

Вимірюйте
усе доступне вимірюванню
й робіть недоступне вимірюванню
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

Метрологія



Та прилади

№ 1(63), 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 одинадцятий
Передплатний індекс 92386

Редакційна колегія:

Большаков В. Б., д. т. н., с. н. с.
Варша З., д. т. н., 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.
Кухарчук В. В., д. т. н., проф.
Мачехін Ю. П., д. т. н., проф.
Назаренко Л. А., д. т. н., проф.
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.
Самойленко О. М., д. т. н., проф.
Скубіс Т., д. т. н., проф., Польща
Столярчук П. Г., д. т. н., проф.
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 №4 від 22.02.2017)

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,
виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції
серія ХК № 90 від 17.12.2003.

Підписано до друку 07.03.2017.
Формат 60×84/8. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.
Друк офсетний. Тираж 400 прим.
Замовлення № 5.

© «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

УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ №56/2017

**Про відзначення державними нагородами України з нагоди
Міжнародного жіночого дня**

**За значний особистий внесок у соціально-економічний, науково-
технічний, культурно-освітній розвиток Української держави,
зразкове виконання службового обов'язку та багаторічну сумлінну
працю постановляю:**

Нагородити медаллю «За працю і звитягу»

**БЄЛІЦЬКУ Ольгу Іванівну — начальника лабораторії служби
відокремленого підрозділу «Запорізька атомна електрична
станція» державного підприємства «Національна атомна
енергогенеруюча компанія «Енергоатом»**

**ЛАВРИК Ольгу Іванівну — начальника цеху акціонерного
товариства «Сумське машинобудівне науково-виробниче
об'єднання»**

Присвоїти почесне звання:

«ЗАСЛУЖЕНИЙ МЕТРОЛОГ УКРАЇНИ»

**ШАПОВАЛЮК Ользі Семенівні — начальникові відділу
державного підприємства «Вінницький науково-виробничий центр
стандартизації, метрології та сертифікації»**

Президент України П.ПОРОШЕНКО

7 березня 2017 року

ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Віткін Л.

Аналіз системи технічного регулювання, стандартизації, метрології в Україні та заходи щодо її удосконалення на 2017 рік3

Попруга Ю.

Департамент технічного регулювання
Міністерства економічного розвитку
і торгівлі України:
метрологічна діяльність у 2016 році8

TRENDS AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT

Vitkin L.

Analysis of technical regulation, standardization, metrology in Ukraine and measures for its improvement in 2017

Popruga Yu.

Technical Regulation Department
of the Ministry of Economic Development
and Trade of Ukraine:
Metrological activities in 2016

МІЖНАРОДНІ ЗВІРЕННЯ ЕТАЛОНІВ

Величко О.

Міжнародні ключові звірення у рамках КООМЕТ
національних еталонів одиниці напруги змінного струму11

INTERNATIONAL COMPARAISONS OF MEASUREMENT STANDARDS

Velychko O.

International Key Comparison COOMET
of National Standard of Unit of AC Voltage

ЕТАЛОННА БАЗА

Вишняков П., Ісхакова О., Бондаренко Г., Тимошенко О., Моторна Л.

Удосконалення еталонної бази у сфері термометрії
шляхом модернізації
вторинного еталона одиниці температури 20

MEASUREMENT STANDARD BASE

Vyshniakov P., Iskhakova O., Bondarenko G., Timoshenko O., Motorna L.

Improvement of reference framework of thermometry
by modernization secondary
standard unit of temperature

ЄДНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

Ходаковський М., Будник М., Лебедева Т., Шпильовий П.,
Мержвинський П., Дегтярук В., Риженко Т., Тимошенко Я.,
Грищенко Л., Расчектаєва А., Тимофеев Є.Забезпечення єдності вимірювань
у біомедичних оптичних приладах 25

TRACEABILITY OF MEASUREMENT

Khodokovsky M.I., Budnik M.M., Lebedeva T.S., Shpilevoy P.B.,
Merzhvynsky P.A., Degtyaruk V.I., Ruzhenko T.M., Timoshenko
J.M., Grishchenko L.V., Raschekhtayeva A.I., Timofeev E.P.Assurance of uniformity of measurements
in biomedical optical measuring instruments

ТОЧНІСТЬ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ

Федин С., Зубретькая И., Поликарпов А.

