООО «КузбасСпецВзрыв».

INVESTIGATION OF EXPLOSIVE LOADING OF ICE. PART 3. THE BLAST UP OF (>10 kg OF TNT)

Yu.N. Orlova

Tomsk Polytechnical University
orlovaun@mail.ru

The results of systematic studies of explosive loading of ice were presented. We compare the results blasting needle ice and ice sandwich structure. HE weight was 10 kg of TNT. The subjects of comparison were the diameter of the lane in ice cover, ice edge and fracture morphology of both types of ice.

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

ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ
КОЛЕБАНИЙ УПРУГОГО СТЕРЖНЯ: РАЗРЕШИМОСТЬ
НАЧАЛЬНО-КРАЕВЫХ ЗАДАЧ И ИХ ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ

С.С. Орлов

Иркутский государственный университет; Российская федерация,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1
orlov_sergey@inbox.ru

Предполагаемый доклад посвящен результатам исследования вопроса однозначной разрешимости начально-краевых задач для линейного уравнения Буссинеска–Лява в интегро-дифференциальной форме, моделирующего продольные колебания упругого стержня с учетом инерции и массовой нагрузки. Рассматриваются два краевых режима: жесткое закрепление концов стержня и их свободное (незакрепленное) состояние. Изучаемый объект является уравнением соболевского типа, т.е. имеет при старшей производной по времени линейный дифференциальный оператор по пространственной переменной, необратимый при определенных значениях входящих в него параметров. Условия разрешимости начально-краевых задач для таких уравнений не укладываются в утверждения классических теорем, в связи с чем возникает необходимость разработки теории, позволяющей доказывать существование и единственность решений, и эффективных методов их построения. Предлагается редукция рассматриваемых задач к начальной задаче для интегро-дифференциального уравнения специального вида в банаховых пространствах. Последняя изучается методами теории фундаментальных оператор-функций вырожденных интегро-дифференциальных операторов, которая позволяет доказывать существование и единственность решений начальной задачи в классах распределений с ограниченным слева носителем и функций сильной гладкости, а также строить эти решения в явном виде. Условия однозначной разрешимости исходных начально-краевых задач и их точные решения вытекают как следствия из общих теорем.

INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION OF LONGITUDINAL OSCILLATIONS OF AN ELASTIC ROD: THE SOLVABILITY OF INITIAL BOUNDARY VALUE PROBLEMS AND THEIR EXACT SOLUTIONS

S.S. Orlov

Irkutsk State University; The Russian Federation,
664003, Irkutsk, ul. Karl Marx 1
orlov_sergey@inbox.ru

Expected report is devoted to the study of the unique solvability of initial boundary value problems for linear Boussinesq–Love equation in integro-differential form. This equation describes the longitudinal oscillations of an elastic rod taking into account of the inertia and mass load. We consider two boundary regimes: rigid fixation rod ends and their free (unfixed) state. Object of learning is an equation of Sobolev type, i. e. it has in the main part an irreversible linear differential operator in spatial variable. The classical theorems of the solvability of initial boundary value problems are inapplicable in this case. Thus, there is a need to the theorems of existence and uniqueness of solutions, and also effective methods for their construction. We offer a reduction of these problems to the initial problem for integro-differential equations of a special kind in Banach spaces. The abstract initial problem is studied by the methods of the theory of fundamental operator-functions of singular integro-differential operators. The unique solvability of the initial value problem in classes of distributions with left-bounded support and functions of strong smoothness is proved; explicit formulas of solutions are obtained. As a consequence of these statements the similar theorems for the original initial boundary value problems are formulated.

МОНОТОННЫЙ МЕТОД ЧАСТИЦ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С УЧЁТОМ УПРУГОПЛАСТИКИ И ГОРЕНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Ю.В. Янилкин, В.А. Шмелёв

РФЯЦ ВНИИЭФ ИТМФ г. Саров
Vovy-13@yandex.ru

Проблема корректного расчёта движения многокомпонентной среды является наиболее серьёзной для лагранжево-эйлеровых методик. Одним из способов решения данной проблемы является использование метода частиц. Достоинства этого метода связаны с лагранжевым представлением частиц и возможностью хранения информации о среде в них, что позволяет минимизировать погрешности эйлеровых методов, связанные с решением уравнения адвекции. Основным недостатком метода частиц является

сильная немонотонность решения, связанная с дискретным переносом величин, отнесённых к частицам, из ячейки в ячейку. Процессы горения (в том числе и детонация) взрывчатых веществ и упругопластика представляют собой важные с практической точки зрения явления, требующие точного описания при численном моделировании ударноволновых течений, особенно при использовании неподвижных счётных сеток. В настоящей работе предлагается монотонный метод частиц, в котором решены проблемы, связанные с немонотонностью классических методов частиц. Реализация метода ММЧ осуществлена в рамках кода ЭГАК. Монотонность рассматриваемого метода частиц обеспечивается путём дробления частиц таким образом, чтобы вытекающий из ячейки объём соответствовал объёму, получающемуся при вычислении сеточным методом. Также приводится дальнейшее развитие монотонного метода частиц для расчёта задач с использованием кинетики горения взрывчатых веществ по модели Морозова и соавторов (МК) и учётом упругопластических свойств материалов.

Проведён ряд тестовых расчётов, результаты которых свидетельствуют о том, что монотонный метод частиц может успешно применяться для решения описанных выше классов задач.

MONOTONOUS PARTICLE METHOD FOR SOLVING 2D GAS-DYNAMIC PROBLEMS WITH ELASTICITY AND DETONATION OF EXPLOSIVE MATERIALS

Yu.V. Yanilkin, V.A. Shmelev

VNIIEF Sarov ITMF

Vovy-13@yandex.ru

The problem of correct solving the movement of the multi-component matter is the most serious for the Lagrangian-Eulerian methods. One way of solving this problem is the use of particle method. The advantages of this method are associated with the Lagrangian representation of the particle and the ability to store information about the matter in them, which minimizes the errors of the Euler methods associated with the solution of the advection equation. The main disadvantage of particles is the strong unmonotonicity of results associated with discrete transfer quantities related to the particles from cell to cell. In this paper we propose a monotonous particle method, which solved the problems associated with unmonotonicity classical methods of particles.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В МЕЖЛОПАТОЧНОМ НЕПОДВИЖНОМ КАНАЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ЖРД

К.Е. Буц

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. академика М.Ф. Решетнева». 660037, Российская Федерация, г. Красноярск,
пр. им. газеты «Красноярский рабочий», 31; а/я 1075
buts88@mail.ru

В работе представлен метод численного моделирования течения в меж-
лопаточном неподвижном канале центробежного насоса ЖРД на основе
интегрального соотношения пространственного пограничного слоя.

NUMERICAL SIMULATION OF THE FLOW IN THE INTERSCAPULAR CHANNEL STATIONARY CENTRIFUGAL PUMP ROCKET ENGINE.

K.E. Buts

Federal State Educational Institution of Higher Education «Siberian State Aerospace
University. Academician MF Reshetnev». 660037, Russian Federation, Krasnoyarsk, etc..
Them. the newspaper «Krasnoyarsk worker» 31; P / 1075
buts88@mail.ru

The paper presents a method for numerical simulation of the flow in the in-
terscapular channel stationary centrifugal pump of rocket engine based on the
integral ratio of a spatial boundary layer.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН В БЛОЧНЫХ СРЕДАХ

М.А. Похабова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук;
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50 стр. 44
pokhabova-mariya@mail.ru

В рамках исследования процессов распространения волн с учетом струк-
туры горного массива и сложных реологических свойств материала прослоек
построены различные математические модели. В одномерной задаче рас-
смотрено упругое взаимодействие в прослойках и вязкоупругое взаимодейст-
вие по модели Максвелла и Кельвина – Фойхта. Двумерная задача представ-
лена моделью блочной среды. При моделировании многоблочной среды

применялась модель на основе уравнений континуума Коссера. Для численного решения задач был использован параллельный вычислительный алгоритм, в котором реализован метод двуциклического расщепления по пространственным переменным. В результате расчетов одномерных и двумерных задач была подтверждена гипотеза о существовании маятниковых волн и приведены результаты расчетов, которые демонстрируют качественные особенности распространения волн в блочных средах.

NUMERICAL STUDY OF THE PROCESSES OF WAVE PROPAGATION IN A BLOCK MEDIA.

M.A. Pokhabova

Federal State Institution of Science Institute
Computational Modelling, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
The Russian Federation, 660036, Krasnoyarsk, ul. Akademgorodok, 50 pp. 44
pokhabova-mariya@mail.ru

As part of the process of wave propagation studies, taking into account the structure of the rock mass and complex rheological properties of the material layers are constructed different mathematical models. Parallel computational algorithm was used for the numerical solution of problems, which implements the two-cycle method of splitting the space variables. As a result of calculation of one-dimensional and two-dimensional problems it has confirmed the hypothesis of the existence of the pendulum wave and results of calculations which show the qualitative features of wave propagation in block media.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ МЕТОДОМ VOF

А.С. Фролов

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
frolov_a@ftf.tsu.ru

Работа посвящена численному моделированию процесса растекания вязкой жидкости по твердой стенке под действием силы тяжести. Математическая постановка задачи осложнена нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных и меняющейся во времени границей раздела фаз. Один из наиболее эффективных способов решения этой проблемы является алгоритм VoF (Volume of Fluid), основная идея которого заключается в введении функции F , показывающей долю контрольного объема занятого жидкостью. Динамика изменения F демонстрирует эволюцию свободной поверхности во времени. В результате работы была на-

писана и отлажена программа расчета. Проведены исследования аппроксимационной сходимости алгоритма. Выполнены параметрические исследования эволюции свободной поверхности в зависимости от определяющих параметров.

NUMERICAL SIMULATION OF VISCOSITY FLUID FLOW WITH FREE BOUNDARIES BY A METHOD VOF.

A.S. Frolov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
frolov_a@ftf.tsu.ru

This work is devoted the numerical modeling of viscous fluid spreading process on a solid wall under gravity. Such problems are complicated by detecting of the free boundary evolution in time. VoF method is the most effective for this problem solution. As a result a program for calculations was written and debugged. The parametric investigations of the free boundary evolution in time as a function of basic parameters were carried out.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНОГО СТАЦИОНАРНОГО НЕРАВНОВЕСНОГО ТЕЧЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕ С ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНОЙ

В.Ю. Гидаспов, Д.С. Кононов, Н.С. Северина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; Российская Федерация, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4
dr.kononoff@yandex.ru

Важным этапом при создании двигателей является численное моделирование химико-физических процессов, протекающих в канале сопла. В настоящей работе рассчитываются термодинамические макро- и микропараметры сверхзвукового потока, проходящего через канал, имеющий форму сопла Лаваля. При этом в канале на пути потока встречается ударная волна (вопросы, связанные с причиной возникновения данного явления, не рассмотрены). Также не учитываются эффекты теплопроводности, вязкости и диффузии. Исследуемый поток состоит из водорода, кислорода и азота в соотношении 1 : 0.5 : 9. В качестве начальных данных заданы начальная скорость потока, начальная температура потока, начальное давление, форма исследуемого контура. Координата постановки ударной волны в контуре варьируется в различных численных экспериментах.

SIMULATION OF ONE-DIMENSIONAL STEADY-STATE NONEQUILIBRIUM FLOW IN THE ENGINE WITH DETONATION WAVE

V.Yu. Gidaspov, D.S. Kononov, N.S. Severina

Federal State Educational Institution of Higher Education «Moscow Aviation Institute
(National Research University); The Russian Federation,
125993, Moscow, Volokolamsk Highway, d. 4
dr.kononoff@yandex.ru

An important step in the establishment of the engines is the numerical simulation of chemical and physical processes taking place in the channel of the nozzle. In this paper we calculated thermodynamic macro and microscopic parameters of supersonic flow through the channel-shaped Laval nozzle. At the same time in the channel in the flow path meets the shock wave (issues related to the cause of this phenomenon is not considered). The same effects are not captured thermal conductivity, viscosity and diffusion. The test consists of a stream of hydrogen, oxygen and nitrogen in a ratio of 1 : 0.5 : 9. As the initial data set the initial flow rate, the initial flow temperature, the initial pressure, the shape of the test circuit. Coordinate setting shock wave in the loop varies various numerical experiments

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ АНИЗОГРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО МАССЕ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ ЧИСЛЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

О.А. Штейнбрехер

Новокузнецкий институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный
университет»; Российская Федерация, 654041, г. Новокузнецк, ул. Циолковского, 23
olga_sht@mail.ru

Выбор оптимального варианта изделия, в том числе оптимальных значений геометрических параметров конструктивных элементов, является одним из этапов проектирования конструкции.

Анизогридные конструкции, получившие широкое применение в машиностроении, представляют собой регулярную структуру спиральных и кольцевых ребер. Особенностью оптимального проектирования таких конструкции является то, что они содержат большое число ограничений, выражаемых функциями, нелинейно зависящими от варьируемых факторов.

Использование традиционных методов решения затруднено особенностями области допустимых параметров, как правило, она является невыпуклой. Рассматриваемый алгоритм основан на алгоритме симплексного поиска, в котором для описания невыпуклых гладких участков границы строится частичный R-пре-дикат допустимой области, учитывающий только ближайшие к текущей точке участки границы (доминанты). Для корректировки направления перемещения симплекса, рассчитываются реакции

упругих связей, которыми заменяются доминанты, действующих на перемещаемый симплекс аналогично пружине.

В данной работе рассматривается применение данного алгоритма к задаче поиска оптимальных геометрических параметров сечений спиральных и кольцевых ребер конической анизогридной конструкции при соблюдении минимума массы и ограничений по прочности и устойчивости. Для получения обратно пропорциональных зависимостей функций ограничений от варьируемых параметров используются методы вычислительного эксперимента. Полученные, в ходе применения оптимального алгоритма, геометрические размеры сечений с учетом ограничений технологии производства удовлетворяют установленным условиям по прочности и устойчивости конструкции.

ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF ANISOGRID CONSTRUCTION FOR AN ARBITRARY NUMBER OF NON-LINEAR RESTRICTIONS IS OFFERED

O.A. Shteinbreher

Novokuzneckiy institute (the branch) FGBOU IN «Kemerovo state university»;
The Federation Of Russia, 654041, Novokuzneck, str. Ciolkovskogo, 23
olga_sht@mail.ru

Optimum projection of construction is one of the stages of design. In this paper the algorithm of problem solving of optimum projection of designs at the arbitrariness number of non-linear restrictions is offered. The task is reduced to unconstrained minimization of support function which is based of assumed target function and R-predicates of the arbitrariness number of restrictions.

The example of application of an algorithm of optimization to a problem of searching of optimum design data of a lattice shell.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ, АППАРАТНОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСКОРЕНИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Р.В. Палкин

Лицей Томского государственного университета; Российская Федерация,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Romangg81@gmail.com

В статье представлен обзор актуальных технологий ускорения вычислений. Рассмотрена зависимость скорости выполнения программы от выбора компилятора. Наряду с проверкой эффективности технологий OpenACC, MPI и OpenMP, выполнен анализ влияния на производительность техноло-

гии Hyper Threading для процессоров Core i7 и Core i5. В качестве вычислительной задачи выступило решение уравнений газовой динамики.

COMPARATIVE REVIEW OF COMPUTING ACCELERATION TECHNOLOGIES, HARDWARE AND SOFTWARE

R.V. Palkin

The Lycee Tomskogo state university; Federation Of russia,
634050, Tomsk, pr. Lenin, 36
Romangg81@gmail.com

The purpose of this article is to give a review of topical computing acceleration technologies, such as OpenMP, MPI and OpenACC. Different compilers efficiency comparison was made. Acceleration potential of Hyper Threading technology was analyzed by the example of Core i5 and Core i7 processors.

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СПЛАЙНОВОЙ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ

А.А. Семёнова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
semyonova.a@math.tsu.ru

Была разработана новая численная схема решения системы конвективно-диффузионно-кинетических уравнений математической модели переноса малых составляющих примеси с учетом их химических взаимодействий в атмосферном пограничном слое. Для аппроксимации конвективных членов пользовалась монотонизированная сплайновая схема высокого порядка точности. Она строится основе локальных весовых кубических сплайнов, обладающих хорошей способностью воспроизводить монотонное распределение зависимой переменной на новом шаге по времени [1]. Численный эксперимент заключался в том, что на поверхности Земли в районе города в одной ячейке сетки рассматриваемой области происходит постоянное выделение примеси. Также в расчетах используется поле ветра на двое суток, предсказанное с помощью мезомасштабной модели. В центре области расположен участок, из которого с интенсивностью 10000 мг/с выделяется газообразная примесь. Требуется спрогнозировать изменение концентрации на имеющемся поле ветра на последующее время. В результате ряда численных экспериментов был выявлен ряд её достоинств перед уже известными численными схемами 2-го и 3-го порядка точности, применяемыми при решении данной задачи: MLU, MUSCL. Одно из них за-

ключается в том, что сплайновая схема менее подвержена влиянию схемной диффузии, что позволяет на одной и той же сетке точнее предсказывать локальные максимумы в численном решении задач переноса примеси в атмосфере. При реализации алгоритма были применены два подхода распараллеливания, основанные на двумерной декомпозиции расчетной области с использованием. Они основаны на синхронных или асинхронных методах межпроцессорной передачи данных для вычислительных систем с распределенной памятью [2]. Показана целесообразность применения опережающей рассылки вычисленных приграничных значений сеточной функции с помощью асинхронной передачи данных для повышения ускорения расчетов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-41-700178-p_a).

Литература

1. *Квасов Б.И.* Методы изогеометрической аппроксимации сплайнами. М: Физматлит, 2006. 360 с.
2. *Старченко А.В., Данилкин Е.А., Лаева В.И., Проханов С.А.* Практикум по методам параллельных вычислений. М.: Изд-во МГУ, 2010. 200 с.

PARALLEL IMPLEMENTATION SPLINE DIFFERENCE SCHEME FOR SOLVING THE PROBLEM OF POLLUTANT TRANSPORT IN THE ATMOSPHERE

A.A. Semyonova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
semyonova.a@math.tsu.ru

A new monotonized high-accuracy spline scheme is proposed to approximate the convective terms. It has been shown that this scheme has an advantage over the monotonized schemes of second or third order used to solve such problems. Various approaches to paralleling the computational algorithm are developed and tested. These approaches are based on a two-dimensional decomposition of the calculation domain with synchronous or asynchronous methods of interprocessor data transmission for distributed-memory computer systems.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Д.Ю. Гаврилов

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
gavr131313@gmail.com

В современной науке уже несколько десятилетий используются цифровые приборы для проведения измерений. На обработку полученных с та-

40

ких приборов данных иногда уходят крупные временные затраты. Это связано с несогласованностью программного обеспечения (ПО), структурирующего и сохраняющего результаты измерений, с приложениями осуществляющими их последующую обработку.

DATA PROCESSING AUTOMATION IN PHYSICS RESEARCH

D.Yu. Gavrilov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
gavr131313@gmail.com

For many decades digital devices are widely used in science for measurements. A lot of time spends at data processing. It can be relate with disagreement of software that structure and save measurements results, with applications that carry out postprocessing

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ОКРЕСТНОСТИ СТЫКА ИЗОЛЯТОРА И ЭЛЕКТРОДА

Д.А. Майлюков, Р.К. Нариманов

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Dinislam.94@gmail.com

На основе альтернирующего метода Шварца, путем сращивания численного и аналитического решений производится определение электростатических полей в области особой точки. Оценивается погрешность относительно точного решения.

ELECTROSTATIC FIELD MODELING IN REGION OF THE JUNCTION OF THE ELECTRODE AND INSULATOR

D.A. Maylyukov, R.K. Narimanov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
Dinislam.94@gmail.com

The electrostatic field in area of the critical point is calculated by merging the numerical and analytical solution, based on alternating Schwartz method. The error was compared with respect to the exact solution.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ РДТТ С ПОМОЩЬЮ ОБРАТНОГО МЕТОДА ЛАКСА–ВЕНДРОФФА

А.Е. Кирюшкин, Л.Л. Миньков

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
sashakir94@mail.ru

В данной работе рассматривается численное решение двумерных задач внутренней баллистики РДТТ на декартовой вычислительной сетке с помощью WENO-схем дискретизации по пространству и TVD Runge-Kutta метода интегрирования по времени. Как известно, WENO-схемы обладают широким шаблоном, а значит для точек, расположенных рядом с границей, часть шаблона находится вне вычислительной области.

Также граница пересекает линии декартовой вычислительной сетки произвольным образом. С помощью обратного метода Лакса–Вендроффа задаются значения в фиктивных точках рядом с границей области, что обеспечивает высокий порядок точности во всей области вычисления.

NUMERICAL SIMULATION OF SRM INTERNAL BALLISTICS PROBLEMS USING INVERSE LAX-WENDROFF PROCEDURE

A.A. Kiryushkin, L.L. Minikov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
sashakir94@mail.ru

Numerical solution of 2D SRM internal ballistics problems on Cartesian mesh using WENO-schemes spatial discretization and TVD Runge-Kutta time discretization are considered in this paper.

As it is known, WENO-schemes have wide stencil. Therefore, part of stencil points near the boundary may lay outside the computational domain. In addition, boundary intersects the Cartesian grid in an arbitrary fashion. Ghost values are set in points near the boundary in order to provide high order accuracy inside the computational domain.

КРИТЕРИЙ СХОДИМОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ЗАДАЧАХ МИНИМИЗАЦИИ ПОЛИМОДАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ

А.Э. Васькина

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
bastet94@mail.ru

В работе рассматривается проблема оценки сходимости генетических алгоритмов решения задач минимизации функций. В качестве решения проблемы используется кластеризация решений, обеспечивающая надежную работу алгоритма. Работоспособность предложенного метода показана на примере функций, имеющими несколько минимумов (полимодальными), что подтверждают проведенные исследования на основе разработанного программного обеспечения.

CRITERION OF CONVERGENCE OF GENETIC ALGORITHM TO MINIMIZE THE PROBLEMS OF MULTIMODAL FUNCTION

A.E. Vaskina

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36

This paper considers the problem of the convergence of genetic problem algorithms for solving problems of minimization of functions. Use clustering solution providing reliable operation of the algorithm. The proposed method works with polymodal functions.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

А.Ю. Федоров, В.А. Скрипняк

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
anton4991@mail.ru

Численное моделирование процессов механического поведения хрупких гетерогенных сред позволяет расширить понимание закономерностей деформации, развития повреждений и разрушения перспективных керамических композиционных материалов в условиях интенсивных динамических воздействий, что необходимо при проектировании элементов конструкций и рационального использования материальных и энергетических затрат на

производство керамических изделий. В данной работе для моделирования механической реакции керамических композитов на импульсное воздействие был использован метод сглаженных частиц (SPH). Проанализированы процессы разрушения на мезоскопическом уровне композиционных материалов системы ZrB_2-B_4C . Методом численного моделирования исследованы зависимости пределов прочности наноструктурной ZrB_2 керамики и нанокompозитов ZrB_2-B_4C от скорости деформации и температуры. Результаты показали, что при высокоскоростной деформации разрушение нанокompозита носит квазихрупкий характер. Трещины на мезоскопическом уровне в волне сжатия формируются вблизи пор и в пространстве между упрочняющими частицами.

NUMERICAL SIMULATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF CERAMIC NANOCOMPOSITES UNDER DYNAMIC LOADING

A.Yu. Fedorov, V.A. Skripnyak

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
anton4991@mail.ru

This paper reports our results on the investigation of dynamic failure of nanostructured ZrB_2-B_4C composites at the mesoscale level. 3D computer simulation of deformation and failure of structured volume of materials was carried out at the mesoscale level. It was shown that dynamic failure of ZrB_2-B_4C nanocomposite has quasi-brittle character.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СПЛАВОВ ZR-NB С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИИ И ПОВРЕЖДЕНИЙ НА МЕЗОСКОПИЧЕСКОМ И МИКРОСКОПИЧЕСКИХ УРОВНЯХ

В.А. Сербента, В.А. Скрипняк

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, Физико-технический факультет
Serbenta3@mail.ru

Совершенствование технологий изготовления оболочек ТВЭЛОВ и элементов оборудования ядерных реакторов связано с необходимостью прогноза структурных превращений и механических свойств радиационно-стойких сплавов $Zr-Nb$. Проблемой, на решение которой направлено данное научное исследование, является создание научных основ и разработка методов оценки механических свойств новых конструкционных материалов для ядерных реакторов IV поколения и компьютерного моделирования их механического поведения с использованием эффектов влияния химиче-

ского состава и условий нагружения на механические свойства. Современные теоретические методы являются основой для моделирования процессов структурных превращений на микро- и мезоскопическом уровне с целью углубления понимания связи между внешними параметрами и физическими свойствами материалов. В настоящей работе представлены результаты по развитию теоретических методов оценки и прогнозирования механических и деформационных свойств, сплавов Zr–Nb.

Получены прогнозы закономерностей пределов прочности при растяжении сплавов Zr–Nb в широком диапазоне скоростей деформации и температуры. В данной работе представлены результаты моделирования механического поведения сплавов Zr–Nb с использованием определяющего уравнения KHL и учетом развития деформации и повреждений на микро- и мезоскопическом уровнях

MECHANICAL BEHAVIOR MODELING OF ZIRCONIUM-NIOBIUM ALLOYS WITH THE DEVELOPMENT OF DEFORMATION AND DAMAGE AT MESOSCOPIC AND MICROSCOPIC LEVELS

V.A. Serbenta, V.A. Skripnyak

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
Serbenta3@mail.ru

This paper reports the results of the study and prediction of mechanical properties of Zr–Nb alloys. The regularities of the flow stress and the tensile strength of Zr–Nb in polycrystalline and ultrafine-grained state under loading in the temperature range from 297 K to 764 K were described by KHL (Khan-Huang-Liang) model. The results can be used in engineering analysis of designed technical systems for nuclear reactors.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СТЕПЕННОЙ ЖИДКОСТИ В ПЛОСКОЙ ПОСТАНОВКЕ

М.П. Бессонова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
bessonova.mp@mail.ru

Исследуется форма свободной поверхности потока степенной жидкости в плоском канале. Математическая постановка включает в себя уравнения движения в приближении ползущего течения (уравнения Стокса), уравнение неразрывности и граничные условия. В уравнениях Стокса учитывается влияние силы тяжести, направленной против потока жидкости.

