

# НАУКОВІ ВІСТІ

Національного технічного університету України  
"Київський політехнічний інститут"

Міжнародний науково-технічний журнал

№ 5(85)

2012

Започаткований у вересні 1997 року

## Редакційна колегія:

Головний редактор  
М.З. Згуровський, акад. НАН України

Заступник головного редактора  
М.Ю. Ільченко, акад. НАН України

Відповідальний секретар  
П.П. Маслянко, к.т.н., доцент

Члени редколегії –  
координатори  
наукових напрямків

І.М. Астрелін, д.т.н., проф.

М.І. Бобир, д.т.н., проф.

С.Г. Бунін, д.т.н., проф.

В.Ю. Горчаков, д.б.н., проф.

І.А. Дичка, д.т.н., проф.

О.В. Збруцький, д.т.н., проф.

О.І. Клесов, д.ф.-м.н., проф.

Є.М. Письменний, д.т.н., проф.

Д.Ф. Чернега, чл.-кор. НАН України

Ю.І. Якименко, акад. НАН України

## У номері:

Електроніка, радіотехніка  
та засоби телекомунікацій

Енергетика та нові  
енергогенеруючі технології

Інформаційні технології,  
системний аналіз та керування

Матеріалознавство  
та машинобудування

Приладобудування  
та інформаційно-вимірвальна  
техніка

Хімічні технології

Адреса редакції:  
03056, Київ-56,  
проспект Перемоги, 37,  
Національний технічний  
університет України  
"Київський політехнічний  
інститут",

Тел. (+38 044) 454-91-23  
E-mail: n.visti@kpi.ua  
<http://bulletin.kpi.ua>

Рекомендовано Вченою радою Національного технічного університету України  
“Київський політехнічний інститут”, протокол № 11 від 03.12.12 р.

### Члени редакційної колегії з технічних наук

Х. Алтенбах,	докт., проф., Німеччина	Н.С. Равська,	д.т.н., проф.
Ю.Г. Гогоці,	докт., проф., США	В.П. Решетилловський,	докт., проф., Німеччина
В.І. Губар,	д.т.н., проф.	В.О. Румбешта,	д.т.н., проф.
О.Б. Дормешкін,	д.т.н., проф., Білорусь	Є. Русінський,	докт., проф., Польща
В. Зілбершмідт,	докт., проф., Німеччина	В.Г. Савін,	д.ф.-м.н., проф.
В.С. Коваленко,	д.т.н., проф.	С.З. Сапожніков	д.т.н., проф., Росія
П.О. Красуцький,	докт., проф., США	В.А. Свідерський,	д.т.н., проф.
А.О. Лебедев,	акад. НАН України	В.І. Сенько,	д.т.н., проф.
В.В. Матвеев,	акад. НАН України	<u>Г.О. Статюха</u> ,	д.т.н., проф.
Є.А. Мачуський,	д.т.н., проф.	Я. Стрічек,	докт., проф., Польща
О.С. Медведєв,	д.т.н., проф., Росія	Л. Тановіч,	докт., проф., Сербія
Я. Наркевіч,	докт., проф., Польща	В.П. Тарасенко,	д.т.н., проф.
О.М. Новіков	д.т.н., проф.	В.О. Холоднов,	д.т.н., проф., Росія
О.А. Павлов,	д.т.н., проф.	Аміт Чаудрі,	докт., проф., Індія
С.М. Пересада,	д.т.н., проф.	А.А. Щерба,	чл.-кор. НАН України
В.М. Прохоренко,	д.т.н., проф.		

Секретар редакції Л.Д. Калько

Редактори Л.П. Троценко  
Н.М. Сухачова

Комп'ютерна верстка О.М. Нестеренко  
Н.М. Сухачової

Коректор Л.П. Троценко

Фото на обкладинці – маятник Фуко в бібліотеці НТУУ “КПІ”, занесений  
до Національного реєстру рекордів

---

Підп. до друку 25.12.2012. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Папір офс. Гарнітура Times  
Спосіб друку – ризографія. Ум. друк. арк. 19,53. Обл.-вид. арк. 33,26. Зам. № 12-296. Наклад 150 пр.

НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка»  
Свідоцтво ДК № 1665 від 28.01.2004 р.  
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15  
тел. (044) 406-81-78

# RESEARCH BULLETIN

of National Technical University of Ukraine  
“Kyiv Polytechnic Institute”

International research journal

№ 5(85)

2012

Founded in September, 1997

## Editorial board:

Editor-in-chief

M.Z. Zgurovsky, Academician  
of NASU

Deputy editor-in-chief

M.Yu. Ilchenko, Academician  
of NASU

Executive editor

P.P. Maslyanko, Assoc. Prof., PhD

Associate editors

I.M. Astrelin, Prof., Ukraine  
M.I. Bobyr, Prof., Ukraine  
S.G. Bunin, Prof., Ukraine  
V.Yu. Gorchakov, Prof., Ukraine  
I.A. Dychka, Prof., Ukraine  
O.V. Zbrutsky, Prof., Ukraine  
O.I. Klesov, Prof., Ukraine  
Ye.M. Pysmenny, Prof., Ukraine  
D.F. Chernega, Correspondent  
member of NASU  
Yu.I. Yakymenko, Academician  
of NASU

## In the issue:

Electronics, radio engineering  
and telecommunications

Power engineering and new energy  
generation technologies

Information technology, system  
analysis and guidance

Materials science and machine  
building

Instrument manufacturing  
and information measuring  
technology

Chemical engineering

Edition address:

03056, Kyiv-56,  
Av. Peremogy, 37, building 1,  
National Technical University of Ukraine  
“Kyiv Polytechnic Institute”

E-mail: [n.visti@kpi.ua](mailto:n.visti@kpi.ua)  
<http://bulletin.kpi.ua>

---

Founder – National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

Registration Certificate – KB No 18963-775ПР

### Editorial Board in Engineering

H. Altenbach,	Prof., Germany	N.S. Ravska,	Prof., Ukraine
Yu. Gogotsi,	Prof., USA	V. Reschetilowski,	Prof., Germany
V.I. Gubar,	Prof., Ukraine	V.O. Rumbeshta,	Prof., Ukraine
O. Dormeshkin,	Prof., Belarus	Eu. Rusinski	Prof., Poland
V. Silberschmidt,	Prof., Germany	V.G. Savin,	Prof., Ukraine
V.S. Kovalenko,	Prof., Ukraine	S.Z. Sapozhnikov	Prof., Russia
P. Krasutsky	Prof., USA	V.A. Svidersky,	Prof., Ukraine
A.O. Lebedev,	Academician of NASU	V.I. Senko,	Prof., Ukraine
V.V. Matveev,	Academician of NASU	<b>G.O. Statyukha</b> ,	Prof., Ukraine
Ye.A. Machusky,	Prof., Ukraine	Ja. Stryczek,	Prof., Poland
A. Medvedev	Prof., Russia	L. Tanovic,	Prof., Serbia
J. Narkiewicz	Prof., Poland	V.P. Tarasenko,	Prof., Ukraine
O.M. Novikov	Prof., Ukraine	V.A. Holodnov,	Prof., Russia
O.A. Pavlov,	Prof., Ukraine	Amit Chaudhry,	Prof., India
S.M. Peresada,	Prof., Ukraine	A.A. Shcherba,	Correspondent member of NASU
V.M. Prokhorenko,	Prof., Ukraine		