Обеспечение точности построения
градуировочных характеристик НТС-термисторов
на основе нейронных сетей
с радиальными базисными функциями37

ACCURACY AND RELIABILITY

Fedin S., Zubretskaya I., Polikarpov A.

Accuracy Assurance of Calibrated
Characteristics Definition for NTC-Thermistors
Based on Neural Networks
with Radial Basis Functions

МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ

Петришин І., Присяжнюк Т., Бас О.

Метод та спосіб визначення
теплоти згоряння природного газу
у споживачів комунально-побутового сектору47

METHODS AND PROCEDURES

Petryshyn I., Prisyazhnyuk T., Bas O.

The Method and the Method of Determining
the Natural Gas Heat of Combustion
to Domestic Household Sector Consumers

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Руженцев І., Луцкий С., Фетків В.

Системно-інформаційна база
метрологічного забезпечення
техніко-економічних показників виробництва 54

METROLOGICAL ASSURANCE

Ruzhentsev I., Lutsky S., Fetkiv V.

System-Information Base
of Metrological Support of Technical
and Economic Parameters of Production

СТАНДАРТНІ ЗРАЗКИ

Володарский Е., Кошечая Л., Гуржий А.

Оценивание метрологических характеристик
стандартных образцов57

STANDARD SAMPLES

E Volodarsky, L. Kosheva, A. Gurjij

Estimation of metrological characteristics
of reference materials

НЕЛІНІЙНА МЕТРОЛОГІЯ

Ю. Мачехін, Ю. Курський, О. Присич

Людина як об'єкт дослідження
метрології нелінійних динамічних систем 63

NONLINEAR METROLOGY

Yu. Machekhin, Yu. Kurskoy, H. Prisch

A Human as a Research Object
for Metrology of Nonlinear Dynamic Systems

ВІЙСЬКОВА МЕТРОЛОГІЯ

Крюков О., Мудрик В.

Алгоритмічні основи функціонування
засобу вимірювання швидкості руху
металевого елемента в каналі ствола67

MILITARY METROLOGY

A. Kriukov, V. Mudrik

Algorithmic bases of processing
of the measuring information about the velocity
of the throwing element in the bore

СЕМІНАРИ, КОНФЕРЕНЦІЇ, З'ЇЗДИ

Большаков В.

III Всеукраїнська науково-технічна конференція
молодих вчених у царині метрології
«Technical using of Measurement-2017»72

SEMINARS, CONFERENCES, CONGRESSES

Bolshakov V.

III All-Ukrainian Scientific-Technical Conference
of Young Scientists in the Field of Metrology
«Technical using of Measurement-2017»

ІНФОРМАЦІЯ

7, 36

INFORMATION

УДК 53.088.23

A HUMAN AS A RESEARCH OBJECT FOR METROLOGY OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS

ЛЮДИНА ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЇ
НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

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

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

The article presents the results of practical using of the approaches and tools of Metrology of nonlinear dynamic systems (Nonlinear Metrology). They were used for measurement and analysis of dynamic variables of a human body with a regular physical activity. As the analysis tools the intervals of dynamic variables values, measurement portrait, fractal dimension and Shannon entropy are used. The analysis of measurements results demonstrates that the dynamics of measured value is close to deterministic way. This is a characteristic trait of an open system with a self-organization function. The study results can be used for development of athletes training programs.

