

ФГБОУ ВО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«СТАНКИН»

ИНСТИТУТ БИОФИЗИКИ КЛЕТКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК –
ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ПУЩИНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ —
ФИЦ ПНЦБИ РАН (ПУЩИНО)

ФГУ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ
МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ИПМ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН)

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ БИОЛОГИИ РАН –
ФИЛИАЛ ИПМ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН (ПУЩИНО)

ФГБОУ ВО «МУРМАНСКИЙ АРКТИЧЕСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
CENTRO DE MATEMATICA COMPUTACIONAL E ESTOCASTICA
INSTITUTO SUPERIOR TECNICO, LISBON (PORTUGAL)

ШЕСТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

The Sixth International Scientific Conference (MNPS-2022)

THE MODELING OF NONLINEAR PROCESSES AND SYSTEMS

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
CONFERENCE PROCEEDINGS**

**Москва
Moscow
2023**

УДК 519.6

Моделирование нелинейных процессов и систем. Материалы шестой международной конференции.- М.: Янус – К, 2023- 328 с.

ISBN 978-5-8037-0878-0

В сборник включены материалы участников шестой международной научной конференции «Моделирование нелинейных процессов и систем», проходившей 19–23 декабря 2022 года в Федеральном Государственном Бюджетном Образовательном Учреждении Высшего Образования «Московский Государственный Технологический Университет «СТАНКИН».

ISBN 978-5-8037-0878-0

© Коллектив авторов, 2023

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

B.N. Chetverushkin (Russia), A.S. Sigov (Russia), V.D. Lakhno (Russia), G.Yu. Riznichenko (Russia), A.K. Chernyshyov (Russia), M.V.Yakobovsky (Russia), V.V. Komarov (Russia), V.V.Vedenyapin (Russia), V.V.Sokolov (Russia), S.D. Traitak (Russia), I.V. Puzynin (Russia), L.V.Pletnyev (Russia), N.N.Karabutov (Russia), A.I. Lobanov (Russia), T.A. Sushkevich (Russia), A.A. Namgaladze (Russia), M.A. Knyazeva (Russia), V.L. Malyshev (Byelorussia), H. Haken (Germany), Sandra Pinelas (Portugal, Academia Militar), D. Gramotnev (Australia), S. Stevic (Serbia), I. Agranovski (Australia), A. Al Natsheh (Finland).

INTERNATIONAL PROGRAM COMMITTEE

G. Gramotnev (Australia), P. Lima (Portugal), N. B. Aleksic (Serbia), A. Arinstein (Israel), N.N. Kholshchevnikova, I.M. Koval', E.R. Shukin, L.Yu. Vasil'eva, A.V. Shapovalov, O.V. Solyakov, L.V. Yakushevich, I.V. Krivenko, A.M. Sergeev, O.V. Zolotov, G.G. Gogoberidze, T.V. Ryjkova (Russia).

LOCAL ORGANIZING COMMITTEE

D.Yu. Kolodyajnyi –*co-chairman*, L.A. Uvarova– *co-chairman*, A.B. Nadykto – *co-chairman*, V.A. Zagainov, Yu.V. Eliseeva, P.M. Pivkin, E.Yu. Romanova, M.A. Smirnova, O.A.Kazakov, T.V. Kazarova, O.B. Nadykto, E. M. Krasikova – *scientific secretary*, O.V. Stikhova - *scientific secretary*, V.G. Kirichenko, A.V. Kunitsina.

The conference goals and objectives:

- Scientists consolidation, working in various fundamental scientific fields;
- Attraction of the young scientists;
- Organization of discussions and seminars on natural sciences modern problems;
- Discussion of the methodological problems and trends in the modern science;
- Discussion of the prospects and the results of the mathematical modeling methods applying to the biosystems and nanosystems;
- Discussion of the ecology and economy mathematical modeling concepts;
- Discussion problems of natural science and mathematics

Conference Topics:

The conference covers following aspects

- ❖ Methods of mathematical modeling and their applications
- ❖ Nonlinear transport models
- ❖ Interaction of electromagnetic field with nonlinear systems
- ❖ Problems of modern ecology (including the Arctic region)
- ❖ Problems of industrial and natural aerosols spreading over water basins
- ❖ Mathematical models in economics
- ❖ Clusters and nanosystems theoretical and experimental research
- ❖ Molecular and biomolecular systems, Bionanocomplexes
- ❖ Neurosystems modelling
- ❖ Modeling of the information – active systems
- ❖ Synergistic aspects of modern science
- ❖ Numerical methods
- ❖ Difference equations
- ❖ Physical kinetic models
- ❖ Wave processes (including hydrodynamics)
- ❖ Real analysis
- ❖ Management in physical, technical, economic systems
- ❖ Artificial intelligence machine learning and computer vision modeling intelligent systems
- ❖ Managing of the technologies processes and smart manufacturing modeling of physical – chemical and mechanical properties of materials
- ❖ Mathematical models of high-precision processes of the materials handling

**THE FOLLOWING CONFERENCE PARTICIPANTS
MADE PLENARY PRESENTATIONS:**

P. M. Lima, G. Yu. Kulikov, M. V. Kulikova, W. Erhagen (Portugal). NUMERICAL SIMULATION OF WORKING MEMORY USING STOCHASTIC NEURAL FIELD EQUATIONS.