Для численного решения используется непрямой метод граничных элементов в сочетании с методом простой итерации. В результате проведенного исследования обнаружено появление неустойчивости формы свободной поверхности при низких значениях показателя нелинейности. Также показано, что увеличение влияния гравитационных сил позволяет избежать возникновения неустойчивости.

THE STUDY OF FREE SURFACE SHAPE OF POWER LAW FLUID IN PLANAR DOMAIN

M.P. Bessonova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
bessonova.mp@mail.ru

The free surface shape of power law fluid flow in planar domain is investigated. The mathematical model includes the Stokes equation, the continuity equation and the boundary conditions. The indirect boundary element method in combination with the simple iteration method is used for the numerical solution. It found the appearance of instability of the free surface shape at low values of the power-law index.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УДАРНЫХ ВОЛН С ДЕФОРМИРУЕМЫМИ МНОГОСЛОЙНЫМИ ОРТОТРОПНЫМИ ПРЕГРАДАМИ

И.А. Турыгина

Научно-исследовательский институт механики Национального исследовательского
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского;
Российская Федерация, 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, к. 6
hodykinainna@gmail.com

Многослойные проницаемые преграды, представляющие собой слои металлических плетеных сеток, являются эффективным средством ослабления нагрузки от воздействия ударных волн. При интенсивных воздействиях преграда может испытывать деформации, в том числе пластические. Представлена численная методика, описывающая связанные процессы взаимодействия ударных волн с подобными преградами. Динамическое поведение пакета плетеных сеток, содержащего в своих порах газ, описывается с помощью уравнений динамики многоскоростных континуумов. Численное решение уравнений проводится по модифицированной схеме С.К. Годунова. Приведены результаты численного моделирования распространения ударной волны через цилиндрический пакет металлической пле-

тенной сетки при внутреннем взрывном воздействии. Оцениваются эффекты снижения интенсивности ударной волны после взаимодействия с преградой.

Полученные результаты сравниваются с известными экспериментальными данными по параметрам проходящих волн.

NUMERICAL MODELLING OF SHOCK WAVE INTERACTION WITH DEFORMABLE MULTILAYERED ORTHOTROPIC BARRIERS

I.A. Turygina

The Research institute mechanical engineers National Exploratory Nizhegorodskogo
State university im. N.I. Lobachevskogo;
Federation Of russia, 603950, Lower Novgorod, pr. Gagarina, 23, k. 6
hodykinainna@gmail.com

Multilayered permeable barriers represent the layers of metal braided grids. It is effective way for weakening the load from the impact of shock waves. Presented numerical methods that describe the associated processes of interaction of shock waves with similar obstacles.

The obtained results are compared with known experimental data on the parameters of the passing wave.

ОБ УЛУЧШЕНИИ СХОДИМОСТИ РЯДОВ В ЗАДАЧЕ О КОЛЕБАНИЯХ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОРТОТРОПНОЙ ПРИЗМЫ

А.Д. Ляшко

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского; Российская Федерация
295007, г. Симферополь, пр. академика Вернадского, 4
knightLA@yandex.ru

Получено новое аналитическое представление решения задачи о вынужденных установившихся колебаниях ортотропной призмы и соответствующая бесконечная система линейных алгебраических уравнений.

Найдено счетное множество элементарных собственных частот и форм колебаний, которое соответствует известным модам Ламе для изотропных призм. Построены тождества, которые позволяют улучшить сходимость рядов в представлении решения.

ON IMPROVEMENT OF THE SERIES CONVERGENCE IN THE PROBLEM OF THE VIBRATIONS OF ORTHOTROPIC RECTANGULAR PRISM

A.D. Lyashko

The Crimean federal university im. V.I. Vernadskogo; Federation Of russia
295007, Simferopoli, avenue of the Academician Vernadskogo, 4
knightLA@yandex.ru

A new analytical presentation of the solution for steady-state oscillations of orthotropic rectangular prism is found and the corresponding infinite system of the linear algebraic equations has been deduced. A countable set of the elementary eigenforms is found for a rectangular orthotropic prism. The identities are found which allow to improve the convergence of all infinite series in the solution of the problem.

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

Session 3
**INVESTIGATION OF ADVANCED MATERIALS IN
APPLICATIONS OF CONTINUUM MECHANICS**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
МНОГОКРАТНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО ОТКРЫТОГО
ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

М.П. Орлова, Т.И. Горбенко, С.А. Волков

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
maria-orlova-93@mail.ru

Методом дифференциально-сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа исследован микроразмерный порошок алюминия марки АСД-4 и нанодисперсный порошок Alex. Порошок Alex активно используется в космической технике. Проведены расчеты энергии активации и предэкспоненциального множителя.

**THE STUDY OF THE EFFECT OF ALUMINUM POWDERS
DISPERSION ON THEIR OXIDATION AND KINETIC
CHARACTERISTICS**

M.P. Orlova, T.I. Gorbenko, S.A. Volkov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
maria-orlova-93@mail.ru

Micro-sized aluminum powder ASD-4 and nano-powder Alex have been studied by differential scanning calorimetry and thermogravimetric analysis. Alex powder is widely used in space technology. The activation energy and pre-exponential factor have been calculated.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРИСТОГО КОМПОЗИТА $\text{ZrO}_2(\text{MgO})\text{--MgO}$

А.С. Буяков, С.Н. Кульков

Физико-технический факультет, НИ ТГУ; г. Томск, пр. Ленина 36
Alesbuyakov@gmail.com

Пористые керамические материалы – особый класс материалов, эксплуатационные характеристики которых определяются объемом порового пространства и геометрией пор. Их области применения весьма обширны, что обусловлено их высокой коррозионной, химической, радиационной стойкостью и термостойкостью. Особое место занимают керамики на основе диоксида циркония (ZrO_2), обладающего высокими эксплуатационными характеристиками, определяемые, в большой степени, стабилизирующими добавками. В работе изучены керамические композиционные материалы $\text{ZrO}_2\text{--MgO}$ в широком диапазоне концентраций, с объемом порового пространства 50%, спеченные при температуре 1600 °С. Исследованы тонкая кристаллическая структура и прочность материалов при сжатии. Показано, что предел прочности определяется напряжениями второго рода, возникающими на границах кристаллитов. Между макропрочностью и микронапряжениями в кристаллической решетке MgO зависимость линейная, в то время как от величины микронапряжений в решетке ZrO_2 зависимость прочности установить не удалось.

STUDY OF STRENGTH PARAMETERS DENSITY FROM COMPONENTS CONCENTRATION IN POROUS CERAMIC COMPOSITE $\text{ZrO}_2(\text{MgO})\text{--MgO}$

A.S. Buyakov, S.N. Kulkov

Physico-Technical Faculty, NO TSU; Tomsk, 36 Lenin Ave
Alesbuyakov@gmail.com

Porous composite ceramic materials $\text{ZrO}_2\text{--MgO}$ were studied. The main mechanical characteristics of the material were determined and compared with XRD-analysis results. It was shown, that they are determined by microstresses and in a most way by microstress in MgO crystal lattice.

КРИВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛЮМИНИЯ

М.С. Днепровский, И.Е. Тутолмин, Р.О. Остапенко

Гимназия №13; Россияская Федерация, 634063, г. Томск, ул. Сергея Лазо, 26/1
lancia225@gmail.com

В работе представлены результаты экспериментального исследования кривых пластического течения монокристаллов алюминия технической

чистоты, деформированных сжатием при комнатной температуре. Исследованы три ориентировки монокристаллов: ось нагружения параллельна ребру куба (F-монокристаллы), диагонали грани (D-монокристаллы) и пространственной диагонали куба (T-монокристаллы). Для всех исследованных монокристаллических образцов получены кривые течения в электронном варианте и выявлена их зависимость от ориентации монокристаллов. Установлено, что наиболее сильно при пластической деформации упрочняются T-монокристаллы. Для этих монокристаллов также изучалось влияние высоты образца. Обнаружено, изменение высоты T-монокристаллов в 2 раза не оказывает заметного влияния на кривые течения.

STRAIN CURVES OF ALUMINUM MONOCRYSTALS

M.S. Dneprovsky, I.E. Tutolmin, R.O. Ostapenko

Grammar school № 13; Rossiyskaya Federation, 634063, Tomsk, ul. Sergey Lazo, 26/1
lancia225@gmail.com

This work presents the results of an experimental research of plastic flow curves of technical purity aluminum monocrystals deformed by compression at room temperature. Three orientation monocrystals are researched: the loading axis is parallel to the edge of the cube (F-single crystals), face diagonal (D-single crystals) and the spatial diagonal of the cube (T-single crystals). For all the monocrystals flow curves obtained in electronic form and revealed their dependence on the orientation of the crystals. It was found that most strongly during plastic deformation hardening T-monocrystals. For these monocrystals are also studied the effect of the height of the sample and It is found, that changing the height of the T-single crystals of 2 times did not have a noticeable effect on the flow curves.

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО ЦЕОЛИТА ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

А.Ю. Бузимов, С.Н. Кульков

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
buzimov92@gmail.com

Известно, что механическая активация в шаровых мельницах сопровождается изменениями морфологии, площади удельной поверхности и фазового состава цеолитов. Таким образом, исследование физико-химических свойств природного цеолита Токайского месторождения является актуальным. Порошок подвергался механической обработке в планетарной мельнице до 600 минут. Использованы следующие методы исследования: эле-

ментный анализ, рентгеноструктурный анализ, метод растровой электронной микроскопии, метод определения удельной поверхности (БЭТ). Результаты элементного анализа показали, что природный цеолит состоит в основном из кремния, алюминия и различных элементов, таких как магний, калий, кальций, железо. Идентификация рентгенограмм природного цеолита показала, что в составе исходного порошка находится 7 фаз с различным содержанием минералов.

Согласно рентгенофазовому исследованию, количество аморфной фазы у исходного порошка составило 12.5%. В исходном состоянии площадь удельной поверхности порошка составила 19.3 м²/г. Порошок представлен частицами неправильной формы, разных размеров, плотно прилегающих друг к другу, средний размер частиц составил 27 мкм.

Установлено, что в течение первых 60 минут, удельная площадь поверхности возрастает, достигая максимума 32.9 м²/г. Дальнейшая механическая активация приводит к уменьшению удельной поверхности порошка. Процесс механической активации природного цеолита Токайского месторождения соответствует теоретическим линиям и разделяется на три зоны: 1 – зона измельчения, когда происходит увеличение удельной поверхности пропорционально времени измельчения; 2 – зона агрегации или переходная зона, где удельная поверхность не изменяется; 3 – зона агломерации, где наблюдается уменьшение площади удельной поверхности с ростом времени измельчения. Показано, что механическая обработка приводит к изменению не только удельной поверхности и размера частиц, но и к изменению фазового состава. Количественный фазовый анализ природного цеолита в процессе механической обработки до 600 мин, показал радикальные изменения минералогического состава. При этом, происходит увеличение количества аморфной фазы в порошке с 12,5 до 52%.

CHANGE OF THE PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF NATURAL ZEOLITE AFTER MECHANICAL ACTIVATION

A.Y. Buzimov, S.N. Kul'kov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36

The goal of this work was to study changes induced by mechanical activation on the structure and properties of natural zeolite Tokaj Mountain deposit. It has been shown that the amount of amorphous phase and the specific surface area depends on mechanical treatment. The mechanical activation in a planetary ball milling is a powerful method for obtaining the necessary specific surface.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОУДАРНЫХ НАГРУЖЕНИЙ НА СВОЙСТВА КЕРАМИКИ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MgO}$

С.П. Буюкова, Ю.Л. Кретов

ИФПМ СО РАН

kretoy2005@yandex.ru

В работе исследовано влияние термоударных нагрузжений на фазовый состав и механические свойства керамики состава $\text{MgO--Al}_2\text{O}_3$, а также термостойкость данного материала. Установлено, что с увеличением числа термоударных нагрузжений не наблюдается изменений фазового состава данного композита. В ходе испытаний выявлен состав композита наиболее устойчивый к термоударным нагрузжениям. Также замечено, что термоудар не оказывает воздействия на механические свойства керамики $\text{MgO--Al}_2\text{O}_3$.

EFFECTS OF THERMAL SHOCK STRAINS ON THE PROPERTY OF ALUMINA-MAGNESIA CERAMICS

S.P. Buyakova, Yu.L. Kretov

IMPA RAS

kretoy2005@yandex.ru

In work studied effect thermal shock loading on the phase composition and mechanical properties of the ceramic composition of $\text{MgO--Al}_2\text{O}_3$, and thermal shock resistance of the material. It was found that with the increasing number of thermal shock loads not observed changes in the phase composition of the composite. During the tests revealed the composition of the composite more resistant to thermal shock loading. Also found that the thermal shock loading does not affect on mechanical properties of the ceramic $\text{MgO--Al}_2\text{O}_3$.

ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ПРИ ФОТОВОЗБУЖДЕНИИ

И.Л. Лапина

Национальный исследовательский Томский государственный университет;

Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

inna_lapina_92@mail.ru

В работе были созданы методом полива пленки Пиррометена 597 в фотоотверждаемой эпоксидной смоле (OSSILA). Было установлено, что в пленке за счет эффекта полного внутреннего отражения формируется волновод, излучение которого выходит из торцов пленки. При этом если излу-

чение волновода будет проходить через возбужденную пленку, то оно будет снимать инверсию, и волновод в этом случае будет выступать в роли резонатора. Волновод, образованный за счет явления ПВО, является вредным, так как приводит к снижению КПД генерации в продольном резонаторе. Однако, уменьшение площади возбуждения (введение диафрагмы, фокусировки) уменьшает нежелательные потери и вредное излучение с торцов пленки заметно ослабевает. Поэтому в данной работе была реализована схема экспериментальной установки по типу квази-продольного резонатора. Резонатор в ней сформирован селективным диэлектрическим зеркалом и глухим зеркалом. В схему введена диафрагма, при помощи которой можно точно варьировать геометрические размеры входного пучка. В такой схеме получена генерация при квази-продольной накачке на длине волны 578 нм, порог генерации составил $1,8 \text{ МВт/см}^2$, полуширина полосы излучения составила 5 нм, КПД $\approx 3,4 \%$. Установлено, что КПД генерации пленочной ЛАС при продольной накачке зависит от площади накачки $S_{\text{нак}}$. Так, при больших $S_{\text{нак}}$ продольная генерация отсутствует. При размерах пятна накачки сопоставимых с толщиной пленки КПД генерации имеет максимальные значения.

Данная работа (№ 8.2.44.2015) выполнена при поддержке Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2016 г.

STIMULATED EMISSION IN ORGANIC FILMS FOR PHOTOEXCITATION

I.L. Lapina

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
inna_lapina_92@mail.ru

In this paper the generation of Pirrometen 597 in transversal pumping and longitudinal types is investigated. Research was conducted at exaltation by the pulse laser (wavelength of excitement is 532 nm, duration of an impulse is 10 ns, pumping power density is 13 MW/cm^2). Films doped with the dye were created by a watering method (concentration of days = $5 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$). Thickness of films was measured using the optical profilometer KLA – Tencor MicroXam 100 and was obtained 5.8 microns.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ВЗРЫВОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ОБРАЗЦОВ ПКМ ПРИ НЕКОНТАКТНОМ ПОДВОДНОМ ВЗРЫВЕ

А.И. Дульнев, Е.А. Неклюдова

Федеральное государственное унитарное предприятие Крыловский государственный научный центр; Российская Федерация,
196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44
nekludik@mail.ru

Применение полимерных композиционных материалов для изготовления корпусных конструкций кораблей обуславливает необходимость исследования сопротивляемости таких материалов при воздействии различных видов динамических нагрузок.

В работе исследовалась сопротивляемость образцов из полимерного композиционного материала (ПКМ) на основе стеклоткани и винилэфирного связующего в условиях воздействия неконтактного подводного взрыва. На основе проведенных экспериментов получена оценка уровней взрывного воздействия, соответствующих различной степени повреждения материала (растрескивание связующего, разрыв отдельных волокон, образование пробоины). Получены экспериментальные зависимости «деформация – время», характеризующие напряженно-деформированное состояние (НДС) образцов.

С использованием программ LS-DYNA и AUTODYN проведено компьютерное моделирование воздействия подводного взрыва на образцы применительно к условиям испытаний. Получено хорошее соответствие результатов моделирования экспериментальным данным. Разработанные модели использованы для более детального анализа НДС образцов ПКМ в условиях подводного взрыва и выбора возможного критерия для оценки предельного состояния.

EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL BLAST RESISTANCE ASSESSMENT OF POLYMER COMPOSITE SAMPLES AT CONTACTLESS UNDERWATER EXPLOSION

A.I. Dulnev, E.A. Nekliudova

Federal State Unitary Enterprise Krylov State Research Center;
The Russian Federation, 196158,
St. Petersburg, Moscow highway, 44
nekludik@mail.ru

The paper presents results of experimental research on fiberglass composite material resistance to explosion. Three levels of critical explosive load (matrix breaking, breaking of single fibers, hole) were obtained and strain levels in sam-

ples were estimated. The stress-strain state of composite sample loaded by the shock wave was analyzed using the finite element modeling (LS-DYNA and AUTODYN). FEM shows satisfactory agreement with the experimental data.

КОНТРОЛЬ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ KRCL- И XECL-ЭКСИЛАМПЕ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА МЕТОДОМ СКАЧКА ДАВЛЕНИЯ

М.В. Диденко

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
mari.dm28@mil.ru

Процессы рассеяния энергии в KrCl- и XeCl-эксилампах барьерного разряда при различных напряжениях, частотах и длительностях импульсов напряжения выявлены методом скачка давления. Предложен и апробирован способ расчёта средней мощности излучения в условиях неоднородного заполнения разрядом колбой. Подтверждены данные предыдущих работ (Пикулев А.В., Соснин Э.А., 2010–2013).

Сформулирована закономерность о соответствии условий достижения наибольших значений мощности ультрафиолетового излучения условиям, в которых рассеиваемой в плазме разряда тепловая мощность максимальна.

DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE KRCL- AND XECL-EXCILAMPS RADIATION POWER CONTROL BY PRESSURE JUMP METHOD

M. Didenko

National Research Tomsk State University
mari.dm28@mil.ru

The energy dissipation processes in dielectric barrier discharge KrCl- and XeCl-excilamps at various voltage, frequencies and pulse duration are revealed by a pressure jump method. It is offered and tested a way of radiation power calculation in conditions of non-uniform filling of device bulb by discharge plasma. The previous data (Pikulev A.A., Sosnin E.A., 2010-2013) are confirmed. It can be formulate the following conclusion based on pressure jump method: In barrier discharge excilamps, the conditions for achieving maximum values of average power and intensity of radiation meet the conditions of maximum heat emission in the discharge plasma.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ СЕНСОР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НИТРОСОЕДИНЕНИЙ

Ш.Т. Бердыбаева

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
mari.dm28@mail.ru

В работе исследована возможность создания люминесцентного сенсора на нитросоединения для мониторинга окружающей среды. Исследованные вещества: аналит – нитротолуол (NT), флюорофоры – 9,10-bis (trimethylsilylethynyl) anthracene (TMSA) и 9,10-bis (phenylethynyl) anthracene (ДФА). Была создана пленка сенсора, изменение люминесценции которого наблюдали при взаимодействии нитротолуола в газовой фазе. Известно, что тушение люминесценции флюорофора происходит благодаря возникновению комплекса с переносом заряда между молекулами сенсора и аналита. Получено, что интенсивность излучения ДФА падает в 2 раза в течение 2 мин, а интенсивность излучения TMSA – за 8 мин. Следовательно, ДФА является более перспективным веществом для создания люминесцентного сенсора на нитросоединения.

FLUORESCENT SENSOR FOR THE DETECTION NITROAROMATIC COMPOUNDS

S.T. Berdybaeva

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
mari.dm28@mail.ru

We have studied the possibility of creating a fluorescent sensor for the detection nitroaromatic compounds. Investigated material: analyte – nitrotoluene (NT), fluorophores – 9, 10-bis (trimethylsilylethynyl) anthracene (TMSA) and 9,10-bis (phenylethynyl) anthracene (DPA). The luminescence intensity of the DPA decreases by 2 times for 2 minutes.

НЕОДНОРОДНОСТЬ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ

Ю.В. Ли, С.А. Баранникова, А.В. Бочкарева, А.Г. Лунев, Л.Б. Зуев

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
jul2207@mail.ru

В настоящее время биметаллы занимают важное место в современной промышленности, где в результате эксплуатации они подвержены влия-

нию сторонних механических воздействий. Изучение природы пластической деформации твердых тел привело к заключению о том, что пластическое течение неоднородно (локализовано) на любом своем этапе. В работе рассмотрены особенности распространения фронтов локализации пластической деформации в биметалле с использованием метода корреляции цифровых изображений. Анализ стадийности кривых нагружения по характеру изменения коэффициента деформационного упрочнения и показателя деформационного упрочнения показал, что характерной особенностью деформационных кривых рассматриваемого материала является наличие трех стадий пластического течения: стадии линейного деформационного упрочнения, стадии параболического деформационного (Тейлоровского) упрочнения и стадия предразрушения. Использование автоматизированного комплекса ALMEC-tv позволило определить основные пространственно-временные характеристики распространения зон локализации: скорость распространения V_{aw} и пространственный период λ .

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Государственной академии наук в 2015–2020 гг. и Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2016 г.

HETEROGENEITY OF THE PLASTIC FLOW IN THE BIMETALLIC MATERIAL

Yu. Li, S.A. Barannikova, A.V. Bochkareva, A.G. Lunev, L.B. Zuev

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
jul2207@mail.ru

In this work we study the evolution of the localization of the plastic deformation in bimetal carbon steel - stainless chromium-nickel steel metal composite. The images of the localization of the plastic deformation upon the uniaxial tension have been obtained by the digital image correlation method (DIC). The stages of the plastic flow curves have been analyzed, and the local deformation distribution parameters have been evaluated, as well.

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ TiAlN МЕТОДОМ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Е.М. Дымнич

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
dymnich_95@mail.ru

Фазовый состав и микроструктура покрытия TiAlN, нанесенного на подложку из аустенитной стали 12X18H10T, исследовались методом про-

58

свечивающей дифракционной электронной микроскопии. Нанесение покрытия осуществлялось магнетронным методом распыления мишени в реакционной смеси газов аргона и азота. Подложка – аустенитная сталь 12X18H10T – подвергалась предварительной обработке ионным пучком титана. Сравнивались результаты, полученные при исследовании покрытия, нанесенного на обработанную ионным пучком титана подложку и покрытия, нанесенного на предварительно необработанную подложку. Выявлено, что увеличение длительности предварительной ионной обработки подложки ионами титана приводит к измельчению нанокристаллической столбчатой структуры покрытия TiAlN.

AN INVESTIGATION OF ELASTIC-PLASTIC PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS AT HIGH STRAIN RATES

E. Dymnich

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
dymnich_95@mail.ru

TiAlN coat plating-on austenitic steel was studied by transmission electron microscopy. The coat plating on steel substrate was by magnetron sputtering. Austenitic steel substrate was ion beam processed. The comparison of the obtained results between the coating plated on ion beam processed substrate and the coating on untreated steel substrate were made. It is perceived that pre-processing duration was influenced on nanocrystalline columnar structure refinement.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО АЛЮМИНИЙ-МАГНИЕВОГО СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

В.А. Красновейкин, А.А. Козулин, В.А. Скрипняк, Е.Н. Москвичев

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
volodia74ms@yandex.ru

В работе представлены результаты исследования влияния интенсивной пластической деформации (ИПД), реализованной по схеме ортогонального равноканального углового прессования (РКУП) по маршруту ВС при повышенных температурах, на структуру и физико-механические свойства легкого конструкционного алюминий-магниевого сплава Al 1560. Изменение его физико-механических свойств вследствие модификации внутрен-

ней структуры является направлением для повышения эффективности механизмов в авиационной, автомобильной и космической промышленности. Химический элементный и рентгеноструктурный анализ материала показали, что в процессе обработки в нем не происходят химические реакции и фазовые превращения. Исследования структуры и текстуры материала проводили с использованием анализа картин дифракции отраженных электронов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-5914.2016.1.

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF ULTRAFINE-GRAINED AL-MG-BASED ALLOY PRODUCED BY SEVERE PLASTIC DEFORMATION

V.A. Krasnoveykin, A.A. Kozulin, V.A. Skripnyak, E.N. Moskvichev

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
volodia74ms@yandex.ru

As a result of severe plastic deformation the influence of structural changes was investigated in the samples made of Al-Mg-based light alloy in the presented research work. Mechanical properties of material was investigated experimentally in quasi-static uniaxial tensile tests at a speed of deformation of 0.001 1/s in the as-received condition and after severe plastic deformation by equal-channel angular pressing. Change of microhardness value has been determined in a sample after four cycles of pressing in comparison with a sample in as-received condition. It was determined that after four treatment cycles, yield strength and fracture resistance of alloy increased in 1.8 and 1.4 times, respectively, and microhardness value increased in ~ 1.5 times.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОВОЛОКОН ГЦК НИКЕЛЯ, СОДЕРЖАЩИХ ВОДОРОД

О.В. Яшин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46
frs22@mail.ru

В работе описаны результаты исследований процессов, наблюдаемых во время деформации нановолокон ГЦК Ni, содержащих атомы водорода. Полученные результаты показали более высокое значение откольной прочности для нановолокон Ni, содержащих водород, в сравнении с результатами, полученными для нановолокон чистого Ni.

THE INVESTIGATION OF METAL FCC NICKEL NANOFIBERS CONTAINING HYDROGEN

O.V. Yashin

The Altaic state technical university im. I.I. Polzunova,
656038, g. Barnaul, pr. Lenin, d. 46
frs22@mail.ru

In this study described results of process investigations, which observed during deformation FCC Ni nanofibers, containing hydrogen atoms. The results showed a higher value for tensile strength for Ni nanowires containing hydrogen as compared with the results for pure Ni nanowires.

ВЛИЯНИЕ ZRO₂ И SiC НА ПОРИСТОСТЬ КОМПОЗИТОВ ZrB₂–ZrO₂–SiC

А.Ю. Гусев

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук. 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4
artemdvd@mail.ru

Композиты состава ZrB₂–ZrO₂–SiC относятся к классу высокотемпературных материалов, что предполагает возможность эксплуатации изделий и конструкций из них в условиях высоких температур. Целью данной работы являлось исследование влияния состава композитов на пористость. Исследовались три группы композитов ZrB₂+SiC, ZrB₂+SiC+ZrO₂ (10%) и ZrB₂+SiC(5%)+ZrO₂, в которых содержание SiC и ZrO₂ варьировалось от 0 до 20 объёмн. %.