Наведено результати застосування підходів та інструментів метрології нелінійних динамічних систем для вимірювання та аналізу результатів вимірювання динамічних змінних людини, яка займається регулярними фізичними вправами. Як інструмент аналізу використано: інтервали значень динамічних змінних, портрет вимірювання, фрактальна розмірність і ентропія Шеннона. Аналіз результатів вимірювання показав, що динаміка вимірюваних величин близька до детермінованої, що характерно для відкритих систем з функцією самоорганізації. Результати дослідження можуть бути використані для складання та корекції програм фізичної підготовки спортсменів.

Keywords: Metrology of Nonlinear Dynamic Systems, Measurement Model, Fractal Dimension, Shannon Entropy.

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

THE INTRODUCTION

The main tasks of Metrology of nonlinear dynamical systems (Nonlinear Metrology) are the measurement and analysis of variables that values change in time by a complex non-linear law [1]. These values are dynamic variables (DV). They characterize the number of different real open nonlinear dynamic system (NDS). Nonlinear Metrology combines all theoretical and practical aspects of DV measurements regardless of application field. Development and implementation of the principles, models and tools of Nonlinear Metrology are important for successful implementation of such tasks as a measurement and study of climate, ocean and biological systems states. It can help to identify the previously unknown patterns.

The Nonlinear Metrology tools can be important for measurement of human physical condition when it's making an individual program of a patient treatment or an athlete training. In spite of the high social importance of this issue the measurement of human body parameters as DVs of NDs until recently, according to the available publications in the field of theoretical and applied metrology, hadn't been considered. At the



Yu. Machekhin



Yu. Kurskoy



E. Prisch

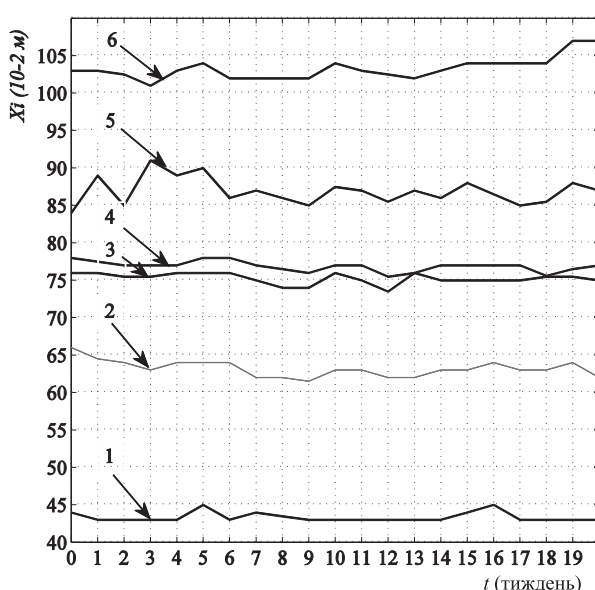
same time an idea about an increase a scope of a metrological science is growing in the research community. They talk about this during the XXVI National scientific symposium with international participation "Metrology and Metrology assurance 2016" [2, 3].

The approach to a person like a complex, open system with the function of self-organization was described in some classic works [4, 5]. The measurement of human body characteristics in the stable and excited states, tracing their dynamics from the birth moment and throughout human life will allow us to provide the effective individual programs or a treatment or a sports training. In this case we don't talk about a treatment only but we talk about a person health management too. We can solve a complex metrological problem — the correct measurement of the organism characteristics, analysis and interpretation of the measurement results as the DVs of NDS. The human health measurement model, that base on the Nonlinear Metrology principles, is proposed in the papers [6, 7]. The main elements of the model are: the intervals of DVs values, the fractal, entropy, and time scales.

