

# ВЕСЦІ

## НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ

СЕРЫЯ ФІЗІКА-ТЭХНІЧНЫХ НАВУК 2016 № 2

# ИЗВЕСТИЯ

## НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК 2016 № 2

ЗАСНАВАЛЬНІК – НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ

Часопіс выдаецца са студзеня 1956 г.

Выходзіць чатыры разы ў год

### СОДЕРЖАНИЕ

#### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, МЕТАЛЛУРГИЯ

<b>Кабишов С. М., Трусова И. А., Ратников П. Э.</b> Формирование наружного слоя мелких разориентированных дендритов при непрерывной разливке заготовок .....	5
<b>Василец В. К., Хмыль А. А., Кушнер Л. К., Кузьмар И. И.</b> Влияние режимов нестационарного электролиза на кинетические закономерности осаждения сплава олово–висмут .....	11
<b>Козловский А. Л., Шлимас Д. И., Здоровец М. В., Кадыржанов К. К., Каниюков Е. Ю., Шумская Е. Е.</b> Влияние ионизационного излучения на структуру Си-нанотрубок .....	17
<b>Поболь А. И., Горанский Г. Г., Журавков С. П., Лобанова Г. Л., Сапрыкин Ф. Е., Петюкевич М. С.</b> Изучение свойств тонкодисперсных частиц, полученных при диспергировании твердого сплава ВК6 электроимпульсным методом .....	22
<b>Лецко А. И., Талако Т. Л., Парницкий Н. М.</b> Влияние структурного состояния хрома на стойкость к окислению композиционного порошка на основе $\beta 2\text{-FeAl}$ , упрочненного включениями $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	27

#### МАШИНОСТРОЕНИЕ, МЕХАНИКА

<b>Акулович Л. М., Сергеев Л. Е., Дечко М. М., Сенчуров Е. В.</b> Моделирование процесса магнитно-абразивной обработки и оптимизация ее технологических режимов .....	33
<b>Томило В. А., Кочик Е. В., Тарасюк И. А., Кравчук А. С.</b> Сравнение методик вычисления конечных перемещений при статическом изгибе плоских пружин и рессор .....	40
<b>Шу Сюэдао, Лю Чуань, Ванг Ин</b> Исследование технологии параллельной поперечно-клиновой прокатки полуси автомобиля .....	49

## ЭНЕРГЕТИКА, ТЕПЛО- И МАССООБМЕН

<b>Кот В. А.</b> Метод граничных характеристик в задачах теплопроводности на основе интеграла теплового баланса .....	54
<b>Малько М. В., Василевич С. В., Богач В. Н., Дегтеров Д. В.</b> Экспериментальное исследование кинетики карбонизации оксида кальция в изотермических условиях .....	66
<b>Ахрамович А. П., Войтов И. В., Колос В. П.</b> О работоспособности реактора с микровзлами. Условия автономности теплосъема в активной зоне на частичных нагрузках .....	74
<b>Харма У. М.</b> Моделирование неизоотермического влагопереноса в поглотителях электромагнитного излучения .....	81

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

<b>Левчук В. А., Ковалев В. А., Баркалин В. В., Лозовский В. Э.</b> Компьютеризированная диагностика меланомы на базе поиска похожих дерматоскопических изображений в базе данных .....	86
<b>Красновская С. В., Напрасников В. В.</b> Обзор возможностей оптимизационных алгоритмов при моделировании конструкций компрессорно-конденсаторных агрегатов методом конечных элементов .....	92

## РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

<b>Обухов В. Е., Шпак Е. П., Жвавый С. П., Азарко В. А.</b> Моделирование процесса формирования топологических структур в слоях вакуумного резиста .....	99
<b>Нагула П. К., Козел М. Н., Рыбчак С. В., Юрганов К. В.</b> Средства учета объемного и массового расхода, эксплуатируемые в Республике Беларусь. Опыт поверки и калибровки на установке «Эталон» .....	108
<b>Саванович С. Э., Борботько Т. В.</b> Влияние вязкости водного раствора хлорида натрия, введенного в поры керамзита, на его радиопоглощающие свойства .....	115
<b>Храменков А. С., Ярмолик С. Н., Свинарский М. В.</b> Синтез устройства радиолокационного распознавания объектов с возможностью остановки последовательной процедуры .....	120
Правила для авторов .....	127

---

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ 2016 № 2

Серия физико-технических наук

*На русском и белорусском языках*

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,  
свидетельство о регистрации № 391 от 18.05.2009

---

Компьютерная верстка Н. И. К а ш у б а

Здадзена ў набор 27.05.2016. Падпісана да друку 27.06.2016. Выхад у свет 30.06.2016. Фармат 60 × 84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Папера афсетная.

Друк лічбавы. Ум. друк. арк. 14,88. Ул.-выд. арк. 16,4. Тыраж 94 экз. Заказ 133.

Кошт нумару: індывідуальная падпіска – 102 900 руб.; ведамасная падпіска – 252 168 руб.

Выдавец і паліграфічнае выкананне:

Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства «Выдавецкі дом «Беларуская навука». Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/18 ад 02.08.2013.

ЛП 02330/455 ад 30.12.2013. Вул. Ф. Скарыны, 40, 220141, г. Мінск.