## ЗМІСТ

### Електроніка, радіотехніка та засоби телекомунікацій

*Bunin S.G., Plotnyk K.O., Voitenko Iu.Iu.* Retransmission Method of Impulse Ultrawideband Signals in Ad-Hoc Networks ..... 7

*Денбновецький С.В., Мельник І.В., Мельник В.Г., Тугай С.Б.* Моделювання вольт-амперних характеристик тріодних технологічних джерел електронів високовольтного тліючого розряду ..... 12

*Коваль В.М., Богдан О.В., Іващук А.В., Якименко Ю.І.* Тонкоплівкові сонячні елементи на основі нанокристалічного кремнію ..... 19

*Найденко В.І., Постульга О.С.* Дослідження характеристик L-подібного і крос-хвильоводу варіаційним методом ..... 27

*Тіхонов В.І.* Тензорна модель буферизації портів цифрового комутатора ..... 34

### Енергетика та нові енергогенеруючі технології

*Кузьменко І.М., Крячок О.С.* Експериментальне вивчення особливостей руху плівки води в структурі сітки ..... 40

*Михайленко В.С., Харченко Р.Ю.* Синтез нейромережевої системи автоматичного регулювання рівня води в барабані котла енергоблока ТЕС ..... 45

*Соруш Атарод, Бржезицкий В.А.* Нестабильность амплитудно-частотной характеристики высоковольтного делителя напряжения, обусловленная неидентичностью элементов его высоковольтного плеча ... 51

### Інформаційні технології, системний аналіз та керування

*Бідюк П.І., Коновалюк М.М.* Модифікація і застосування моделі стохастичної волатильності ..... 55

*Дичка І.А., Голуб В.І., Онай М.В.* Апаратна реалізація процедур множення і ділення багаточленів у скінченних полях ..... 61

*Романенко В.Д., Реутов О.А.* Прийняття оптимальних рішень щодо стабілізації курсу євро/долар на основі математичних моделей з різномірою дискретизацією ..... 67

*Романюк В.В.* Критерій усунення однопараметричної модельної невизначеності з принципом гарантовано мінімальних абсолютних втрат і середнім арифметичним ..... 75

### Матеріалознавство та машинобудування

*Волкова Г.І., Даниленко В.І., Коржова Н.П., Легка Т.М., Подрезов Ю.М.* Температурна залежність механічних властивостей евтектичних ( $\alpha$ -Al + Mg<sub>2</sub>Si) сплавів ..... 81

*Макогон Ю.М., Павлова О.П., Вербицька Т.І., Владимірський І.А.* Вплив температури відпалу на структуру і магнітні властивості нанорозмірної плівкової композиції Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>(15 нм)/Ag(30 нм)/Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>(15 нм)/SiO<sub>2</sub>(100 нм)/Si(001) ..... 86

*Чернега Д.Ф., Нецадим В.М., Кудь П.Д., Іванченко Д.В.* Сучасний стан виробничих потужностей металургійної галузі України ..... 92

### Приладобудування та інформаційно-вимірювальна техніка

*Збруцький О.В., Бурнашев В.В.* Точність навігаційної системи для автоматичної посадки безпілотного літака ..... 97

*Колобродов В.Г., Тимчик Г.С., Нгуєн К.А.* Визначення узагальнених характеристик когерентних спектроаналізаторів ..... 102

*Котовський В.Й., Івченко П.О., Ройтман Е.М., Довженко О.П.* Визначення й аналіз метрологічних характеристик сенсора кисню ..... 109

*Кучеренко О.К., Муравйов О.В., Тягур В.М.* Ахроматизація та атермалізація об'єктивів інфрачервоної техніки ..... 114

### Хімічні технології

*Барбаш В.А., Зінченко В.О., Трембус І.В.* Ресурсозберігаючі технології перероблення стебел міскантуса ..... 118

*Годичук Н.В., Ніковська Г.М., Керносенко Л.О., Самченко Ю.М.* Дослідження властивостей акрилових гідрогелів як матеріалів для штучних ґрунтів ..... 125

*Громадська Л.І., Романова І.В., Кириллов С.О.* Новий аніонообмінний матеріал на основі силікагелю з нанесеним наносаром оксиду заліза ..... 130

*Киричок Т.Ю., Талімонова Н.Л., Заріцька В.І.* Моделювання проникнення фарби в папір з водяними знаками під час офсетного друку ..... 135

*Іваненко І.М., Донцова Т.А., Кондратюк А.С., Бакалінська О.М.* Функціоналізація поверхні багатосарових вуглецевих нанотрубок ..... 140

*Левандовський І.А.* Застосування методів комп'ютерного моделювання для передбачення хроматографічної поведінки аналітів ..... 146

*Ріпенко В.В., Хоменко В.М., Спасьонова Л.М.* Фазовий склад і особливості плавлення мінеральної сировини українських родовищ для виготовлення LAS-кераміки ..... 153

Реферати ..... 159

Автори номера ..... 165

## CONTENTS

### Electronics, radio engineering and telecommunications

- Bunin S.G., Plotnyk K.O., Voitenko Iu.Iu.* Re-transmission Method of Impulse Ultrawideband Signals in Ad-Hoc Networks ..... 7
- Denbnovetskiy S.V., Melnyk I.V., Melnyk V.G., Tugay S.B.* Simulation of Current-Voltage Characteristics of Triode Technological High Voltage Glow Discharge Electron Sources with Taking into Account Processes of Interaction of Charged Particles in Anode Plasma ..... 12
- Koval V.M., Bogdan A.V., Ivaschuk A.V., Yakimenko Yu.I.* Nanocrystalline Silicon thin Film Solar Cells ..... 19
- Naidenko V.I., Postulga O.S.* Research of Characteristics of L-Shaped and Waveguide with Two Corner Cuts by Variational Method ..... 27
- Tikhonov V.I.* The Tensor Model of Ports Buffering for Digital Switch ..... 34

