

Вимірюйте  
усе доступне вимірюванню  
й робіть недоступне вимірюванню  
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

# Метрологія



## Та прилади

№ 3 (65), 2017

Науково-виробничий журнал

### Засновники:

Академія метрології України,  
Харківський національний  
університет радіоелектроніки (ХНУРЕ),  
Державне підприємство  
«Всеукраїнський державний  
науково-виробничий центр  
стандартизації, метрології, сертифікації  
та захисту прав споживачів»  
(ДП «Укрметртестстандарт»),  
ТОВ виробничо-комерційна  
фірма «Фавор ЛТД»

Видається з березня 2006 року  
Рік випуску дванадцятий  
Передплатний індекс 92386

### Редакційна колегія:

Большаков В. Б., д. т. н., с. н. с.  
Варша З., д. т. н., проф., Польща  
Величко О. М., д. т. н., проф.  
Віткін Л. М., д. т. н., проф.  
Володарський Є. Т., д. т. н., проф.  
Грищенко Т. Г., д. т. н., с. н. с.  
Гудрун В., д. т. н., Німеччина  
Жагора М. А., д. т. н., проф., Білорусь  
Захаров І. П., д. т. н., проф.  
Зенкін А. С., д. т. н., проф.  
Коломієць Л. В., д. т. н., проф.  
Косач Н. І., д. т. н., проф.  
Кошева Л. О., д. т. н., проф.  
Крюков О. М., д. т. н., проф.  
Кузьменко Ю. В., к. т. н.  
Кухарчук В. В., д. т. н., проф.  
Мачехін Ю. П., д. т. н., проф.  
Назаренко Л. А., д. т. н., проф.  
Народницький Г. Ю., д. т. н., с. н. с.  
Неежмаков П. І., д. т. н., доц.  
Петришин І. С., д. т. н., проф.  
Пістун Є. П., д. т. н., проф.  
Радев Х., д. т. н., проф., Болгарія  
Рожнов М. С., к. х. н., с. н. с.  
Руженцев І. В., д. т. н., проф.  
Самоїленко О. М., д. т. н., проф.  
Скубіс Т., д. т. н., проф., Польща  
Сурду М. М., д. т. н., проф.  
Туз Ю. М., д. т. н., проф.  
Хакімов О., д. т. н., проф., Узбекистан  
Чалий В. П., к. т. н., с. н. с.  
Черепков С. Т., к. т. н., доц.  
Чуновкіна А. Г., д. т. н., Росія

### Редакційна група:

Головний редактор Фісун В. П.  
Науковий редактор — відповідальний  
секретар Винокуров Л. І.  
Дизайнер-верстальник Зайцев Ю. О.

Журнал **рекомендовано до друку**  
вченою радою ХНУРЕ  
(протокол №12 від 29.06.2017)

### Адреса редакції:

61002, Харків, вул. Свободи, 32б;  
Тел.: (057) 714-23-07, (095) 00-68-665  
E-mail: metrolog-prylady@ukr.net  
http://www.amu.in.ua/journal1

### Видавець та виготовлювач:

ВКФ «Фавор ЛТД»  
61140, Харків, пр-т. Гагаріна, 94-А, кв. 35;  
Свідцтво про внесення  
до Держреєстру видавців,  
виготовників і розповсюджувачів  
видавничої продукції  
серія ХК № 90 від 17.12.2003.

Підписано до друку 09.07.2017.  
Формат 60×84/8. Папір крейдований.  
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.  
Друк офсетний. Тираж 400 прим.  
Замовлення № 23.

© «Метрологія та прилади», 2017

Журнал **зареєстровано**  
у Державній реєстраційній  
службі України, свідоцтво серія  
**КВ № 20033-8933ПР від 17.05.2013;**  
**включено** до Переліку наукових  
фахових видань України, наказ  
Міністерства освіти і науки України  
**№ 747 від 13.07.2015**

Журнал **включено** до Міжнародної  
наукометричної бази даних  
**Index Copernicus, лист від 08.03.2013**

**16–18** травня 2017 року в Мадриді (Іспанія) відбулися 11-а  
Генеральна асамблея EURAMET та Науковий симпозиум,  
присвячений 30-ій річниці співробітництва в Європейській метрології.