A.A. Potapov (Moscow, Russia). PROSPECTS OF FRACTAL TECHNOLOGIES AND THEIR FEATURES: ACCOUNTING FOR THE HEREDITARITY, NON-GASSIANITY, SCALING AND TOPOLOGY OF REAL PHYSICAL SIGNALS AND FIELDS.

A.S. Sigov (Moscow, Russia). DIGITAL MODEL OF A CAPACITOR HETEROSTRUCTURE BASED ON A THIN FILM OF PLUMBUM ZIRCONATE-TITANATE.

P.V. Moskalev (Voronej, Russia). STATISTICAL ESTIMATIONS OF CLUSTER PARAMETERS ON UNIFORMLY WEIGHTED SQUARE LATTICES.

A.I. Lobanov (Moscow, Russia). THE THROMBUS GROWTH MODEL IN A LARGE BLOOD VESSEL AND IMPLEMENTATION IN FLOWVISION PC.

L.I. Lapushkina (Russia). ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND NANOTECHNOLOGY.

G.Yu. Ryznichenko (Moscow, Russia). MODELS OF PROCESSES IN THE PHOTOSYNTHETIC MEMBRANE. FROM MOLECULAR DYNAMICS OF PROTEIN INTERACTIONS TO ENVIRONMENTAL MONITORING.

A.V. Shapovalov, A.I. Breev (Tomsk, Russia). GROUP METHODS FOR INTEGRATING DIFFERENTIAL EQUATIONS ON HOMOGENEOUS SPACES ON THE EXAMPLE OF NLSE.

V.D. Lakhno (Pushchino, Russia). NEW GENERATION INFORMATION SYSTEMS. NANOBIOELECTRONICS.

Sandra Pinelas (Portugal, Academia Militar). STABILITY OF SOLUTIONS IN DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DELAYS AND ADVANCES.

A. Arinstein (Israel). NONLINEAR BEHAVIOR OF STRING PENDULUM EXECUTING LONGITUDINAL OSCILLATIONS UNDER A PERIODIC FORCE.

S.D. Traytak (Moscow, Russia). METHOD OF FRACTIONAL DERIVATIVES IN THE THEORY OF DIFFUSION-CONTROLLED REACTIONS

P.M. Pivkin, V.A. Grechishnikov, A.A. Ershov (Moscow, Russia). MATHEMATICAL MODELING OF THE MACHINING PROCESS ON MULTI-COORDINATE MACHINES OF THE RANGE OF CUTTING TOOLS FOR COMPLEX SHAPING OF SURFACES OF COMPLEX SHAPE.

V.N. Popov, O.V. Germider (Arkhangelsk, Russia). APPLICATION OF THE COLLOCATION METHOD USING CHEBYSHEV POLYNOMIALS OF THE FIRST KIND IN MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES OCCURRING IN MICRO- AND NANOCHANNELS.

LONGITUDINAL OSCILLATIONS AND FLIGHTS OF THE STRING PENDULUM DRIVEN BY A PERIODIC FORCE

A. Arinstein

Department of Mechanical Engineering
Technion – Israel Institute of Technology
Haifa, Israel, 32000
mearin@technix.technion.ac.il

The longitudinal forced oscillations of a string pendulum are being discussed. In particular, the regime at which the oscillating bob executes free flight under gravity is studied. A novel mechanism of a resonance phenomenon related with the excitation of free oscillations, is described. These free oscillations arising after each bob flight, are the canal for energy pumping into system in question. It turned out that the frequency of the above resonance is equal to the fundamental frequency of the string; and the resonance amplitude of the flights is proportional to the square of amplitude of regular forced oscillations.