EFFECT OF ZRO₂ AND SiC ON POROSITY OF ZrB₂–ZrO₂–SiC COMPOSITES

A.Yu. Gusev

The Institute physicists to toughness and материаловедения Siberian branch to Russian
academy of the sciences. 634055, Tomsk, pr. Academic, 2/4
artemdvd@mail.ru

Ceramic composites ZrB₂–ZrO₂–SiC are a class of high-temperature materials, there is the operation feasibility of products and designs of them at high temperatures. The goal of this work was to study the effect of composition on the porosity of the composites. Three groups of ceramic composites were studied – SiC + ZrB₂, ZrB₂ + ZrO₂ + SiC (10%) and ZrB₂ + SiC (5%) + ZrO₂ in which SiC and ZrO₂ content was varied from 0 to 20 voluminous. %.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НИТРИДСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНОВЫХ ПОДЛОЖКАХ

А.А. Козулин, С.С. Кульков, С.А. Кинеловский

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
kozulyn@ftf.tsu.ru

Целью настоящей работы было исследование особенностей формирования нитридных покрытий из смесей различных солей, содержащих легкие элементы, на титановых подложках с использованием высокоэнергетического кумулятивного синтеза. Это направление исследований является актуальным и перспективным с точки зрения создания новых композиционных покрытий на поверхностях конструкционных сплавов с повышенными теплофизическими и физико-механическими свойствами. Для достижения поставленной цели проведены эксперименты по получению и исследованию сверхтвердых композиционных покрытий на основе специально приготовленных смесей из комплексных солей и наноструктурных порошков с использованием кумулятивного синтеза. В состав исходных смесей для синтеза входили следующие компоненты, содержащие атомы азота, углерода, бора: опыт 1 (красная кровяная соль $K_3(Fe(CN)_6)$ (ККС)) + (желтая кровяная соль $K_4(Fe(CN)_6)$ (ЖКС)) + порошок карбида бора B_4C ; опыт 2 (оксалат аммония – $(NH_4)_2C_2O_4$) + (МУНТ – многослойные углеродные нанотрубки) + порошки бора. На основе результатов рентгеновских методов анализа химического состава и структурнофазового состояния во всех опытах, выявлено, что покрытия являются многофазными. В опыте 1 основными зафиксированными кристаллическими фазами в покрытиях являются: нестехиометрический оксид титана с кубической кристаллической решеткой (TiO_x) – основной вклад; альфа-титан ($\alpha-Ti$); альфа-железо ($\alpha-Fe$). При этом существенное присутствие железа на поверхности титановой подложки объясняется разложением ККС и ЖКС. Определено присутствие значительного количества диборида титана (TiB_2) ГПУ – фазы. Ожидаемого присутствия азота, углерода и их соединений не зафиксировано. Покрытия, полученные на образцах в опыте 2, характеризуются большим количеством карбонитридной (Ti_2CN) и нитридной (TiN) кубической фазы титана, нестехиометрического состава. Титан в покрытии представлен альфа-титаном исходной ГПУ-фазы. Кроме этого зафиксировано присутствие небольшого количества диборида титана ГПУ-фазы. Все фазы имеют малый размер структурных составляющих – не более 80 нм. Присутствие боридов фиксируется в малом количестве на рентгенограммах всех исследуемых образцов. Разделение карбонитридной и нитридной фазы титана в разных образцах основано на степени содержания азота и углерода в материале покрытия. В покрытиях с преобладанием нитридной фазы содержание уг-

лерода минимально – доли процента. Обобщая результаты исследований можно сделать основные выводы, что отсутствие исходных соединений в поверхностях подложек говорит о том, что все они в условиях кумулятивного взрыва (высокие давления и температуры) разложились на составляющие элементы. В экстремальных условиях продукты разложения солей вступили в реакцию с химическими элементами материала подложек и образовали новые высокопрочные соединения на их поверхностях. Исходя из целей работы, наилучший эффект кумулятивного синтеза достигнут в опыте 2, когда были образованы нитриды, карбонитриды титана, ставшие основой композиционного покрытия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-33-50229 мол_нр.

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF NITRIDE-BASED COATINGS ON TITANIUM SUBSTRATES

A.A. Kozulin, S.S. Kulikov, S.A. Kinelovskiy

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
kozulyn@ftf.tsu.ru

In this paper, nitride-based coatings obtained by the cumulative synthesis on surfaces of titanium substrates have been investigated. Cumulative synthesis was carried out using mixtures with nanopowders containing of boron atoms and specially prepared complex salts containing of nitrogen and carbon atoms. Studies of coatings included X-ray phase analysis and X-ray fluorescent analysis.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКОГО БИОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.А. Микушина, Ю.Н. Сидоренко, И.Ю. Смолин

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
mikushina_93@mail.ru

Проведено численное моделирование биокompозита «керамика на основе ZrO_2 – кортикальная костная ткань» с использованием многоуровневого подхода. Определены механические характеристики керамического биокompозита. Исследована эволюция законов распределения мезоскопических напряжений в компонентах биокompозита в процессе его деформирования с учетом накопления повреждений вплоть до выполнения критерия макропрочности.

PREDICTION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CERAMIC BIOCOMPOSITE ON THE BASIS OF NUMERICAL MODELLING

V.A. Mikushina, Yu.N. Sidorenko, I.Yu. Smolin

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
mikushina_93@mail.ru

Numerical simulation of biocomposite "ceramics based on ZrO_2 - cortical bone" using of multilevel approach was done. The mechanical properties of the ceramic biocomposite were determined. The evolution of the distributions of the mesoscopic stresses in components biocomposite in the process of its deformation considering damage accumulation up to implementation the criterion of macroprocess was investigated.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ

В.Д. Алиев, А.С. Нарикович, Е.В. Далингер

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Voldemar4ik@mail.ru

В работе показана возможность исследования дефектности внутренней структуры керамических образцов на основе ZrO_2 — MgO , определения пористости, оценки поврежденности и микротрещин после нагружения и разрушения. Для проведения исследований использовали методы современной рентгеновской томографии с использованием томографа Y.Cheetah фирмы YXLON. При правильном подборе режимов сканирования метод позволяет провести заявленные научные исследования структуры материалов с требуемой точностью. Результатом рентгеновской томографии является цифровое трехмерное изображение объекта в виде воксельной модели, с помощью которой можно получить вид любой поверхности или внутреннего сечения.

Для проведения исследований изготовлены призматические образцы размером 40x6x5 мм, в количестве достаточном для проведения экспериментов и статистической обработки. Образцы получены из мелкокристаллического порошка системы ZrO_2 стабилизированного MgO методом прессования и последующего высокотемпературного спекания прессовок при температуре 1600 °С и выдержке 1 час.

Внутренняя структура исследуемых образцов представлена наличием агломератов размерами до 1.5 мм, неравномерным распределением сферических пор и микротрещин. Определено, что образцы после спекания об-

ладали пористостью в диапазоне около 30 %. Оценивая дефектность внутренней структуры после механических испытаний методом трехточечного изгиба, установлено, что множественные микротрещины локализуются в окрестностях агломератов, огибают или замыкаются на них. Агломераты препятствуют дальнейшему распространению трещин, увеличивая конструкционную прочность.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-33-51165 мол_нр.

AN INVESTIGATION OF INTERNAL STRUCTURE OF CERAMICS BY X-RAY TOMOGRAPHY METHODS

V.D. Aliev, A.S. Narikovich, E.V. Dalinger

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
Voldemar4ik@mail.ru

It is suggested that a non-destructive testing technique using a three-dimensional X-ray tomography be applied to detecting internal structural defects and monitoring damage formation in a ceramic composite structure. The as-sintered specimens are found to have a porosity of about 30%. The specimen after test has structural defects, microdamage, and cracks in the fracture zone. The internal structural defects of the test specimen are represented as dense agglomerates of zirconia of size up to 1.5 mm. Longitudinal and transverse cracks are located in the agglomerate surrounding area. The agglomerates prevent further crack growth thus increasing the structural strength of the specimen.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ZrW₂O₈ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ

Н.О. Ханзина, В.Р. Ше, Е.С. Дедова

Институт физики прочности материаловедения СО РАН; Российская Федерация,
634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4
Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
hanzina_natalia@mail.ru

В настоящей работе исследовалось влияние вольфрамата циркония на фазовый состав спеченной оксидной керамики Al₂O₃, ZrO₂–20 об.%Al₂O₃

THE INFLUENCE ZrW_2O_8 ON THE PHASE COMPOSITION OF OXIDE CERAMICS

N.O. Hanzina, V.R. She , E.S. Dedova

The Institute physicists to toughness материаловедения WITH WOUNDS;
The Federation Of Russia, 634055, Tomsk, просп. Academic, 2/4
National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
hanzina_natalia@mail.ru

In the course of work the influence of zirconium tungstate on the phase composition of the sintered oxide ceramics Al_2O_3 , ZrO_2 –20vol.% Al_2O_3 were studied.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ПОИСКА И ВЫЯВЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ОПАСНЫХ ДЕФЕКТОВ В КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТ ПРИ СОВМЕСТИМ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ

А.В. Азин, С.В. Пономарев, А.А. Жуков, С.А. Пономарев

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Томского государственного университета.
634050 г. Томск, пр. Ленина, 36, стр. 27
kus70rus@gmail.com

В данной работе рассматриваются существующие методы контроля качества выпускаемой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), работоспособность которой обеспечивает надежность и долговечность активного существования космических аппаратов. Актуальность данной работы состоит в разработке неразрушающего метода определения начала развития дефектов и мест локализации опасных дефектов при механических испытаниях электронных плат РЭА и прогнозирование срока её службы. Экспериментальные исследования на образцах электронных (ЭП) показали, что метод АЭ позволяет обнаружить растущий дефект в паяных соединениях процессора (вероятность выявления дефекта составляет 95%), но степень его опасности выявить сложно из-за большого количества паяных соединений на единицу площади (на 1 см^2 приходится 150–200 паяных соединений). Если совместно использовать методы АЭ и рентгеновской томографии, появится возможность получения геометрии растущего дефекта. А с помощью разработанных авторами алгоритмов определения остаточного ресурса и оценки долговечности по планируемой истории нагружения для

материала паяного соединения комплектующих ЭП можно определить степень опасности выявленного дефекта и оценить остаточный ресурс ЭП.

DETECTING AND IDENTIFYING HIGH THREAD DEFECTS IN ELECTRONIC BOARDS STRUCTURE

A.V. Azin, S.V. Ponomarev, S.A. Ponomarev, A.A. Zhukov

The Research institute applied mathematicians and mechanical engineers

Tomskogo state university. 634050 Tomsk, pr. Lenin, 36, p. 27

kus70rus@gmail.com

This paper considers the existing quality control method for produced communications electronics equipment (CEE), operation life of which provides reliability and durability of spacecrafts. The relevance of this research is to develop a non-destructive method in order to identify the defect growth and location of high threat defects under mechanical testing of CEE electronic boards (EB) and predict its operation lifetime. Experiments involving electronic board samples showed acoustic emission (AE) method revealed the defect growth in soldered joints (probability of identifying defects is 95%). However its hazard level is difficult to identify due to the large number of soldered joints per unit area (150–200 soldered joints per 1 cm²). In the case of using two methods - AE and x-ray tomography - it is possible to get geometric shape of defect growth. On authors developed algorithms, determining remaining operational life and evaluating durability of planned material boarding history of soldered joints in EB units, made it possible to determine hazard level of identified defects and evaluated EB remaining operational life.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОГО ОБЪЕМА ПРОНИЦАЕМОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ

П.И. Москвитина

Национальный исследовательский Томский государственный университет;

Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

clubcmail.ru@mail.ru

Исследования пористых материалов крайне важны во многих областях науки и техники. Важно знать минимальные размеры представительного объема, при которых может идти речь о достоверности различных характеристик и свойств. В рамках модели реальная пористая структура заменяется идеализированным геометрическим представлением. Для решения задачи используется модель стохастической структуры пористого тела, содержащего поры одного размера. В исследуемой модели рассматривается два типа объектов. Крупные включения описывают поры – объекты I-го

типа. Мелкие включения используются в модели для описания факта наличия межпоровых каналов и вычисления степени проницаемости среды между соседними порами – объекты II-ого типа. Для определения интенсивности переноса вещества между соседними порами выделяются коридоры и вычисляется их проницаемость. В работе приведены результаты численных расчетов компьютерного моделирования, позволяющие оценить размеры представительного объема пористой проницаемой среды. Представительный объем основывался на имитационной модели пористой среды. Показано, что модель такого типа может быть использована при определении различных свойств и характеристик материала с пористой структурой.

DETERMINATION OF DIMENSIONS REPRESENTATIVE VOLUME PERMEABLE POROUS MEDIUM

P.I. Moskvitina

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
clubcmail.ru@mail.ru

The paper discusses imitation structure with a porous medium. For a description of the porous structure of the implant used idealized geometric model. It is shown that this model allows us to determine the dimensions of a representative volume, in which is possible to investigate the properties of the material.

ПРОБИТИЕ СВИНЦОВЫМ УДАРНИКОМ СТАЛЬНОЙ ПРЕГРАДЫ

В.В. Голубятников

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Практический интерес к изучению поведения конструкционных материалов в условиях динамического нагружения в настоящее время вызван необходимостью развития северных территорий нашей страны, созданием новых противометеоритных защит, модификацией корпусов современных ледоколов и т.д. Цель исследования – изучение процесса пробития преграды при соударении со свинцовым ударником. Объектом исследования является стальная пластина толщиной 3 мм, размером 20×20 см. Предмет исследования – состояние преграды после процесса соударения. Ударник – это пуля Полева 12 калибра, с массой головки 27 г. Пуля изготовлена из сплава свинца и имеет коническую форму.

Пластина была зафиксирована в вертикальном положении. Расстояние до точки выстрела 10 м. Выстрел был произведен из гладкоствольного ру-

жъя МЦ – 9К. Начальная скорость пули составила около 420 м/с. В месте соударения была выбита часть пластины. Повреждение в самой пластине имело вид сквозного пулевого канала с небольшой конусностью, глубиной 15 мм. Отверстия канала имели округлую форму и размеры 30×20 мм соответственно. Края повреждения были ровные и имели изгиб в направлении полета пули. Выбитая часть имела выпуклую округлую форму глубиной около 7 мм и диаметром около 19 мм. Края были рваные. Иных повреждений пластины не выявлено. Пуля была сильно деформирована.

Данное научное исследование проведено в НИИ ПММ ТГУ на базе мобильной лаборатории «Взрывного разрушения природных материалов». В результате эксперимента было установлено, что повреждения стальной пластины имели характерные признаки для данного вида соударения.

BEHAVIOR OF STEEL PLATE UNDER IMPACT LOAD

V.V. Golubyatnikov

National research Tomsk State University
golubyatnikov@yandex.ru

The Practical interest to study of the behaviour конструкционных материалов in condition dynamic нагружения at present is our country caused by need of the development north territory, creation new противометеоритных protection, modification body modern icebreaker and etc. The Purpose of the study – a study of the process пробития перга-ды under соударении with leaden firing pin.

Секция 4
БАЛЛИСТИКА И НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА

Session 4
BALLISTICS AND CELESTRAL MECHANICS

**ЗАДАЧА ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ
МОДЕЛИ КВАЗИГЕОИДА**

К.В. Шаповалова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
saaw@ngs.ru

В статье приводится описание и актуальность задачи редукции геодезических высот к поверхности относимости квазигеоида. Рассматриваются степень разработанности проблемы и перспективы дальнейших исследований в области построения локальных квазигеоидов. Ставится задача комплексной реконструкции местной нивелирной сети, призванная определить границы применимости технологии спутникового нивелирования. Затрагиваются основные методологические проблемы, связанные с решением данной задачи.

**THE PROBLEM OF CONSTRUCTION A HIGH-PRECISION LOCAL
MODEL OF QUASIGEOID**

K.V. Shapovalova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
saaw@ngs.ru

The description and the topicality of the geodetic heights transformation to the reference surface of Quasi-geoid were shown. The techniques of solving the problem, the level of the topic scientific development and perspectives for further research to the modelling local Height Reference Surface are under consideration.

ВОЗДУШНЫЕ ЗМЕИ

А. Любушкин, А. Поляков, А. Фогель
МАОУ СОШ № 12, г Томск, пер. Юрточный, 8
Kolesova_1968@mail.ru

Цель проекта:

1. Познакомиться с историей возникновения кайтов (воздушных змей)
2. Выяснить какие аэродинамические силы, действующие на змей в полете.
3. Изготовить воздушный змей и испытать в действии.
4. Сделать выводы по проекту.

Воздушные змей, кажущиеся нам лишь забавой, дают нам представления об аэродинамике летательных аппаратов, используются для научных исследований. В настоящее время кайтинг стремительно развивается как вид спорта и отдыха во всем мире.

История воздушных змеев насчитывает, как минимум, 2 000 лет.

В западный мир кайт пришел в XIII в. н.э.

История изобретения. Марко Поло, итальянский исследователь, вернувшийся из Китая в 1295 г., написал точный отчет о конструкции кайтов и способе их запуска. Первая известная ссылка на воздушный змей в Европе появляется в манускрипте о военных технологиях, написанном в 1405 г. Другой текст, написанный в 1430 г., описывает, как сделать кайт из пергамента, и объясняет, как соединять стропы с различными точками на воздушном змее для достижения хороших летных характеристик в различных ветровых условиях.

Для облегчения понимания аэродинамических законов, влияющих на полет змея, можно представить змей в виде прямоугольной плоской пластинки. Разобраться нам поможет упрощенный чертеж (рис. 1). Пусть линия АВ изображает разрез плоского змея. Предположим, что наш воображаемый змей взлетает справа налево под углом α к горизонту или набегающему потоку ветра. Рассмотрим, какие силы действуют на модель в полёте. Для того чтобы воздух мог поднять пластинку, она должна быть расположена под некоторым углом к потоку воздуха, движущимся горизонтально. Угол α называют углом атаки. На взлете плотная масса воздуха препятствует движению змея, другими словами, оказывает на него некоторое давление. Обозначим это давление F_1 . Теперь построим так называемый параллелограмм сил и разложим силу F_1 на две составляющие – F_2 и F_3 . Сила F_2 толкает змей от нас, а это значит, что при подъёме она снижает его первоначальную горизонтальную скорость. Следовательно, это сила сопротивления. Другая же сила (F_3) увлекает змея вверх, поэтому назовем ее подъёмной. Поднимая модель в воздух (буксируя ее за леер), мы как бы искусственно увеличиваем силу давления на поверхность змея, то есть си-

лу F1. И чем быстрее мы разбегаемся, тем больше увеличивается эта сила. Значит, увеличивается подъемная сила – змей взлетает. Для того чтобы змей держался в воздухе, подъемная сила должна быть равной массе змея вместе с леером. Если подъемная сила меньше массы змея, то последний падает на землю или опускается, изменяя угол атаки, т.е. подъемная сила должна быть равна массе змея. Величина подъемной силы зависит от скорости ветра V , массовой плотности воздуха ρ , равной, примерно 0,125, размера площади змея S и угла атаки α .

Практическая часть. Изготовили прямоугольный и ромбовидный змей из полиэтилена и бумажный прямоугольной формы. Установили, у какого змея будут лучшие аэродинамические свойства.

KITE

A. Lyubushkin, A. Polyakov, A. Vogel

Sfax school № 12, Tomsk, trans. Yurt, 8

Objective of the project: 1. Meet with the history of kites (kites) 2. Find out what the aerodynamic forces acting on the snakes in flight. 3. Produce a kite and experience in action. 4. To draw conclusions on the project.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ АВТОНОМНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ НИЗКОЛЕТЯЩЕГО ИСЗ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

Е.В. Блинкова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
zbizk322@mail.ru

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования задачи определения и прогнозирования орбиты низколетящего ИСЗ по измеренным расстояниям от этого спутника до спутников системы ГЛОНАСС. Математическая модель решения этой задачи построена в предположении, что движение всех рассматриваемых объектов является возмущенным и прогнозируется с помощью программы «Численная модель движения ИСЗ». В процессе численного интегрирования для всех спутников учитываются возмущения от несферичности геопотенциала. Кроме того, для низколетящего ИСЗ учитываются возмущения от сопротивления атмосферы Земли, а для спутников ГЛОНАСС – лунно-солнечные возмущения. Анализируются следующие данные: быстродействие метода решения задачи улучшения орбиты, скорость сходимости процесса в зависимости от точности начальных данных и интервала охвачен-

ного измерениями. Оценивается зависимость длины временного интервала высокоточного прогнозирования (вперед) от длины интервала, охваченного измерениями.

MODELLING TASKS AUTONOMOUS MOVEMENT PREDICTING LOW-FLYING SATELLITES FOR GNSS MEASUREMENTS

E.V. Blinkova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
zbizk322@mail.ru

This paper presents the results of numerical modeling problems of definition and forecasting of low-flying satellites orbit by measuring the distance from the satellite to the GNSS satellites. A mathematical model to solve this problem is based on the assumption that the motion of all the objects under consideration is disturbed and it is predicted using the program "A numerical model of the satellite motion." Analyzes the following data: the performance of the method of solving the problem of improving the orbit, the process of convergence speed, depending on the accuracy of the initial data and dimensions covered by the interval. We estimate the dependence of the length of high-precision time interval prediction (forward) from the length of the interval covered by the measurements

ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ УСКОРЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ АСТЕРОИДА 2011 MD

О.М. Сюсина, Г.Е. Самбаров

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
kleo77@sibmail.com

Исследование орбитальной эволюции малых тел Солнечной системы, а также задача оценивания вероятности столкновения объекта с Землей требует формирования оптимальной модели возмущающих ускорений, действующих на исследуемый объект. Модель сил, используемая в дифференциальных уравнениях движения астероидов, может содержать различный набор возмущающих ускорений в зависимости от задач, поставленных перед исследователем, типа орбит объекта и его возможных сближений с Землей или другими планетами. Применение менее полной модели может привести к систематическим ошибкам и как следствие непопадание изучаемого объекта в область возможных параметров. Это особенно недопус-

тимо при исследовании столкновения астероидов с Землей. В данной работе на примере астероида 2011 MD были проведены исследования влияния малых возмущающих параметров, таких как сжатие Земли, сжатие Солнца и релятивистские эффекты на вероятностную модель движения объекта. Уравнения движения были проинтегрированы на интервале времени 2000–4000 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 16-32-00191 мол_а.

ESTIMATING THE EFFECT DIFFERENT PERTURBATION ACCELERATIONS ON THE ACCURACY OF PROBABILISTIC MOTION MODEL OF ASTEROID 2011 MD

O.M. Syusina, G.E. Sambarov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
kleo77@sibmail.com

The study of orbital evolution of small bodies in the Solar system, as well as the problem of estimating the probability of collisions of the object with the Earth, requires the optimal model of the perturbing accelerations acting on the object under study. In this paper, on example of asteroid 2011 MD was investigated the effect of small perturbing parameters such as Sun and Earth oblateness and the relativistic effects on a probabilistic model of the object.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАОТИЧЕСКОЙ И РЕГУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ АСТЕРОИДОВ – КОМПАНЬОНОВ ВЕНЕРЫ

О.Н. Летнер, Т.Ю. Галушина

НИИ ПММ Национального исследовательского
Томского государственного университета;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
oksana.letner@gmail.com

Данная работа посвящена исследованию движения астероидов 322756 2001 SK32, 2002 LT24, 2002 VE68, 2007 AG, 2013 ND15, сближающихся с Землей (АСЗ) и движущихся в окрестности резонанса 1:1 с Венерой.

Для исследования хаотичности и определения времени предсказуемости движения использовались параметры MEGNO и OMEGNO. Из рассмотренных индикаторов наибольшую эффективность показал OMEGNO, поскольку он позволяет не только разделить регулярное и хаотическое движение, но и выявить периодические орбиты среди регулярных. Исследова-

ние показало, что астероиды 2002 VE68 и 2013 ND15 демонстрируют регулярные колебания резонансной щели и критического аргумента около значения точной соизмеримости на интервале времени (1000, 3000 лет). Для этих объектов была рассмотрена вероятностная орбитальная эволюция.

При построении вероятностных областей движения исследуемых АСЗ использовалось 10 тыс. тестовых частиц, покрывающих начальную доверительную область объекта. Интервалы исследования выбирались индивидуально и составили 4500 и 1520 лет соответственно.

Орбита астероида 2013 ND15 плохо определена, что не позволяет сделать окончательный вывод об его захвате в резонанс. Данный объект регулярно сближается с Меркурием, Венерой и Землей, что приводит к значительному увеличению доверительной области. Иное поведение демонстрирует астероид 2002 VE68. На всем интервале исследования астероид движется в окрестности устойчивого резонанса, критический аргумент при этом либрирует.

THE RESEARCH OF CHAOTIC AND REGULAR DYNAMICS OF ASTEROIDS – VENUS COMPANIONS

O.N. Letner, T.Yu. Galushina

NII PMM National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
oksana.letner@gmail.com

The paper is devoted to investigation of regular and chaotic dynamics of asteroids 322756 2001 CK32, 2002 LT24, 2002 VE68, 2007 AG, 2013 ND15, near-Earth objects (NEA) and moving in the vicinity of resonance 1:1 with Venus. To investigate the chaoticity and predictability time definition of movement parameters MEGNO and OMEGNO are used. OMEGNO indicator showed the greatest efficiency.