© Выдавецкі дом «Беларуская навука»  
Весці НАН Беларусі, серыя фізіка-тэхнічных навук, 2016

# PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

PHYSICO-TECHNICAL SERIES 2016 N 2

FOUNDED BY THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

The Journal has been published since January 1956

Issued four times a year

## CONTENTS

### MATERIALS ENGINEERING, METALLURGY

- Kabishov S. M., Trusova I. A., Ratnikov P. Je.** Formation of the outer layer of small undirected dendrites at continuous casting of steel ..... 5
- Vasilets V. K., Khmyl A. A., Kushner L. K., Kuzmar I. I.** Effect of non-stationary electrolysis modes on kinetics of the forming process of tin–bismuth alloy ..... 11
- Kozlovskiy A. L., Shlimas D. I., Zdorovets M. V., Kadyrzhанov K. K., Kaniukov E. Y., Shumskaya E. E.** Influence of ionizing radiation on Cu-nanotubes structure ..... 17
- Pobol A. I., Goransky G. G., Zhuravkov S. P., Lobanova G. L., Saprykin F. E., Petyukevich M. S.** Properties of WC–6Co hard alloy powders obtained by the method of spark plasma dispersion ..... 22
- Letsko A. I., Talako T. L., Parnitsky N. M.** Effect of structural condition of chromium on oxidation resistance of composite powder based on  $\beta 2$ -FeAl, reinforced with  $Al_2O_3$  inclusions ..... 27

### MECHANICAL ENGINEERING AND MECHANICS

- Akulovich L. M., Sergeev L. E., Dechko M. M., Senchurov E. V.** Modelling of magnetic abrasive finishing process and optimization of its technological modes ..... 33
- Tamila V. A., Kochyk Y. V., Tarasyuk I. A., Kravchuk A. C.** Comparison of methods of finite displacements calculation under static bending of flat and leaf springs ..... 40
- Shu Xuedao, Liu Chuan, Wang Ying.** Study on technology of multi-wedge cross-wedge rolling of automobile semi-axis shafts ..... 49

### POWER ENGINEERING, HEAT AND MASS TRANSFER

- Kot V. A.** A method of boundary characteristics based on the heat-balance integral in heat-conduction problems ..... 54
- Malko M. V., Vasilevich S. V., Bahach U. M., Degterov D. V.** Experimental study of calcium oxide carbonization kinetics under isothermal conditions ..... 66
- Akhramovich A. P., Voitov I. V., Kolos V. P.** On the performance of a reactor with microfuel. Terms of self-similarity of heat removal in the reactor core at partial loads ..... 74
- Khrma O. M.** Modelling of non-isothermal moisture transfer in absorbers of electromagnetic radiation ..... 81

### INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

- Liauchuk V. A., Kovalev V. A., Barkaline V. V., Lazouski U. E.** Content-base image retrieval as a method for computer-assisted diagnosis of melanoma based on dermoscopic images ..... 86
- Krasnovskaya S. V., Naprasnikov V. V.** Overview of optimization algorithms at finite elements modeling of condensing units design ..... 92

## RADIOELECTRONICS AND INSTRUMENT-MAKING

<b>Obukhov V. E., Shpak E. P., Zhvavyi S. P., Azarko V. A.</b> Simulation of formation of topological structures in vacuum resist layers .....	99
<b>Nahula P. K., Kozel M. N., Rybchak S. V., Yurganov K. V.</b> Accounting means of volume- and mass flow, operating in the Republic of Belarus. Experience verification and calibration at "Etalon" .....	108
<b>Savanovich S. E., Borbotko T. V.</b> Effect of viscosity of aqueous sodium chloride solution, introduced into pores of expanded clay, on its radioabsorbing properties .....	115
<b>Khramiankou A. S., Yarmolik S. N., Svinarski M. V.</b> Synthesis of a radar recognition device with possibility to stop the sequential procedure .....	120
Instructions for Authors .....	127

## ОТ РЕДАКЦИИ

Уважаемые авторы и читатели журнала!

Спасибо, что вы с нами и что высокий научный уровень ваших публикаций делает наше издание интересным и востребованным.

Со своей стороны редакция также стремится не останавливаться на достигнутом и предпринимает все возможное, чтобы журнал, который в этом году отмечает свое 60-летие, развивался и был современным.

Вы уже знаете, что «Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук» входят в «Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований».

В 2015 г. журнал был включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Теперь вы имеете возможность с помощью инструментов и сервисов, доступных для вас на платформе eLIBRARY.RU (раздел «Личный кабинет»), самостоятельно корректировать список своих публикаций и цитирований в РИНЦ, следить за анализом своей публикационной активности и т. д.

В этом году нами предприняты шаги по включению журнала в глобальный индекс цитирования Scopus, что расширит возможности представления исследований белорусских ученых для мировой научной общественности и повысит показатели цитируемости наших авторов. В связи с этим изменяются требования к оформлению статей, которые направляются для опубликования. С новыми «Правилами для авторов» вы можете ознакомиться либо в конце журнала, либо на сайте [belnauka.by](http://belnauka.by).

Надеемся на плодотворное сотрудничество!

*С. М. КАБИШОВ, И. А. ТРУСОВА, П. Э. РАТНИКОВ*

## **ФОРМИРОВАНИЕ НАРУЖНОГО СЛОЯ МЕЛКИХ РАЗОРИЕНТИРОВАННЫХ ДЕНДРИТОВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ЗАГОТОВОК**

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: boxsmk@gmail.com*

Представлена расчетная методика, которая позволяет оценить влияние внешнего охлаждения и интенсивности циркуляции расплава в жидком ядре заготовки на формирование наружной корочки мелких разориентированных кристаллов. С использованием методики можно установить момент времени, когда плоский фронт теряет устойчивость и начинается рост столбчатых дендритов. Решение обратной задачи дает возможность определить толщину шлакового гарнисажа в верхней части кристаллизатора.

*Ключевые слова:* фронт кристаллизации, расплав, двухфазная зона, кластер, дендрит, структура, интенсивность теплообмена.

*S. M. KABISHOV, I. A. TRUSOVA, P. Je. RATNIKOV*

## **FORMATION OF THE OUTER LAYER OF SMALL UNDIRECTED DENDRITES AT CONTINUOUS CASTING OF STEEL**

*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,  
e-mail: boxsmk@gmail.com*

A calculation method that allows assessing the impact of external cooling and circulation intensity of melt in the liquid core of the workpiece formation of outer crust of fine disoriented crystals is presented. One can also obtain the time when the plane front will lose stability and growth of columnar dendrites begins. When solving the inverse problem it is possible to set the parameters of an existing layer of slag-forming mixture on top of the mold.