We examine a pendulum consisting of a string having a free length l_0 , with a stiffness constant κ , and of a suspended bob of a mass m . In the equilibrium position, where the elastic stress of a string is balanced by gravity acting by the bob, the string elongation, Δl , is $\kappa\Delta l = mg$. If the suspension point executes oscillations $A \sin(\Omega t)$, the string pendulum can execute a motion of two types: the forced harmonic oscillations under the action of elastic force which are being described by standard equation:

$$\frac{d^2u}{d\tau^2} + 2\gamma \frac{du}{d\tau} + u = a \sin(\Omega_0\tau), \quad u < 1 + a \sin(\Omega_0\tau); \quad (1)$$

and free flights under gravity which are being described by equation:

$$\frac{d^2u}{d\tau^2} = -1, \quad u > 1 + a \sin(\Omega_0\tau), \quad (2)$$

here the dimensionless displacement $u = \Delta x/\Delta l = \Delta x\omega_0^2/g$, and dimensionless time $\tau = \omega_0 t$ ($\omega_0^2 = \kappa/m$ is the natural frequency of oscillating bob) are used; $\gamma = \mu/2m\omega_0$ is the damping factor (μ is effective "friction" coefficient), $\Omega_0 = \Omega/\omega_0$, and $a = A/\Delta l = A\omega_0^2/g$.

The bob executes harmonic oscillations when its upper displacement is not too large, and the string remains stretched, namely, $u < 1 + a \sin(\Omega t)$. In the opposite case of large upper displacements, when $u > 1 + a \sin(\Omega t)$, the string becomes unstrained, and regime of free flights arises. In doing so, the height of flights can considerably exceed the amplitude of a forced oscillations, i.e., a noticeable amplitude amplification in the longitudinal oscillations of a string pendulum takes place. The typical results of numerical solution of the equation system (1) and (2) are pictured on the Fig. 1a (the thick solid line) for $a = 5$, $\gamma = 0.1$ and $\Omega_0 = 1$ (resonance frequency). The Poincaré's cross-section of this solution is pictured on the Fig. 1b. Both plots of this figure demonstrate that the chaotic behavior of the system in question is observed, in so doing the attractors arise. Note that the attractors are observed in the case of both resonant and nonresonant frequencies of external force.

In order to find the analytical solution of the equation system (1) and (2), a two-dimensional map for the variables $\{V_n, \tau_n\}$ was constructed (the time of the process in question was broken down into intervals, each of which contains one flight and oscillations; the beginning of n -th flight is denoted as τ_n , and velocity of the bob at this time is V_n). Taking into account the fact of stochastic behavior of system solution, the two-dimension map can be reduced to the one-dimension map, which in case of the continuous limit results in the following stochastic differential equation

$$\frac{dV(n)}{dn} \approx -\frac{\gamma\pi}{2}V + \theta(V)\sqrt{1 + (\Omega_0/V)^2}\xi, \quad (3)$$

here $\theta(V)$ is the step-function ($\theta(V) = 1$, if $V > 0$, and $\theta(V) = 0$, if $V \leq 0$), and ξ is the stochastic variable with the characteristics

$$\bar{\xi} = 0, \quad \text{and} \quad \overline{\xi^2} = \frac{2a^2\Omega_0^2}{(1 - \Omega_0^2)^2 + (2\gamma\Omega_0)^2} \sin^2\left(\frac{\pi\Omega_0}{2} + \frac{2\Omega_0}{V}\right) \quad (4)$$

Stochastic equation (3) can be associated with the Fokker-Plank equation for variable $y = \sqrt{V^2 + \Omega_0^2}$

$$\frac{\partial\Phi(y, n)}{\partial n} = \frac{1}{2s^2}\frac{\partial^2\Phi(y, n)}{\partial y^2} + \frac{\gamma\pi}{2}\frac{\partial}{\partial y}\left(y - \frac{\Omega_0^2}{y}\right)\Phi(y, n), \quad (5)$$

which allows one to find the mean-height of flights, $\bar{h} = 0.5\bar{V}^2$ as its asymptotic solution corresponding to large n :

$$\bar{h} \simeq \frac{a^2\Omega_0^2}{\gamma\pi\left[(1 - \Omega_0^2)^2 + (2\gamma\Omega_0)^2\right]} \sin^2\left(\frac{\pi\Omega_0}{2} + \frac{\sqrt{\gamma\pi\left[(1 - \Omega_0^2)^2 + (2\gamma\Omega_0)^2\right]}}{a \sin(\pi\Omega_0/2)}\right) \quad (6)$$

Note that the amplitude of the flights (6) exceeds the amplitude of the forced oscillations in many times. In doing so, the amplification factor (ratio of the flight height to the amplitude of forced oscillations) also depends on the frequency of the external force and achieves maximum at the resonance frequency of the system in question which exactly coincides with the natural frequency of the string pendulum ($\Omega_0^{res} = 1$).