В їх роботі взяли участь понад 100 фахівців, які представляли  
національні метрологічні інститути 37 країн-членів EURAMET, призначені  
інститути (designated institutes), технічні комітети EURAMET, інші  
урядові та неурядові організації, зокрема, BIPM, WELMEC, SIM, Eurachem,  
CEN- CENELEC, EUROLAB.

Україну на цих заходах представляли заступник директора  
Департаменту технічного регулювання Мінекономрозвитку України  
О.П. Гіленко та начальник відділу ДП «Укрметртестстандарт»  
С.В. Ціпоренко.

На засіданні Генеральної асамблеї заслухано й обговорено виступи та  
доповіді провідних європейських метрологів, присвячені Національному  
метрологічному інституту Іспанії (CEM) та метрологічній  
інфраструктурі цієї країни; стратегічній та дослідній діяльності  
EURAMET, розвитку потенціалу і зв'язків цієї організації; внеску EURAMET  
у перегляд CIPM MRA; діяльності технічних комітетів EURAMET; важливим  
подіям у партнерських організаціях: WELMEC, SIM, NCSLI, Eurachem, CEN-  
CENELEC, EUROLAB, COOMET, — у повних і асоційованих членів EURAMET: INM  
(Молдова), Rise (Швеція), BFKH (Угорщина).

Під час Наукового симпозиуму заслухано виступи та доповіді стосовно  
історії створення та становлення EURAMET, її науково-дослідних програм,  
а також перспектив розвитку та завдань на майбутнє. Окрім того, його  
учасникам було представлено доповідь професора, лауреата Нобелівської  
премії, доктора Клауса фон Клітцинга «Квантовий ефект Хола: рушійна  
сила нової Міжнародної системи одиниць».

Більш детальну інформацію щодо 11-ої Генеральної асамблеї EURAMET  
можна отримати за таким посиланням: [www.euramet.org](http://www.euramet.org)

(За матеріалами ДП «Укрметртестстандарт»)