The task of this work is an application the human health measurement model for measurement and analysis of dynamic variables of a human body with a regular physical activity

The research results

The research object was a young woman of 20 years old who regularly does physical exercises under the guidance and supervision of a coach. The object was under observation for 21 weeks. During the observa-



The measurement portrait,

here 1 — X_1 ; 2 — X_2 ; 3 — X_3 ; 4 — X_4 ; 5 — X_5 ; 6 — X_6 .

tion time once a week the coach measured the volumes of the next parameters: the lower part of a thigh (X_1), upper part of a thigh (X_2), thighs (X_3), lower part of an abdomen (X_4), waist (X_5), upper part of an abdomen (X_6) and mass (X_7). Thus it were made the seven time series of DVs measurement results with a resolution $\Delta t = 7$ days. The results of X_1 — X_6 parameters measurement are given in the measurement portrait (Figure) [8]. The mass measurement portrait (X_7) is not demonstrated here.

From the point of view of Dynamic systems theory our research object is an open NDS with a self-organization function. Her characteristics X_i , $i=1...7$ are DVs that are exposed to external influences, their values are correlated. The DVs' behavior (deterministic, random or chaotic) is a priori unknown. Their values are change in the appropriate intervals $[X_i^{\min}; X_i^{\max}]$. The instrument measurement uncertainty (B-type) for DVs X_i , $i = 1...6$ is equal 0.0025 m, the instrument measurement uncertainty (B-type) for DV X_7 is equal 0.025 kg. The research task was to do an analysis of results using the principles and models of Nonlinear metrology [1] and human health measurement model [6]. The measurement results and analysis results should be as informative as possible.

During an analysis of measurement results we need to get: the DVs measurement results Y_i ; the fractal dimension D and Shannon entropy H_i for time series of X_i measurement results [7]; the measurement portraits for DVs [8].

The DVs measurement results Y_i can be presented in the next form:

$$Y_i \in [y_i^{\min} \pm U_i^{\min}; y_i^{\max} \pm U_i^{\max}], p,$$

here: $y_i^{\min}, y_i^{\max}$ — average values of the measurement results for minimum $X_i^{\min}$ and maximum $X_i^{\max}$ values of X_i ; $U_i^{\min}, U_i^{\max}$ — the expanded measurement uncertainties; p — coverage probability.

In this case we have the one-time measurements so the uncertainties of the measurement are the B-type instrument uncertainties u_{Bi} . The DVs measurement results Y_i if $p = 0.95$ and coverage factor $k=1,65$ can be presented as:

$$Y_i \in [y_i^{\min} \pm U_i(y); y_i^{\max} \pm U_i(y)], p = 0,95,$$

$$U_i(y) = ku_{Bi}, k = 1,65. \quad (1)$$

The DVs measurement results Y_i in the form (1) are presented in the Table.

If the fractal dimensions D_i of measurement results series are know we can classify a dynamic as a random, regular or chaotic process [10]. In the paper [11] the fractal scale for an evaluation of measurement results was proposed. The scale has three characteristic points: $D=1$, $D=1,5$, $D=2$. If $D=1$ the DV has a strictly

The measurement results, $p = 0,95$

ДП	$Y_i \in [y_i^{\min} \pm U_i(y); y_i^{\max} \pm U_i(y)]$	$D_i \pm U_i(D_i)$	$H_i \pm U_i(H_i)$
X_1	$[0,430 \pm 0.0041; 0,450 \pm 0.0041]$ м	$[1,47 \pm 0.026]$	$[0,891 \pm 0,016]$
X_2	$[0,615 \pm 0.0041; 0,660 \pm 0.0041]$ м	$[1,2 \pm 0.020]$	$[1,117 \pm 0,019]$
X_3	$[1,010 \pm 0.0041; 1,070 \pm 0.0041]$ м	$[1,2 \pm 0.025]$	$[1,117 \pm 0,018]$
X_4	$[0,840 \pm 0.0041; 0,910 \pm 0.0041]$ м	$[1,02 \pm 0.019]$	$[2,117 \pm 0,039]$
X_5	$[0,735 \pm 0.0041; 0,760 \pm 0.0041]$ м	$[1,2 \pm 0.026]$	$[1,417 \pm 0,030]$
X_6	$[0,755 \pm 0.0041; 0,780 \pm 0.0041]$ м	$[1,00 \pm 0.012]$	$[1,235 \pm 0,015]$
X_7	$[67 \pm 0.0041; 70 \pm 0.0041]$ кг	$[1,1 \pm 0.025]$	$[0,712 \pm 0,016]$