The behavior of the resonant characteristics are investigated for these NEA and encounters of asteroid with large planets are revealed. The time interval of integration is chosen individually for each object. The probabilistic regions of movement of asteroids 2002 VE68 and 2013 ND15 are constructed and investigated.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЗАРЯЖАНИЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ +20 °С

А.И. Зыкова, Н.М. Саморокова, А.Д. Сидоров

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
Arven2022@mail.ru

Проведение параметрических исследований по определению оптимальных условий заряжания с целью повышения дульной скорости при начальной температуре + 20 °С

DETERMINATION OF OPTIMAL LOADING CONDITIONS AT THE INITIAL TEMPERATURE OF + 20 °C

A.I. Zyкова, N.M. Samorokova, A.D. Sidorov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
Arven2022@mail.ru

Conducting of parametric studies to determine the optimum loading conditions for increasing of projectile element muzzle velocity at the initial temperature +20 °C

ПОЗИЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ АСТЕРОИДОВ НА ТЕЛЕСКОПЕ СБГ АО УРФУ И ДАЛЬНЕЙШЕЕ УЛУЧШЕНИЕ ИХ ОРБИТ

Р.В. Савельев, Т.Ю. Галушина

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
legiontecos@gmail.com

В вопросе упреждения астероидно-кометной опасности важным вопросом является наблюдение астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), а так же как можно более точные предсказания их орбит. В период с 10 по 13 февраля 2016 г. в АО УрГУ на телескопе СБГ (F=780 мм, D=420мм, ПЗС-камера Arporee Alta U32) было сделано 668 снимков АСЗ, после обработки с помощью программного комплекса IZMCCD было получено 309 наблюдений 12 объектов с удовлетворительными разностями координат (O-C). Кроме того, 3 объекта имели $(O-C) > 1''$, что помимо плохого качества снимков могло указывать на плохо рассчитанную орбиту. Для этих объектов была использована методика отбраковки наблюдений, основанная на улучшении орбит. Для одного из объектов снимки оказались действитель-

но плохого качества. Для второго астероида 463282 2012 HR15 на момент проверки наблюдений орбита была хорошо определена, и для всех полученных наблюдений $(O-C) < 1''$. Третий астероид 459872 2014 EK24 имел 32 наблюдения с большими значениями $(O-C)$, 13 из которых после улучшения орбиты оказались удовлетворительного качества с $(O-C) < 1''$. Результаты наблюдений были отправлены в MPC, часть из которых уже опубликована в его циркулярах.

POSITIONAL OBSERVATIONS OF ASTEROIDS WITH SBG OF AO URFU AND FURTHER IMPROVEMENT OF THEIR ORBITS

R.V. Saveliev, T.Yu. Galushina

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
legiontecos@gmail.com

For the period from 2016, February, 10 to 2016, February, 13 668 images of NEAs was taken with telescope SBG of AO of UrFU. After processing in program package IZMCCD we obtained 309 observations of 12 objects with satisfactory residuals $(O-C)$. Also 3 objects had $(O-C) > 1''$ what could mean not only a poor quality of image but bad calculated orbit. For this objects method of observation rejection based on orbit improvement was used.

ОРБИТАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ РЕАЛЬНЫХ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГЛОНАСС И GPS С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ РЕЗОНАНСОВ И СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

М.В. Каширин, И.В. Томилова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
carryelement@gmail.com

В работе рассматривается долговременная орбитальная эволюция космических аппаратов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS, в предположении, что все они потеряли управление 8.01.2015 г. 00.00 UTC. Численное моделирование орбитальной эволюции объектов выполнено при помощи программного комплекса «Численная модель движения систем ИСЗ», реализованного в среде параллельных вычислений. В процессе моделирования учитывались возмущения от Луны, Солнца, несферичности геопотенциала до 10 порядка и степени. Моделирование проводилось как с учетом светового давления, так и без него. Для учета светового давления использовалась коническая модель. Результаты показывают, что учет светового давления приводит к увеличению

осредненного параметра MEGNO. При этом резонансная структура в динамике объектов сохраняется.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-1671.2016.3, конкурс СП-2016).

ORBITAL EVOLUTION OF REAL UNCONTROLLED OBJECTS OF NAVIGATION SYSTEMS GLONASS AND GPS TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF RESONANCE AND LIGHT PRESSURE

M.V. Kashirin, I.V. Tomilova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
carryelement@gmail.com

The paper presents description of long-term orbital evolution of currently existing objects Global Navigation Satellite Systems under the assumption that they lost control 08.01.2015 00.00 UTC. The numerical simulation the long-term orbital evolution was carried out of using the Numerical Model of Motion of Satellite Systems software package implemented in a parallel programming environment at the Tomsk State University computing cluster. During the modeling the perturbations from the Moon, the Sun, nonsphericity of the geopotential up to 10 of the order and the degree were took into account. The simulation was performed as the subject of light pressure, and without it. The conical model of the light pressure was used.

The results show that the inclusion of light pressure leads to an increase in the averaged parameter MEGNO. The resonance structure of the object dynamics is saved.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТЫ ОПАСНОГО АСТЕРОИДА ПО ОПТИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ КОМПЛЕКСА «НЕБОСВОД» 70

Гоу Пэн, В.В. Ивашкин

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН;
Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4
869792831@qq.com

В докладе анализируются точности определения параметров орбиты астероида с помощью разрабатываемого корпорацией «Комета» космического комплекса «Небосвод». Комплекс предназначен для обнаружения опасных для Земли небесных тел с целью своевременного предупреждения о

возможной астероидно-кометной угрозе и определения параметров их движения. Разработаны алгоритмы определения орбиты астероида, сближающегося с Землей, по результатам данных оптических измерений с борта КА данного комплекса. Начальное приближение определяется на основе метода Гаусса. Дальнейшее уточнение орбиты производится с помощью метода наименьших квадратов. Разработаны алгоритмы оценки точности определения параметров орбитального движения астероида.

Оценки точности сделаны с помощью двух методов – аналитического метода и метода статистических испытаний «Монте-Карло». На основе двух орбит астероида, близких к орбите Апофиса, выполнено моделирование процесса движения астероида, его измерений и определения его орбиты с расстоянием от 100 млн км до сближения с Землей в 2028–2029 гг., получены оценки точности навигации по прицельной дальности орбиты, перигейному расстоянию и моменту прохождения перигея астероида.

Анализ показал, что результаты аналитического и статистического методов близки друг к другу и комплекс «Небосвод» довольно хорошо определяет орбиту астероида.

AN ESTIMATION OF ORBIT PARAMETERS DETERMINATION ACCURACY FOR DANGEROUS ASTEROID USING OPTICAL MEASUREMENTS BY THE COMPLEX “NEBOSVOD”

Guo Peng, V.V. Ivashkin

Institute applied mathematicians im. M.V. Keldysha WOUNDS;
Federation Of Russia, 125047, Moscow, Miusskaya pl., d. 4
869792831@qq.com

Navigation accuracy characteristics of space complex “Nebosvod”, which is being designed now by the Russian Corporation “Cometa”, are presented. This complex includes two spacecraft (SC) on geosynchronous orbits, and these SC will be equipped by a high-accuracy scanning telescope. Using these telescopes, identification of celestial bodies as well as determination of their angular coordinates, right ascension and declination, is supposed to be performed. On the base of two asteroid orbits that are close to the Apophis one, there is performed modeling the asteroid motion and its measurements, estimating its orbit parameters and evaluating the navigation accuracies. It is shown that the complex “Nebosvod” allows estimating the asteroid orbit well enough.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ВЕРОЯТНОЙ ЗОНЫ ПАДЕНИЯ АСТЕРОИДА АРОPHIS НА ЗЕМЛЮ В 2036 г.

К.А. Стихно, П. Гуо, В.В. Ивашкин

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана;
Российская Федерация, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5
fn2cyril@gmail.com

В докладе рассмотрена задача по исследованию вероятной зоны падения астероида Apophis на Землю в 2036 г.

Разработаны алгоритмы для поиска траекторий опасного астероида Apophis, попадающих в Землю в 2036 г., с помощью методов Монте-Карло и градиентного спуска.

Произведен поиск несколько семейств попадающих траекторий, для каждого из которых перигейное расстояние траектории близко к некоторому фиксированному перигейному расстоянию из диапазона {2070; 2500; 3000; ...; 6000; 6370} км.

Определено множество точек пересечения этих траекторий с поверхностью Земли и на основе этого построена столкновительная полоса на карте мира. Исследованы особенности этой зоны падения. Дано сравнение полученных результатов с другой работой по данной проблеме.

AN ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF ASTEROID APOPHIS' POSSIBLE IMPACT ZONE ON THE EARTH

C.A. Stikhno, P. Guo, V.V. Ivashkin

The Moscow state technical university im. N.E. Bauman;
Federation Of Russia, 105005, Moscow, 2-I Baumanskaya ul., d.5
fn2cyril@gmail.com

In the paper the problem to study the asteroid 99942 Apophis' possible impact zone on the Earth in 2036 is considered. The set of points of intersection of these trajectories to the surface of the Earth is determined and the collision area on the world map is built. The features of this drop zone are analyzed. A comparison of the results with other works on this issue is performed.

АНАЛИЗ ГОРЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ЗАРЯДА В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАНИЯ

А.Д. Сидоров, А.И. Зыкова, Н.М. Саморокова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
alex_sid92@mail.ru

Выявлены и проанализированы особенности горения комбинированного заряда при электротермохимическом воздействии.

ANALYSIS OF COMBUSTION OF THE COMBINED CHARGE IN THE CONDITIONS ELECTROTHERMAL-CHEMICAL THROWING TECHNOLOGY

A.D. Sidorov, A.I. Zyкова, N.M. Samorokova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
alex_sid92@mail.ru

Identified and analyzed characteristics of combustion combined charge at electrothermal-chemical impact.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЕ АСТЕРОИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПЛАНЕТНЫХ ЭФЕМЕРИД

С.И. Королев, А.П. Батури

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
alexbaturin@sibmail.com

К настоящему времени выпущено большое число планетных эфемерид, используемых при учете возмущений в задаче прогнозирования движения астероидов. Поэтому в астрономической практике существует проблема выбора наиболее точных эфемерид. В докладе рассмотрена задача прогнозирования движения астероидов с использованием при учете возмущений наиболее употребительных эфемерид больших планет и Луны, а именно, DE405, DE408, DE414, DE422, DE423, DE424, DE425, DE430, DE431, DE432, DE433, DE434, DE435 и EPM2011. Выполнено сравнение результатов прогнозирования, полученных с использованием всех перечисленных эфемерид, для четырех астероидов, два из которых имеют короткую дугу наблюдаемости и два – длинную. При выполнении исследования были использованы разработанные ранее программы [1–3], предназначенные для

улучшения орбиты и прогнозирования движения астероидов. В обе программы была добавлена возможность использования выпущенных в последнее время эфемерид DE433, DE434 и DE435. Показано, что использование более новых эфемерид для всех объектов дает более близкие результаты прогнозирования, поэтому на практике предпочтительнее использовать последние эфемериды больших планет и Луны.

Литература

1. Батури́н А.П., Вотчель И.А. // Изв. вузов. Физика. 2014. Т. 57. № 10/2. С. 17–24.
2. Батури́н А.П., Кинзерский В.В. // Изв. вузов. Физика. 2014. Т. 57. № 10/2. С. 67–75.
3. Батури́н А.П., Кинзерский В.В. // Материалы V Междун. мол. конф. «Актуальные и прикладные проблемы современной механики». Томск: ТГУ. 2015. С. 125–130.

THE SIMULATION OF ASTEROID'S MOTION WITH DIFFERENT PLANETS' EPHEMERIDES

S.I. Korolev, A.P. Baturin

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
alexsbaturin@sibmail.com

The great number of planets ephemerides exists for today so the problem of choice of the most precise ephemerides is actual now. In the report the motion of several asteroids is calculated with perturbations accounting from the commonly used ephemerides DE405, DE408, DE414, DE422, DE423, DE424, DE425, DE430, DE431, DE432, DE433, DE434, DE435 and EPM2011. The comparison of the results obtained with all these ephemerides has been performed. It has been demonstrated that usage of newer ephemerides gives closer results so these ephemerides are preferable for the perturbations accounting.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ

А.Г. Александрова, И.Н. Чувашов

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
aleksann@sibmail.com

Одной из фундаментальных задач современной небесной механики является исследование влияния светового давления на динамику околоземных космических объектов, поскольку данный возмущающий фактор способен кардинально менять их орбитальную эволюцию. Влияние сил светового давления сильно зависит от геометрических и физических свойств космического аппарата (КА), а также от его ориентации на орбите, поэто-

му построить обобщенную высокоточную модель невозможно, но можно получить для определенных типов объектов модели светового давления, которые позволят с нужной точностью определить орбиту.

В данной работе рассматривается модель радиационных сил, построенная с учетом формы КА (его эффективной поверхности) и основанная на физическом взаимодействии между солнечным излучением и поверхностью спутника. Методика моделирования эффективной поверхности состоит в том, чтобы выделить ключевые элементы конструкции рассматриваемого КА с точки зрения формирования силы светового давления, но при этом не загромождать расчеты. Для спутников системы ГЛОНАСС это прежде всего панели солнечных батарей и центральный модуль. Параметры модели определялись по данным наблюдений методом наименьших квадратов. Результаты исследований показали, что использование данной модели позволило получить среднеквадратическое отклонение определения орбиты в среднем 2–6 см на 24-часовом интервале времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60097 мол_a_дк

DETERMINATION OF PARAMETERS OF SOLAR RADIATION PRESSURE MODEL FROM OBSERVATIONS

A.G. Alexandrova, I.N. Chuvashov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
aleksann@sibmail.com

In this report a model for the solar radiation pressure on GLONASS satellites is presented that is based on effective surface model of satellite. The model is based on the physical interaction between solar radiation and satellite surfaces. Parameters of the radiation pressure model have been adjusted to fit the GLONASS tracking data.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ПОТОКОВ ЧАСТИЦ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАСПАДОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОКОЛОРЕЗОНАНСНЫХ ОРБИТАХ

А.Г. Александрова, И.В. Томилова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
aleksann@sibmail.com

В данной работе рассматриваются результаты исследования долговременной орбитальной эволюции и резонансной структуры потоков частиц космического мусора, образовавшихся в результате распадов космических

аппаратов (КА) зоны МЕО на интервале времени 100 лет, а также MEGNO-анализ динамической эволюции фрагментов распада КА. В качестве объектов распада были выбраны спутники, один из которых подвержен действию сразу нескольких вековых резонансов и находится в окрестности орбитального резонанса 2:1 с Землей, и имеет неустойчивый характер движения (GPS-1), а второй подвержен влиянию только резонанса Лидова-Козаи и движется по квазипериодической орбите (ГЛОНАСС-1). Начальное пространственное распределение фрагментов КА по скоростям моделировалось с помощью «Численной модели распада космических объектов», а их движение прогнозировалось с помощью «Численной модели движения систем ИСЗ», реализованной на кластере «Скиф Cyberia» ТГУ. Используемые численные модели разработаны сотрудниками отдела «Небесной механики и астрометрии» НИИ ПММ ТГУ при участии автора работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 15-02-02868 а.

INVESTIGATION OF THE RESONANCE STRUCTURE AND THE DYNAMIC EVOLUTION OF THE PARTICLE FLUXES GENERATED AS A RESULT OF SPACECRAFT EXPLOSIONS IN NEAR-RESONANCE ORBITS

A.G. Aleksandrova, I.V. Tomilova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
aleksann@sibmail.com

The report presents the results of investigations of the dynamic evolution and resonance structure of the particle fluxes of space debris generated by the explosion of artificial Earth satellites (AES) in MEO. We have considered the explosions of two satellites (GPS-1, GLONASS-1).

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПРЕВЕНТИВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ОПАСНОГО АСТЕРОИДА

А.Г. Александрова, Т.Ю. Галушина, К.В. Холшевников

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
aleksann@sibmail.com

Одним из предлагаемых способов противодействия астероидной опасности является уничтожение объекта путем его подрыва. В этом случае моделирование распада астероида и исследование динамики фрагментов поможет определить, будут ли представлять собой опасность для Земли

образовавшиеся осколки. В данной работе рассматривается динамическая эволюция фрагментов распада, образовавшихся в результате распада астероидов, сближающихся с Землей. Для моделирования распада астероида использовалась модель подрыва астероида с помощью ядерного устройства. При этом рассматриваются два способа подрыва. В первом случае ударник нагоняет астероид сзади на участке траектории ухода астероида от Земли, а во втором случае астероид нагоняет ударник. Диаметр астероида брался равным 200 м, так что астероид в соответствии с заданной моделью полностью разрушается на осколки размером до 10 м. Генерировалось порядка 100000 осколков. При исследовании долговременной динамической эволюции потоков частиц использовался высокоточный программный комплекс «ИДА», предназначенный для исследования динамики и вероятностной орбитальной эволюции астероидов, разработанный при участии Т.Ю. Галушиной.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» (проект 8.1.54.2015).

COMPARISON OF DIFFERENT METHODS OF THE PREVENTIVE DESTRUCTION OF A HAZARDOUS ASTEROID

A.G. Aleksandrova, T.Yu. Galushina, K.V. Holshevnikov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
aleksann@sibmail.com

One means of countering a hazardous asteroid is destruction of the object using a nuclear charge. The report presents the results of investigations of the dynamic evolution of the particle fluxes generated by the explosion of a hazardous asteroid. Two ways of asteroid destruction have been considered

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ И ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ АСЗ ВБЛИЗИ НЕКОТОРЫХ РЕЗОНАНСОВ С ЮПИТЕРОМ И ЗЕМЛЕЙ

Е.Н. Ниганова, Л.Е. Быкова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
shen1981@mail.ru

Работа посвящена исследованию хаотичности в движении астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ). Динамический хаос может возникать в окрестности границ областей начальных параметров движения, приводящих

к определенным орбитальным резонансам. Границей, разделяющей различные режимы движения, может быть хаотический слой. В работе представлены результаты построения и исследования областей начальных параметров движения, приводящих к некоторым резонансам с Юпитером и Землей. Исследования выполнялись численным моделированием эволюции орбит астероидов, резонансных характеристик и индикатора хаотичности движения. В качестве индикатора хаотичности взят параметр MEGNO, с помощью которого были исследованы окрестности полученных резонансных областей. Каждая резонансная область строилась на множестве начальных значений большой полуоси и средней аномалии при фиксированных значениях остальных элементов орбит. Рассмотрено влияние начальных параметров орбит: эксцентриситета и наклона на размеры области, а также на ширину хаотического слоя. В результате были построены хаотические зоны в окрестности границ резонансных областей при различных значениях эксцентриситета и наклона, и получены численные оценки ширины этих зон. Численное моделирование выполнялось на кластере СКИФ CYBERIA ТГУ, что позволило исследовать орбитальную эволюцию большой совокупности модельных частиц на интервалах времени несколько тысяч лет.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-02-02868.

NUMERICAL RESEARCH OF REGULAR AND CHAOTIC MOTION OF NEAS NEAR OF A BOUNDARY OF THE MEAN MOTION RESONANCE WITH JUPITER AND EARTH

E.N. Niganova, L.E. Bykova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
shen1981@mail.ru

The paper is dedicated to the investigation of the chaotic state in the motion of near-Earth asteroids (NEA). The paper presents the results of construction and investigation of the domains of the initial parameters of motion leading to the some resonances NEAs with Jupiter or Earth. The investigations were carried out by numerical simulation of the evolution of the asteroids, resonance characteristics and an indicator of chaotic motion. The resonance region was constructed over the set of initial values of the semi-major axis and the mean longitude at fixed values of other orbital elements. As a result a chaotic zone was constructed in the vicinity of the boundaries of the resonance regions with different values of eccentricity and inclination, and obtained numerical estimates of the widths of these zones. The numerical simulation was implemented on the cluster SKIF CYBERIA TSU this allowed us to investigate the orbital evolution

of a large number of model particles over a time interval of several thousand years. The paper was executed with grant support RFBR 15-02-02868.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛОКАЛЬНОЙ ГЕОДИНАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPS/ГЛОНАСС ИЗМЕРЕНИЙ

Е.В. Пахомова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
kuzina.87@mail.ru

В работе представлены полученные методами математического моделирования результаты исследования влияния увеличения числа базовых станций на точность определения координат неизвестного пункта. Для исключения фазовых неоднозначностей и поправок часов приемников на пунктах из числа определяемых параметров используются тройные разности наблюдаемых величин. Кроме того проведено исследование по определению оптимальных параметров процесса нахождения подвижек координат заданного пункта при использовании тройных разностей измерений, полученных на базовых GPS/ГЛОНАСС станциях и на искомом пункте. Разработанная математическая модель состоит из следующих разделов: моделирование GPS/ГЛОНАСС наблюдений; составление уравнений для определения поправок в координаты неизвестного пункта; получение НК оценок для этих поправок; построение для НК оценок граничных поверхностей доверительных эллипсоидов; нахождение смещения определяемой точки.

INVESTIGATION OF SOLVING LOCAL GEODYNAMICS PROBLEMS USING BASE GPS/GLONASS MEASUREMENTS

E.V. Pakhomova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
kuzina.87@mail.ru

The results of the study of the effect of the number of base GPS/GLONASS stations on the accuracy in solving local geodynamics problems are presented. It is shown that the optimum parameters of the process of finding the displacement in the coordinates of a point are determined by using third differences of measured distances.

ЗАДАЧА ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КВАЗИГЕОИДА

К.В. Шаповалова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
ff.a.shapovalova.kseniya@stud.tsu.ru

В статье приводится описание и актуальность задачи редукции геодезических высот к поверхности относимости квазигеоида. Рассматриваются степень разработанности проблемы и перспективы дальнейших исследований в области построения локальных квазигеоидов. Ставится задача комплексной реконструкции местной нивелирной сети, призванная определить границы применимости технологии спутникового нивелирования. Затрагиваются основные методологические проблемы, связанные с решением данной задачи.

PROBLEM OF DEVELOPMENT HIGH-PRECISION LOCAL MODEL OF QUASIGEOID

K.V. Shapovalova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
ff.a.shapovalova.kseniya@stud.tsu.ru

The description and the topicality of the geodetic heights transformation to the reference surface of quasigeoid were shown. The techniques of solving the problem, the level of the topic scientific development and perspectives for further research to the modelling local Height Reference Surface are under consideration.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОРБИТ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА С БОЛЬШОЙ ПАРУСНОСТЬЮ

И.Н. Чувашов, П.А. Левкина

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
chuvashovin@gmail.com

В настоящее время в околоземном пространстве известны объекты космического мусора, имеющие отношения площади миделевого сечения к массе (коэффициент парусности) больше $10 \text{ м}^2/\text{кг}$. Световое давление оказывает значительное влияние на движение этих объектов, и прогнозирование на длительные интервалы времени практически невозможно. Объекты с большим коэффициентом парусности представляют опасность для функ-

ционирующих космических аппаратов. В работе рассмотрено несколько способов моделирования ускорений от светового давления с использованием позиционных наблюдений таких объектов. В первом способе совместно с координатами и скоростями определяется коэффициент парусности. В последующих двух подходах задаются отличные друг от друга спутникоцентрические системы координат и определяются три компонента вектора ускорения вдоль осей этих систем координат. Показано, что последние два способа лучше минимизируют среднеквадратическую ошибку наблюдений и хорошо представляют наблюдения, а первый подход не всегда позволяет найти решение обратной задачи.

INVESTIGATION OF SPACE DEBRIS ORBITS WITH HIGH AREA-TO-MASS RATIO

I.N. Chuvashov, P.A. Levkina

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
chuvashovin@gmail.com

Currently, in the near-Earth space is known space debris objects with mid-section area to mass ratio (area-to-mass ratio) is higher than $10 \text{ m}^2/\text{kg}$. The light pressure has a significant influence on the motion of these objects, and prognosis for long time intervals practically impossible. Objects with a high area-to-mass ratio produce a risk to operational spacecrafts. In the paper discussed several ways to accelerations of light pressure simulation with the use of positional observations of such objects. In the first method we determined the area-to-mass ratio together with coordinates and velocities. The following two approaches are set object-center coordinate systems different from each other and define three components of the acceleration vector along the axes of these coordinate systems. It is shown that last two methods are better to minimize the mean square error of measurements, but the first approach is not always suitable to find a solution to the inverse problem.

ВОЗМОЖНАЯ ОШИБКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЗВЁЗДНОГО ВРЕМЕНИ ПОЯВЛЕНИЯ МЕТЕОРА

А.А. Майнагашева

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
maynagasheva.a@bk.ru

Координаты траектории метеора как и станций наблюдения вычисляются в геодезической системе координат. При этом зачастую не принимается

во внимание, что координаты станций определяются приемниками GPS, работающих в системе координат WGS-84. Эта система совпадает с геодезической системой координат, но ось X смещена на 102 м к востоку от Гринвича. Это вносит ошибку в долготу и соответственно в вычисления звездного времени.

В работе выполнен анализ поправки по долготе к системе WGS-84.

POSSIBLE ERROR IN DETERMINING OF SIDEREAL TIME OF OCCURRENCE THE METEORS

A.A. Maynagasheva

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
maynagasheva.a@bk.ru

Coordinates of the trajectory of the meteor as monitoring stations are calculated in geodetic coordinate system. This is often not taken into account that the coordinates of the station are determined by GPS receivers operating in the WGS-84 coordinate system. This system is the same as the geodetic coordinate system, but the X axis shifted by 102 meters to the east of Greenwich. This introduces an error in the longitude and respectively calculating the sidereal time. The paper analyzed the amendment of longitude to the WGS-84.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ АВТОНОМНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ НИЗКОЛЕТЯЩЕГО ИСЗ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

Е.В. Блинкова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
zbizk322@mail.ru

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования задачи определения и прогнозирования орбиты низколетящего ИСЗ по измеренным расстояниям от этого спутника до спутников системы ГЛОНАСС. Математическая модель решения этой задачи построена в предположении, что движение всех рассматриваемых объектов является возмущенным и прогнозируется с помощью программы «Численной модель движения ИСЗ». В процессе численного интегрирования для всех спутников учитываются возмущения от несферичности геопотенциала. Кроме того, для взятого низколетящего ИСЗ учитываются возмущения от сопротивления атмосферы Земли, а для спутников ГЛОНАСС – лунно-солнечные возмущения. Анализируются следующие данные: быстродейст-

вие метода решения задачи улучшения орбиты, скорости сходимости процесса в зависимости от точности начальных данных и интервала охваченного измерениями. Оценивается зависимость длины временного интервала высокоточного прогнозирования (вперед) от длины интервала, охваченного измерениями.