<b>МІЖНАРОДНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО</b>	<b>INTERNATIONAL COOPERATION</b>
Вітальні послання директорів Міжнародних бюро з мір і вагів Мартіна Мілтона та законодавчої метрології Стівена Паторея з нагоди Всесвітнього дня метрології 2017 Вимірювання для транспорту .....3	Messages from the Directors of the BIPM Martin Milton and of the BIML Stephen Patoray dedicated to the World Metrology Day 2017 Measurement for transport .....3
Науковій, технічній, навчальній та метрологічній спільнотам України ..... 4	Scientific, Technical, Educational and Metrological Communities of Ukraine ..... 4
<b>ЗАКОНОДАВЧА МЕТРОЛОГІЯ</b>	<b>LEGAL METROLOGY</b>
Попруга Ю., Кузьменко Ю., Самойленко О., Черепков С., Жалдак М., Проненко С., Потоцький І., Ціпоренко С. Відповідальність, компетентність, демократичність — основи політики держави у сфері метрології та метрологічної діяльності.....8	Popruga Yu., Kuzmenko Yu., Samoylenko O., Cherepkov S., Zhaldak M., Pronenko S., Pototskiy I., Tsiporenko S. The Responsibility, Competence, Democrat — Principles of Power Politics in Sphere of Metrology and Metrological Activities .....8
<b>МІЖНАРОДНІ ЗВІРЕННЯ</b>	<b>INTERNATIONAL COMPARISONS</b>
Величко О. Міжнародні ключові та додаткові звірення у рамках КООМЕТ національних еталонів одиниць електричної ємності..... 14	Velychko O. International Key and Supplementary Comparison Coomet of National Standard of Electric Capability Units ..... 14
<b>ЕТАЛОНИ ТА ЕТАЛОННІ УСТАНОВКИ</b>	<b>ETALONS AND ETHNIC INSTALLATIONS</b>
Воронцов Є., Гиря П., Лобойченко М., Народницький Г. Рекомендації щодо роботи з еталонними металевими мірниками ..... 22	Vorontsov Ye., Gyrya P., Loboichenko M., Narodnyskiy G. Recommendations for Work with Standard Metal Measuring Tank ..... 22
<b>ПАРАМЕТРИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>	<b>PARAMETERS AND CHARACTERISTICS</b>
Кветний Р., Іванов Ю., Кривогубченко С., Стукач О. Особливості оцінювання параметрів процесу передавання даних із використанням турбо-кодів ..... 25	Kvyetnyy R., Ivanov Yu., Krivogubchenko S., Stukach O. Features of Estimation of the Transmission Data Process Using Turbo-Codes ..... 25
<b>ПОВІРКА ТА КАЛІБРУВАННЯ</b>	<b>VERIFICATION AND CALIBRATION</b>
Косарєва О., Дзябенко О. Коригування міжкалібрувальних інтервалів вимірювального обладнання ..... 33	Kosarev E., Dzyabenko A. The Correction of Intercalibration Intervals of Measuring Apparatus ..... 33
<b>ПОХИБКИ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ</b>	<b>ERRORS AND UNCERTAINTY</b>
Матіко Ф., Роман В. Дослідження похибки ультразвукових витратомірів за умов спотвореної структури потоку із застосуванням одноядерних функцій salami ..... 36	Matiko F., Roman V. Investigation of Ultrasonic Flowmeter Error in Conditions of Distortion of Flow Structure Using One Peak Functions Salami ..... 36
<b>НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ</b>	<b>NONDESTRUCTIVE CONTROL</b>
Григоренко С., Григоренко І. Дослідження впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на похибку виявлення дефектів металевих виробів за допомогою апарату fuzzy-logic..... 44	Hrihorenko S., Hrihorenko I. Investigation of the Influence of External and Internal Factors on the Error of the Detection of Metal Products Defects with the Apparatus Fuzzy-Logic ..... 44
<b>НЕЛІНІЙНА МЕТРОЛОГІЯ</b>	<b>NONLINEAR METROLOGY</b>
Мачехін Ю., Курський Ю. Представлення невизначеності вимірювання нелінійних динамічних змінних..... 49	Machekhin Yu., Kurskoy Yu. Expression of Uncertainty in Measurement of Nonlinear Dynamic Variables ..... 49
<b>ШКАЛИ ВИМІРЮВАННЯ</b>	<b>MEASURING SCALES</b>
Промоскаль В., Заруба В., Близниченко О., Будко В. Прикладні аспекти неметричних шкал вимірювання в енерготехнології вугільних енергоблоків ТЕС ..... 52	Promoskal V., Zaruba V., Bliznichenko O., Budko V. Applied Aspects of Non-Metric Measurement Scales in Power Technology of Coal Power Units of Thermal Power Stations ..... 52
<b>УБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ</b>	<b>SUPPORT AND EFFICIENCY</b>
Габрук Р. Гарантування безпеки експлуатації рухомих об'єктів водного транспорту шляхом забезпечення надійності функціонування сертифікованих систем ..... 64	Gabruk R. Guaranteeing Safety of Operation of Mobile Water Transport Objects by Ensuring the Certified Systems Reliability ..... 64
<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	<b>OCCUPATIONAL HEALTH</b>
Мамонтов О., Колтун Ю., Мамонтов О. Метод оптимального розміщення джерел шуму та ЕМП у виробничому приміщенні.....67	Mamontov A., Koltun Y., Mamontov O. Method of Optimum Placement of Noise Sources and Elektromagnetic Field in Working Area ..... 67
<b>ІНФОРМАЦІЯ</b> ..... 24, 72	<b>INFORMATION</b> ..... 24, 72

УДК 53.088.23

# EXPRESSION OF UNCERTAINTY IN MEASUREMENT OF NONLINEAR DYNAMIC VARIABLES

## ПРЕДСТАВЛЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ ЗМІННИХ

**Yu. Machekhin**, Doctor of Technical Science, Professor,  
Head of Photonics and Laser Engineering Department,  
**Yu. Kurskoy**, Candidate of Technical Science,  
Associate Professor,  
Kharkov National University of Radioelectronics,

**Ю. Мачехін**, доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри фотоніки та лазерної інженерії,  
**Ю. Курський**, кандидат технічних наук, доцент кафедри,  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки

We show a way for estimation and expression of uncertainty in measurement of nonlinear dynamic variables. The measurement results are represented by number of interval variables with not canonical distribution laws. Each interval is represented by the minimum and maximum values of dynamic variables with their measurement uncertainties. Within the intervals the dynamical variables are displayed by the histograms of measurement results values. The most and least probable values of dynamic variables with their uncertainties and probabilities are presented too. The measurement results are added with the fractal dimension, Shannon entropy and forecasting horizon time. The described set of measurement results is a measurement portrait.