deterministic dynamic. If $D = 2$ the DV has a strictly deterministic dynamic too, but the scatter of the measured values is very large, that doesn't allow use the statistical methods of measurement results calculation. If $D = 1.5$ the process is random. In this case for result analysis we can use the statistical methods. If $1 < D < 1.5$ the process is represented as a persistent (the measured value keeps a trend of increasing or decreasing) and it's close to a deterministic law. If $1.5 < D < 2$ the process is antipersistent (measured value reverses it's trend) and has a random (noise) spread of values that exceeds the slow changes value.

The fractal dimensions can be calculated using Hearst exponent H_e [12]:

$$D = 2 - H_e \quad (2)$$

The Hearst exponent is determined, using the value R/S (here: R — a swing between the maximum and minimum values of the increment function $y(i, n)$, S — a standard deviation), by next formula:

$$\frac{R}{S} = \left(\frac{n}{2} \right)^{H_e}, \quad (3)$$

here: $R(i) = \max_{1 \leq i \leq n} y(i, n) - \min_{1 \leq i \leq n} y(i, n)$, $y(i, n) = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)$.

$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y}_i)^2}$, $\bar{y}_i$ — the arithmetic mean value.

Hearst exponent is used to solve some medical problems, e.g., in the analysis of speech pathologies and in the study of the variations of the period of cardiac contractions [13].

The formula (3) can be represented as:

$$H_e = \ln \left(\frac{R}{S} \right) / \ln \left(\frac{n}{2} \right)$$

Using the formula (2) we can obtain the fractal dimension of the time series and find a character of the DVs dynamics (table). The standard measurement uncertainty $u_i(y_i)$ and expanded measurement uncertainty $U_i(y_i)$ for fractal dimension shall be presented by the formulas [8]:

$$u_i(y_i) = y_i u_{Bi} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2}}, U_i(y_i) = k u_i(y_i), k = 1,65. \quad (4)$$

The measurement portrait (figure) contains the measured value dynamics and measurement uncertainties (4).

Shannon entropy H_i of a measurement time series X_i shows which value can be determined with greater certainty and which value is more variable. The entropy of DV X_i is defined with a probability density values $P(X_i)$ by formula [14]:

$$H_i = -P(X_i) \ln P(X_i). \quad (5)$$

The Shannon entropy H_i calculation results (5) are given in the Table. The expanded measurement uncertainty of entropy indirect measurement is determined by the expression (4).

The measurement results analysis allows us to say that all of DVs have deterministic dynamics. The values of the fractal dimension D of all DP are in the interval $1 < D < 1.5$. At the same time for DVs $X_2 \dots X_7$ $D \rightarrow 1$, and for X_1 (the lower part of a thigh) $D \rightarrow 1.5$. So, the X_1 dynamics is close to a random process. The analysis of the Shannon entropy values demonstrate that the DVs X_4 ($H \approx 2$) и X_5 ($H \approx 1,4$) are most variable, and the DVs X_1 ($H \approx 0,9$) и X_7 ($H \approx 0,7$) are least variable.

The research results are proof of the self-organization function of an open NDS. Note that earlier research of the electrical network dynamics gave opposite results [15]. The voltage dynamic was random with the fractal dimension $D \approx 1,5$.

The research results, displayed in the Table and in the measurement portrait (Figure), can be used for a making the DVs values intervals, fractal and entropy scales of the human physical condition. In the future, the value intervals and scales can be applied for making an individual training plan for athletes and selection an intensity and frequency of physical activity.

The Conclusions

The article presents the results of practical using of the approaches and tools of Metrology of nonlinear dynamic systems (Nonlinear Metrology).

They were used for measurement and analysis of dynamic variables of a human body with a regular physical activity.