*Keywords:* crystallization front, melt two-phase zone, cluster, dendrite structure, intensity of cooling.

*В. К. ВАСИЛЕЦ, А. А. ХМЫЛЬ, Л. К. КУШНЕР, И. И. КУЗЬМАР*

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ СПЛАВА ОЛОВО–ВИСМУТ**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,  
e-mail: kushner@bsuir.by*

Приведены результаты исследования кинетики процесса электроосаждения сплава олово–висмут при различных условиях электролиза (импульсный ток, воздействие ультразвуковых колебаний, перемешивание электролита). Показано влияние частоты и скважности импульсного тока, интенсивности ультразвуковых колебаний, перемешивания на ход катодных поляризационных кривых.

*Ключевые слова:* нестационарный электролиз, ультразвуковые колебания, покрытие сплавом олово–висмут, бес-свинцовые технологии.

*V. K. VASILETS, A. A. KHYMYL, L. K. KUSHNER, I. I. KUZMAR*

## **EFFECT OF NON-STATIONARY ELECTROLYSIS MODES ON KINETICS OF THE FORMING PROCESS OF tin–BISMUTH ALLOY**

*Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus,  
e-mail: kushner@bsuir.by*

The results of kinetics research of Sn–Bi coatings deposition under different plating conditions (plating pulse and ultrasonic, stirring with a magnetic agitator), were demonstrated. It has been shown influence of frequency, pulse period-to-pulse duration ratio, ultrasonic strength, stirring on limiting diffusion current, range of cathodic potential.

*Keywords:* non-stationary electrolysis, ultrasonic, tin–bismuth alloy, lead-free technology.

А. Л. КОЗЛОВСКИЙ<sup>1,2</sup>, Д. И. ШЛИМАС<sup>1</sup>, М. В. ЗДОРОВЕЦ<sup>1,2</sup>, К. К. КАДЫРЖАНОВ<sup>1</sup>,  
Е. Ю. КАНЮКОВ<sup>3</sup>, Е. Е. ШУМСКАЯ<sup>3</sup>

## ВЛИЯНИЕ ИОНИЗАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ Cu-НАНОТРУБОК

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан,  
e-mail: artem88sddt@mail.ru, shlimas@mail.ru, mzdorovets@gmail.com, kadyrzhanov1945@gmail.com,

<sup>3</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь  
e-mail: ka.egor@mail.ru, lunka7@mail.ru

Методами растровой электронной микроскопии, энергодисперсионного и рентгеноструктурного анализа исследованы геометрия и фазовый состав полученных методом шаблонного синтеза медных нанотрубок. На основании изучения результатов взаимодействия быстрых тяжелых ионов с Cu-нанотрубками показано влияние ионизационного излучения на изменение параметров кристаллической решетки, размеров кристаллитов и фазового состава.

*Ключевые слова:* медные нанотрубки, шаблонный синтез, растровая электронная микроскопия.

A. L. KOZLOVSKIY<sup>1,2</sup>, D. I. SHLIMAS<sup>1,2</sup>, M. V. ZDOROVETS<sup>1,2</sup>, K. K. KADYRZHANOV<sup>1</sup>,  
E. Y. KANIUKOV<sup>3</sup>, E. E. SHUMSKAYA<sup>3</sup>

## INFLUENCE OF IONIZING RADIATION ON Cu-NANOTUBES STRUCTURE

<sup>1</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

e-mail: artem88sddt@mail.ru, shlimas@mail.ru, mzdorovets@gmail.com, kadyrzhanov1945@gmail.com,

<sup>3</sup>Scientific and Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: ka.egor@mail.ru, lunka7@mail.ru

Geometry and phase composition of copper nanotubes obtained by template synthesis were studied using scanning electron microscopy, energy dispersive and structural X-ray analysis. Based on the results of studies of interaction of fast heavy ions with Cu-nanotubes, the influence of ionized radiation on the change in crystal lattice, crystallite size and phase composition was shown.

*Keywords:* Cu-nanotubes, template synthesis, scanning electron microscopy.

А. И. ПОБОЛЬ<sup>1</sup>, Г. Г. ГОРАНСКИЙ<sup>2</sup>, С. П. ЖУРАВКОВ<sup>3</sup>, Г. Л. ЛОБАНОВА<sup>3</sup>,  
Ф. Е. САПРЫКИН<sup>3</sup>, М. С. ПЕТЮКЕВИЧ<sup>3</sup>

## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ДИСПЕРГИРОВАНИИ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК6 ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ

<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: alex.pobol@gmail.com,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: georggoran@rambler.ru,

<sup>3</sup>Институт физики высоких технологий национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, Россия, e-mail: zhursp@yandex.ru

В работе представлены результаты электроискрового диспергирования (ЭИД) стружки из сплава ВК6 в воде. Приведены величины удельной поверхности, морфологии, структуры и распределения частиц в порошках по размерам. Для исследования свойств использовали дисковый центробежный седиментационный анализатор размера частиц, методы растровой электронной микроскопии и рентгенофазового анализа. Показана принципиальная возможность применения ЭИД для изготовления тонкодисперсных порошков из отходов твердого сплава, пригодных для повторного использования в качестве высокоактивных добавок при создании инструмента и получении износостойких упрочняющих покрытий.

*Ключевые слова:* твердый сплав, электроимпульсное диспергирование, тонкодисперсные частицы.