### Power engineering and new energy generation technologies

- Kuzmenko I.M., Kryachok A.S.* Experimental Study of Characteristics of Moving Water Film within Netting ..... 40
- Mikhailenko V.S., Kharchenko R.Yu.* Synthesis of Neural Network System of Automatic Control of Water Level in the Boiler Drum Power Block of Thermal Power Plant ..... 45
- Atarod Soroosh, Brzhezytskyy V.A.* The Research of Instability of the Amplitude Frequency Characteristic of a High-Voltage Potential Divider Caused by Non-Identical Elements of its High-Voltage Shoulder ..... 51

### Information technology, system analysis and guidance

- Bidyuk P.I., Konovaliuk M.M.* Modification and Application of Stochastic Volatility Model ..... 55
- Dychka I.A., Golub V.I., Onai M.V.* Hardware Implementation of Multiplication and Division Operations for Polynomials in Finite Fields ..... 61
- Romanenko V.D., Reutov O.A.* Optimal Decision-Making on Stabilization of Euro/Dollar Rate on the Basis of Mathematical Models with Multirate Sampling ..... 67
- Romanuke V.V.* Criterion of Eliminating Single-Parameter Model Uncertainty with Principle of Assuredly Minimal Absolute Lacks and Arithmetic Mean ..... 75

### Materials science and machine building

- Volkova H.I., Danilenko V.I., Korzhova N.P., Legkaya T.N., Podrezov Yu.N.* Temperature Dependence

- of Mechanical Properties of Eutectic ( $\alpha$ -Al + Mg<sub>2</sub>Si) Alloys ..... 81

- Makogon Iu.M., Pavlova O.P., Verbitska T.I., Vladymyrskyi I.A.* Influence of Annealing Temperature on Structure and Magnetic Properties of Nanodimensional Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>(15 nm)/Ag(30 nm)/Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>(15 nm)/SiO<sub>2</sub>(100 nm)/Si(001) Film Composition ..... 86

- Chernega D.F., Neschadim V.M., Kud P.D., Ivanchenko D.V.* The Current State of Production Capacities of Metallurgical Industry in Ukraine ..... 92

### Instrument manufacturing and information measuring technology

- Zbrutsky O.V., Burnashev V.V.* Navigational System Exactitude for Automatic Landing of Unmanned Airplanes ..... 97
- Kolobrodov V.G., Tymchyk G.S., Nguyen Q.A.* The Problems of Designing Coherent Spectrum Analyzers .. 102
- Kotovskiy V.Io., Ivchenko P.O., Roytman E.M., Dovzhenko O.P.* Definition and Analysis of Metrological Characteristics of Oxygen Sensor ..... 109
- Kucherenko O.K., Muraviov O.V., Tyagur V.M.* Achromatization and Athermalization of Infrared Technology Objectives ..... 114

### Chemical engineering

- Barbash V.A., Zinchenko V.O., Trembus I.V.* Resource Recycling Technologies Stems Miscanthus ..... 118
- Godynchuk N.V., Nikovska G.M., Kernosenko L.A., Samchenko Yu.M.* The Investigation of Properties of Acrylic Hydrogels as Materials for Artificial Soils ..... 125
- Gromadska L.I., Romanova I.V., Kirillov S.A.* Novel Anion Exchanging Material Based on Silica Gel Covered by Nanolayer of Ferric Oxide ..... 130
- Kyrychok T.Yu., Talimonova N.L., Zaritska V.I.* The Simulation of Ink Penetration into Paper with Watermarks During Offset Printing ..... 135
- Ivanenko I.M., Dontsova T.A., Kondratyuk A.S., Bakalinska O.M.* The Surface Functionalization of Multi-walled Carbon Nanotubes ..... 140
- Levandovskiy I.A.* Application of Computer Modeling to Predict the Chromatographic Analytes Behavior .... 146
- Ripenko V.V., Khomenko V.M., Spasonova L.M.* Phase Phase Composition and Melting Features of Mineral Raw Material from Ukrainian Deposits used for LAS-Ceramics Production ..... 153
- Reports ..... 159
- Contributors to the issue ..... 16

УДК 519.832.3+519.711.2

В.В. Романюк

### КРИТЕРІЙ УСУНЕННЯ ОДНОПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛЬНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ З ПРИНЦИПОМ ГАРАНТОВАНО МІНІМАЛЬНИХ АБСОЛЮТНИХ ВТРАТ І СЕРЕДНІМ АРИФМЕТИЧНИМ

There is stated a problem of generation and removal of model uncertainty regarding a single parameter of the being investigated object, which is described with more than one mathematical model. Using the arithmetic mean in removing such single-parameter model uncertainty is compared to the principle of assuredly minimal absolute lacks on the base of the corresponding antagonistic game with symmetric matrix. It has been shown that for the second player optimal strategy, whose support contains equiprobable pure strategies of selecting minimal and maximal values of the being investigated parameter, the corresponding evaluation of the model is not worse than the same evaluation as the arithmetic mean over fixed model values. It is pointed that the nonstrict problem of single-parameter model uncertainty elimination may be solved with the arithmetic mean or principle of assuredly minimal absolute lacks, depending on where minimum of deviate of the being investigated parameter value estimation from its real value is going to be reached. For the strict problem of single-parameter model uncertainty elimination there is suggested to apply all the fixed model values with a probabilistic distribution, being the nearest to the equiprobable distribution within the set of the second player optimal strategies.

#### Вступ

Усунення невизначеностей є актуальною проблемою теорії прийняття рішень [1, 2] або, зокрема, теорії ігор [3, 4], адже розв'язання практично будь-якої задачі пов'язане з недосконаліми знаннями про об'єкт дослідження. В основному можна говорити про три типи невизначеностей, породжуваних відповідними дослідженнями: параметричну [1, 2, 4, 5] (щодо значення невідомого параметра на ненульовій підмножині числової прямої), функціональну [6, 7] (щодо невідомої функції у певному функціональному підпросторі) та модельну [8, 9] (де один об'єкт дослідження описується двома або більше математичними моделями, серед яких необхідно вибрати тільки одну). Звичайно, функціональна невизначеність усувається або звужується за допомогою методів усунення параметричної невизначеності (з інтерпретацією кожного значення функції як невизначеного параметра), тоді як усунення модельної невизначеності є найскладнішим через те, що різні моделі можуть давати неоднорічності множини вихідних параметрів [7, 10, 11], причому потужність цих множин, взагалі кажучи, є різною.