SIMULATION PROBLEMS AUTONOMOUS PREDICT THE MOVEMENT OF LOW-FLYING SATELLITES SOFTWARE MEASUREMENT SYSTEM GLONASS

E.V. Blinkova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
zbizk322@mail.ru

This paper presents the results of numerical modeling problems of definition and forecasting of low-flying satellites orbit by measuring the distance from the satellite to the GLONASS satellites. A mathematical model to solve this problem is based on the assumption that the motion of all the objects under consideration is disturbed and it is predicted using the program "numerical motion model of the satellite." In the process of numerical integration for all satellites are recorded perturbations from non-sphericity of the geopotential. In addition, to take into account the perturbations nizkoletyaschegoISZ taken from the resistance of Earth's atmosphere, and for GLONASS satellites - the lunar-solar perturbations. Analyzes the following data: the performance of the method of solving the problem of improving the orbit, the process of convergence rate, depending on the accuracy of the initial data and dimensions covered by the interval. We estimate the dependence of the length of high-precision time interval prediction (forward) from the length of the interval covered by the measurements.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТ СПУТНИКОВ ГЛОНАСС ПО МЕЖСПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

И.Н. Чувашов, В.В. Кинзерский

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
chuvashovin@gmail.com

Для решения задач оперативного навигационно-временного и навигационного обеспечения ЦНИИМАШ несколько раз в сутки обновляет координатно-временную информацию на всех спутниках ГЛОНАСС. Однако, эту частоту обновления можно уменьшить, решая задачу определения орбит спутников ГЛОНАСС на борту. В качестве наблюдений можно использо-

вать межспутниковые измерения. Построив, таким образом, систему линейный уравнений движения всех спутников ГЛОНАСС, приходим к вырожденному случаю, так как количество уравнений в системе на единицу меньше чем количество неизвестных.

В работе рассмотрено несколько способов как устранить эту проблему, и приведены качественные оценки по каждому предложенному способу.

DEFINING THE PARAMETERS OF THE ORBITS OF SATELLITES GLONASS ON THE INTER-SATELLITE MEASUREMENT

I.N. Chuvashov, V.V. Kinzersky

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
chuvashovin@gmail.com

The paper considers the problem of improving the inter-satellite orbit for measurements and estimates.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ ОДНОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ АВРОРАЛЬНЫХ ОВАЛОВ БОРТОВЫМИ ПРИБОРАМИ С ДВУХ КА

И.Н. Чувашов, М.А. Баньщикова, А.К. Кузьмин

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
chuvashovin@gmail.com

Дистанционная диагностика характеристик полярной ионосферы на основе онлайн-изображений интенсивности конкретных авроральных эмиссий продолжает развиваться. Разрабатываются авроральные имаджеры для перспективных космических аппаратов Метеор-МП и Зонд, которые будут запущены одновременно в 2022–2023 гг. на полярные низкоапогейные орбиты. В данной работе исследуются возможные ситуации одновременных наблюдений с разных орбит как в северной, так и в южной полярных областях. Используются предварительные начальные условия для расчетов положений центра масс КА и известная геометрия наблюдений на каждом КА при идеальной ориентации КА.

Анализируются преимущества одновременных наблюдений одних и тех же областей свечения под разными углами и появляющиеся возможности реконструкции объемных изображений авроральных эмиссий.

RESEARCHES OF POSSIBLE BENEFITS OF SIMULTANEOUS OBSERVATIONS OF THE AURORAL OVALS BY ONBOARD DEVICES FROM TWO SPACECRAFTS

I.N. Chuvashov, M.A. Banischikova, A.K. Kuzimin

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
chuvashovin@gmail.com

The remote diagnostics of the characteristics of the polar ionosphere based on online images of the intensity of auroral emissions keep on developing. Auroral imagers are developed for perspective spacecrafts Meteor-megapixel and the Probe that will be launched at the same time in 2022–2023 into polar low-apogee orbits. In this paper possible situations of simultaneous observations from different orbits both in northern and southern polar regions are researched. Tentative initial conditions for calculations of positions of spacecraft mass center and known geometry of observations on the spacecraft in cases of its ideal orientation are used. Benefits of simultaneous observations of the same areas of a luminescence under different corners and the appearing possibilities of reconstruction of volume images of the auroral emissions are analyzed.

ДИСПЕРСИЯ МЕТЕОРОИДНОГО ПОТОКА КВАДРАНТИД ПРИ СБЛИЖЕНИИ С ПЛАНЕТАМИ

М.С. Кузьминых

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
kuzminykh_523@yahoo.com

Метеорный поток Квадрантид – один из наиболее активных ежегодных метеорных потоков. В последнее время он стал довольно популярным объектом для исследований в связи с обнаружением нового астероида, представленного в качестве возможного родительского тела потока. Однако достоин внимания не только вопрос о поиске родительского тела, но и вопрос о причине возникновения характерной особенности потока: сильный и короткий максимум на более широком фоне активности потока. Одно из предположительных объяснений этому явлению – возмущения, вызванные сближениями с планетами. Проведено численное моделирование поведения небольшой выборки метеороидов при сближении с планетами. Полученные результаты представляют хороший фундамент для дальнейших исследований этого вопроса.

DISPERSION OF THE QUADRANTID METEOROID STREAM ON APPROACH TO PLANETS

M.S. Kuzminykh

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
kuzminykh_523@yahoo.com

The Quadrantids, one of the more active of the annual meteor showers. In recent years it has become a quite popular object for research in connection with the discovery of a new possible parent body. However the question about the cause of the characteristic features of the stream also worthy of attention, namely: strong but brief maximum within a broader background of the shower activity. One of the explanations for this phenomenon is the perturbations induced by encounters with planets. We conducted a numerical simulation of the behavior of a small sample of meteoroids when approaching with planets. The results represent a good foundation for further study of this issue.

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

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

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
МНОГОКРАТНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО ОТКРЫТОГО
ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

С.А. Басалаев

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
tarm@niipmm.tsu.ru

Представлен разработанный модельный открытый твёрдотопливный газогенератор, с помощью которого реализован способ неоднократного прерывания горения с последующим зажиганием двухосновного твёрдого топлива в водной среде. Приведены результаты видеосъёмки положения подвижного локализатора зоны горения, обеспечивающего воспроизводимость процесса многократного включения газогенератора. Определены некоторые параметры процессов, протекающих в этих условиях.

**EXPERIMENTAL STUDY OF MODEL OPEN SOLID PROPELLANT
GAS GENERATOR MULTIPLE INCLUSION PROCESS IN AQUEOUS
MEDIUM**

S.A. Basalaev

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
tarm@niipmm.tsu.ru

The experimental study of repeated burning interruption with the subsequent ignition in the water environment for bibasic firm fuel as a part of a model open solid propellant gas generator is presented. Video filming of burning zone mobile localizer providing process of repeated inclusion of a gas generator are given. Some parameters of the processes proceeding in these conditions are defined.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФТОРИРОВАНИЯ ВОЛЬФРАМА

Р.В. Брендаков

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
brend989@gmail.com

В работе рассмотрен процесс получения газообразного гексафторида вольфрама. На основе простой физической модели процесса фторирования металлического вольфрама записано уравнение, связывающее скорость химической реакции и изменение концентрации ключевого компонента по длине реакционной зоны.

Проведенные численные расчеты показали хорошее согласование с имеющимися экспериментальными данными. Выполнена статистическая обработка экспериментальных данных, построена регрессионная модель параметра скорости реакции фторирования, представляющая зависимость от температуры подводимого газа и размера частиц металлического вольфрама. Полученные результаты могут быть использованы при оптимизации работы существующих аппаратов и проектировании новых конструкций для осуществления процесса фторирования металлического вольфрама.

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF FLUORINATION OF TUNGSTEN

R.V. Brendakov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
brend989@gmail.com

In this paper we consider the process of obtaining the tungsten hexafluoride gas. On the basis of simple physical model of the fluorination process of metal tungsten written equation relating the rate of a chemical reaction and the change in concentration of a key component of the length of the reaction zone.

The numerical calculations showed good agreement with experimental data. A statistical analysis of the experimental data, constructed regression model parameter fluorination reaction rate, which represents the temperature dependence of the supplied gas and tungsten metal particle size.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ПУЛЬСАРОВ

А.А. Гроховская

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
grohovskaya.a@gmail.com

В данной работе рассматривается идентификация кинематических параметров пульсаров из наблюдаемых величин мгновенной мощности излучения в рамках нелинейной задачи наименьших квадратов, которая сводится к минимизации функционала суммы квадратов невязок между измеренными и рассчитанными значениями профиля индикатрисы, в рамках нелинейной задачи наименьших квадратов. Сам метод построения периодических профилей основан на модели пульсарного излучения Радхакришнана и Кука, которая предполагает, что источником излучения пульсара являются потоки релятивистских частиц (джеты), исходящие из магнитных полюсов в направлении линий напряженности магнитного поля. Профиль излучения пульсара находится как линия пересечения поверхности индикатрисы, вращающейся вместе с нейтронной звездой, с неподвижным в пространстве лучом зрения наблюдателя.

MATHEMATICAL MODELING OF THE PULSAR RADIATION

A.A. Grokhovskaya

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
grohovskaya.a@gmail.com

The report reviews the definition of the kinematic parameters of the model of the pulsar radiation within a non-linear least squares problem. Finding the solution is performed iteratively by Gauss-Newton method. The parameters are determined from observed values of radiation instantaneous power for real pulsars.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ВСПЛЫТИЯ ПОДВОДНЫХ СУДОВ В ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ГЛУБИНЕ АКВАТОРИИ

В.Л. Земляк

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема;
Российская Федерация, 679015, г. Биробиджан, ул. Широкая 70а
vellkom@list.ru

Использованы изгибно-гравитационные волны, возникающие при движении субмарины с определенной критической скоростью вблизи нижней

поверхности льда [1]. Известно, что в прибрежных районах глубина акватории часто составляет менее 100 м. В работе выполнено экспериментальное исследование влияния глубины акватории на прогиб и длину изгибно-гравитационных волн. Эксперименты проводились в опытовом ледовом бассейне [2]. Модель ледяного покрова приготавливалась путем намораживания льда заданной толщины естественным холодом. Масштаб моделирования $\lambda l = 1-120$. Толщина намораживаемого льда составляла $h_m = 3$ мм, что в пересчете на натуру равнялось $h_n = 1,95$ м. Глубина акватории моделировалась с помощью подвешенного дна. Модель субмарины каплевидной формы имела характеристики, схожие с современными субмаринами, относительное удлинение $L_m/B_m = 8.4$, где B_m – диаметр корпуса модели, и полное подводное водоизмещение после пересчета на натуру $P_n = 24000$ т. 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.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-19-10097).

Литература

1. Kozin V.M., Onishchuk A.G., Mar'in B.N. The Ice-Breaking Capacity of Flexural-Gravity Waves Produced by Motion of Objects / Dal'nauka, Vladivostok, 2005, P. 191.
2. Zemlyak V.L., Baurin N.O., Kurbackiy D.A. Laboratory "Ice technology" // Vestnik, Quart. J. of Amur State University after Sholom-Aleichem. 12(1), 2013, p. 75–84.

STUDY OF POSSIBILITY OF SUBMARINE VESSELS EMERGING IN THE ICE COVER AT A LIMITED DEPTH OF WATER AREA

V.L. Zemlyak

Amur State University named after Sholom Aleichem;
The Russian Federation, 679015, Birobidzhan, ul. Wide 70a
vellkom@list.ru

Traditionally submarine vessels emerging from under ice cover performing by static loading of ice from below through the creation of positive buoyancy by main ballast tanks. However thickness of ice (approximately 1 meter) from un-

der which modern submarine vessel can emerge essentially limits the use of traditional method, particularly during submarine vessels motion in the severe ice conditions of Arctic region. For breaking the ice cover of greater thickness can be used flexural gravity waves caused by the submarine vessel motion with certain critical speed near the bottom ice. It is known that in the coastal areas water depth is often less than 100 meters. This paper presents experimental study of influence of water depth on the deflection and the length of flexural gravity waves.

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА ДНА НА ЛЕДОРАЗРУШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ИЗГИБНО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ГЕНЕРИРУЕМЫХ ОТ ПОДЛЕДНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОГРУЖЕННОГО ТЕЛА

Н.О. Баурин, В.Л. Земляк, К.И. Ипатов

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема;
Российская Федерация, 679015, г. Биробиджан, ул. Широкая 70а
vellkom@list.ru

Экспериментально установлено, что эффективность и характер разрушения ледяного покрова изгибно-гравитационными волнами, генерируемыми от движения погруженного тела, вблизи нижней поверхности льда может существенно зависеть от глубины акватории. В свою очередь на характер распространения волн может оказывать влияние наличие выступов и уступов на поверхности льда. В работе выполнено экспериментальное исследование влияния рельефа дна на прогиб и длину изгибно-гравитационных волн. Эксперименты проводились в опытовом ледовом бассейне [1]. Модель ледяного покрова приготавливалась путем намораживания льда заданной толщины естественным холодом. Масштаб моделирования $\lambda l = 1-120$. Толщина намораживаемого льда составляла $h_m = 3$ мм, что в пересчете на натуру равнялось $h_n = 1,95$ м. Глубина акватории и рельеф дна моделировались с помощью отдельных подвесных секций перемещающихся в вертикальном направлении на заданную глубину. Секции подвесного дна располагались на специальных вертикальных подъемниках, обеспечивающих возможность моделировать заданную высоту выступов. Модель погруженного тела каплевидной формы имела характеристики схожие с современными субмаринами, относительное удлинение $L_m/B_m = 8.4$ (где B_m – диаметр корпуса модели) и полное подводное водоизмещение после пересчета на натуру $P_n = 24000$ т. 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 рельефа дна на величину кри-

тической 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.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-19-10097).

Литература

1. *Zemlyak V.L., Baurin N.O., Kurbackiy D.A.* Laboratory «Ice technology» // Vestnik, Quart. J. of Amur State University after Sholom-Aleichem. 12(1), 2013, p. 75–84.

THE IMPACT OF BOTTOM CONTOUR OF ICE-BREAKING CAPACITY OF FLEXURAL-GRAVITY WAVES CAUSED IN THE ICE MOTION OF THE IMMERSED BODY

N.O. Baurin, V.L. Zemlyak, K.I. Ipatov

Amur State University named after Sholom Aleichem;
The Russian Federation, 679015, Birobidzhan, ul. Wide 70a
vellkom@list.ru

Experimentally determined that the effectiveness and failure pattern of ice cover caused by flexural gravity waves generated from the motion of submerged body near the bottom ice can greatly depend on the depth of the water area. In turn the presence of ledge on the ice surface may effect on the wave propagation pattern. This paper presents experimental study of influence of bottom contour on the deflection and the length of the flexural gravity waves.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ФРОНТА И ПРОЦЕССОВ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ С ТЕРМОБАРЬЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

**Д.С. Бабич, Д.Д. Моисеенко, П.В. Максимов, В.Е. Панин,
С.В. Панин**

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской
академии наук; Российская Федерация, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4
dmitriy18197@gmail.com

Интенсивное развитие авиационной и космической техники, все более возрастающие требования к оборудованию в сталелитейной промышлен-

ности, ставят новые задачи по созданию материалов и конструкций, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. В первую очередь это нанесение термобарьерных покрытий на материалы, применяющиеся при изготовлении сопел реактивных двигателей, фурм и кристаллизаторов доменных печей. Большие перепады температур, условия мощных термоударов при включениях реактивного двигателя или заливке расплава в кристаллизатор, приводят к растрескиванию и отслаиванию термобарьерного покрытия. Процесс отслаивания покрытия имеет весьма сложную природу и связан с различными процессами, взаимосогласованными на разных масштабных уровнях: теплоперенос, формирование градиентного поля напряжений вследствие различия КТР покрытия и подложки, перестройка внутренней структуры материала подложки, наличие ротационных мод деформации, и т.д. Эти задачи могут быть решены только в рамках комплексного многоуровневого подхода с использованием дискретно-континуальных методов моделирования.

Разработан дискретно-континуальный подход к моделированию распространения теплового фронта на базе метода возбудимых клеточных автоматов. Данный подход был развит для расчета полей термических напряжений и моделирования структурно-фазовых превращений. Метод был существенно расширен путем введения блока расчета локальных моментов сил на внутренних границах раздела.

Проведены исследования влияния циклической термомеханической нагрузки на одну из граней рассматриваемых образцов. Для исследования было выбрано два образца: у первого образца размер зерна 30 нм, у второго – 70 нм. Каждый образец промоделирован с помощью клеточного автомата с ГЦК упаковкой элементов размером 10 нм. Размеры образцов: 300 нм х 300 нм х 100 нм. Начальная температура каждого элемента задавалась равной 1000 К, начальные значения деформации и напряжения были нулевыми. Величина временного шага – 0,0006 нс, общее время нагрузки – 60 нс. Верхняя грань образца подвергалась деформации со скоростью $[0, -400]$ 1/с, одновременно с этим ей циклически сообщались температуры $[1000, 1700]$ К, температура нижней грани была постоянно равна 1000 К.

Были получены картины эволюции структуры образцов, картины распределения напряжения, температуры, относительной энергии кручения и значения всех компонент угловых скоростей. Обнаружено, что рост зерен направлен вдоль распространения теплового потока в сторону формирования столбчатых структур, постепенно заполняющих весь образец. Показано, что мелкозернистая исходная структура задерживает фронт собирательной кристаллизации. Был проведен количественный анализ диссипирующей упругой энергии, запасенной в ходе неоднородного теплового расширения гетерогенного образца. Этот анализ показал, что в мелкозернистой структуре расход упругой энергии на формирование новых де-

фектных структур происходит более интенсивно по сравнению с крупно-зернистым образцом.

Данные исследования могут служить основой для компьютерного конструирования новых функциональных материалов, работающих в условиях экстремальных тепловых и механических.

COMPUTER SIMULATION OF HEAT PROPAGATION AND RECRYSTALLIZATION IN MATERIALS WITH HEAT-RESISTANTS COATINGS

D.S. Babich, D.D. Moiseyenko, P.V. Maksimov, V.Ye. Panin, S.V. Panin

National Research Tomsk State University;

The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36.

Federal State Institution of Science

Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; The Russian Federation, 634055, Tomsk, pr. Academic, 2/4

dmitriy18197@gmail.com

A discrete-continuous approach to modeling the propagation of a thermal-front on the basis of the method of excitable cell car-mats. Researches cyclic thermo-mechanical loading effect on one of the faces of the samples examined.

We were obtained picture of the evolution of structure of samples, pictures dis-bution voltage, temperature, relative energy of torsion and the values of all the components of the angular velocity. These studies may provide a basis for the computer-aided design of new functional materials-tional working under extreme thermal and mechanical

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА СФОКУСИРОВАННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

С.Н. Росляков

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

радиофизический факультет

serega_1994_0@mail.ru

В настоящее время томография находит свое широкое применение в различных областях. Одно из наиболее перспективных методов томографии – послойная визуализация объектов путем сканирования магнитным полем. Найденные решения, позволяют восстанавливать изображения с высоким разрешением на расстояниях около 2 см. В докладе предложен способ локализации магнитного поля с помощью системы катушек оригинальной формы. Все расчеты проведены в системе математического моделирования «Mathcad».

MODELING OF THE SOURCE OF A FOCUSED MAGNETIC FIELD

S.N. Roslyakov

National Research Tomsk State University, RFF
serega_1994_0@mail.ru

Magnetic induction tomography is one of the promising methods of tomography. This report provides a method of localizing a magnetic field by using the coil system which in its original form. All calculations are made in the system of mathematical modeling «Mathcad».

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ НА РЕЖИМЫ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЗАМКНУТОЙ ПОЛОСТИ, ЗАПОЛНЕННОЙ ЖИДКОСТЬЮ С ПЕРЕМЕННОЙ ВЯЗКОСТЬЮ

М.А. Шеремет, М.С. Астанина

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
astanina.marina@bk.ru

В работе рассмотрен процесс теплопереноса в замкнутой пористой полости с изотермическими вертикальными и адиабатическими горизонтальными стенками при наличии двух локальных источников энергии постоянной температуры. При моделировании задачи была использована модель Дарси–Бринкмана.

Рассмотрено влияние параметров, отражающих структуру пористой среды – числа Дарси ($0.00001 < Da < 0.01$) и пористости ε ($0.3 < \varepsilon < 0.9$); остальные параметры (число Рэлея Ra , число Прандтля Pr и параметр изменения вязкости C) считались неизменными.

Математическая модель построена на основе двумерных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных с использованием безразмерных переменных «функция тока – завихренность – температура». Полученные уравнения с соответствующими начальными и граничными условиями решались методом конечных разностей на равномерной сетке. В результате были получены распределения температуры, изолиний функции тока, а также зависимости среднего числа Нуссельта на поверхности источников энергии от определяющих характеристик.

ANALYSIS OF THE POROSITY EFFECT ON CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN AN ENCLOSURE, FILLED WITH A VARIABLE VISCOSITY FLUID

M.A. Sheremet, M.S. Astanina

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
astanina.marina@bk.ru

Studies of convective heat and mass transfer within porous media are topical in the present time. For example, such approach allows to describe in the first approximation, cooling of electronic boards in different cavities with the presence of extrinsic objects (cables, wires). The effect of the porous structure on convective heat transfer in an enclosure having two heat sources of constant temperature and filled with a variable viscosity fluid has been examined in the present work. Distributions of streamlines and isotherms as well as profiles of average Nusselt number at heat source surfaces have been obtained.

РАЗМЕРНЫЙ СОСТАВ И СЧЁТНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ ОЗЁР АЛТАЙСКОГО КРАЯ

К.Ю. Эккердт, В.И. Букатый

Алтайский государственный университет; Российская Федерация,
656099, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 90
ekkerdtk@gmail.com

Статья посвящена изучению влияния частиц взвеси в разнотипных озёрах Алтайского края в период 2014–2016 гг. Приведены данные о количественном составе полидисперсных частиц взвеси и их распределения по размерам, а также проведена оценка показателя рассеяния света и определен его спектральный вклад в суммарный показатель ослабления.

THE SIZE AND COMPOSITION OF THE AUDIT CONCENTRATION OF SUSPENDED MATTER IN WATER LAKES OF THE ALTAI TERRITORY

K.Yu. Ekkerdt, V.I. Bukatyy

Altai State University; Russian Federation,
656099, Barnaul, pr. Krasnoarmeysky 90
ekkerdtk@gmail.com

The paper studies the influence of suspended particles in different types of lakes in the Altai Territory in the period 2014-2016 gg. The data on the size of polydisperse suspension particles and their size distribution, as well as an as-

essment indicator light scattering and defined its contribution to the total spectral attenuation.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН ЦУНАМИ С ОДИНОЧНЫМИ ПРЕГРАДАМИ

Б.В. Бошенятов, К.Н. Жильцов

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Томского государственного университета, Российская Федерация,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, стр.27
konstantin@niipmm.tsu.ru

Известно, что волны цунами являются одним из наиболее опасных и разрушительных бедствий, которым подвержено побережье Мирового океана [1]. Исследовать волны цунами в натурных условиях практически не представляется возможным, поэтому для этой цели широко используются методы математического и численного моделирования. Эксперименты в наземных установках, как правило, отличаются высокой стоимостью, так как, чтобы приблизить параметры моделирования волн к натурным условиям, приходится создавать крупномасштабные (до 300 и более метров) и дорогостоящие сооружения. В работах [2, 3] показано, что, использование высокоточных методов измерения амплитуды волн [4] в сочетании с численным моделированием [5] позволяет с достаточной полнотой моделировать и исследовать многие проблемы волн цунами и в лабораторных установках относительно небольших размеров. В работе [6] приведены результаты исследований взаимодействия волн типа цунами с одиночными подводными преградами. Показано, что при определенных условиях вблизи подводной преграды возникают крупномасштабные вихревые структуры, которые аккумулируют значительную часть энергии падающей волны. При этом, если параметр преграды $h/(H+A) = 0.84 \div 0.85$ (h – высота преграды, A – амплитуда падающей на преграду волны, H – глубина водоема), то в вихревых структурах аккумулируется до 50% от энергии падающей на преграду волны. В работе приведена зависимость относительных энергий волн от безразмерного параметра A/H , полученная путем численных расчетов в сопоставлении с данными экспериментов при условиях близких к расчетным при взаимодействии длинной волны с одиночной углубленной преградой. Использование явления аккумуляции энергии волн в вихревых структурах, вблизи подводной преграды, может служить основой для создания в будущем высокоэффективных подводных преград, значительно снижающих разрушительную силу волн цунами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 15-08-04097а, частичной поддержке в рамках Программы повышения конкурентоспособности ТГУ в рамках

НИР № 8.2.45.2015, частичной поддержке Министерства Образования Российской Федерации в рамках государственного задания №2014/223 (проект 1943).

Литература

1. *Левин Б.В., Носов М.А.* Физика цунами и родственных явлений в океане. М.: Янус-К, 2005. 360 с.
2. *Бошенятов Б.В., Попов В.В.* Экспериментальные исследования взаимодействия волн типа цунами с подводными преградами // Изв. высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55, № 9/3. С. 145–150.
3. *Бошенятов Б.В.* Особенности моделирования волн цунами в лабораторной установке // Материалы XIX Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2015). 24–31 мая 2015 г. Алушта. М.: Изд-во МАИ, 2015. С. 384–385.
4. *Бошенятов Б.В., Левин Ю.К., Попов В.В., Семянистый А.В.* Метод измерения волн малой амплитуды на водной поверхности // ПТЭ. 2011. № 2. С. 116–117.
5. *Бошенятов Б.В., Лисин Д.Г.* Численное моделирование волн типа цунами в гидродинамическом лотке // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2013. № 6(26). С. 45–55.
6. *Бошенятов Б.В.* О подавлении волн цунами подводными преградами // ДАН. 2013. Т. 452. № 4. С. 392–395.

NUMERICAL SIMULATION OF THE INTERACTION OF TSUNAMI WAVES WITH A SINGLE BARRIER

B.V. Boshenyatov, K.N. Zhiltsov

Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics
Tomsk State University, Russia,
634050, Tomsk, Lenina ave., 36, p.27
konstantin@niipmm.tsu.ru

This article examines the experimental and numerical simulation of the processes of distribution and interaction of tsunami-type gravitational waves with single barrier. Mathematical modelling was carried out using two-dimensional non-stationary Navier-Stokes equations for an incompressible fluid using the freely available software package OpenFOAM. It is shown that for small-amplitude waves, when their advance speed is described by the linear theory of shallow water, the interaction with the underwater barriers has important non-linear and viscous effects. Our results explain why a single barrier has a significant impact on the power of the transmitted wave. The energy of the waves passing through the single barrier can be reduced to 50% of the incident wave.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСКРОВОГО ЗАЖИГАНИЯ МЕТАНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

К.М. Моисеева, А.Ю. Крайнов

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Moiseeva_KM@t-sk.ru

Численно решена задача об искровом зажигании метано-воздушной смеси. Целью исследования являлось определение минимальной энергии искрового зажигания метано-воздушной смеси в зависимости от объемного содержания метана. Задача ставилась при следующих допущениях: искра моделируется нитевидным мгновенным источником; граница области считается бесконечно удаленной; коэффициенты диффузии и теплопроводности газа зависят от температуры; учитывается тепловое расширение газа при повышении температуры и его движение; газовая постоянная определяется составом газовой смеси; константа скорости химической реакции зависит от температуры по закону Аррениуса, скорость реакции зависит от концентрации метана и кислорода и описывается кинетикой первого порядка по метану и первого порядка по кислороду. Исследование выполнено для смесей с объемным содержанием метана $5.5 \div 9.5$ %. По результатам расчетов построена кривая, определяющая минимальную энергию искрового зажигания в зависимости от содержания метана в смеси.