У роботі наведено спосіб оцінювання та представлення невизначеності вимірювання динамічних змінних нелінійних динамічних систем. Результатом вимірювання є ряд інтервальних величин із неканонічними законами розподілу. Кожен інтервал подається мінімальним і максимальним значеннями динамічних змінних із урахуванням невизначеностей їх вимірювання. Значення динамічних змінних усередині інтервалу відображаються у вигляді гістограм значень результатів вимірювання. Наводяться найбільш і найменш імовірні значення динамічних змінних з їх невизначеностями та ймовірностями появи. Для надання максимально можливого обсягу інформації щодо динамічних змінних вирази невизначеності результатів вимірювання доповнюються значеннями фрактальної розмірності, ентропії й часу передбачення. Наведена сукупність результатів вимірювання є портретом вимірювання.

**Keywords:** Measurement Uncertainty, Metrology of Nonlinear Dynamic Systems, Fractal Dimension, Shannon Entropy

**Ключові слова:** невизначеність вимірювання, метрологія нелінійних динамічних систем, фрактальна розмірність, ентропія Шеннона.

### INTRODUCTION

There is a difficult, urgent metrological task — a measurement of dynamic variables (DV)  $[X_1(t), \dots, X_n(t)]$  of nonlinear dynamical systems (NDS). For solving this problem the authors develop a new direction in Theoretical Metrology, that was named Metrology of Nonlinear Dynamical Systems or Nonlinear Metrology [1]—[8].

The DVs of NDS as a rule demonstrate a complex, nonlinear and often chaotic dynamic. From the Classical Theoretical Metrology point of view the measurement of DV values is a multi-factor experiment [9]. It's difficult task because we need take into account a number of factors. Also we can't correct describe the real DVs dynamic and their correlation using the classical mathematical models and equations. And besides, the task of multifactor experiment isn't only a presentation of measurement results in an error or uncertainty form. We need a maximum information about a system [9], which can be expressed by such characteristics as a fractal dimension, Shannon entropy, forecasting horizon time et al.

In the works [1]—[8] and others the authors presented the actuality and main research results for building a new theory. For measurement and analysis of the measurement results the theoretical approaches, measurement model [1] and model of measurement results analysis [2] were created. As the analysis tools it's proposed to use the



Yu. Machekhin



Yu. Kurskoy

fractal and entropy scale of NDS state [3, 4]. For analysis of an evolving NDS, biological systems for example, it's proposed to use a time that system revert to a previous state [5], For ensure the principle of maximum information content of measurement results it's proposed a new tool — a measurement portrait [7].

By the logic of theory construction now we need develop a method for expression of uncertainty in measurement of nonlinear dynamic variables. This new method should not contradict the essential requirements of GUM [10]. When DV change a dynamic mode to static mode the new method should be completely transformed in the classical method [10]. So, a creation of a way for an expression of uncertainty in measurement of dynamic variables of nonlinear dynamic systems is the task of this work.

**Research results**

Let's consider the basic properties of NDS and its DV. Such systems are described by number  $n$  of DVs  $X_i$ . The DV  $X_i$  is an interval value and  $X_i \in [X_i^{\min}; X_i^{\max}]$ . Within the boundaries of its interval the  $X_i$  values change by unknown law. It can be random, chaotic, or deterministic dynamics. It should be remembered that in the measurement of NDS DV the uncertainties budget involves as the measurement uncertainty so the NDS dynamics uncertainty, herewith the contribution of the last factor can be prevailed.