#### Постановка задачі

Вважатимемо, що існує не менше двох математичних моделей для опису одного параметра (стану) досліджуваного об'єкта. Множину всіх цих моделей необхідно принаймні звужити (виключити з неї хоча б один елемент) за кри-

терієм найбільшої придатності до відтворення параметра об'єкта дослідження. При цьому ідеальним буде, зрозуміло, звуження модельної множини до одноелементної множини, тобто коли залишиться єдина модель (найкраща у смислі застосованого критерію) і зникне множинність модельного вибору. Тому метою статті є формулювання критерію усунення модельної невизначеності в однопараметричному описі деякого об'єкта дослідження.

#### Усування однопараметричної модельної невизначеності через середнє

Нехай для опису одного параметра  $v$  деякого об'єкта дослідження є  $M$  математичних моделей, де  $M \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$ , причому  $i$ -ту модель подано в неявному вигляді як рівняння

$$\varphi_i(v, \{a_k^{(i)}\}_{k=1}^{K_i}) = 0 \quad \forall i = \overline{1, M} \quad (1)$$

з  $K_i$  визначеними коефіцієнтами  $\{a_k^{(i)}\}_{k=1}^{K_i}$ ,  $K_i \in \mathbb{N} \quad \forall i = \overline{1, M}$ . Звісно, невідомий параметр  $v$  може бути функцією як часу, так і положення, тому у відображеннях  $\{\varphi_i\}_{i=1}^M$  фігуруватимуть також і похідні параметра  $v$  за своїми аргументами. Але, не втрачаючи загальності, припустимо, що для зафіксованих аргументів параметра  $v$  з  $i$ -ї моделі в (1) вдалося визначити його оцінку (наближене значення)

$$v_i = \mu_i(\{a_k^{(i)}\}_{k=1}^{K_i}) \quad \forall i = \overline{1, M} \quad (2)$$

через відображення  $\mu_i$ . Тепер, маючи  $M$  оцінок  $\{v_i\}_{i=1}^M$  досліджуваного параметра  $v$ , задачу усунення  $M$  модельних невизначеностей у формі рівнянь (1) вдалося звести до задачі вибору одного значення цього параметра з множини  $M$  його, взагалі кажучи, різних значень  $\{v_i\}_{i=1}^M$ , знайдених як (2) або з проміжку

$$[\min(\{v_i\}_{i=1}^M); \max(\{v_i\}_{i=1}^M)]. \quad (3)$$

Задача вибору (прийняття) одного зі значень  $\{v_i\}_{i=1}^M$  є більш строгою, ніж задача вибору значення параметра  $v$  з проміжку (3), оскільки обмежує вибір дослідника, змушуючи працювати й вибирати лише на скінченній множині  $\{v_i\}_{i=1}^M$ . Тому звернемося до більш простого варіанта, коли на основі визначених з  $M$  моделей (1) за співвідношеннями (2) оцінок  $\{v_i\}_{i=1}^M$  необхідно прийняти рішення про значення параметра  $v$  у межах відрізка (3). Вважається, що ніяких імовірнісних мір чи розподілів на відріжку (3) не задано і навіть наближено брати нормальний розподіл на ньому не слід, адже прийняття рішення про нормальний розподіл без додаткових умов можливе лише за дуже великого числа  $M$  оцінок параметра  $v$ , за якими можна буде будувати гістограму відносних частот потрапляння його значень у визначені підінтервали відрізка (3). Тоді очевидним є визначення середнього

$$\bar{v} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M v_i \quad (4)$$

і прийняття оцінки  $\hat{v}$  параметра  $v$  як  $\hat{v} = \bar{v}$  за умови

$$|\bar{v} - v| \leq \delta_v^{(\max)} \quad (5)$$

для заздалегідь відомого максимально допустимого абсолютного відхилення  $\delta_v^{(\max)}$  оцінки значення досліджуваного параметра від його дійсного значення  $v$ . Але це значення принаймні в момент визначення середнього (4) є невідомим (воно може ставати відомим згодом, після серії спостережень за параметром, однак тоді буде запізно або вже непотрібно). Відтак для прийняття  $\hat{v} = \bar{v}$  замість контролю умови (5) досить природно використати умову

$$\max_{i=1, M} \{|\bar{v} - v_i|\} \leq \delta_v^{(\max)}. \quad (6)$$

Умова (6) означає, що оцінка (4) параметра  $v$  не повинна відрізнятись від його можливих модельних значень (2) більше, ніж на величину  $\delta_v^{(\max)}$ . Утім легко показати, що уже для майже тривіальних прикладів умову (6) виконати не вдається. Наприклад, якщо існують три моделі для опису одного параметра  $v$  деякого об'єкта дослідження, причому

$$\{v_i\}_{i=1}^3 = \{78, 80, 81\} \quad (7)$$

при  $\delta_v^{(\max)} < \frac{5}{3}$ , то

$$\bar{v} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 v_i = 79 \frac{2}{3} \quad (8)$$

й оцінка (8) є недопустимою в смислі (6), оскільки тут

$$\max_{i=1, 3} \{|\bar{v} - v_i|\} = \max \left\{ \frac{5}{3}, \frac{1}{3}, \frac{4}{3} \right\} = \frac{5}{3} > \delta_v^{(\max)} \quad (9)$$

й умова (6) не виконана. Зауважимо, що в межах  $\delta_v^{(\max)} < \frac{5}{3}$  для верхніх значень  $\delta_v^{(\max)}$  вимога, скажімо,  $\delta_v^{(\max)} = \frac{3}{2}$  є не такою сильною, як здається, становлячи відносно середнього (8) більше 1,5%. Наведений приклад демонструє, що прийняття оцінки (4) параметра  $v$  за умови (5) у формі (6) або є неможливим, або ж вимагає послаблення вимоги (6), тобто збільшення допустимого абсолютного відхилення  $\delta_v^{(\max)}$ . Крім того, згадаймо, що наразі йдеться про менш строгую задачу вибору значення параметра  $v$  з проміжку (3), де, очевидно,

$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M v_i \in [\min(\{v_i\}_{i=1}^M); \max(\{v_i\}_{i=1}^M)].$$

Для більш строгого формування оцінки  $\bar{v}$  параметра  $v$  як  $\hat{v} \in \{v_i\}_{i=1}^M$  така задача вибору навіть без вимоги (5) взагалі не матиме розв'язку, адже за оцінки (4) належність  $\bar{v} \in \{v_i\}_{i=1}^M$  виконуватиметься в ізольованих випадках.