NUMERICAL SIMULATION OF THE SPARK IGNITION OF THE METHANE-AIR MIXTURE

K. Moiseeva, A.Y. Kraynov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
Moiseeva_KM@t-sk.ru

The results of numerical research of the problem of the spark ignition of the methane-air mixture are presented. The aim of the study was to determine the minimum energy of the spark ignition of the methane-air mixture depending of the volume content of methane in the mixture. The study was carried out for the $5.5 \div 9.5\%$ methane-air mixture. It is presented the curve which determines the minimum energy of the spark ignition depending of the volume content of methane in the mixture.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В МАТЕРИАЛЕ СТАЛЬНОГО УЗЛА ВЕДЕНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ РАЗГОНЕ ПО КАНАЛУ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО РАЗГОННОГО КОМПЛЕКСА

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

Новосибирский государственный технический университет;
Российская Федерация, 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
stroncyi@yandex.ru

Проведено численное моделирование распределения температуры в материале стального узла ведения. Выполнен анализ полученных данных, подтверждающий работоспособность стального узла ведения при высокоскоростном разгоне.

NUMERICAL SIMULATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN MATERIAL OF STEEL CONDUCT NODE DURING HIGH-SPEED ACCELERATION THROUGH THE CHANNEL OF A BALLISTIC BOOSTER COMPLEX

Ya.S. Zezyulinskiy, A.V. Gus'kov, K.Ye. Milevskiy

Novosibirskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet;
Rossiyskaya Federatsiya, 630073, g. Novosibirsk, pr-t K.Marksa, 20
stroncyi@yandex.ru

Numerical simulation of the temperature distribution in material of steel conduct node. The analysis of the obtained data confirming performance of the steel conduct node in high-speed acceleration.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАКРУТКИ НА ГИДРОДИНАМИКУ И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В ХИМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ

Н.И. Гичёва, Е.А. Дьяков

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
tashka-zenit@mail.ru

В работе представлено численное моделирование гидродинамики и теплообмена жидкости в вихревой камере химического реактора с целью нахождения оптимальных параметров реактора для получения равномерного слоя вещества на подложке. Численное решение проводилось с использованием неявной обобщённой схемы переменных направлений в

Δ -форме. Достоверность расчётов подтверждена сопоставлением различных способов решения, а также сравнением с известными аналитическими решениями. Получены распределения полей скорости, температуры, концентрации в вихревой камере, рассчитанные при различных параметрах течения. Найдены оптимальные эксплуатационные условия реактора, определены необходимость учёта или незначительность некоторых физических и химических эффектов. Исследовано влияние закрутки на равномерность распределения температуры и массы в вихревой камере.

RESEARCH OF THE ROTATION EFFECT UPON THE HYDRODYNAMICS AND HEAT AND MASS TRANSPORT IN A CHEMICAL REACTOR

N.I. Gicheva, E.A. Dyakov

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
tashka-zenit@mail.ru

In this paper a physical and mathematical model of fluid motion and heat transfer in a chemical reactor for producing tungsten has been described and simulated using two methods. The velocity field and the temperature and mass distribution in the reactor were obtained. Parametric studies on effects of the Reynolds, Prandtl and Rossbi criteria on the flow characteristics were also performed. The influence of a rotation effect upon the hydrodynamics and heat and mass transport was showed. Reliability of the calculations was verified by comparing the results obtained by the different methods. Also, the created model was applied for numerically solving the classical test problems and the study findings showed a good agreement with the exact solutions.

ДИНАМИКА И ТЕПЛООБМЕН ГРАНУЛИРОВАННОЙ СРЕДЫ В КОЛЬЦЕВОМ БУНКЕРЕ

Е.А. Дьяков, Н.И. Гичёва

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
diakowegor@mail.ru

В работе проводится моделирование процессов динамики и теплообмена течения гранулированной среды в кольцевом бункере.

Решение осуществляется двумя методами в переменных «вихрь – функция тока» и физических переменных «скорость – давление». Достоверность результатов проверяется сопоставлением методов между собой. По-

лученные результаты могут быть применены в области сушки и смешения сыпучих материалов.

THE DYNAMICS AND HEAT TRANSFER OF A GRANULAR MEDIUM IN AN ANNULAR HOPPER

E.A. Dyakov, N.I. Gicheva

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
diakowegor@mail.ru

In the research work deals with the modeling of processes dynamics and heat transfer flow of a granular medium in the annular hopper. The solution is carried out by two methods in the variables «vortex – stream function» and the physical variables «velocity – pressure». The reliability of the results is checked by comparison of the methods among themselves. The obtained results can be applied in the field of drying and mixing granular materials.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ АВТОНОМНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ НИЗКОЛЕТЯЩЕГО ИСЗ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

Е.В. Блинкова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
zbizk322@mail.ru

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования задачи определения и прогнозирования орбиты низколетящего ИСЗ по измеренным расстояниям от этого спутника до спутников системы ГЛОНАСС. Математическая модель решения этой задачи построена в предположении, что движение всех рассматриваемых объектов является возмущенным и прогнозируется с помощью программы «Численной модель движения ИСЗ». В процессе численного интегрирования для всех спутников учитываются возмущения от несферичности геопотенциала. Кроме того, для взятого низколетящего ИСЗ учитываются возмущения от сопротивления атмосферы Земли, а для спутников ГЛОНАСС – лунно-солнечные возмущения. Анализируются следующие данные: быстродействие метода решения задачи улучшения орбиты, скорости сходимости процесса в зависимости от точности начальных данных и интервала охваченного измерениями. Оценивается зависимость длины временного интервала высокоточного прогнозирования (вперед) от длины интервала, охваченного измерениями.

SIMULATION PROBLEMS AUTONOMOUS PREDICT THE MOVEMENT OF LOW-FLYING SATELLITES SOFTWARE MEASUREMENT SYSTEM GLONASS

E.V. Blinkova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
zbizk322@mail.ru

This paper presents the results of numerical modeling problems of definition and forecasting of low-flying satellites orbit by measuring the distance from the satellite to the GLONASS satellites. A mathematical model to solve this problem is based on the assumption that the motion of all the objects under consideration is disturbed and it is predicted using the program "numerical motion model of the satellite." In the process of numerical integration for all satellites are recorded perturbations from non-sphericity of the geopotential. In addition, to take into account the perturbations nizkoletyaschegoISZ taken from the resistance of Earth's atmosphere, and for GLONASS satellites - the lunar-solar perturbations. Analyzes the following data: the performance of the method of solving the problem of improving the orbit, the process of convergence rate, depending on the accuracy of the initial data and dimensions covered by the interval. We estimate the dependence of the length of high-precision time interval prediction (forward) from the length of the interval covered by the measurements.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ

А.П.¹ Хрусталёв, А.В.¹ Кветинская С.А. Ворожцов^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН;
Российская Федерация, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4

Цель исследования – изучение фазового состава, параметров тонкой кристаллической структуры и механических свойств алюмоматричных композиционных материалов, полученных методом горячего прессования с различной температурой и продолжительностью изотермической выдержки. Для синтеза композитов использована смесь порошка алюминия (размер частиц ~ 700 нм) и порошка углерода в виде детонационных нанодIAMONDS (размер ~ 4 нм).

Было показано, что после горячего прессования формируется наноразмерная фаза карбида алюминия (размер кристаллитов ~ 25 нм). Плотность горячепрессованных композитов составляет $2.2\div 2.37$ г/см³. Прочность композитов при изгибе составляет от 350 до 480 МПа. В непористом состоянии, прочность алюмоматричных композиционных материалов может достичь ~ 920 МПа.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», соглашение № 14.578.21.0025 (Уникальный идентификатор RFMEFI57814X0025).

SYNTHESIS AND PROPERTIES ALUMINUM MATRIX COMPOSITE OBTAINED BY HOT PRESSING

A.P. Khrustalyov¹, Kvetinskaya A.V.¹, S.A. Vorozhtsov^{1,2}

National Research Tomsk State University;

The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36

² Институт физики прочности и материаловедения ИГиЛ СО РАН;
Federation Of russia, 634055, Tomsk, pr. Academic, 2/4

The purpose of this study is to investigate the phase composition, parameters of fine crystalline structure and mechanical properties of aluminum-based composites, produced by hot pressing with different synthesis temperatures and isothermal times. For synthesis of composites we used powder mixture of aluminum (particles size 700 nm) and carbon powder in a form of nanodiamonds (size 4 nm). It has been shown that after hot press processing a nanophase (crystallites size 25 nm) of aluminum carbide was formed.

Regardless of the synthesis temperature for the maximum holding time of powder mixtures, the density of hot-pressed compacts is about $2.2\text{--}2.37$ г/см³. In particular, the value of bending strength of composite samples with a density of 2.37 г/см³ ranges from 350 to 480 МПа. In the nonporous state, the bending strength of the composites may reach 920 МПа.

The work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the Federal Target Program. Agreement No. 14.578.21.0025 (Unique identifier RFMEFI57814X0025).

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА AL-4%CU С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ

А.П.¹ Хрусталёв, С.А. Ворожцов^{1,2}, А.В.¹ Кветинская

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН;
Российская Федерация, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4

Целью работы является анализ механических свойств полученных алюминиевых сплавов, с выявлением механизма пластической деформации при внедрении в мягкую алюминиевую матрицу твёрдых неметаллических частиц. Анализ микроструктуры полученных сплавов показал, что введение частиц (Al_2O_3 , TiB_2 , TiC) приводит к уменьшению размера зерна сплавов с 339 до 174 мкм, при этом остаточная пористость не превышает 2%. Проведённые испытания на растяжение показали, что варьирование типа и количества частиц, изменяет картину прерывистой текучести, при этом способствуя увеличению предела текучести (с 18 до 40 МПа) и уменьшению пластичности (с 15 до 2 %), кроме этого значительно увеличивая предел прочности (с 77 до 130 МПа), относительно исходного сплава Al-4% Cu.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.», соглашение № 14.578.21.0025 (Уникальный идентификатор RFMEFI57814X0025).

MECHANICAL PROPERTIES ALUMINUM MATRIX COMPOSITE AL-4%CU WITH NON-METALLIC PARTICLES

A.P. Khrustalyov¹, S.A. Vorozhtsov^{1,2}, Kvetinskaya A.V.¹

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН;
Federation Of Russia, 634055, Tomsk, pr. Academic, 2/4

The purpose in this work is to analysis of the mechanical properties and deformation behavior of aluminum alloy, with the identification of mechanism plastic deformation when introducing into the soft aluminum matrix of solid non-metallic micro and nano particles. The analysis microstructure of the obtained alloys showed that the introduction of particles (Al_2O_3 , TiB_2 , TiC) leads to a decrease grain size of alloys from 350 to 170 μm , while residual porosity

not more than 2%. Carried out tensile tests have shown that varying type and amount of the particles changes the picture intermittent flow, thus resulting to increase the yield strength (from 18 to 40 MPa) and a decrease in ductility (from 15 to 2%). besides this significantly increasing tensile strength (from 77 to 130 MPa), a relatively to an Al-4% Cu initial alloy.

The work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the Federal Target Program. Agreement No. 14.578.21.0025 (Unique identifier RFMEFI57814X0025).

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА В АГЛОМЕРАТЫ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ

**А.П. Хрусталёв¹, С.А. Ворожцов^{1,2}, А.В. Кветинская¹,
О.Б.^{1,3} Кудряшова**

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН;

Российская Федерация, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4.

³Институт проблем химико-энергетических технологий (ИПХЭТ) СО РАН;
Российская Федерация, 659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1.

В данной работе на основе теории акустической кавитации и капиллярных явлений рассматриваются процессы деагломерирования и смачиваемости субмикронных частиц в расплаве металла при ультразвуковой обработке. Получены основные зависимости, связывающие время воздействия с физико-химическими свойствами частиц и расплава, а также с характеристиками акустического излучения. Проведено сравнение экспериментальных и расчетных значений времени ультразвуковой обработки расплава алюминия, содержащего субмикронные частицы оксида алюминия, и установлена согласованность полученных результатов.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», соглашение № 14.587.21.0019. (Уникальный идентификатор RFMEFI58715X0019).

THE INFLUENCE OF ULTRASOUND TREATMENT ON THE PENETRATION METAL MELT INTO AGGLOMERATES SUBMICRON PARTICLES

**A.P. Khrustalyov¹, S.A. Vorozhtsov^{1,2}, A.V.¹ Kvetinskaya,
O.B. Kudryashova^{1,3}**

National Research Tomsk State University;

The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН;
Federation Of Russia, 634055, Tomsk, pr. Academic, 2/4

³ Institutes of the problems chemist-energy technology (IPHET) WITH WOUNDS;
Russia-ская Federation, 659322, Biysk, str. Socialist, 1

Based on the theory of acoustic cavitation and capillary phenomena, the article considers the processes of deagglomeration and wetting of submicron particles in a metal melt under ultrasound exposure. Basic dependences were found that link the exposure time to the physical and chemical properties of particles and melt, and to acoustic radiation characteristics. Experimental and calculated time values of ultrasonic treatment of aluminum melt containing submicron particles of aluminum oxide were compared, and the obtained results were found satisfactorily fit.

The work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the Federal Target Program. Agreement No. 14.587.21.0019 (Unique identifier RFMEFI58715X0019).

ДЕАГЛОМЕРАЦИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ РАСПЛАВЕ

А.П. Хрусталёв¹, С.А. Ворожцов^{1,2}, А.В.Кветинская¹, О.Б. Кудряшова^{1,3}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН;
Российская Федерация, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4

³Институт проблем химико-энергетических технологий (ИПХЭТ) СО РАН;
Российская Федерация, 659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1

В работе рассматриваются процессы деагломерации и распределения частиц в металлическом расплаве в ультразвуковом поле. Рассмотрены основные зависимости, касающиеся времени обработки, физических и химических свойств частиц и жидкости, а также характеристика ультразвука. Было установлено, что время ультразвуковой обработки расплава, содержащего агломераты частиц пропорционально вязкости расплава и размеру агломератов.

Предложенное в работе уравнение позволяет оценить интенсивность ультразвукового излучения, необходимого для разрушения агломератов частиц в расплаве. Было установлено, что интенсивность ультразвука должна быть обратно пропорциональна радиусу агломератов.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», соглашение № 14.578.21.0098 (Уникальный идентификатор RFMEFI57814X0098).

DEAGGLOMERATION AND DISPERSION PARTICLES IN METAL MELT

**A.P. Khrustalyov¹, S.A. Vorozhtsov^{1,2}, A.V.¹ Kvetinskaya,
O.B. Kudryashova^{1,3}**

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН;
Federation Of Russia, 634055, Tomsk, pr. Academic, 2/4

³ Институт проблем химико-энергетической технологии (ИПХТ) СО РАН;
Russia-ская Federation, 659322, Biysk, str. Socialist, 1

This work considers the deagglomeration and wettability of particles by metal melt and proposes a mechanism of particle agglomerate dispersion by ultrasonic cavitation. The main dependences connecting the processing time and intensity with the physical and chemical properties of particles and the melt as well as acoustic parameters are obtained. It has been established that time ultrasonic treatment melt containing the particles agglomerates is proportional to melt viscosity and the size of the agglomerates.

The suggested equation allows estimating the intensity of ultrasonic radiation, required to destroy the agglomerates of particles in the melt. It was found that intensity of the ultrasound must be inversely proportional to the radius of the agglomerates.

The work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the Federal Target Program. Agreement No. 14.578.21.0098 (Unique identifier RFMEFI57814X0098).

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ДЕФОРМАЦИИ

Е.В. Далингер, А.А. Козулин, В.А. Красновейкин

Национальный исследовательский
Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
lena324938@mail.ru

С использованием экспериментальных методов и численного моделирования проводили исследования особенностей упруго-пластического поведения образцов из легкого алюминиевого сплава 1560 в условиях высокоскоростных нагружений. Получение новых данных о механическом поведении материалов в условиях динамического поведения возможно с использованием современных методов испытаний [1]. Для этого методами высокоскоростного растяжения и глубокой вытяжки плоских образцов были получены зависимости упруго-пластического поведения алюминиевого сплава 1560 при скоростях деформации от 0.001 до 250 1/с. Экспериментальные работы проведены с использованием оригинальной оснастки универсального сервогидравлического испытательного стенда Instron 8800 модель VHS 40/50-20.

Экспериментальные данные, полученные при высокоскоростном растяжении, легли в основу методики определения коэффициентов уравнений численных моделей, описывающих упругопластическое поведение и разрушение алюминиевого сплава 1560 [2]. Для верификации созданной физико-математической модели и ее коэффициентов дополнительно решали задачу о моделировании сложнапряженного состояния сплава в условиях глубокой вытяжки при скоростях нагружения 5, 7.5, 10, 20 м/с. Из сравнения деформационных зависимостей, полученных при всех скоростях, получено качественное и количественное согласие экспериментальных и расчетных данных на участках упругого, пластического поведения и разрушения – это говорит о правильном выборе определяющих соотношений и уравнения разрушения, достоверности определения их коэффициентов.

Результаты исследований свидетельствуют о различных физических механизмах, определяющих закономерности упрочнения, пластического течения и скоростной чувствительности при квазистатических и динамических воздействиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-5914.2016.1.

Литература

1. Козулин А.А., Красновейкин В.А., Скрипняк В.В., Хандаев Б.В., Ли Ю.В. Механические свойства алюминий магниевых сплавов после интенсивной пластической деформации // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 888.
2. Скрипняк Е.Г., Скрипняк Н.В., Козулин А.А., Скрипняк В.А. Моделирование влияния наноструктурированного поверхностного слоя на механическое поведение алюминиевых и магниевых сплавов при динамических воздействиях // Изв. высших учебных заведений. Физика. 2010. Т. 53. № 12 (2). С. 235-242.

ELASTOPLASTIC PROPERTIES OF ALUMINIUM ALLOYS AT HIGH STRAIN RATES

E.V. Dalinger, A.A. Kozulin, V.A. Krasnoveikin

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
lena324938@mail.ru

The Results of the studies are indicative of different physical mechanism, defining regularities упрочнения, plastic current and speed sensitivity at квазистатических and dyne-ческих influence.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ

В.Д. Алиев¹, А.С. Нарикович², С.С. Кульков¹

¹ Томский государственный университет, г. Томск, Россия

² Балтийский федеральный университет им. И. Канта,
г. Калининград, Россия
Voldemar4ik@mail.ru

В работе показана возможность исследования дефектности внутренней структуры керамических образцов на основе ZrO_2 — MgO , определения пористости, оценки поврежденности и микротрещин после нагружения и разрушения [1]. Для проведения исследований использовали методы современной рентгеновской томографии с использованием томографа Y.Cheetah фирмы YXLON. При правильном подборе режимов сканирования метод позволяет провести заявленные научные исследования структуры материалов с требуемой точностью. Результатом рентгеновской томографии является цифровое трехмерное изображение объекта в виде воксельной модели, с помощью которой можно получить вид любой поверхности или внутреннего сечения.

Для проведения исследований изготовлены призматические образцы размером 40х6х5 мм, в количестве достаточном для проведения экспериментов и статистической обработки. Образцы получены из мелкокристаллического порошка системы ZrO_2 стабилизированного MgO методом прес-

сования и последующего высокотемпературного спекания прессовок при температуре 1600 °С и выдержке 1 час.

Внутренняя структура исследуемых образцов представлена наличием агломератов размерами до 1.5 мм, неравномерным распределением сферических пор и микротрещин. Определено, что образцы после спекания обладали пористостью в диапазоне около 30%. Оценивая дефектность внутренней структуры после механических испытаний методом трехточечного изгиба [2], установлено, что множественные микротрещины локализуются в окрестностях агломератов, огибают или замыкаются на них. Агломераты препятствуют дальнейшему распространению трещин, увеличивая конструкционную прочность изделия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-33-51165 мол_нр.

Литература

1. Козулин А.А., Нарикович А.С., Алиев В.Д., Лейцин В.Н., Кульков С.Н. Исследования прочностных свойств циклической долговечности при изгибе и характера накопления повреждений циркониевой керамики // Изв. высших учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59. № 7/2. С. 108-112.

2. Козулин А.А., Скрипняк Е.Г., Скрипняк В.А. Трещиностойкость оксидных керамических композитов с трансформационным упрочнением при квазистатических и динамических условиях нагружения // Изв. высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 7-2. С. 81-85.

AN INVESTIGATION OF INTERNAL STRUCTURE OF CERAMICS BY X-RAY TOMOGRAPHY METHODS

V.D. Aliev, A.S. Narikovich, S.S. Kulkov

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

² Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia
Voldemar4ik@mail.ru

Possibility of the study дефектности internal structure ceramic sample is shown In work on base ZrO₂-MgO, determinations on-ристости, estimations поврежденности and микротрещин after нагружения and destructions [1]. For undertaking the studies used the methods with-time x-ray томографии with use томографа Y.Cheetah company YXLON. Under correct selection mode сканирова-thread method allows to conduct the declared scientific studies структу-ry material with required by accuracy. The Result x-ray tire;exhaust-графии is a digital three-dimensional scene of the object in the manner of in-ксельной to models, by means of which possible get the type any over-ности or internal section.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НИТРИДСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНОВЫХ ПОДЛОЖКАХ

А.А. Козулин¹, Е.В. Далингер¹, С.А. Кинеловский²

¹Томский государственный университет, Томск, Россия

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия
kozulyn@ftf.tsu.ru

Целью настоящей работы было исследование особенностей формирования нитридных покрытий из смесей различных солей, содержащих легкие химические элементы, на титановых подложках с использованием высокоэнергетического кумулятивного синтеза. Это направление исследований является актуальным и перспективным с точки зрения создания новых композиционных покрытий на поверхностях конструкционных сплавов с повышенными теплофизическими и физико-механическими свойствами [1].

Для достижения поставленной цели проведены эксперименты по получению и исследованию сверхтвердых композиционных покрытий на основе специально приготовленных смесей из комплексных солей и наноструктурных порошков с использованием кумулятивного синтеза. В состав исходных смесей для синтеза входили следующие компоненты, содержащие атомы азота, углерода, бора:

- опыт 1 (красная кровяная соль $K_3(Fe(CN)_6)$ (ККС)) + (желтая кровяная соль $K_4(Fe(CN)_6)$ (ЖКС)) + порошок карбида бора B_4C ;
- опыт 2 (оксалат аммония – $(NH_4)_2C_2O_4$) + (МУНТ – многослойные углеродные нанотрубки) + порошки бора.

На основе результатов рентгеновских методов анализа химического и структурнофазового составов во всех опытах, выявлено, что покрытия являются многофазными. В опыте 1 основными зафиксированными кристаллическими фазами в покрытиях являются: нестехиометрический оксид титана с кубической кристаллической решеткой (TiO_x) – основной вклад; альфа-титан ($\alpha-Ti$); альфа-железо ($\alpha-Fe$). При этом существенное присутствие железа на поверхности титановой подложки объясняется разложением ККС и ЖКС. Определено присутствие значительного количества диборида титана (TiB_2) ГПУ-фазы. Ожидаемого присутствия азота, углерода и их соединений не зафиксировано.

Покрытия, полученные на образцах в опыте 2, характеризуются большим количеством карбонитридной (Ti_2CN) и нитридной (TiN) кубической фазы титана, нестехиометрического состава. Титан в покрытии представлен альфа-титаном исходной ГПУ-фазы. Кроме этого зафиксировано присутствие небольшого количества диборида титана ГПУ-фазы. Все фазы имеют малый размер структурных составляющих – не более 80 нм. Присутствие боридов фиксируется в малом количестве на рентгенограммах

всех исследуемых образцов. Разделение карбонитридной и нитридной фазы титана в разных образцах основано на степени содержания азота и углерода в материале покрытия. В покрытиях с преобладанием нитридной фазы содержание углерода минимально – доли процента.

Обобщая результаты исследований, можно сделать основные выводы, что отсутствие исходных соединений в поверхностях подложек говорит о том, что все они в условиях кумулятивного взрыва (высокие давления и температуры) разложились на составляющие элементы. В экстремальных условиях продукты разложения солей вступили в реакцию с химическими элементами материала подложек и образовали новые высокопрочные соединения на их поверхностях. Исходя из целей работы, наилучший эффект кумулятивного синтеза достигнут в опыте 2, когда были образованы нитриды, карбонитриды титана, ставшие основой композиционного покрытия. Образованные в покрытии новые соединения близки к сверхтвердым, тугоплавким и износостойким материалам [2], что, в целом, должно повысить функциональные свойства обрабатываемого титанового сплава.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-33-50229 мол_нр.

Литература

1. Кинеловский С.А., Козулин А.А., Кульков С.С., Маевский К.К. Кумулятивный синтез высокотвердых покрытий при разложении соединений на основе легких элементов // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2015. Т. 18. № 2 (60). С. 33-45.
2. Шинкевич Е.В., Роот Л.О., Ильин А.П. Получение нитридов титана, циркония и гафния при горении в воздухе нанопорошка алюминия в смесях с диоксидами // Изв. Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 3. С. 60-65.