**PROPERTIES OF WC–6Co HARD ALLOY POWDERS OBTAINED BY THE METHOD OF SPARK PLASMA DISPERSION**

<sup>1</sup>Physical Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: alex.pobol@gmail.com,

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: georggoran@rambler.ru,

<sup>3</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, e-mail: zhursp@yandex.ru

Properties of WC–6Co hard alloy powders obtained by the method of spark plasma dispersion (SPD) are presented. Powders of WC–6Co hard alloy were produced using spark erosion in distilled water. The properties of powders, such as specific surface area, morphology, structure and size distribution, were studied. Investigation of the powder properties was made using the methods of scanning electron microscopy, X-ray phase analysis and disk centrifugal sedimentation particle size analysis. The principal possibility of SPD method to produce highly active additives, suitable to use during creation of tools and hardening of wear-resistant coatings from hard alloy waste is shown.

*Keywords:* hard alloy, spark plasma dispersion, fine-grained particles.

УДК 536.46: 621.762

*А. И. ЛЕЦКО, Т. Л. ТАЛАКО, Н. М. ПАРНИЦКИЙ*

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ХРОМА НА СТОЙКОСТЬ К ОКИСЛЕНИЮ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОРОШКА НА ОСНОВЕ  $\beta$ 2-FeAl, УПРОЧНЕННОГО ВКЛЮЧЕНИЯМИ  $Al_2O_3$**

*Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: skeyone@rambler.ru*

Представлены результаты исследований влияния структурного состояния хрома в композиционном СВС-порошке FeAl(Cr)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на его стойкость к окислению. Для изучения возможности легирования моноалюминиды железа хромом в процессе синтеза использовали реакционные смеси, содержащие в качестве источника хрома порошки оксида хрома или сплава ПХ-30. Порошки получали методом механоактивируемого самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (МАСВС). Испытания на циклическое окисление проводили при температуре 700–1000 °С в атмосфере воздуха в течении 2 ч. В случае использования для легирования интерметаллида сплава ПХ-30 полученный порошок проявляет больший прирост массы в отличие от порошка, синтезированного из реакционной смеси, содержащей оксид хрома, в котором хром не только легировал алюминид, но и присутствовал в свободном состоянии.

*Ключевые слова:* алюминид железа, легированный хромом, композиционный порошок, реакционная смесь, механоактивируемый самораспространяющийся высокотемпературный синтез (МАСВС).

*A. I. LETSKO, T. L. TALAKO, N. M. PARNITSKY*

**EFFECT OF STRUCTURAL CONDITION OF CHROMIUM ON OXIDATION RESISTANCE OF COMPOSITE POWDER BASED ON  $\beta$ 2-FeAl REINFORCED WITH  $Al_2O_3$  INCLUSIONS**

*Powder Metallurgy Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, skeyone@rambler.ru*

The results of studies of effect of structural state of chromium in the composite SHS-powder FeAl(Cr)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on its resistance to oxidation are presented. To study the possibility of alloying of mono-aluminide iron with chromium, the synthesis reaction mixture containing a source of chromium as chromium oxide powders or alloy PX-30 were used. Powders were prepared by self-propagating mechanoactivated high-temperature synthesis (MASHS). Cyclic oxidation tests were conducted at a temperature of 700–1000 °C in an air atmosphere for 2 hours. In the case of alloying the intermetallic alloy PX-30, the resultant powder exhibits a greater weight gain in contrast to powders prepared from a reaction mixture comprising a chromium oxide in which chromium is not only alloyed aluminide but is present in a free state.

*Keywords:* aluminide iron alloyed chromium, composite powder, reaction mixture, mechanoactivated high-temperature synthesis (MASHS).



*Л. М. АКУЛОВИЧ, Л. Е. СЕРГЕЕВ, М. М. ДЕЧКО, Е. В. СЕНЧУРОВ*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ**

*Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: senchurov@tut.by*

Решена задача оптимизации процесса магнитно-абразивной обработки радиусных цилиндрических поверхностей на основе стохастических моделей, построенных по результатам статистического анализа экспериментальных данных, полученных методами математического планирования экспериментов. Изучены зависимости шероховатости обработанной поверхности и удельного массового съема от технологических факторов, описанные регрессионными моделями в виде полиномов третьего порядка. Выявлено и объяснено сложное взаимодействие и взаимовлияние технологических факторов магнитно-абразивной обработки радиусных цилиндрических поверхностей колец шарикоподшипников. По результатам многокритериальной оптимизации определены значения технологических режимов, обеспечивающих повышение удельного массового съема при ограничениях на допустимую шероховатость поверхности.

*Ключевые слова:* магнитно-абразивная обработка, технологические режимы, удельный массовый съем, шероховатость, регрессионный анализ, оптимизация

*L. M. AKULOVICH, L. E. SERGEEV, M. M. DECHKO, E. V. SENCHUROV*

## **MODELING OF MAGNETIC ABRASIVE FINISHING PROCESS AND OPTIMIZATION OF ITS TECHNOLOGICAL MODES**

*Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus,  
e-mail: senchurov@tut.by*

An optimization of magnetic-abrasive finishing process for radial cylindrical surfaces has been performed. The optimization relies on stochastic models derived from statistical analysis of experimental data obtained by applying experimental design techniques. Dependencies of surface roughness and specific material removal rate from technological modes described by regression models in the form of 3<sup>rd</sup>-degree polynomial functions have been studied. Complex relationships and interdependencies between technological modes of magnetic-abrasive finishing process for radial cylindrical surfaces of ball-bearing races have been discovered and explained. As the result of the multi-criteria optimization, such parameters of technological modes have been identified, that ensure greater specific material removal rate within the targeted surface roughness tolerances.

*Keywords:* magnetic abrasive finishing process, technological modes, the mass removal, surface roughness, regression analysis, optimization.