#### Усування однопараметричної модельної невизначеності з мінімаксним принципом

Підійдемо до задачі вибору значення параметра  $v$  з використанням мінімаксного принципу, який дасть можливість здійснювати

вибір й у строгому порядку оцінювання  $\hat{v}$  параметра  $v$ , себто виключно на множині його зафіксованих значень  $\{v_i\}_{i=1}^M$ . Сформуємо різниці

$$u_{lj} = |v_l - v_j| \quad \forall l = \overline{1, M} \quad \text{і} \quad \forall j = \overline{1, M} \quad (10)$$

у матрицю  $U = [u_{lj}]_{M \times M}$ , побудувавши таким чином матричну  $M \times M$ -гру

$$\langle \{x_l\}_{l=1}^M, \{y_j\}_{j=1}^M, U \rangle, \quad (11)$$

де чиста стратегія  $x_l$  першого гравця означає те, що дійсним значенням параметра  $v$  є число  $v_l \quad \forall l = \overline{1, M}$  (іншими словами, прийнятною моделлю досліджуваного параметра є  $l$ -а модель), а використання другим гравцем його чистої стратегії  $y_j$  означає вибір оцінки  $\hat{v}$  параметра  $v$  як  $\hat{v} = v_j \quad \forall j = \overline{1, M}$  (другого гравця персоніфікує дослідник, перед яким стоїть задача вибору однієї з  $M$  математичних моделей). Із розв'язку гри (11) нас цікавить лише оптимальна стратегія

$$\check{Q} = [\check{q}_1 \quad \check{q}_2 \quad \dots \quad \check{q}_{M-1} \quad \check{q}_M] \in \check{Q} \subset Q \quad (12)$$

дослідника, де

$$Q = \left\{ Q = [q_1 \quad q_2 \quad \dots \quad q_{M-1} \quad q_M] \in \mathbb{R}^M : \right. \\ \left. q_j \in [0; 1] \quad \forall j = \overline{1, M}, \quad \sum_{j=1}^M q_j = 1 \right\} \quad (13)$$

є фундаментальним  $(M-1)$ -вимірним симплексом у просторі  $\mathbb{R}^M$ . За, взагалі кажучи, змішаною стратегією (12) маємо

$$\tilde{v}(\check{Q}) = \sum_{j=1}^M \check{q}_j v_j \quad (14)$$

і тоді

$$\max_{i=1, M} \{|\tilde{v}(\check{Q}) - v_i|\} \leq \delta_v^{(\max)}. \quad (15)$$

Але множина  $\check{Q} \subset Q$  оптимальних стратегій другого гравця може виявитись неоднорозмірною, тому замість вимоги (15) варто дотримуватись вимоги

$$\min_{Q \in \check{Q} \subset Q} \left( \max_{i=1, M} \{|\tilde{v}(\check{Q}) - v_i|\} \right) \leq \delta_v^{(\max)}. \quad (16)$$

Якщо вимога (16) виконана, то  $\hat{v} = \tilde{v}(\check{Q}_{\min})$ , де

$$\check{Q}_{\min} \in \arg \min_{Q \in \check{Q} \subset Q} \left( \max_{i=1, M} \{|\tilde{v}(\check{Q}) - v_i|\} \right). \quad (17)$$

Звичайно, при заданому допустимому абсолютному відхиленні  $\delta_v^{(\max)}$  існують чотири варіанти виконання умови (5), коли (6) і (16) виконані або не виконані одночасно, (6) виконується і (16) не виконується або (6) не виконується і (16) виконується. Тоді за оцінку  $\hat{v}$  параметра  $v$  слід брати значення

$$\hat{v} \in \arg \min_{\{\tilde{v}, \tilde{v}(\check{Q}_{\min})\}} \left\{ \max_{i=1, M} \{|\tilde{v} - v_i|\}, \right. \\ \left. \min_{Q \in \check{Q} \subset Q} \left( \max_{i=1, M} \{|\tilde{v}(\check{Q}) - v_i|\} \right) \right\}, \quad (18)$$

якщо тільки стоїть задача вибору значення параметра  $v$  з проміжку (3), а не вибору на множині його зафіксованих значень  $\{v_i\}_{i=1}^M$ . Мають місце подані далі вельми корисні твердження.

**Теорема 1.** Оптимальна стратегія (12) у грі (11) з компонентами

$$\check{q}_{j_1} = \check{q}_{j_2} = \frac{1}{2} \quad \text{при} \quad j_1 \in \overline{1, M} \quad \text{та} \quad j_2 \in \overline{1, M}, \quad (19)$$

$$j_1 \in \arg \min_{i=1, M} \{v_i\}, \quad j_2 \in \arg \max_{i=1, M} \{v_i\}, \quad (20)$$

дає оцінку (14) параметра  $v$ , не гіршу у смислі вимоги (5) за його оцінку (4).

**Доведення.** При (19) і (20) в (12) маємо оцінку (14):

$$\tilde{v}(\check{Q}) = \check{q}_{j_1} v_{j_1} + \check{q}_{j_2} v_{j_2} = \frac{v_{j_1} + v_{j_2}}{2}. \quad (21)$$

За найкращої оцінки (4) в лівій частині умови (6) буде значення

$$\min_{\tilde{v} \in \{\min(\{v_i\}_{i=1}^M); \max(\{v_i\}_{i=1}^M)\}} \left\{ \max_{i=1, M} \{|\tilde{v} - v_i|\} \right\} = \\ = \min_{\tilde{v} \in \{\min(\{v_i\}_{i=1}^M); \max(\{v_i\}_{i=1}^M)\}} \left\{ \max \{ \tilde{v} - \min(\{v_i\}_{i=1}^M), \right. \\ \left. \max(\{v_i\}_{i=1}^M) - \tilde{v} \} \right\} = \\ = \max \left\{ \frac{\max(\{v_i\}_{i=1}^M) + \min(\{v_i\}_{i=1}^M)}{2} - \min(\{v_i\}_{i=1}^M), \right.$$

$$\begin{aligned} & \left. \max(\{v_i\}_{i=1}^M) - \frac{\max(\{v_i\}_{i=1}^M) + \min(\{v_i\}_{i=1}^M)}{2} \right\} = \\ & = \frac{\max(\{v_i\}_{i=1}^M) - \min(\{v_i\}_{i=1}^M)}{2} = \frac{v_{j_2} - v_{j_1}}{2}. \quad (22) \end{aligned}$$

Але з урахуванням (21) і (22) значення в лівій частині умови (15)

$$\begin{aligned} & \max_{i=1, M} \{|\bar{v}(\bar{\mathbf{Q}}) - v_i|\} = \max_{i=1, M} \left\{ \left| \frac{v_{j_1} + v_{j_2}}{2} - v_i \right| \right\} = \\ & = \max \left\{ \frac{v_{j_1} + v_{j_2}}{2} - v_{j_1}, v_{j_2} - \frac{v_{j_1} + v_{j_2}}{2} \right\} = \\ & = \max \left\{ \frac{v_{j_2} - v_{j_1}}{2}, \frac{v_{j_2} - v_{j_1}}{2} \right\} = \\ & = \frac{v_{j_2} - v_{j_1}}{2} \leq \max_{i=1, M} \{|\bar{v} - v_i|\}, \quad (23) \end{aligned}$$

що і доводить сформульоване твердження. Теорему доведено.