According to [10] a number of  $X_i$  are input variables, the results of their simultaneous measurements can be denoted as a number of  $x_i$ . The  $m$  time series of  $n$  DVs measurements can be presented by the next measurement matrix:

$$\begin{pmatrix} x_{1,1} \dots x_{1,m} \\ \dots \\ x_{n,1} \dots x_{n,m} \end{pmatrix}. \tag{1}$$

The output values  $Y_i$  associated with the input values  $X_i$  by the measurement equation  $Y_i = f(X_i, \dots, X_n)$ . The output values  $Y_i$  are the interval variables too, and their values locate in the frame of the interval  $[Y_i^{\min}; Y_i^{\max}]$ . According to [11]:

$$Y_i = y_i \pm U_i, p, \tag{2}$$

here  $y_i$  — a measurement evaluation;  $U_i$  — an expanded measurement uncertainty;  $p$  — a trust level

As a result, the measurement matrix (1) is converted to the measurement results matrix:

$$\begin{pmatrix} Y_{1,1} \dots Y_{1,m} \\ \dots \\ Y_{n,1} \dots Y_{n,m} \end{pmatrix}. \tag{3}$$

The measurement results matrix (3) encloses a necessary data for obtaining maximum information about NDS. Using (3) we can calculate a fractal dimension  $D$  of a system at least. It allows us to classify the process as deterministic, random or chaotic [4] and to choose a method for expression of measurement results uncertainty.

The fractal dimension  $D$  of measurement results time series (3) is calculated by Hurst method [1]. The  $D$  value allows us to classify the process and choose an tools for an analyze of measurement results/ If  $D = 1$  a process is regular without any random component, if  $D = 1,5$  a process is random, if  $1 < D < 1,5$ ,  $1,5 < D < 2$  a process is chaotic.

If a process is random the expression of measurement uncertainty should base on the method for expression of the interval values that was proposed in [11]. According this method if an interval value  $Y_i \in [Y_i^{\min}; Y_i^{\max}]$  has the uniform distribution so  $Y_i$  is represented by mathematical expectations of the intervals middles  $m_i^{mid}$ , interval boundaries  $m_i^{\min}, m_i^{\max}$  and their standard deviation  $\sigma_i^{mid}, \sigma_i^{\min}, \sigma_i^{\max}$  in the next form:

$$Y_i = m_i^{mid} \pm k\sigma_i^{mid}, \tag{4}$$

$$\text{где } m_i^{mid} = \frac{1}{2}[(m_i^{\min} - k\sigma_i^{\min}) + (m_i^{\max} + k\sigma_i^{\max})],$$

$$\sigma_i^{mid} = \frac{1}{2}[(m_i^{\max} + k\sigma_i^{\max}) - (m_i^{\min} - k\sigma_i^{\min})].$$

The described method (4) is correct when NDS has a random dynamics. But in case of measurement of real NDS DVs we should remember that DVs are the interval variables with an unknown distribution. Therefore, we need to solve two problems.

First, we need to define the minimum and maximum values of DV and calculate their measurement uncertainties:

$$Y_i^{\min} = y_i^{\min} \pm U_i^{\min}, Y_i^{\max} = y_i^{\max} \pm U_i^{\max}, p. \tag{5}$$

Second, we need to build the values  $Y_i$  histograms, calculate the most  $Y_i^{oft}$  and least  $Y_i^{oft}$  probable values of DV, their measurement uncertainties  $U_i^{oft}, U_i^{seld}$ , and probabilities of their occurrences  $P(Y_i^{oft}), P(Y_i^{seld})$ :

$$Y_i^{oft} = y_i^{oft} \pm U_i^{oft}, p, P(Y_i^{oft}); Y_i^{seld} = y_i^{seld} \pm U_i^{seld}, p, P(Y_i^{seld}). \tag{6}$$

The formulas (5), (6) and the values  $Y_i$  histograms represent the expression of uncertainty of NDS DVs measurement results. For achievement of the maximum possible information content about DVs and NDS the formulas (5), (6) should be complemented by the values of fractal dimension  $D$  [4], Shannon entropy  $H$  [6] and forecasting horizon time  $T_f$  [2] in the next form:

$$D_i = d_i \pm U_i, p; H_i = h_i \pm U_i, p; T_{fi} = t_{fi} \pm U_i, p, \tag{7}$$

here  $d_i, h_i, t_{fi}$  — the measurement evaluations of

fractal dimension  $D$ , entropy  $H$  and forecasting horizon time  $T_f$ .