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF NITRIDE-BASED COATINGS ON TITANIUM SUBSTRATES

A.A. Kozulin, E.V. Dalinger, S.A. Kinelovskii

¹Томский State University, Tomsk, Russia ²Институт hydrodynamics im. M.A. Lavrentieva WITH WOUNDS, Novosibirsk, Russia
kozulyn@ftf.tsu.ru

The Purpose persisting work was a study of the particularities формирования thread nitrid covering from mixtures of the different salts, containing light chemical elements, on titanium substrate with use high-energy cumulative syntheses.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО АЛЮМИНИЙ-МАГНИЕВОГО СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

В.А. Красновейкин, А.А. Козулин, В.А. Скрипняк, Е.Н. Москвичев

Национальный исследовательский
Томский государственный университет, Томск, Россия
kozulyn@ftf.tsu.ru

Представлены результаты исследования влияния интенсивной пластической деформации (ИПД), реализованной по схеме ортогонального равноканального углового прессования (РКУП) по маршруту B_C при повышенных температурах, на структуру и физико-механические свойства легкого конструкционного алюминий-магниевого сплава 1560. Изменение его физико-механических свойств вследствие модификации внутренней структуры является направлением для повышения эффективности механизмов в авиационной, автомобильной и космической промышленности.

Химический элементный и рентгеноструктурный анализ материала показали, что в процессе обработки в нем не происходит химических реакций и фазовых превращений.

Исследования структуры и текстуры материала проводили с использованием анализа картин дифракции отраженных электронов. Структура исходного крупнокристаллического сплава 1560 представлена бимодальным распределением размеров зерен в диапазоне от 2 до 400 мкм, при среднем размере зерна 50 мкм. После 4 проходов РКУП при оптимальном режиме, в объеме образца формируется более однородная УМЗ-структура со средним размером зерна 3 мкм. При обработке прямых полюсных фигур видно, что в состоянии поставки наблюдается симметричная кубическая текстура с рассеянием вдоль Y , которая в результате РКУП сменяется текстурой $\{110\} \langle 001 \rangle$, симметричной относительно X . Перпендикулярное им направление в исходном состоянии имеет отчетливую кубическую составляющую, которая после обработки размывается.

Величина микротвердости после 4 проходов РКУП увеличилась в среднем на 50 % во всем объеме образцов при исходной не превышающей 1000 МПа.

Испытания на одноосное растяжение плоских образцов при скорости деформации 0.001 1/с показали, что после 4 проходов РКУП увеличился условный предел текучести с 150 до 270 МПа и предел прочности с 320 до 460 МПа. Значение предельной деформации до разрушения при этом уменьшается с 0.25 до 0.16.

Таким образом, при обработке ИПД исследуемого сплава 1560 по схеме РКУП уже после четырех проходов происходит значительное изменение

их физико-механических свойств в результате уменьшения средних размеров зерен во всем объеме образцов. Эффект повышения прочностных характеристик после обработки интенсивной пластической деформацией характерен для алюминиевых сплавов [1], обработанных по различным методикам ИПД.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-5914.2016.1.

Литература

1. Москвичев Е.Н., Скрипняк В.А., Лычагин Д.В., Козулин А.А. Формирование текстур сплава 1560 при интенсивной пластической деформации // Вестн. Тамб. ун-та. Сер.: Естественные и технические науки. 2016. Т. 21. № 3. С. 1180–1183.

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF ULTRAFINE-GRAINED Al-Mg-BASED ALLOY PRODUCED BY SEVERE PLASTIC DEFORMATION

A.A. Kozulin, V.A. Krasnoveikin, V.A Skripniak, E.N. Moskvichev

Томский State University, Tomsk, Russia
volodia74ms@yandex.ru

The Presented results of the study of the influence intensive layers-ческой to deformation (IPD), marketed ортогонального on scheme арм-ноканального of the angular pressing (RKUP) on route Vc under повы-sewn temperature, on structure and physico-mechanical characteristic лег-who конструкционного aluminum-magnesium alloy 1560. Change his(its) physico-mechanical characteristic in consequence of modification internal струк-aurochses is a direction for increasing of efficiency mechanism in aircraft, car and cosmic industry.

Секция 6
**МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА И ИНФОРМАТИКА
ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ (ШКОЛЬНАЯ СЕКЦИЯ)**

Session 6
ASPECTS OF THEORETICAL MATHEMATICS

**РАЗОГРЕВ СФЕРИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ
В ВАКУУМЕ КОРОТКИМИ ИМПУЛЬСАМИ ОСНОВНОЙ
ГАРМОНИКИ НЕОДИМОВОГО ЛАЗЕРА**

Г.А. Каленский

Городской Классический Лицей; Российская Федерация,
650000, г. Кемерово, ул. Мичурина, 19.
Kalenskii_ga@gkl-kemerovo.ru

В работе рассмотрена задача нагревания наночастиц алюминия в вакууме в поле действия коротких лазерных импульсов. Для достижения поставленной цели использовались два подхода – классический и модернизированная модель горячей точки. В рамках моделей рассчитаны максимальные температуры разогрева наночастиц при действии основной гармоникой лазера на иттрий-алюминиевом гранате ($\lambda=1064$ нм) с длительностью импульса на полувысоте 12 нс. Для изучения выбраны наночастицы алюминия с радиусами от 10 до 200 нм. Показано, что в случае учета коэффициента эффективности поглощения на зависимости температуры нагрева от радиуса наночастицы наблюдается максимум, разрешая тем самым «парадокс малых частиц». Автор выражает благодарность научному руководителю учителю ГКЛ г. Кемерово М.В. Баян и консультанту А.П. Никитину.

**HEATING OF A SPHERICAL ALUMINUM NANOPARTICLES
IN VACUUM WITH SHORT PULSES OF THE MAIN HARMONIC
OF a Nd₃+:YAG-laser**

G.A. Kalenskii

Urban Classic Lyceum; Russian Federation,
650000, Kemerovo, ul. Michurina 19
Kalenskii_ga@gkl-kemerovo.ru

In the work the problem of heating of aluminum nanoparticles in vacuum in the field of action of short laser pulses was considered. To achieve this aim we have used two approaches – classic and modernized model of the hot-spot. In the model, the maximum temperature of heating of the nanoparticles under the

action of the main harmonic of a Nd³⁺:YAG– laser ($\lambda=1064$ nm) with pulse duration $\tau_i=12$ ns. We selected radii of the nanoparticles 10-200 nm. It is shown that in the case of the absorption efficiency coefficient on the dependence of heating temperature of the radius of nanoparticles is observed maximum, thus eliminate "the paradox of small particles".

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ» В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ CDIO

Е.С. Селиверстова

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
laxisedi@mail.ru

В связи с переходом на новую инновационную модель рыночной экономики работодатели предъявляют все более высокие требования к качеству подготовки профессиональных кадров. Современные образовательные стандарты в свою очередь требуют от вузов и преподавателей строить учебные программы на основе развития необходимых компетенций у студентов. Необходимость разработки новых методик в процессе обучения будущих инженеров связана с тем, что техническое образование имеет ряд существенных отличий от бакалавриата. В частности упор в образовательных программах делается на практическую часть обучения. По мнению автора, одной из таких современных образовательных методик является концепция CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate), разработанная в MIT с участием ученых, представителей промышленности, инженеров и студентов конца 90-х гг. Несмотря на то, что с момента ее разработки прошло больше двух десятилетий, сегодня она является как никогда актуальной и необходимой.

LABORATORY PRACTICAL WORK FOR ENGINEERS IN "RADIO-ELECTRONIC SYSTEMS AND COMPLEXES" WITHIN THE CONCEPT OF CDIO

E.S. Seliverstova

National Research Tomsk State University;
The Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36
laxisedi@mail.ru

Now, in connection with transition to new innovative model of market economy employers place more and more quality requirements of preparation of a professional personnel. Modern educational standards, in turn, demand from

higher education institutions and teachers in particular, to build training programs on the basis of development of necessary competences in students. Need of development of new techniques for training process of future engineers is connected with the fact that a number of essential differences from a bachelor degree has technical education. In particular, emphasis in educational programs is placed on a practical part of training. According to the author, one of such modern educational techniques is the concept of CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate) developed in MIT with participation of scientists, representatives of the industry, engineers and students in the late nineties. In spite of the fact that from the moment of its development there passed more than two decades, today, it is very urgent and necessary.

ЧТО ТАКОЕ АТОМ?

Н.П. Петров

МАОУ Заозерная СОШ №16 г. Томск,
Российская федерация, 634009, пер. Сухоозерный 6
neket_petrov@mail.ru

Коротко об атоме, материал, идеально подходящий для объяснения детям.

WHAT IS AN ATOM?

N.P. Petrov

MAOU Zaozernaya SOSH №16 g. Tomsk, Rossiyskaya federatsiya, 634009,
per. Sukhoozernyy 6
neket_petrov@mail.ru

Short and sweet about the atom. material is ideal to explain to children.

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ТЕПЛА РАЗЛИЧНЫМИ ЖИЛЫМИ ПОМЕЩЕНИЯМИ

С.А. Курманов, А. Васеев

МАОУ СОШ №23, 634021, г. Томск, Лебедева, 94
tlb@mail2000.ru

В настоящее время очень актуальна проблема энергосбережения с точки зрения сохранения природных ресурсов и нанесения урона окружающей среде при работе электростанций, которые являются источниками энергии в городах.

Нами проведена оценка потерь тепла выбранным кирпичным зданием за счет теплопроводности стен.

Поток энергии изнутри наружу пропорционален разности температур внутреннего помещения и окружающей среды. Первый практический вывод из проделанной работы состоит в том, что для уменьшения тепловых потерь почти на треть, можно снизить температуру в комнате в диапазоне санитарных норм. Обратимся к другому теплоизолятору – снегу

Из снега северные люди строили целые поселки. Будем считать, что единственным источником тепла в Иглу является человек. В спокойном состоянии он выделяет тепловой энергии около 100 Дж/с, т.е. его мощность примерно 100 Вт. Найдем приблизительно толщину стен иглу, рассчитанного на трех человек. Пусть температура окружающего воздуха - 300 °С, температура в иглу – 0°С. Теплопередачей через пол пренебрежем, считая, что он застелен, например, теплоизолирующими шкурами животных. Размеры иглу возьмем небольшие (жилище служит временным пристанищем).

Пусть $R=1,5$ м. Такую иглу мы строили с нашим туристическим клубом на соревнованиях городских соревнований.

Наиболее известна спиральная иглу. Плиты первого ряда размером 60×40×20 см устанавливаются под углом 20–25 °С. Последующие несколько меньше по форме – трапециевидные – укладываются с увеличением наклона на виток примерно на 5–10 градусов. Надежность конструкции иглу достигается сферической формой, укладкой плит по спирали. Иглу – сто-процентная экономия невозобновляемых источников энергии. Однако, кто захотел бы всю жизнь прожить в таком жилище?

Литература

1. *Кухлинг Х.* Справочник по физике: пер. с нем. М.: Мир, 1982.
2. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. М.: Наука, 1985.

ASSESSMENT OF HEAT LOSS DIFFERENT PREMISES

S.A. Kurmanov, A. Vaseyev

MAOU SOSH №23, 634021, g. Tomsk, Lebedeva, 94
tlb@mail2000.ru

The work we evaluated the heat loss selected brick building walls by conduction. The practical conclusion of the work done: to reduce heat loss by almost a third, you can only reduce the room temperature in the range of sanitary norms.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

М.В. Афанасьев, В.С. Гладышев

МАОУ СОШ номер 16; Российская Федерация, г. Томск, пер. Сухозёрный, 6
maks81276@mail.ru

Проект посвящён изучению влияния солнечной и геомагнитной активности на организм человека. Аспектом этой работы является экспериментальное исследование и установление связи между напряжённостью геомагнитного поля и умственным, физическим состоянием учащихся. В работе выдвигается гипотеза о наличии периода наиболее низких показателей по двум биоритмам человека (физическому и интеллектуальному), т.е. об ухудшении общего состояния в неблагоприятные дни. Цель исследования заключается в доказательстве возможности повышения качества знаний и снижения нагрузки на учеников через планирование учебно-воспитательного процесса с учётом геомагнитного фона. Экспериментальные методы закономерно приводят к подтверждению выдвинутой гипотезы и цели. Проект даёт рекомендации по использованию полученных результатов в сфере образования.

INFLUENCE OF MAGNETIC FIELDS ON THE HUMAN BODY

M.V. Afanas'yev, V.S Gladyshev

MAOU SOSH nomer 16; Rossiyskaya Federatsiya, g. Tomsk, per.Sukhoozornyy , 6
maks81276@mail.ru

The project is devoted to studying of influence of solar and geomagnetic activity on the human body. Aspect of this work is experimental study and the relation between the intensity of the geomagnetic field and the mental, the physical condition of their students. In work the hypothesis about the presence of the period of the lowest rates on 2 human biorhythms(Physical, Intellectual), ie, the deterioration of the General condition in the unfavorable days. the purpose of the study is to prove the possibility of improving the quality of knowledge and reduce the burden on students through the planning of the educational process taking into account the geomagnetic background. Experimental methods naturally lead to the confirmation of the hypotheses and the goal. The project gives recommendations for the use of the results obtained in the field of education.

ЯВЛЕНИЕ ФОТОЭФФЕКТА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

А.И. Кокорина

МАОУ Заозерная СОШ 16; Российская Федерация,
634009, г. Томск, пер.Сухоозерный, 6
Kokorina_aleksa@mail.ru

В данном докладе содержатся сведения о явлении фотоэффекта (суть фотоэффекта, внутренний и внешний фотоэффект, фотоэффект с точки зрения квантовой физики), истории исследования фотоэффекта (открытие явления фотоэффекта, исследование Столетова, опыты Ленарда, Ричардсона и др.), а также о применении фотоэффекта в современном мире (фотоэлемент, фоторезистор).

PHOTOELECTRIC EFFECT AND THE USE OF THE PHOTOELECTRIC EFFECT IN THE MODERN WORLD

A.I. Kokorina

MAOU Zaozernaya SOSH # 16; Rossiyskaya Federatsiya, 634009, g. Tomsk,
per.Sukhoozernyy, 6
Kokorina_aleksa@mail.ru

Author: Alexandra Kokorina. The report contained information on the phenomenon of the photoelectric effect (the essence of the photoelectric effect, internal and external photoelectric effect, photoelectric effect in terms of quantum physics), the history of the study of the photoelectric effect (the discovery of the photoelectric effect, the study Stoletov, experiments Lenard, Richardson et al.), As well as the use of the photoelectric effect in the modern world (photocell, LDR).

Именной указатель

А

Азин А.В. 66
Александрова А.Г. 82, 83, 84
Алиев В.Д. 64, 118
Ананьева М.В. 19, 20, 21
Астанина М.С. 103
Афанасьев М.В. 128

Б

Бабич Д.С. 100
Баньщикова М.А. 92
Басалаев С.А. 95
Батурин А.П. 81
Баранникова С.А. 57
Баурин Н.О. 99
Бердыбаева Ш.Т. 57
Бессонова М.П. 45
Блинкова Е.В. 72, 90, 110
Бордовицына Т.В. 7
Бошенятов Б.В. 105
Бочкарева А.В. 57
Брендаков Р.В. 96
Бузимов А.Ю. 51
Букатый В.И. 104
Буц К.Е. 34
Буяков А.С. 50
Буякова С.П. 53
Быкова Л.Е. 85

В

Васеев А. 126
Васькина А.Э. 43
Волков С.А. 49
Володченков С.И. 16
Ворожцов С.А. 111, 113, 114, 115

Г

Гаврилов Д.Ю. 40
Газенаур Н.В. 19, 20, 21
Галкина Е.В. 18, 19, 21
Галушина Т.Ю. 74, 76, 84
Гидаспов В.Ю. 36
Гичёва Н.И. 108, 109
Гладышев В.С. 128
Голубятников В.В. 68
Горбенко Т.И. 49

130

Гроховская А.А. 97
Гуо Пэн 78, 80
Гусев А.Ю. 61
Гусев Б.С. 27
Гуськов А.В. 26, 108

Д

Далингер Е.В. 64, 117, 120
Дедова Е.С. 65
Диденко М.В. 56
Днепровский М.С. 50
Долматов А.С. 26
Дульнев А.И. 55
Дымнич Е.М. 58
Дьяков Е.А. 108, 109

Ж

Жильцов К.Н. 105
Жуков А.А. 66

З

Звеков А.А. 20
Зезюлинский Я.С. 108
Земляк В.Л. 97, 99
Зимоглядова О.А. 17
Зуев Л.Б. 57
Зыкова А.И. 76, 81

И

Ивашкин В.В. 78, 80
Иващенко Г.Э. 18
Ипатов К.И. 99

К

Каленский Г.А. 124
Каширин М.В. 77
Кветинская А.В. 111, 113, 114, 115
Кинзерский В.В. 91
Кинеловский С.А. 62, 120
Кирюшкин А.Е. 42
Козулин А.А. 59, 62, 117, 120, 122
Кокорина А.И. 129
Кононов Д.С. 36
Королев С.И. 81

Красновейкин В.А. 59, 117, 122
Крайнов А.Ю. 107
Кретов Ю.Л. 53
Кудряшова О.Б. 114, 115
Кузьмин А.К. 92
Кузьминых М.С. 93
Кульков С.Н. 50, 51
Кульков С.С. 62, 118
Курманов С.А. 126

Л

Лапина И.Л. 53
Левкина П.А. 88
Летнер О.Н. 74
Ли Ю.В. 57
Лунев А.Г. 57
Любушкин А. 71
Ляшко А.Д. 47

М

Майлюков Д.А. 41
Майнагашева А.А. 89
Максимов П.В. 100
Маслов Е.А. 15
Мержиевский Л.А. 17
Микушина В.А. 63
Милевский К.Е. 108
Миньков Л.Л. 42
Михайленко С.А. 28
Михайличенко Ю.П. 11
Моисеенко Д.Д. 100
Моисеева К.М. 107
Москвитина П.И. 67
Москвичев Е.Н. 59, 122
Мухин Л.Н. 9

Н

Нариманов Р.К. 41
Нарикович А.С. 64, 118
Неклюдова Е.А. 55
Ниганова Е.Н. 85
Никитин А.П. 22, 23, 25

О

Орлов М.Ю. 13, 27
Орлов С.С. 31
Орлова М.П. 49
Орлова Ю.Н. 29

Остапенко Р.О. 50

П

Палкин Р.В. 38
Панин В.Е. 100
Панин С.В. 100
Пахомова Е.В. 87
Петров Н.П. 126
Поляков А. 71
Пономарев С.А. 66
Пономарев С.В. 66
Похабова М.А. 34

Р

Радченко К.А. 18
Росляков С.Н. 102

С

Савельев Р.В. 76
Самбаров Г.Е. 73
Саморокова Н.М. 76, 81
Северина Н.С. 36
Семёнова А.А. 39
Сербента В.А. 44
Селиверстова Е.С. 125
Сидоренко Ю.Н. 63
Сидоров А.Д. 76, 81
Синяев С.В. 16
Смолин И.Ю. 63
Скрипняк В.А. 43, 44, 59, 122
Стихно К.А. 80
Сюсина О.М. 73

Т

Томилова И.В. 77, 83
Турыгина И.А. 46
Тутолмин И.Е. 50

Ф

Федоров А.Ю. 43
Фогель А. 71
Фролов А.С. 35

Х

Ханзина Н.О. 65
Холшевников К.В. 84

Хрусталёв А.П. 111, 113, 114, 115

Ч

Чувашов И.Н. 82, 88, 91, 92

Ш

Шаповалова К.В. 70, 88

Ше В.Р. 65

Шеремет М.А. 28, 103

Шмелёв В.А. 32

Штейнбрехер О.А. 37

Э

Эккердт К.Ю. 104

Я

Яковлева Ю.П. 26

Янилкин Ю.В. 32

Яшин О.В. 60

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
-------------------	---

Пленарные доклады

<i>Бордовицына Т.В.</i> Актуальные проблемы динамики околоземных космических объектов	7
<i>Мухин Л.Н.</i> Возможности трудоустройства выпускников вузов физико-математических направлений подготовки	9
<i>Михайличенко Ю.П.</i> Физические явления с позиций самоорганизации	11
<i>Орлов М.Ю.</i> Мобильная лаборатория «взрывное разрушение природных материалов». итоги пятилетней работы. перспективы развития.....	13
<i>Маслов Е.А.</i> Экспериментальное исследование сверхзвукового обтекания тел осесимметричной формы.....	15

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

<i>Синяев С.В., Володченков С.И.</i> Импульсный нагрев среды ансамблями полых цилиндрических проводников, индукционно нагреваемых магнитным полем соленоида	16
<i>Зимоглядова О. А., Мержиевский Л.А.</i> Моделирование детонации зарядов ВВ малого диаметра.....	17
<i>Иващенко Г.Э., Радченко К.А., Галкина Е.В.</i> Сенсибилизация прессованных таблеток PETN наночастицами металлов	18
<i>Газенаур Н.В., Ананьева М.В., Галкина Е.В.</i> Современный вариант модели теплового взрыва в микроочаговом варианте	19
<i>Газенаур Н.В., Ананьева М.В., Звеков А.А.</i> Экспериментальные критерии реализации цепного и теплового взрыва энергетических материалов импульсным лазерным излучением.....	20
<i>Газенаур Н.В., Ананьева М.В., Галкина Е.В.</i> Резонансное поглощение наночастиц палладия в прозрачных матрицах с различными показателями преломления	21
<i>Никитин А.П.</i> Температурные зависимости оптических свойств наночастиц золота ..	22
<i>Никитин А.П.</i> Критические параметры микроочаговой модели при различных длительностях импульса	23
<i>Никитин А.П.</i> Микроочаговая модель теплового взрыва с учетом многократного рассеяния света	25
<i>Гуськов А.В., Долматов А.С., Милевский К.Е., Яковлева Ю.П.</i> Механические свойства стали гадфильда после низкоскоростных методов обработки и обработкой взрывом	26
<i>Орлов М.Ю., Гусев Б.С.</i> Устройство для подрыва ледяного покрова эмульсионным ВВ	27
<i>Михайленко С.А., Шеремет М.А.</i> Нестационарные режимы смешанной конвекции в замкнутой дифференциально обогреваемой вращающейся полости	28

<i>Орлова Ю.Н.</i> Нагрузки льда. Часть 3. Взрыв эмульсионных зарядов ВВ (>10 кг ТНТ).....	29
--	----

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

<i>Орлов С.С.</i> Интегро-дифференциальное уравнение продольных колебаний упругого стержня: разрешимость начально-краевых задач и их точные решения	31
<i>Янилкин Ю.В., Шмелёв В.А.</i> Монотонный метод частиц для решения двумерных газодинамических задач с учётом упругопластики и горения взрывчатых веществ	32
<i>Буц К.Е.</i> Численное моделирование течения в межлопаточном неподвижном канале центробежного насоса ЖРД.....	34
<i>Похабова М.А.</i> Численное исследование процессов распространения волн в блочных средах.....	35
<i>Фролов А.С.</i> Численное моделирование течения вязкой жидкости со свободной поверхностью методом VoF	36
<i>Гидаспов В.Ю., Кононов Д.С., Северина Н.С.</i> Моделирование одномерного стационарного неравновесного течения в двигателе с детонационной волной	30
<i>Штейнбрехер О.А.</i> Алгоритм оптимизации анизотридных конструкций по массе при произвольном числе нелинейных ограничений.....	37
<i>Палкин Р.В.</i> Сравнительный обзор технологий, аппаратного и программного обеспечения ускорения вычислений	38
<i>Семёнова А.А.</i> Параллельная реализация сплайновой разностной схемы при решении задачи переноса примеси в атмосфере	39
<i>Гаврилов Д.Ю.</i> Автоматизация обработки данных физических исследований	40
<i>Майлюков Д.А., Нариманов Р.К.</i> Моделирование электростатического поля в окрестности стыка изолятора и электрода.....	41
<i>Кирюшкин А.Е., Миньков Л.Л.</i> Численное моделирование задач внутренней баллистики РДТТ с помощью обратного метода Лакса–Вендроффа	42
<i>Васькина А.Э.</i> Критерий сходимости генетического алгоритма в задачах минимизации полимодальной функции.....	43
<i>Федоров А.Ю., Скрипняк В.А.</i> Численное моделирование механического поведения керамических нанокмполитов при динамическом нагружении.....	43
<i>Сербента В.А., Скрипняк В.А.</i> Моделирование механического поведения сплавов Zr-Nb с учетом развития деформации и повреждений на мезоскопическом и микроскопических уровнях	44
<i>Бессонова М.П.</i> Исследование формы свободной поверхности степенной жидкости в плоской постановке	45
<i>Турыгина И.А.</i> Численное моделирование взаимодействия ударных волн с деформируемыми многослойными ортотропными преградами.....	46
<i>Ляшко А.Д.</i> Об улучшении сходимости рядов в задаче о колебаниях прямоугольной ортотропной призмы.....	47

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

<i>Орлова М.П., Горбенко Т.И., Волков С.А.</i> Экспериментальное исследование влияния дисперсности порошков алюминия на окисление и кинетические характеристики.....	49
<i>Буяков А.С., Кульков С.Н.</i> Изучение влияния состава на прочностные характеристики пористого композита $ZrO_2(MgO)-MgO$	50
<i>Днепровский М.С., Тутолмин И.Е., Остапенко Р.О.</i> Кривые деформации монокристаллов алюминия	50
<i>Бузимов А.Ю., Кульков С.Н.</i> Изменение физико-химических свойств природного цеолита после механической активации.....	51
<i>Буякова С.П., Кретов Ю.Л.</i> Влияние термоударных нагрузжений на свойства керамики Al_2O_3-MgO	53
<i>Лапина И.Л.</i> Вынужденное излучение в тонких пленках при фотовозбуждении	53
<i>Дульнев А.И., Неклюдова Е.А.</i> Экспериментально-расчетная оценка взрывосопротивляемости образцов ПКМ при неконтактном подводном взрыве	55
<i>Диденко М.В.</i> Контроль мощности излучения $kgCl$ - и $hesl$ -эксилампе барьерного разряда методом скачка давления	56
<i>Бердыбаева Ш.Т.</i> Люминесцентный сенсор для обнаружения нитросоединений	57
<i>Ли Ю.В., Баранникова С.А., Бочкарева А.В., Лунев А.Г., Зуев Л.Б.</i> Неоднородность пластического течения в биметаллическом материале	57
<i>Дымнич Е.М.</i> Фазовый анализ покрытия на основе $TiAlN$ методом просвечивающей электронной микроскопии.	58
<i>Красновейкин В.А., Козулин А.А., Скрипняк В.А., Москвичев Е.Н.</i> Физико-механические свойства ультрамелкозернистого алюминий-магниевого сплава, полученного интенсивной пластической деформацией.....	59
<i>Яшин О.В.</i> Исследование свойств металлических нановолокон ГЦК никеля, содержащих водород.....	60
<i>Гусев А.Ю.</i> Влияние ZrO_2 и SiC на пористость композитов ZrB_2-ZrO_2-SiC	61
<i>Козулин А.А., Кульков С.С., Кинеловский С.А.</i> Получение и исследование нитридсодержащих покрытий на титановых подложках.....	62
<i>Микушина В.А., Сидоренко Ю.Н., Смолин И.Ю.</i> Прогнозирование механических свойств керамического биокомпозита на основе численного моделирования.....	63
<i>Алиев В.Д., Нарикович А.С., Далингер Е.В.</i> Исследование внутренней структуры керамических материалов методами рентгеновской томографии.....	64
<i>Ханзина Н.О., Ше В.Р., Дедова Е.С.</i> Изучение влияния ZrW_2O_8 на фазовый состав оксидной керамики	65
<i>Азин А.В., Пономарев С.В., Жуков А.А., Пономарев С.А.</i> Разработка концепции поиска и выявления наиболее опасных дефектов в конструкции электронных плат при совместном применении методов акустической эмиссии и рентгеновской томографии	66
<i>Москвитина П.И.</i> Определение размеров представительного объема проницаемой пористой среды.....	67
<i>Голубятников В.В.</i> Пробитие свинцовым ударником стальной преграды.....	68