**Теорема 2.** Для оптимальної стратегії (12) при (19) і (20) у грі (11) вимоги (15) та (16) є еквівалентними.

**Доведення.** Використовуючи співвідношення (22), де замість  $\bar{v}$  слід брати  $\bar{v}(\bar{\mathbf{Q}})$ , отримаємо

$$\begin{aligned} & \min_{\bar{\mathbf{Q}} \in \mathcal{Q} \subset \mathcal{Q}} \left( \max_{i=1, M} \{|\bar{v}(\bar{\mathbf{Q}}) - v_i|\} \right) = \\ & = \min_{\bar{\mathbf{Q}} \in \mathcal{Q} \subset \mathcal{Q}} \left( \max_{i=1, M} \left\{ \left| \frac{v_{j_1} + v_{j_2}}{2} - v_i \right| \right\} \right) = \\ & = \max_{i=1, M} \left\{ \left| \frac{v_{j_1} + v_{j_2}}{2} - v_i \right| \right\} = \frac{v_{j_2} - v_{j_1}}{2}, \quad (24) \end{aligned}$$

звідки і випливає еквівалентність лівих частин нерівностей (15) і (16) і, взагалі кажучи, самих вимог (15) та (16). Теорему доведено.

Наслідком теорем 1 і 2 є те, що оптимальною стратегією (12) при (19) і (20) у грі (11) є (17), де оцінка

$$\hat{v} = \bar{v}(\bar{\mathbf{Q}}_{\min}) = \frac{v_{j_1} + v_{j_2}}{2} \quad (25)$$

параметра  $v$  є тією ж, що й у співвідношенні (18). Повертаючись до прикладу з трьома моделями та їх результатом (7) через гру (11), яка набуває форми

$$\left\langle \{x_i\}_{i=1}^3, \{y_j\}_{j=1}^3, \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 \\ 2 & 0 & 1 \\ 3 & 1 & 0 \end{bmatrix} \right\rangle, \quad (26)$$

отримаємо множину

$$\begin{aligned} \bar{\mathcal{Q}} & = \left\{ \bar{\mathbf{Q}} = \begin{bmatrix} \frac{1}{4}(1+\lambda) & \frac{3}{4}(1-\lambda) & \frac{1}{2}\lambda \\ \frac{1}{4}\lambda & \frac{3}{4}(1-\lambda) & \frac{1}{2}\lambda \end{bmatrix} \in \right. \\ & \left. \in \mathbb{R}^3 : \lambda \in [0; 1] \right\} \subset \mathcal{Q} \quad (27) \end{aligned}$$

оптимальних стратегій другого гравця у цій грі. Цікаво, що кожен елемент з континуума (27) оптимальних стратегій другого гравця у грі (26) є стратегією (17). Дійсно,  $\forall \bar{\mathbf{Q}} \in \bar{\mathcal{Q}}$

$$\begin{aligned} \bar{v}(\bar{\mathbf{Q}}) & = \sum_{j=1}^3 \bar{q}_j v_j = \frac{1}{4}(1+\lambda)v_1 + \frac{3}{4}(1-\lambda)v_2 + \frac{1}{2}\lambda v_3 = \\ & = \frac{1}{4}\lambda v_1 - \frac{3}{4}\lambda(v_1+2) + \frac{1}{2}\lambda(v_1+3) + \frac{1}{4}v_1 + \frac{3}{4}(v_1+2) = \\ & = \lambda \left( \frac{1}{4}v_1 - \frac{3}{4}v_1 + \frac{1}{2}v_1 \right) + \\ & + \lambda \left( -\frac{3}{2} + \frac{3}{2} \right) + \frac{1}{4}v_1 + \frac{3}{4}v_1 + \frac{3}{2} = v_1 + \frac{3}{2}, \quad (28) \end{aligned}$$

а

$$\begin{aligned} & \min_{\bar{\mathbf{Q}} \in \bar{\mathcal{Q}} \subset \mathcal{Q}} \left( \max_{i=1, 3} \{|\bar{v}(\bar{\mathbf{Q}}) - v_i|\} \right) = \\ & = \min_{\bar{\mathbf{Q}} \in \bar{\mathcal{Q}} \subset \mathcal{Q}} \left( \max_{i=1, 3} \left\{ \left| v_1 + \frac{3}{2} - v_i \right| \right\} \right) = \\ & = \max_{i=1, 3} \left\{ \left| v_1 + \frac{3}{2} - v_i \right| \right\} = \\ & = \max \left\{ \frac{3}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2} \right\} = \frac{3}{2} = \frac{v_3 - v_1}{2}, \quad (29) \end{aligned}$$

тому згідно з теоремою 1 оцінка (28) є не гіршою за оцінку (8). Втім, порівнюючи значення у лівій частині нерівності (9) зі значенням у (29), бачимо, що оцінка (28) є кращою за оцін-

ку (8) і за співвідношенням (18) завжди буде вибиратись значення (28).

### Висновки

Задача усунення однопараметричної модельної невизначеності, яка породжується через  $M$  оцінок (2) досліджуваного параметра  $v$  з  $M$  моделей-рівнянь (1), розв'язується за допомогою співвідношення (18), якщо значення параметра  $v$  може вибиратись з проміжку (3). Тут, навіть якщо не виконується жодна з вимог (6) і (16), так чи інакше доводиться робити вибір за співвідношенням (18). Для більш строгої задачі вибору значення параметра  $v$ , де слід вибирати тільки на скінченній множині  $\{v_i\}_{i=1}^M$  зафіксованих значень, природним є використання оптимальної стратегії (12) не у визначенні оцінок (14), а у смислі практичної реалізації спектра цієї стратегії [12, 13], тобто реалізації кожної чистої стратегії  $y_j$ , яка відповідає прийняттю  $\hat{v} = v_j$  з імовірністю  $\tilde{q}_j \quad \forall j = \overline{1, M}$ . При цьому гарантовано забезпечується мінімізація абсолютних втрат у вигляді елементів (10) матриці  $U = [u_{ij}]_{M \times M}$  відповідної  $M \times M$ -гри (11). Однак варіант з оптимальною стратегією (12) при (19) і (20) для  $M > 2$  є найгіршим, оскільки у перебиранні потенційних оцінок параметра  $v$  з множини  $\{v_i\}_{i=1}^M$  буде задіяно лише два елементи, хоча й виконуватиметься (23)–(25). Найкращим варіантом розв'язання строгої задачі прийняття оцінки досліджуваного параметра на множині  $\{v_i\}_{i=1}^M$  буде використання такого набору імовірностей на фундаментально-