УДК 539.3

*В. А. ТОМИЛО<sup>1</sup>, Е. В. КОЧИК<sup>2</sup>, И. А. ТАРАСЮК<sup>1</sup>, А. С. КРАВЧУК<sup>3</sup>*

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ВЫЧИСЛЕНИЯ КОНЕЧНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ ПЛОСКИХ ПРУЖИН И РЕССОР**

*<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь,  
e-mail: jege.the.owl@gmail.com,*

*<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: zhenjatomilo@gmail.com,*

*<sup>3</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: ask\_Belarus@inbox.ru*

Определено, что линеаризация уравнения перемещений изогнутой балки вносит значительную относительную ошибку в определение перемещений для плоских стальных пружин и рессор. Установлено, что моделирование поведения плоских пружин и балок с помощью ANSYS 10 ED необходимо производить с использованием элементов BEAM188 и SHELL181 с включенной опцией **LargeDisplacementStatic**, поскольку в этом случае применяется нелинеаризованное уравнение для определения перемещений, что соответствует большим прогибам и перемещениям упругой линии.

*Ключевые слова:* механика твердого тела, рессора, балка, уравнение перемещений, компьютерное моделирование, деформация изгиба.



**COMPARISON OF METHODS OF FINITE DISPLACEMENTS CALCULATION  
UNDER STATIC BENDING OF FLAT AND LEAF SPRINGS**

<sup>1</sup>*Physical Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
e-mail: jge.the.owl@gmail.com,*

<sup>2</sup>*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,  
e-mail: zhenjatomilo@gmail.com,*

<sup>3</sup>*Belarusian State University, Minsk, Belarus,  
e-mail: ask\_Belarus@inbox.ru*

It is determined that linearization of displacement equation of a bent beam makes a significant relative error in the definition of displacements for flat metal and leaf springs. It is found that modeling of behavior of flat springs and beams using the ANSYS ED 10 must be carried out with the use of BEAM188 and SHELL181 elements and with the enabled **LargeDisplacementStatic** option. It is because of non-linearized equation used for determination of displacements that corresponds to large deflections and displacements of elastic line.

*Keywords:* mechanics of rigid body, bow spring, beam, deformation equations, computer simulation, bending deformation.

UDC 621.77

*SHU XUEDAO, LIU CHUAN, WANG YING<sup>1</sup>*

**STUDY ON TECHNOLOGY OF MULTI-WEDGE CROSS-WEDGE ROLLING  
OF AUTOMOBILE SEMI-AXIS SHAFTS**

*Faculty of mechanical engineering and mechanics,  
Zhejiang provincial key laboratory of part rolling technology, Ningbo University,  
Ningbo, Zhejiang province, China, e-mail: shuxuedao@nbu.edu.cn*

With rapid development of automotive industry, the demand of automobile semi-axis is increasing. However, it increases the cost investing in dies as automobile semi-axis are still produced with single-wedge cross-wedge rolling. Therefore, the study on deformation of MCWR forming automobile semi-axis is of great significance. The software PRO/E is adopted in setting up three-dimensional model, with the advanced explicit dynamic finite element DEFORM, the simulation of rolling automobile semi-axis with MCWR was analyzed systematically. The influence of rolling parameters on rolling force were attained by a practical computed method. It was shown that side wedge forming angles and side wedge transition angles had little influence on the force, the coefficient friction had critical influence on force.

*Keywords:* multi-wedge cross wedge rolling (MCWR), automobile semi-axis, force parameter.

*ШУ СЮЭДАО, ЛЮ ЧУАНЬ, ВАНГ ИН*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ ПОЛУОСИ АВТОМОБИЛЯ**

*Факультет машиностроения и механики, Университет г. Нинбо,  
Нинбо, провинция Чжэцзян, Китай, e-mail: shuxuedao@nbu.edu.cn*

С ускоренным развитием автомобилестроения возрастает потребность в полуосях для автомобилей. Однако это повышает расходы на инструмент, так как до сегодняшнего дня полуоси изготавливаются методом традиционной поперечно-клиновой прокатки. Поэтому изучение деформирования параллельной поперечно-клиновой прокатки автомобильных полуосей имеет большое значение. В данной работе освоено применение программного обеспечения PRO-E для создания трехмерной модели, подробно описано применение усовершенствованного программного обеспечения DEFORM на основе динамического метода конечных элементов, систематично проанализировано моделирование прокатки автомобильных полуосей методом параллельной поперечно-клиновой прокатки. Влияние параметров прокатки на усилие прокатки оценено методом практических вычислений. Это показало, что углы формирования боковых клиньев и углы перехода боковых клиньев не оказывают большого влияния на усилие прокатки, а коэффициент трения существенно влияет на усилие прокатки.

*Ключевые слова:* параллельная поперечно-клиновая прокатка, полуоси автомобилей, усилие прокатки.

В. А. КОТ

## МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЗАДАЧАХ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛА ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА

*Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь,  
e-mail: valery.kot@hmti.ac.by*

На основе систем из тождественных равенств, образованных  $2n$ -кратными интегралами от искомой температурной функции и интегральными граничными характеристиками, получены аналитические решения краевой задачи нестационарной теплопроводности для протяженной пластины с граничным условием первого рода. По точности и сходимости решений предложенный метод превосходит на несколько порядков известные интегральные методы.

*Ключевые слова:* уравнение теплопроводности, приближенный метод, интегральные тождества, фронт возмущения.

V. A. KOT

## A METHOD OF BOUNDARY CHARACTERISTICS BASED ON THE HEAT-BALANCE INTEGRAL IN HEAT-CONDUCTION PROBLEMS

*A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
e-mail: valery.kot@hmti.ac.by*

On the basis of systems of identical equalities formed by  $2n$ -multiple integrals of the desired temperature function and integral boundary characteristics, analytical solutions of the boundary problem on the nonstationary heat conduction of an extended plate with the first-kind boundary conditions have been obtained. The method proposed surpasses the known integral methods in accuracy and convergence of solutions by several orders of magnitude.

*Keywords:* heat conduction equation, approximate method, integral identities, front of a disturbance.