As the analysis tools the intervals of dynamic variables values, measurement portrait, fractal dimension and Shannon entropy are used.

The analysis of measurements results demonstrates that the dynamics of measured value is close to deterministic way. This is a characteristic trait of an open system with a self-organization function.

The research results can be used for development of athletes training programs.

REFERENCES / СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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./с.
2. Ю. Бакшеева, К. Сапожникова, Разработка модели измерения — эффективный метод познания. Сборник докладов XXVI Национального научного симпозиума с международным участием «Метрология и метрологическое обеспечение 2016», Созополь (Болгария) 7—11 сентября 2016 с. 299—304.
3. В. Петров Измерения очевидного — для чего они нужны? И кто их боится? Сборник докладов XXVI Национального научного симпозиума с международным участием «Метрология и метрологическое обеспечение 2016», Созополь (Болгария) 7—11 сентября 2016 с. 273—281.
4. Платонов К.И. Слово как физиологический и лечебный фактор. Вопросы теории и практики психотерапии на основе учения И.П. Павлова. / К.И. Платонов — М.: Знание, 1962. — 186 с.
5. Климонтович Ю. Л. Критерии относительной степени упорядоченности открытых систем [Текст] / Ю.Л. Климонтович // Успехи физических наук — 1996. — № 11 (166). — С/Р. 1231—1243.
6. Ю. Мачехин Модель измерения здоровья человека. Метрологический подход [Текст] / Ю. Мачехин, Ю. Курской // Метрологія та прилади (Yu. Machekhin Model' izmereniya zdorov'ya cheloveka. Metrologicheskiy podkhod [Tekst] / Yu. Machekhin, Yu. Kurskoy // Metrologiya ta priladi). — 2014. — № 02. — С/Р. 40—44.
7. Machekhin Yu., Kurskoy Yu. The norm entropy as the reference point of the scale of health measurement / Metrology and instruments. — 2014 — Vol. 06 (50) (Ю. Мачехин Ю. Курской. Норма энтропии как реперная точка шкалы измерения здоровья // Метрологія та прилади. — 2014 — Вып. 06 (50)). — С/Р. 56—60.
8. Yu. Machekhin, Yu. Kurskoy, E. Prisch The measurement portrait of dynamic variables // Метрологія та прилади. — 2016 — Вып. 05 (61). — С. 46—51.
9. РМГ 43-2001. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений». Дата введения 2003-07-01.
10. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории / пер. с английского [Текст] / М.: Постмаркер (Kronover R.M. Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh. Osnovy teorii / per. s angliyskogo [Tekst] / M.: Postmarker), 2000. — 352 с/р.
11. Мачехин Ю. Фрактальная шкала для временных рядов результатов измерений [Текст] / Ю. Мачехин // Измерительная техника (Machekhin Yu. Fraktal'naya shkala dlya vremennykh ryadov rezul'tatov izmereniy [Tekst] / Yu. Machekhin // Izmeritel'naya tekhnika). — 2008. — Вып./Is. 08. — С/Р. 40—43.
12. Федер Е. Фракталы [Текст] / М.: Мир, 1991. — 258 с.
13. Априяткина М.Л., Бородин А.С., Васильченко М.Н. Анализ показателя Херста для вариаций периода сокращений сердца человека // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2010. — Т. 53. — № 9—3. — С. 233—234.
14. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов [Текст] / Е. С. Вентцель; 7-е изд. — М.: Высш. Шк. (Venttsel Ye. S. Teoriya veroyatnostey: Ucheb. dlya vuzov [Tekst] / Ye. S. Venttsel'; 7-ye izd. — M.: Vyssh. Shk.), 2001. — 575 с/р.
15. Курской Ю.С. Фрактальный анализ результатов электрических измерений // Энергетика, энергосбережение и энергоаудит. — 2014 — Вып. 01 (119). — С. 52—57. ■

Отримано / received: 21.12.2016.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Є.М. Одаренком (Україна).
Prof. E.M. Odarenko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.