му  $(M - 1)$ -вимірному симплексі (13), який у межах підмножини  $\tilde{Q}$  цього симплекса буде якнайближчим до рівноімовірного розподілу з

$$q_j = \frac{1}{M} \quad \forall j = \overline{1, M} \quad (30)$$

на (13). Імовірності  $\{\tilde{q}_j\}_{j=1}^M$  такого найбільш близького до (30) розподілу визначатимуться за розв'язком задачі

$$\min_{\tilde{Q} \in \tilde{Q} \subset Q} \sum_{j=1}^M \left( \tilde{q}_j - \frac{1}{M} \right)^2 \quad (31)$$

або задачі

$$\min_{\tilde{Q} \in \tilde{Q} \subset Q} \sum_{j=1}^M \sum_{l=1}^{j-1} (\tilde{q}_j - \tilde{q}_l)^2, \quad (32)$$

але тотожність розв'язків задач (31) і (32) у перспективі слід ще доводити. І наслідком використання квазірівноімовірного розподілу в межах множини  $\tilde{Q}$  за розв'язком задачі (31) або (32) буде те, що кожне зі значень (2) входить максимально глибоко у процес практичної реалізації відповідної оптимальної стратегії (12).

Зрештою, розв'язок задачі (31) або (32) можна вважати оцінкою невідомого ймовірнісного розподілу на множині  $M$  значень  $\{v_i\}_{i=1}^M$  за умови повної невизначеності. Така попередня оцінка є зручною для багатьох випадків ідентифікації об'єктів на початковій стадії цієї процедури, коли статистичні дані спостережень є малозначними або відсутні взагалі.

1. Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. – М.: Наука, 1981. – 258 с.
2. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
3. Воробьев Н.Н. Основы теории игр. Бескоалиционные игры. – М.: Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1984. – 496 с.
4. Воробьев Н.Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков. – М.: Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1985. – 272 с.
5. S. de Wit and G. Augenbroe, "Analysis of uncertainty in building design evaluations and its implications", *Energy and Buildings*, vol. 34, is. 9, pp. 951–958, 2002.
6. C.J. Hopfe and J.L.M. Hensen, "Uncertainty analysis in building performance simulation for design support", *Ibid*, vol. 43, is. 10, pp. 2798–2805, 2011.
7. A. Smith et al., "Analysis of a combined cooling, heating, and power system model under different operating strategies with input and model data uncertainty", *Ibid*, vol. 42, is. 11, pp. 2231–2240, 2010.
8. S. Andersson et al., "A random wear model for the interaction between a rough and a smooth surface", *Wear*, vol. 264, is. 9-10, pp. 763–769, 2008.
9. T. Nilsen and T. Aven, "Models and model uncertainty in the context of risk analysis", *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 79, is. 3, pp. 309–317, 2003.

10. *I. Park et al.*, "A Bayesian approach for quantification of model uncertainty", *Ibid*, vol. 95, is. 7, pp. 777–785, 2010.
11. *J. Jacques et al.*, "Sensitivity analysis in presence of model uncertainty and correlated inputs", *Ibid*, vol. 91, is. 10, 11, pp. 1126–1134, 2006.
12. *Романюк В.В.* Метод реалізації оптимальних змішаних стратегій у матричній грі з порожньою множиною сідлових точок у чистих стратегіях з відомою кількістю партій гри // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2009. – № 2. – С. 45–52.
13. *Романюк В.В.* Обчислювальний метод реалізації оптимальної змішаної стратегії у матричних іграх // XV Int. Conf. "Problems of Decision Making Under Uncertainties (PDMU-2010)", May 17–21, 2010, Lviv: abstracts. – Lviv, 2010. – P. 142–144.

Рекомендована Радою  
факультету прикладної математики  
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції  
25 січня 2012 року

но, що процедуру множення та ділення багаточленів з коефіцієнтами, що належать основному скінченному полю, доцільно реалізовувати апаратними засобами. Зазначено, що процедури множення та ділення доцільно реалізовувати у вигляді окремих функціональних блоків. Побудовано формули, які дають можливість відкинути такти підсумовування з нульовими значеннями при виконанні множення. Наведено схеми обчислень коефіцієнтів при множенні та діленні, а також схеми функціональних блоків для реалізації процедури множення та ділення багаточленів у полі  $GF(N)$ . Показано, що апаратна реалізація процедур множення та ділення багаточленів у скінченних полях забезпечує істотне підвищення ефективності обчислень.

Лл. 5. Бібліогр.: 12 назв.

УДК 62.50

Прийняття оптимальних рішень щодо стабілізації курсу євро/долар на основі математичних моделей з різноманітною дискретизацією / Романенко В.Д., Реутов О.А. // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2010. – № 5. – С. 66–74.

Розроблено модель курсу євро/долар з двома авторегресивними членами, одинадцятьма вхідними збуреннями з дискретизацією даних п'ять днів або місяць та двома керуваннями з дискретизацією п'ять днів. Збурення підбиралися таким чином, щоб, враховуючи теоретичний матеріал з цієї теми, досягнути максимально гарного результату по якості на такому незначному горизонті часу. Дискретизація п'ять днів характеризується значними спекулятивними коливаннями, що потребує частого підстроювання коефіцієнтів моделі. Синтезовано критерій оптимальності у вигляді узагальненої дисперсії  $i$ , на основі його мінімізації, визначено рівняння прийняття оптимальних рішень по обох керуваннях. Єдиним недоліком цього підходу є те, що модель може змінюватися з плином часу, а це потребує її постійного коригування, також можлива відсутність узгодження дій між Федеральною резервною системою США і Центробанком Єврозою. Результати цифрового моделювання виявили можливість зменшення синтезованого індикатора у вигляді узагальненої дисперсії. Розроблення моделі дає можливість оцінювати вплив різноманітних змінних і враховувати можливий вплив зміни керування на вихідну величину, враховуючи історичні взаємовпливи між величинами.

Лл. 6. Табл. 1. Бібліогр.: 10 назв.

УДК 519.832.3+519.711.2

Критерій усунення однопараметричної модельної невизначеності з принципом гарантовано мінімальних абсолютних втрат і середнім арифметичним / Романюк В.В. // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2012. – № 5. – С. 75–80.