УДК 549.742.121+662.765

М. В. МАЛЬКО, С. В. ВАСИЛЕВИЧ, В. Н. БОГАЧ, Д. В. ДЕГТЕРОВ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ КАРБОНИЗАЦИИ ОКСИДА КАЛЬЦИЯ В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

*Институт энергетики НАН Беларуси, Минск, Беларусь,  
e-mail: ipe@bas-net.by*

Обсуждаются результаты экспериментальных исследований кинетики реакции  $\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_2$ , выполненные в изотермических условиях при температурах 773, 873, 973 и 1123 К. В опытах пиролизный газ, содержащий примерно 14,5 мас.%  $\text{CO}_2$ , подавался в реакционную зону, в которой размещался образец отоженного доломита. Степень протекания реакции определялась по приросту массы образца, выдерживаемого при постоянной температуре.

Анализ полученных данных показал, что кинетика карбонизации  $\text{CaO}$  характеризуется наличием типичных для гетерогенных процессов периодов, таких как индукция, ускорение и замедление. Для малых степеней превращения стадией, определяющей скорость суммарного процесса, является химическое взаимодействие  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$ . Для данной стадии на основании выполненного исследования определены энергия активации (29,6 кДж/моль) и предэкспоненциальный фактор аррениусовской зависимости ( $0,36 \cdot 10^{-1} \text{ мин}^{-1}$  или  $6,0 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ).

*Ключевые слова:* пиролизный газ, диоксид углерода, доломит, кинетика карбонизации, энергия активации, предэкспоненциальный фактор.

M. V. MALKO, S. V. VASILEVICH, U. M. BAHACH, D. V. DEGTEROV

## EXPERIMENTAL STUDY OF CALCIUM OXIDE CARBONATION KINETICS UNDER ISOTHERMAL CONDITIONS

*Institute of Power Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
e-mail: ipe@bas-net.by*

The results of experimental studies of kinetics of the reaction  $\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_2$  performed at isothermal conditions at temperatures of 773, 873, 973 and 1123 K are being discussed. Pyrolysis gas, containing approximately 14.5% vol. of  $\text{CO}_2$  was fed during the experiments into the reaction zone, which housed the sample of calcinated dolomite. The extent of the reaction was determined from the weight gain of the sample kept at a constant temperature.

Analysis of the data has shown that the kinetics of the  $\text{CaO}$  carbonation reaction is characterized by typical periods of heterogeneous processes, such as periods of induction, reaction acceleration and deceleration. The rate-determining step of the overall process for small degrees of conversion is a chemical reaction of  $\text{CaO}$  and  $\text{CO}_2$ . Activation energy and pre-exponential factor of the Arrhenius equation were estimated for this stage on the basis of the performed study. They are 29.6 kJ/mol and  $0.36 \cdot 10^{-1} \text{ min}^{-1}$  ( $6.0 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ) respectively.

*Keywords:* pyrolysis gas, carbon dioxide, dolomite, kinetics of the carbonation, activation energy, pre-exponential factor.

*А. П. АХРАМОВИЧ<sup>1</sup>, И. В. ВОЙТОВ<sup>2</sup>, В. П. КОЛОС<sup>1</sup>*

**О РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕАКТОРА С МИКРОТВЭЛАМИ.  
УСЛОВИЯ АВТОМОДЕЛЬНОСТИ ТЕПЛОСЪЕМА В АКТИВНОЙ ЗОНЕ  
НА ЧАСТИЧНЫХ НАГРУЗКАХ**

*<sup>1</sup>Институт энергетики НАН Беларуси, Минск, Беларусь,*

*e-mail: ahr@bas-net.by,*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,*

*e-mail: rector@belstu.by*

Получены условия автомодельности теплосъема в насыпных активных зонах относительно мощности реактора. При этом термические напряжения конструктивных элементов на частичных нагрузках остаются неизменными. В таких активных зонах могут быть достигнуты энергонапряженность 10 МВт/дм<sup>3</sup> и нейтронные потоки свыше 5·10<sup>16</sup> нейтрон/(см<sup>2</sup>·с), что открывает путь к созданию компактных, мобильных ядерных установок различного целевого назначения.

*Ключевые слова:* реактор с микровтэлами, топливный слой, энерговыделение, динамическое согласование, продольно-поперечная фильтрация, линии тока, теплосъем.

*A. P. AKHRAMOVICH, I. V. VOITOV, V. P. KOLOS*

**ON THE PERFORMANCE OF A REACTOR WITH MICROFUEL.  
TERMS OF SELF-SIMILARITY OF HEAT REMOVAL IN THE REACTOR CORE AT PARTIAL LOADS**

*<sup>1</sup>Institute of Power Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,*

*e-mail: ahr@bas-net.by,*

*<sup>2</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus,*

*e-mail: rector@belstu.by*

Conditions of self-similarity of heat removal relative to the reactor power for bulk active zones have been determined. In this case the thermal stresses of structural elements at partial loads remain unchanged. The power intensity of 10 MW / dm<sup>3</sup> and neutron fluxes over 5·10<sup>16</sup> neutron/(cm<sup>2</sup>·s) can be achieved in such active zones. This opens a way for creation of compact and mobile nuclear devices of different using.

*Keywords:* reactor with micro fuel, fuel bed, dynamic coherence, longitudinal and transvers filtration, streamlines, heat removal.

УДК 536.2:532/533; 517.958:539.219.3

*У. М. ХАРМА*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ВЛАГОПЕРЕНОСА  
В ПОГЛОТИТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,*

*e-mail: abuhawash@hotmail.com*

Приведены результаты численного моделирования неизотермического влагопереноса в пористом поглотителе электромагнитной энергии с учетом явления термовлагопроводности. Анализ полей влагосодержания, давления пара, температуры для различных моментов времени показывает существенное перераспределение влаги в неизотермических условиях, которое необходимо учитывать при маскировке объекта.

*Ключевые слова:* неизотермический влагоперенос, пористый поглотитель, электромагнитная энергия, изотерма сорбции, термовлагопроводность.