Thus, the formulas of measurement results uncertainty (5), (6), measurement results histograms, fractal dimension, entropy and forecasting horizon time (7) is a measurement portrait of a single DV. The main principles for building a complete measurement portrait for all of DVs was introduced in [7].

### CONCLUSIONS

We show a way for estimation and expression of uncertainty in measurement of nonlinear dynamic

variables. The measurement results are represented by number of interval variables with not canonical distribution laws. Each interval is represented by the dynamic variables minimum and maximum values with their measurement uncertainties. Within the intervals the dynamical variables are displayed by the histograms of the measurement results values. The most and least probable values of dynamic variables with their uncertainties and probabilities are presented too. The measurement results are added with the fractal dimension, Shannon entropy and forecasting horizon time. The described set of measurement results is a measurement portrait.

### REFERENCES / СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Machekhin Yu., Kurskoy Yu. Measurement model of nonlinear dynamic systems parameters // Systems of information processing (Мачехин Ю., Курской Ю. Модель измерения параметров нелинейных динамических систем // Системы обработки информации). — 2012. — № 01 (99). — P./C. 169—175.
2. Machekhin Yu., Kurskoy Yu. Measurements analysis in nonlinear dynamical systems // Systems of information processing (Мачехин Ю., Курской Ю. Анализ результатов измерений в нелинейных динамических системах // Системы обработки информации. — 2012. — Вып. 07 (105)). — 2012. — P./C. 117—122.
3. Ю.П. Мачехин, Ю.С. Курской. Модель измерения здоровья человека. Метрологический подход // Метрологія та прилади (Yu. Machekhin Model' izmereniya zdorov'ya cheloveka. Metrologicheskii podkhod [Tekst] / Yu. Machekhin, Yu. Kurskoy // Metrologiya ta priladi). — 2014 — Вып. 02 (46). — С./Р. 40—44.
4. Мачехин Ю.П. Фрактальная шкала для временных рядов результатов измерений // Измерительная техника (Machekhin Yu. Fraktal'naya shkala dlya vremennykh ryadov rezul'tatov izmereniy [Tekst] / Yu. Machekhin // Izmeritel'naya tekhnika). 2008. № 8. С. 40—43;
5. Мачехин Ю.П., Курской Ю.С. Фрактально-энтропийный анализ результатов измерений в нелинейных динамических системах // Измерительная техника. 2014. № 06. С. 18—21.
6. Machekhin Yu., Kurskoy Yu. The compilation of the equations of the measurement of the Shannon entropy of nonlinear dynamical systems using interval analysis methods // Instrumentation and measurement methods. — 2015. — Vol. 6, N 2 (Ю.П. Мачехин, Ю.С. Курской. Составление уравнения измерения энтропии Шеннона нелинейных динамических систем с использованием методов интервального анализа // Приборы и методы измерений. — 2015. — Т. 6, № 2). — P./C. 257—263.
7. Yu. Machekhin, Yu. Kurskoy, E. Prisch The measurement portrait of dynamic variables // Метрологія та прилади. — 2016 — № 05 (60). — С./Р. 46—51.
8. Machekhin Yu.P., Kurskoy Y.S. Fundamentals of nonlinear metrology. // LAP Lambert Academic Publishing (Мачехин Ю.П., Курской Ю.С. Монография «Основы нелинейной метрологии» Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-65957-401-6). — 2014. — 240 p./c.
9. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. — 2-е изд., перераб. и доп. — Ленинград: Издательство Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1991. — 304 с.
10. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML 1995 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 2nd edn.
11. Горбань И.И. Теория гиперслучайных явлений: физические и математические основы [Элек-тронный ресурс] / И.И. Горбань. — К.: Наукова думка, 2011. — 318 с. — Режим доступа: [http://www.immsp.kiev.ua/perspages/gorban\\_i\\_i/index.html](http://www.immsp.kiev.ua/perspages/gorban_i_i/index.html). 

Отримано: 07.05.2017.

Стаття рекомендована д.ф.-м.н., проф. М.І. Дзюбенком, Україна.

Prof. M.I. Dzyubenko, D. Sc. (Phys.-Math.) has recommended this article, Ukraine.