Формулюється проблема породження й усунення модельної невизначеності щодо одного параметра досліджуваного об'єкта, який описується більш ніж однією математичною моделлю. Використання середнього арифметичного в усуненні такої однопараметричної модельної невизначеності порівнюється з принципом гарантовано мінімальних абсолютних втрат на основі відповідної антагоністичної гри з симетричною матрицею. Показано, що для оптимальної стратегії другого гравця, до спектра якої входять рівномірні чисті стратегії вибору мінімального і максимального значень досліджуваного параметра, відповідна оцінка моделі є не гіршою, ніж та сама оцінка як середнє арифметичне зафіксованих модельних значень. Зазначається, що нестрога задача усунення однопараметричної модельної невизначеності може бути розв'язана за допомогою середньо-

го арифметичного або принципу гарантовано мінімальних абсолютних втрат залежно від того, де досягатиметься мінімум відхилення оцінки значення досліджуваного параметра від його дійсного значення. Для строгої задачі усунення однопараметричної модельної невизначеності пропонується використання всіх зафіксованих модельних значень з імовірнісним розподілом, який є найближчим до рівномірного розподілу в межах множини оптимальних стратегій другого гравця.

Бібліогр.: 13 назв.

УДК 621.31:537.523.3

Температурна залежність механічних властивостей евтектичних ( $\alpha$ -Al +  $Mg_2Si$ ) сплавів / Волкова Г.І., Даниленко В.І., Коржова Н.П., Легка Т.М., Подрезов Ю.М. // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2012. – № 5. – С. 81–85.

Проведено дослідження механічних властивостей складнолегованих сплавів з евтектичною ( $\alpha$ -Al– $Mg_2Si$ ) структурою для високотемпературного застосування. Зразки відпалювали при температурі 300 °C протягом 5 год з метою отримання рівномірно розподілених у  $\alpha$ -Al нанодисперсних частинок фази  $Al_3(Sc_{1-x}Zr_x)$ . Механічні дослідження на розтягування проводили в інтервалі температур 20–400 °C зі швидкістю розтягування  $10^{-3} \text{ c}^{-1}$  для сплавів з різним вмістом евтектики, який було визначено металографічним методом. Досліджено мікроструктуру сплавів з різним вмістом евтектики та проведено фрактографічний аналіз. Визначено механізм руйнування при різних температурах і головні фактори, що впливають на міцність та пластичність. Експериментальні дані дають можливість оптимізувати склад і отримати найкраще співвідношення міцності та пластичності сплавів для різних сфер застосування. При температурі 400 °C досліджені сплави мають межу плинності на рівні  $\geq 100$  МПа, що відповідає найкращим показникам серед існуючих ливарних сплавів. Із врахуванням необхідної для забезпечення ливарних властивостей об'ємної частки евтектики ( $> 30\%$ ) ці сплави за сукупністю властивостей є конкурентоспроможними з кращими ливарними сплавами алюмінію.

Лл. 7. Табл. 1. Бібліогр.: 19 назв.

УДК 539.216.2:661.685

Вплив температури відпалу на структуру і магнітні властивості нанорозмірної плівкової композиції  $Fe_{50}Pt_{50}(15 \text{ нм})/Ag(30 \text{ нм})/Fe_{50}Pt_{50}(15 \text{ нм})/SiO_2(100 \text{ нм})/Si(001)$  / Макогон Ю.М., Павлова О.П., Вербицька Т.І., Владимирський І.А. // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2012. – № 5. – С. 86–91.

Вивчено вплив температури відпалу в вакуумі в інтервалі температур 300–900 °C і прошарку срібла на процеси дифузійного фазоутворення та перехід хімічно невпорядкованої магнітної фази  $Al(FePt)_{ГЦК}$  в хімічно впорядковану магнітнотверду фазу  $L1_0(FePt)_{ГЦТ}$  в нанорозмірній плівковій композиції (НПК)  $Fe_{50}Pt_{50}(15 \text{ нм})/Ag(30 \text{ нм})/Fe_{50}Pt_{50}(15 \text{ нм})$  на підкладці  $SiO_2(100 \text{ нм})/Si(001)$ . Досліджено її структуру, морфологію і магнітні характеристики. Показано, що після осадження в досліджуваній НПК фіксується фаза  $Al(FePt)_{ГЦК}$ . Формування фази  $L1_0(FePt)_{ГЦТ}$  відбувається під час відпалу за температури 600 °C тривалістю 30 с, що на 100 °C нижче, ніж в НПК без прошарку срібла. Можна припустити, що на процеси дифузійного фазоутворення істотно впливає поверхнева енергія, яка залежить від напруженого стану меж розділу шарів у нанорозмірній шаровій композиції. Збільшення температури відпалу до 900 °C супроводжується різким збільшенням кількості зерен фази  $L1_0(FePt)_{ГЦТ}$  з текстурою (001) і шорсткості поверхні. Процеси структурно-фазових перетворень у досліджуваній НПК при тер-

**Реутов Олексій Андрійович,**  
аспірант Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Ріпенко Василь Васильович,**  
студент Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Ройтман Юхим Мойсейович,**  
провідний інженер НВП “Топаз”, провідний інженер Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Романенко Віктор Демидович,**  
доктор технічних наук, професор, заступник директора Навчально-наукового комплексу “Інститут прикладного системного аналізу” з науково-педагогічної роботи Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Романюк Вадим Васильович,**  
кандидат технічних наук, викладач Хмельницького національного університету.

**Самченко Юрій Маркович,**  
доктор хімічних наук, старший науковий співробітник Інституту біологічної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України.

**Соруш Атарод,**  
аспірант Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Спасьонова Лариса Миколаївна,**  
кандидат хімічних наук, доцент Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Талімонова Надія Леонідівна,**  
аспірантка Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Тимчик Григорій Семенович,**  
доктор технічних наук, професор, декан приладобудівного факультету Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Тіхонов Віктор Іванович,**  
кандидат технічних наук, доцент, докторант Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова.

**Трембус Ірина Віталіївна,**  
кандидат технічних наук, старший викладач Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Тугай Сергій Борисович,**  
аспірант Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Тягур Володимир Михайлович,**  
кандидат технічних наук, заступник начальника науково-технологічного виробничого комплексу КП СРБ “Арсенал”.

**Харченко Роман Юрійович,**  
старший викладач Одеської національної морської академії.

**Хоменко Володимир Михайлович,**  
кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України.

**Чернега Дмитро Федорович,**  
доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, завідувач кафедри Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

**Якименко Юрій Іванович,**  
академік НАН України, перший проректор, завідувач кафедри Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.