*O. M. KHRMA*

**MODELLING OF NON-ISOTHERMAL MOISTURE TRANSFER IN ABSORBERS  
OF ELECTROMAGNETIC RADIATION**

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus,*

*e-mail: abuhawash@hotmail.com*

Results of numerical modeling of non-isothermal moisture transfer in porous absorber of electromagnetic energy in view of the phenomena of heat and moisture are presented. An analysis of the moisture content of fields, steam pressure and temperature for different times shows a significant distribution of moisture in non-isothermal conditions, which must be considered when masking object.

*Keywords:* nonisothermal moisture transfer, porous absorber, electromagnetic energy, sorption isotherm, heat and moisture.

*В. А. ЛЕВЧУК<sup>1</sup>, В. А. КОВАЛЕВ<sup>1</sup>, В. В. БАРКАЛИН<sup>2</sup>, В. Э. ЛОЗОВСКИЙ<sup>2</sup>*

## **КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ ДИАГНОСТИКА МЕЛАНОМЫ НА БАЗЕ ПОИСКА ПОХОЖИХ ДЕРМАТОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БАЗЕ ДАННЫХ**

*<sup>1</sup>Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,  
Минск, Беларусь, e-mail: vitali.liauchuk@gmail.com*

*<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: vladislavlozovski@gmail.com*

Предлагается метод решения задачи компьютеризированной диагностики новообразований кожи, основанный на поиске изображений в базе данных по содержанию. Предложенный метод отличается достаточной простотой, надежностью, меньшей зависимостью от настроек аппаратуры. При тестировании на открытой базе данных дерматоскопических изображений метод поиска показал результаты, по точности сравнимые с результатами работы гораздо более сложного классического метода. Наилучшее качество диагностики достигалась при комбинировании двух методов.

*Ключевые слова:* меланома, диагностика, поиск, база данных, анализ изображений

*V. A. LIAUCHUK<sup>1</sup>, V. A. KOVALEV<sup>1</sup>, V. V. BARKALINE<sup>2</sup>, U. E. LAZOUSKI<sup>2</sup>*

## **CONTENT-BASE IMAGE RETRIEVAL AS A METHOD FOR COMPUTER-ASSISTED DIAGNOSIS OF MELANOMA BASED ON DERMOSCOPIC IMAGES**

*<sup>1</sup>The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
e-mail: vitali.liauchuk@gmail.com,*

*<sup>2</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,  
e-mail: vladislavlozovski@gmail.com*

A method for computer-aided diagnosis of skin lesions based on image retrieval scheme is proposed. The suggested method is rather simple, reliable and robust. The results of the tests carried out on a publically available image dataset suggest that the performance of the method proposed is comparable with one of a rather complicated conventional method of melanoma diagnosis. The best performance is achieved when combining both methods together.

*Keywords:* melanoma, diagnostics, retrieval, database, image analysis

*С. В. КРАСНОВСКАЯ, В. В. НАПРАСНИКОВ*

## **ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ КОМПРЕССОРНО-КОНДЕНСАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: n\_v\_v@tut.by*

Рассматривается задача многокритериальной оптимизации рамы компрессорно-конденсаторного агрегата. Дается краткий обзор методов и алгоритмов многокритериальной оптимизации. Приводится пример использования генетического алгоритма для поиска рациональных параметров рамы агрегата.

*Ключевые слова:* многокритериальная оптимизация, многокритериальный генетический алгоритм MOGA, модуль DesignXplorer, компрессорно-конденсаторный агрегат.

*S. V. KRASNOVSKAYA, V. V. NAPRASNIKOV*

## **OVERVIEW OF OPTIMIZATION ALGORITHMS AT FINITE ELEMENTS MODELING OF CONDENSING UNITS DESIGN**

*Belarussian National Technical University, Minsk, Belarus, email: n\_v\_v@tut.by*

A multiobjective optimization problem of a condensing unit frame is considered. Abstract of multiobjective optimization methods and algorithms is given. The article provides an example of genetic algorithm usage for seeking optimal parameters of the unit frame.

*Keywords:* multiobjective optimization, multiobjectivegenetic algorithm MOGA, DesignXplorer, condensing unit.

*В. Е. ОБУХОВ<sup>1</sup>, Е. П. ШПАК<sup>1</sup>, С. П. ЖВАВЫЙ<sup>2</sup>, В. А. АЗАРКО<sup>3</sup>*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР В СЛОЯХ ВАКУУМНОГО РЕЗИСТА**

*<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск Беларусь,  
e-mail: obukhov@tut.by, ket27051973@gmail.com*

*<sup>2</sup>Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь,  
e-mail: zhvavyi@inel.bas-net.by*

*<sup>3</sup>Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь,  
e-mail: mixa@ichnm.basnet.by*

Изучены методом моделирования процессы формирования топологических структур с 3D-элементами различных размеров и конфигурации в слоях вакуумного резиста импульсным лазерным излучением с разной плотностью энергии. Экспериментально установлено, что моделирование позволяет прогнозировать реальные параметры работы установок лазерной вакуумной микролитографии для качественного формирования 3D-элементов топологии в слоях вакуумного резиста при создании масок.

*Ключевые слова:* микролитография, вакуумная проекционная литография, вакуумный резист, технологии ИМС

*V. E. OBUKHOV<sup>1</sup>, E. P. SHPAK<sup>1</sup>, S. P. ZHVAVYI<sup>2</sup>, V. A. AZARKO<sup>3</sup>*

## **SIMULATION OF FORMATION OF TOPOLOGICAL STRUCTURES IN VACUUM RESIST LAYERS**

*<sup>1</sup>Physical Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
e-mail: obukhov@tut.by, ket27051973@gmail.com,*

*<sup>2</sup>B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus, e-mail: zhvavyi@inel.bas-net.by,*

*<sup>3</sup>The Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
e-mail: mixa@ichnm.basnet.by*

The modeling of formation of topological structures with 3D elements of various sizes and configurations in a vacuum resist exposed to pulsed laser radiation with different energy density was carried out. It was found experimentally that the simulation allows predicting the actual parameters of lithography laser systems for high-quality formation of 3D topology elements in layers of vacuum resist when creating masks.