Секция 4. Баллистика и небесная механика

<i>Шаповалова К.В.</i> Задача построения высокоточной локальной модели квазигеоида ..	70
<i>Любушкин А., Поляков А., Фогель А.</i> Воздушные змеи	71
<i>Блинкова Е.В.</i> Моделирование задачи автономного прогнозирования движения низколетящего ИСЗ по измерениям системы ГЛОНАСС	72
<i>Сюсина О.М., Самбаров Г.Е.</i> Оценивание влияния различных возмущающих ускорений на точность вероятностной модели движения астероида 2011 MD	73
<i>Летнер О.Н., Галушина Т.Ю.</i> Исследование хаотической и регулярной динамики астероидов – компаньонов Венеры	74
<i>Зыкова А.И., Саморокова Н.М., Сидоров А.Д.</i> Определение оптимальных условий заряжения при температуре + 20 °С	76
<i>Савельев Р.В., Галушина Т.Ю.</i> Позиционные наблюдения астероидов на телескопе СБГ АО УрФУ и дальнейшее улучшение их орбит.....	76
<i>Каширин М.В., Томилова И.В.</i> Орбитальная эволюция реальных неуправляемых объектов навигационных систем ГЛОНАСС и GPS с учетом влияния резонансов и светового давления	77
<i>Гуо Пэн, Ивашкин В.В.</i> Оценка точности определения параметров орбиты опасного астероида по оптическим измерениям комплекса «Небосвод» 70	78
<i>Стихно К.А., Гуо П., Ивашкин В.В.</i> Анализ структуры вероятной зоны падения асте- роида Apophis на Землю в 2036 г.	80
<i>Сидоров А.Д., Зыкова А.И., Саморокова Н.М.</i> Анализ горения комбинированного заряда в условиях электротермохимической технологии метания	81
<i>Королев С.И., Батулин А.П.</i> Прогнозирование движение астероидов с использованием различных планетных эфемерид	81
<i>Александрова А.Г., Чувашов И.Н.</i> Определение параметров модели светового давления по данным наблюдений.....	82
<i>Александрова А.Г., Томилова И.В.</i> Исследование резонансной структуры и динамической эволюции потоков частиц, образовавшихся в результате распадов космических аппаратов на околорезонансных орбитах.....	83
<i>Александрова А.Г., Галушина Т.Ю., Холиевников К.В.</i> Сравнение различных способов превентивного разрушения опасного астероида	84
<i>Ниганова Е.Н., Быкова Л.Е.</i> Численные исследования регулярной и хаотической динамики АСЗ вблизи некоторых резонансов с Юпитером и Землей.....	85
<i>Пахомова Е.В.</i> Исследование решения задач локальной геодинамики с использованием GPS/ГЛОНАСС измерений.....	87
<i>Шаповалова К.В.</i> Задача построения высокоточной локальной модели квазигеоида ..	88
<i>Чувашов И.Н., Левкина П.А.</i> Исследование орбит космического мусора с большой парусностью.....	88
<i>Майнагашева А.А.</i> Возможная ошибка при определении звёздного времени появления метеора.....	89
<i>Блинкова Е.В.</i> Моделирование задачи автономного прогнозирования движения низко- летящего исз по измерениям системы ГЛОНАСС	90
<i>Чувашов И.Н., Кинзерский В.В.</i> Определение параметров орбит спутников ГЛОНАСС по межспутниковым измерениям	91
<i>Чувашов И.Н., Баньщикова М.А., Кузьмин А.К.</i> Исследования возможных преимуществ одновременных наблюдений авроральных овалов бортовыми приборами с двух КА.....	92
<i>Кузьминых М.С.</i> Дисперсия метеороидного потока Квадрантид при сближении с планетами	93

Секция 5. Математическое и физическое моделирование технических и природных систем

<i>Басалаев С.А.</i> Экспериментальное исследование процесса многократного включения модельного открытого твердотопливного газогенератора в водной среде	95
<i>Брендаков Р.В.</i> Математическая модель процесса фторирования вольфрама	96
<i>Гроховская А.А.</i> Математическое моделирование излучения пульсаров	97
<i>Земляк В.Л.</i> Исследования возможности всплытия подводных судов в ледяном покрове при ограниченной глубине акватории	97
<i>Баурин Н.О., Земляк В.Л., Ипатов К.И.</i> Влияние рельефа дна на ледоразрушающую способность изгибно-гравитационных волн генерируемых от подледного движения погруженного тела	99
<i>Бабич Д.С., Моисеенко Д.Д., Максимов П.В., Панин В.Е., Панин С.В.</i> Компьютерное моделирование распространения теплового фронта и процессов рекристаллизации в системах с термобарьерными покрытиями	100
<i>Росляков С.Н.</i> Моделирование источника сфокусированного магнитного поля	102
<i>Шеремет М.А., Астанина М.С.</i> Анализ влияния пористости на режимы конвективного теплопереноса в замкнутой полости, заполненной жидкостью с переменной вязкостью	103
<i>Эккердт К.Ю., Букатый В.И.</i> Размерный состав и счётная концентрация взвешенного вещества в воде озёр Алтайского края	104
<i>Бошенятов Б.В., Жильцов К.Н.</i> Численное моделирование взаимодействия волн цунами с одиночными преградами	105
<i>Моисеева К.М., Крайнов А.Ю.</i> Численное моделирование искрового зажигания метано-воздушной смеси	107
<i>Зезюлинский Я.С., Гуськов А.В., Милевский К.Е.</i> Численное моделирование распределения температуры в материале стального узла ведения при высокоскоростном разгоне по каналу баллистического разгонного комплекса	108
<i>Гичёва Н.И., Дьяков Е.А.</i> Исследование влияния закрутки на гидродинамику и тепломассоперенос в химическом реакторе	108
<i>Дьяков Е.А., Гичёва Н.И.</i> Динамика и теплообмен гранулированной среды в кольцевом бункере	109
<i>Блинкова Е.В.</i> Моделирование задачи автономного прогнозирования движения низко-летящего ИСЗ по измерениям системы ГЛОНАСС	110
<i>Хрусталёв А.П., Кветинская А.В., Ворожцов С.А.</i> Синтез и свойства алюмоматричного композиционного материала, полученного методом горячего прессования	111
<i>Хрусталёв А.П., Ворожцов С.А., Кветинская А.В.</i> Механические свойства алюмоматричного композиционного материала Al-4%Cu с неметаллическими частицами	113
<i>Хрусталёв А.П., Ворожцов С.А., Кветинская А.В., Кудряшова О.Б.</i> Влияние ультразвукового воздействия на проникновение металлического расплава в агломераты субмикронных частиц	114
<i>Хрусталёв А.П., Ворожцов С.А., Кветинская А.В., Кудряшова О.Б.</i> Деагломерация и распределение частиц в металлическом расплаве	115
<i>Далингер Е.В., Козулин А.А., Красношейкин В.А.</i> Исследование упруго-пластических свойств алюминиевых сплавов при высоких скоростях деформации	117
<i>Алиев В.Д., Нарикович А.С., Кульков С.С.</i> Исследование внутренней структуры керамических материалов методами рентгеновской томографии	118

<i>Козулин А.А., Далингер Е.В., Кинеловский С.А.</i> Получение и исследование нитридсодержащих покрытий на титановых подложках	120
<i>Красновейкин В.А., Козулин А.А., Скрипняк В.А., Москвичев Е.Н.</i> Физико-механические свойства ультрамелкозернистого алюминий-магниевого сплава, полученного интенсивной пластической деформацией.....	122

Секция 6. Математика, Физика и Информатика для школьников (Школьная секция)

<i>Каленский Г.А.</i> Разогрев сферических наночастиц алюминия в вакууме короткими импульсами основной гармонике неодимового лазера	124
<i>Селиверстова Е.С.</i> Лабораторный практикум для инженеров по специальности «Радиоэлектронные системы и комплексы» в рамках концепции CDIO	125
<i>Петров Н.П.</i> Что такое атом?	126
<i>Курманов С.А., Васеев А.</i> Оценка потерь тепла различными жилыми помещениями ..	126
<i>Афанасьев М.В., Гладышев В.С.</i> Влияние магнитных полей на организм человека	128
<i>Кокорина А.И.</i> Явление фотоэффекта и его применение в современном мире	129

CONTENTS

PREFACE	6
----------------------	---

Plenary session

<i>Bordovicyna T.V.</i> Actual problems of the dynamics of near-Earth space objects	8
<i>Mukhin L.N.</i> Opportunities of Employment of graduates - physicists and mathematicians ..	11
<i>Mikhailichenko Yu.P.</i> Physical phenomena from the viewpoint of self organization.....	13
<i>Orlov M.Yu.</i> Mobile laboratory "explosive destruction of natural materials". results of the five-year studyes. development prospects	14
<i>Maslov E.A.</i> Experimental study of a supersonic flow of bodies axisymmetric shape.....	15

Session 1. Explosion, detonation phenomena and properties of matter at high-intensive

<i>Sinyaev S.V., Volodchenkov S.I.</i> Pulsed heating of a medium by ensembles of the hollow cylindrical conductors inductively heated in magnetic field of a solenoid.....	16
<i>Zimoglyadova O., Merzhievsky L.A.</i> Detonation modeling of small size charge.....	17
<i>Ivashenko G.J., Radchenko K.A., Galkina E.V.</i> Sensitization of PETN pressed pellets of nanoparticles of metals	18
<i>Gazenauro N.V., Anan'eva M.V., Galkina E.V.</i> The modern version of the model of thermal explosion in a hot-spot option	19
<i>Gazenauro N.V., Anan'eva M.V., Zvekov A.A.</i> Experimental performance criteria of chain and thermal explosion of energetic materials by pulsed laser radiation	21
<i>Gazenauro N.V., Anan'eva M.V., Galkina V.V.</i> Resonant absorption of palladium nanoparticles in transparent matrices with different refractive indices.....	22
<i>Nikitin A.P.</i> The temperature dependence of the optical properties of gold nanoparticles ...	23

<i>Nikitin A. P.</i> The critical parameters of the hot-spot model at various durations of the pulse	24
<i>Nikitin A. P.</i> The hot-spot model of thermal explosion with account for multiple light scattering	25
<i>Gusikov A.V., Dolmatov A.S., Milevskiy K.E., Yakovleva Yu.P.</i> Mechanical properties of hadfield steel after low speed method for processing and handling explosion pressure	26
<i>Orlov M.Yu., Gusev B.S.</i> An apparatus for blasting ice emulsion explosives	28
<i>Mikhaylenko S.A., Sheremet M.A.</i> Mixed convection in a differentially heated rotating enclosure	29
<i>Orlova Yu.N.</i> Investigation of explosive loading of ice. part 3. the blast up of (>10 kg of TNT)	30

Session 2. Numerical methods, algorithms, codes, and accurate solutions of the continuum mechanics

<i>Orlov S.S.</i> Integro-differential equation of longitudinal oscillations of an elastic rod: the solvability of initial boundary value problems and their exact solutions	32
<i>Yanilkin Yu.V., Shmelev V.A.</i> Monotonous particle method for solving 2D gas-dynamic problems with elasticity and detonation of explosive materials	33
<i>Buts K.E.</i> Numerical simulation of the flow in the interscapular channel stationary centrifugal pump rocket engine.	34
<i>Pokhabova M.A.</i> Numerical study of the processes of wave propagation in a block media.	35
<i>Frolov A.S.</i> Numerical simulation of viscosity fluid flow with free boundaries by a method VoF	36
<i>Gidasov V.Yu., Kononov D.S., Severina N.S.</i> Simulation of one-dimensional steady-state nonequilibrium flow in the engine with detonation wave	37
<i>Shteinbreher O.A.</i> Algorithm of optimization of anisogrid construction for an arbitrary number of non-linear restrictions is offered	38
<i>Palkin R.V.</i> Vladimirovich Comparative review of computing acceleration technologies, hardware and software	39
<i>Semyonova A.A.</i> Parallel implementation spline difference scheme for solving the problem of pollutant transport in the atmosphere	40
<i>Gavrilov D.Yu.</i> Data processing automation in physics research	41
<i>Maylyukov D.A., Narimanov R.K.</i> Electrostatic field modeling in region of the junction of the electrode and insulator	41
<i>Kiryushkin A.E., Minikov L.L.</i> Numerical Simulation of SRM internal ballistics problems using inverse Lax-Wendroff procedure	42
<i>Vaskina A.E.</i> Criterion of convergence of genetic algorithm to minimize the problems of multimodal function	43
<i>Fedorov A.Yu., Skripnyak V.A.</i> Numerical simulation of the mechanical behavior of ceramic nanocomposites under dynamic loading	44
<i>Serbenta V.A., Skripnyak V.A.</i> Mechanical behavior modeling of zirconium-niobium alloys with the development of deformation and damage at mesoscopic and microscopic levels	45
<i>Bessonova M.P.</i> The study of free surface shape of power law fluid in planar domain	46
<i>Turygina I.A.</i> Numerical modelling of shock wave interaction with deformable multilayered orthotropic barriers	47

<i>Lyashko A.D.</i> On improvement of the series convergence in the problem of the vibrations of orthotropic rectangular prism.....	48
---	----

Session 3. Investigation of advanced materials in applications of continuum mechanics

<i>Orlova M.P., Gorbenko T.I., Volkov S.A.</i> The study of the effect of aluminum powders dispersion on their oxidation and kinetic characteristics	49
<i>Buyakov A.S., Kulkov S.N.</i> Study of strength parameters density from components concentration in porous ceramic composite $ZrO_2(MgO)-MgO$	50
<i>Dneprovsky M.S, Tutolmin I.E., Ostapenko R.O.</i> Strain curves of aluminum monocrystals	51
<i>Buzimov A.Yu., Kul'kov S.N.</i> Change of the physical-chemical properties of natural zeolite after mechanical activation.....	52
<i>Buyakova S.P., Kretov Yu.L.</i> Effects of thermal shock strains on the property of alumina-magnesia ceramics	53
<i>Lapina I.L.</i> Stimulated emission in organic films for photoexcitation	54
<i>Dulnev A.I., Nekliudova E.A.</i> Experimental and computational blast resistance assessment of polymer composite samples at contactless underwater explosion	55
<i>Didenko M.V.</i> Dielectric barrier discharge KrCl- and XeCl-excimer lamps radiation power control by pressure jump method	56
<i>Berdybaeva S.T.</i> Fluorescent sensor for the detection nitroaromatic compounds	57
<i>Li Yu.V., Barannikova S.A., Bochkareva A.V., Lunev A.G. , Zuev L.B.</i> Heterogeneity of the plastic flow in the bimetallic material.....	58
<i>Dymnich E.M.</i> An investigation of elastic-plastic properties of aluminum alloys at high strain rates	59
<i>Krasnovyeykin V.A., Kozulin A.A., Skripnyak V.A., Moskvichev E.N.</i> Physico-mechanical properties of ultrafine-grained Al-Mg-based alloy produced by severe plastic deformation.....	60
<i>Yashin O.V.</i> The investigation of metal FCC nickel nanofibers containing hydrogen	61
<i>Gusev A.Yu.</i> Effect of ZrO_2 and SiC on porosity of ZrB_2-ZrO_2-SiC composites	61
<i>Kozulin A.A., Kulikov S.S., Kinelovskiy S.A.</i> Synthesis and investigation of nitride-based coatings on titanium substrates.....	63
<i>Mikushina V.A., Sidorenko Yu.N., Smolin I.Yu.</i> Prediction of mechanical properties of ceramic biocomposite on the basis of numerical modeling	64
<i>Aliev V.D., Narikovich A.S., Dalinger E.V.</i> An investigation of internal structure of ceramics by X-ray tomography methods	65
<i>Hanzina N.O., She V.R., Dedova E.S.</i> The influence ZrW_2O_8 on the phase composition of oxide ceramics.....	66
<i>Azin A.V., Ponomarev S.V., Ponomarev S.A., Zhukov A.A.</i> Detecting and identifying high thread defects in electronic boards structure	67
<i>Moskvitina P.I.</i> Determination of dimensions representative volume permeable porous medium.....	68
<i>Golubyatnikov V.V.</i> Behavior of steel plate under impact load	69

Session 4. Ballistics and Celestral mechanics

<i>Shapovalova K.V.</i> The problem of construction a high-precision local model of quasigeoid	70
<i>Lyubushkin A., Polyakov A., Vogel A.</i> Kite	72
<i>Blinkova E.V.</i> Modelling tasks autonomous movement predicting low-flying satellites for GNSS measurements	73
<i>Syusina O.M., Sambarov G.E.</i> Estimating the effect different perturbation accelerations on the accuracy of probabilistic motion model of asteroid 2011 MD	74
<i>Letner O.N., Galushina T.Yu.</i> The Research of chaotic and regular dynamics of asteroids - Venus companions	75
<i>Zykova A.I., Samorokova N.M., Sidorov A.D.</i> Determination of optimal loading conditions at the initial temperature of + 20 °C	76
<i>Saveliev R.V., Galushina T.Yu.</i> Positional observations of asteroids with SBG of AO UrFU and further improvement of their orbits	77
<i>Kashirin M.V., Tomilova I.V.</i> Orbital evolution of real uncontrolled objects of navigation systems GLONASS and GPS taking into account the influence of resonance and light pressure	78
<i>Guo Peng, Ivashkin V.V.</i> An estimation of orbit parameters determination accuracy for dangerous asteroid using optical measurements by the complex «Nebosvod» 70	79
<i>Stikhno C.A., Guo P., Ivashkin V.V.</i> An analysis of the structure of asteroid Apophis' possible impact zone on the Earth	80
<i>Sidorov A.D., Zykova A.I., Samorokova N.M.</i> Analysis of combustion of the combined charge in the conditions electrothermal-chemical throwing technology	81
<i>Korolev S.I., Baturin A.P.</i> The simulation of asteroid's motion with different planets' ephemerides	82
<i>Aleksandrova A.G., Chuvashov I.N.</i> Determination of parameters of solar radiation pressure model from observations	83
<i>Aleksandrova A.G., Tomilova I.V.</i> Investigation of the resonance structure and the dynamic evolution of the particle fluxes generated as a result of spacecraft explosions in near-resonance orbits	84
<i>Aleksandrova A.G., Galushina T.Yu., Holshevnikov K.V.</i> Comparison of different methods of the preventive destruction of a hazardous asteroid	85
<i>Niganova E.N., Bykova L.E.</i> Numerical research of regular and chaotic motion of NEAs near of a boundary of the mean motion resonance with Jupiter and Earth	86
<i>Pakhomova E.V.</i> Investigation of solving local geodynamics problems using base GPS/GLONASS measurements	87
<i>Shapovalova K.V.</i> Problem of development high-precision local model of quasigeoid	88
<i>Chuvashov I.N., Levkina P.A.</i> Investigation of space debris orbits with high area-to-mass ratio	89
<i>Maynagasheva A.A.</i> Possible error in determining of sidereal time of occurrence the meteors	90
<i>Blinkova E.V.</i> Simulation problems autonomous predict the movement of low-flying satellites software measurement system GLONASS	91
<i>Chuvashov I.N., Kinzersky V.V.</i> Defining the parameters of the orbits of satellites GLONASS on the inter-satellite measurement	92
<i>Chuvashov I.N., Banischikova M.A., Kuzimin A.K.</i> Researches of possible benefits of simultaneous observations of the auroral ovals by onboard devices from two spacecrafts	93
<i>Kuzminykh M.S.</i> Dispersion of the Quadrantid meteoroid stream on approach to planets	94

Session 5. Mathematical and physical modeling of technical and natural systems

<i>Basalaev S. A.</i> Experimental study of model open solid propellant gas generator multiple inclusion process in aqueous medium.....	95
<i>Brendakov R.V.</i> The mathematical model of the process of fluorination of tungsten.....	96
<i>Grokhovskaya A.A.</i> Mathematical modeling of the pulsar radiation.....	97
<i>Zemlyak V.L.</i> Study of Possibility of Submarine Vessels Emerging in the Ice Cover at a Limited Depth of Water Area.....	98
<i>Baurin N.O., Zemlyak V.L., Ipatov K.I.</i> The Impact of Bottom Contour of Ice-Breaking Capacity of Flexural-Gravity Waves Caused in the Ice Motion of the Immersed Body.....	100
<i>Babich D.S., Moiseyenko D.D., Maksimov P.V., Panin V.Ye., Panin S.V.</i> Computer Simulation of Heat Propagation and Recrystallization in Materials with Heat-Resistant Coatings.....	102
<i>Roslyakov S.N.</i> Modeling of the source of a focused magnetic field.....	103
<i>Sheremet M.A., Astanina M.S.</i> Analysis of the porosity effect on convective heat transfer in an enclosure, filled with a variable viscosity fluid.....	104
<i>Ekkerdt K.Yu., Bukatyy V.I.</i> The size and composition of the audit concentration of suspended matter in water lakes of the altai territory.....	104
<i>Boshenyatov B.V., Zhiltsov K.N.</i> Numerical Simulation of The Interaction of Tsunami Waves with a Single Barrier.....	106
<i>Moiseeva K.M., Kraynov A.Y.</i> Numerical simulation of the spark ignition of the methane-air mixture.....	107
<i>Zezyulinsky Ya.S., Gusikov A.V., Milevskiy K.E.</i> Numerical simulation of temperature distribution in material of steel conduct node during high-speed acceleration through the channel of a ballistic booster complex.....	108
<i>Gicheva N.I., Dyakov E.A.</i> Research of the rotation effect upon the hydrodynamics and heat and mass transport in a chemical reactor.....	109
<i>Dyakov E.A., Gicheva N.I.</i> The dynamics and heat transfer of a granular medium in an annular hopper.....	110
<i>Blinkova E.</i> Simulation problems autonomous predict the movement of low-flying satellites software measurement system GLONASS.....	111
<i>Khrustalyov A.P., Kvetinskaya A.V., Vorozhtsov S.A.</i> Synthesis and properties aluminum matrix composite obtained by hot pressing.....	112
<i>Khrustalyov A.P., Vorozhtsov S.A., Kvetinskaya A.V.</i> Mechanical properties aluminum matrix composite Al-4%Cu with non-metallic particles.....	113
<i>Khrustalyov A.P., Vorozhtsov S.A., Kvetinskaya A.V., Kudryashova O.B.</i> The influence of ultrasound treatment on the penetration metal melt into agglomerates submicron particles.....	115
<i>Khrustalyov A.P., Vorozhtsov S.A., Kvetinskaya A.V., Kudryashova O.B.</i> Deagglomeration and dispersion particles in metal melt.....	116
<i>Dalinger E.V., Kozulin A.A., Krasnoveikin V.A.</i> Elastoplastic properties of aluminium alloys at high strain rates.....	118
<i>Aliev V.D., Narikov A.S., Kulikov S.S.</i> An investigation of internal structure of ceramics by x-ray tomography methods.....	119
<i>Kozulin A.A., Dalinger E.V., Kinelovskii S.A.</i> Synthesis and investigation of nitride-based coatings on titanium substrates.....	121
<i>Kozulin A.A., Krasnoveikin V.A., Skripniak V.A., Moskvichev E.N.</i> Physico-mechanical properties of ultrafine-grained al-mg-based alloy produced by severe plastic deformation.....	123

Session 6. Aspects of theoretical mathematics

<i>Kalenskii G.A.</i> Heating of a spherical aluminum nanoparticles in vacuum with short pulses of the main harmonic of a Nd ³⁺ :YAG– laser	124
<i>Seliverstova E.S.</i> Laboratory practical work for engineers in «Radio-electronic systems and complexes» within the concept of CDIO	125
<i>Petrov Ni.P.</i> What is an atom?	126
<i>Kurmanov S.A.</i> Assessment of heat loss different premises	127
<i>Afanasev M.V., Gladishev V.S.</i> Influence of magnetic fields on the human body	128
<i>Kokorina A.I.</i> Photoelectric effect and the use of the photoelectric effect in the modern world	129
 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ	 130

СПОНСОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ



Российский Фонд
Фундаментальных
Исследований (РФФИ)
Адрес: Россия, 119991,
Москва,

Ленинский проспект, 32а, 20-21 этаж,
В-334, ГСП-1.

Т-н: (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 пуб-
ликаций. По состоянию на январь 2014 г.
в базе данных eLIBRARY.ru насчитыва-
лось 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.

Россия, 634050, Томск,
пр. Ленина, 36

<http://smu.tsu.ru/OSovet>

**АССОЦИАЦИЯ
«СОЮЗВЗРЫВПРОМ»**

ООО Кузбасское специализированное
управление по производству буровзрывных
работ «КузбассСпецВзрыв», производство
взрывных работ и доставка взрывных ма-
териалов до места проведения взрывных
работ

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



**КОМПЬЮТЕРНЫЕ
СИСТЕМЫ**

Научное издание

VI Международная молодежная научная конференция
«Актуальные проблемы современной механики
сплошных сред и небесной механики»
16–18 ноября 2016 г., Томск

Подписано в печать 27.12.2016 г.
Формат 60x84¹/₁₆. Печ. л. 9,1; усл. печ. л. 8,5; уч.-изд. л. 8,3.
Тираж 100 экз.