*Keywords:* microlithography, vacuum resist, vacuum projection lithography, microelectronic circuit technology.

*П. К. НАГУЛА, М. Н. КОЗЕЛ, С. В. РЫБЧАК, К. В. ЮРГАНОВ*

## **СРЕДСТВА УЧЕТА ОБЪЕМНОГО И МАССОВОГО РАСХОДА, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ. ОПЫТ ПОВЕРКИ И КАЛИБРОВКИ НА УСТАНОВКЕ «ЭТАЛОН»**

*Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси,  
Минск, Беларусь, e-mail: nagulark@mail.ru*

Одной из важнейших технических задач промышленности Республики Беларусь является измерение массового и объемного расхода как основы для обеспечения технологического учета в энергосберегающих и ресурсосберегающих технологиях. Для решения этой задачи разрабатывается множество средств измерений, которые подлежат обязательному метрологическому контролю. В данной статье приводятся анализ основных типов средств измерений расхода, которые применяются на промышленных предприятиях Республики Беларусь, современные требования, предъявляемые к расходомерам, а также оценка метрологической надежности во времени для некоторых типов расходомеров.

*Ключевые слова:* массовый и объемный расход, метрологическая надежность, метрологические характеристики, поправочный коэффициент, средство измерений.

*P. K. NAHULA, M. N. KOZEL, S. V. RYBCHAK, K. V. YURGANOV*

**ACCOUNTING MEANS OF VOLUME- AND MASS FLOW, OPERATING IN THE REPUBLIC OF BELARUS. EXPERIENCE VERIFICATION AND CALIBRATION AT «ETALON»**

*The Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: nagulapk@mail.ru*

One of the major technical problems of industry of the Republic of Belarus is the measurement of mass and volume flow rate, as the basis for technological consideration in energy-saving and resource-saving technologies. To solve this task many measuring instruments subject to metrological control are developed. This article provides an analysis of the main types of means of discharge measurements, which are used at the industrial enterprises of the Republic of Belarus, the modern requirements for flow meters, as well as assessment of the metrological reliability in time for some types of flowmeters.

*Keywords:* mass and volume flow rate, metrological reliability, metrological characteristics, correction factor, measuring instrument.

УДК [543.318.3+546.33'131]:666.9

*С. Э. САВАНОВИЧ, Т. В. БОРБОТЬКО*

**ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ВОДНОГО РАСТВОРА ХЛОРИДА НАТРИЯ, ВВЕДЕННОГО В ПОРЫ КЕРАМЗИТА, НА ЕГО РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, e-mail: svetasav@bsuir.by*

Установлено влияние вязкости водного раствора хлорида натрия, вводимого в керамзит, на его значения коэффициентов отражения и передачи в диапазоне частот 0,9–17 ГГц. Определены оптимальные величины концентраций водного раствора. Предложено использование полученных результатов исследования при разработке конструкций экранов электромагнитного излучения для создания экранированных помещений.

*Ключевые слова:* экран, электромагнитное излучение, керамзит, хлорид натрия, водный раствор, вязкость, размер фракций, коэффициент отражения, коэффициент передачи.

*S. E. SAVANOVICH, T. V. BORBOTKO*

**EFFECT OF VISCOSITY OF AQUEOUS SODIUM CHLORIDE SOLUTION, INTRODUCED INTO PORES OF EXPANDED CLAY, ON ITS RADIOABSORBING PROPERTIES**

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus, e-mail: svetasav@bsuir.by*

Agency of viscosity of an aqueous solution of chloride of the sodium inducted into expanded clay, on its values of coefficients of reflexion and transfer over the range frequencies of 0,9–17 GHz is determined. Optimum values of concentrations of an aqueous solution are spotted. Use of the gained effects of examination is offered by working out of constructions of shields of an electromagnetic radiation for making shielding premises.

*Keywords:* screen, electromagnetic radiation, expanded clay, sodium chloride, aqueous solution, viscosity, size fractions, reflection coefficient, transfer coefficient.

УДК 621.396.96

*А. С. ХРАМЕНКОВ, С. Н. ЯРМОЛИК, М. В. СВИНАРСКИЙ*

**СИНТЕЗ УСТРОЙСТВА РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОСТАНОВКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПРОЦЕДУРЫ**

*Военная академия Республики Беларусь, Минск, Беларусь, e-mail: xras.tech@mail.ru*

Для повышения достоверности классификации радиолокационных объектов предлагается использовать последовательный байесовский алгоритм распознавания, обеспечивающий минимизацию риска принимаемых решений о классе объекта и о продолжении дальнейшего наблюдения. С целью обеспечения возможности последовательного уточнения информации при реализации последовательного алгоритма предложено использование апостериорной вероятности решающей статистики предыдущего шага классификации в качестве априорной информации для следующего шага.

*Ключевые слова:* последовательный байесовский алгоритм распознавания, минимум среднего риска, последовательное уточнение априорной информации.



*A. S. KHRAMIANKOU, S. N. YARMOLIK, M. V. SVINARSKI*

**SYNTHESIS OF A RADAR RECOGNITION DEVICE WITH POSSIBILITY  
TO STOP THE SEQUENTIAL PROCEDURE**

*Military academy of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: xras tech@mail.ru*

For increase of reliability of radar objects classification it is offered to use sequential Bayesian recognition algorithm, providing minimisation risk of accepted decisions on an object class and further supervision continuation. For sequential specification of data it is proposed to use a posteriori probability of solving statistics of the previous step of classification as a priori information for the following step.

*Keywords:* sequential Bayesian algorithm of recognition, minimum average risk, sequential specification of the prior information.