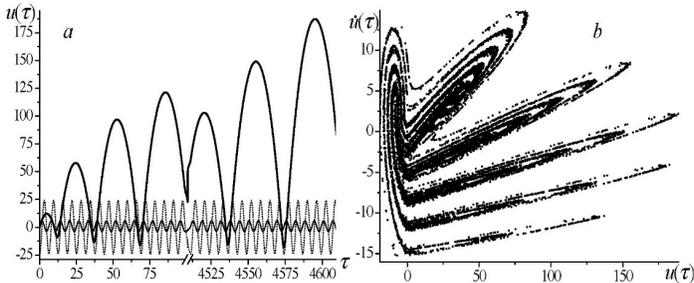


Figure 1: (a) The numerical solution of the equations (1) and (2) (the thick solid line) for $a = 5$, $\gamma = 0.1$, and $\Omega_0 = 1$ (resonance frequency). The thin solid line, $1 + a \sin(\Omega_0\tau)$, corresponds to the stretched-unstrained boundary, and the dot line corresponds to the forced oscillations of the equivalent spring pendulum. (b) The Poincaré's cross-section of the solutions of the equations (1) and (2) pictured on the Fig. 1a.

The author gratefully acknowledges the financial support of the Russell Berrie Nanotechnology Institute, the United States – Israel Binational Science Foundation (grant #2006061).

USE OF NONLINEAR DYNAMIC EQUATIONS IN NEURAL NETWORKS TO REPRESENT THE BEHAVIOR OF ACTIVE AND INACTIVE NEURONS

S.T. Belyakin

Department of General Physics, Physics Faculty, Lomonosov MSU, Moscow, Russia

119991, Academician Khokhlov Street, 1(2)

Tel.: (+7 495)939-51-56, e-mail: sergeybelyakin@yandex.ru

In this work, we use the structure of an artificial neuron by introducing a nonlinear dynamic equation into the active function. Based on this model, it is supposed to study the state of active and passive neurons. The term neural networks refers to the networks of neurons in the mammalian brain. Neurons are its main units of computation. In the brain, they are connected together in a network to process data. This can be a very complex task, and so the dynamics of neural networks in the mammalian brain in response to external stimuli can be quite complex. The inputs and outputs of each neuron change as a function of time, in the form of so-called spike chains, but the network itself also changes. We learn and improve our data processing capabilities by establishing reconnections between neurons [1–3]. The training set contains a list of input data sets along with a list of corresponding target values that encode the properties of the input data that the network needs to learn. To solve such associative problems, artificial neural networks can work well when new data sets are governed by the same principles that gave rise to the training data [4].

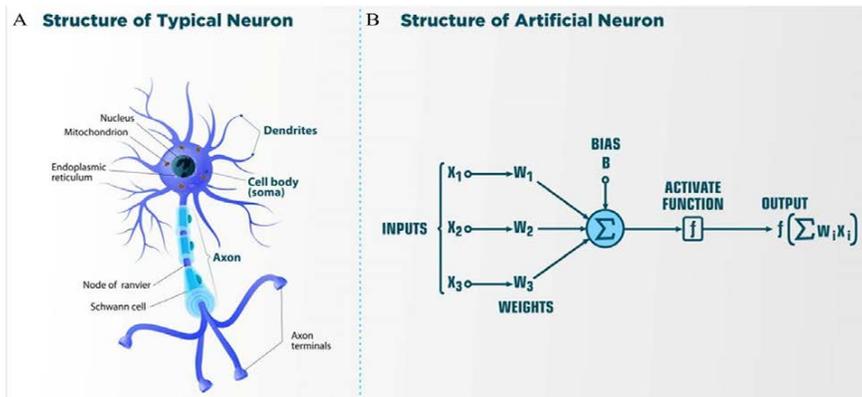


Fig.1. A. structure of typical neuron. **B.** structure of artificial neuron.

Fig.1.A. Schematic representation of a neuron. Dendrites receive input signals in the form of electrical signals through synapses. The signals are processed in the cell body of the neuron. The output signal is transmitted from the body of the nerve cell to other neurons through the axon. The Schwann cell can be in a neutral state and create a left-positive or right-negative chirality of the axon. Information is processed from left to right. On the left are dendrites that

receive signals and connect to the body of the neuron, where the signal is processed. Through the axon, the output signal is sent to the dendrites of other neurons. Information is transmitted in the form of an electrical signal. Information is transmitted in the form of an electrical signal. The **fig.1.B.** shows the structure of an artificial neuron. **Fig.2** shows an example of the time series of the electric potential of a pyramidal neuron [5]. The time series consists of an intermittent series of electric potential jumps. Periods of rest without spikes occur when the neuron is inactive, and during periods rich in spikes, the neuron is active. **Fig.2D** Temporary portraits of the system (1).

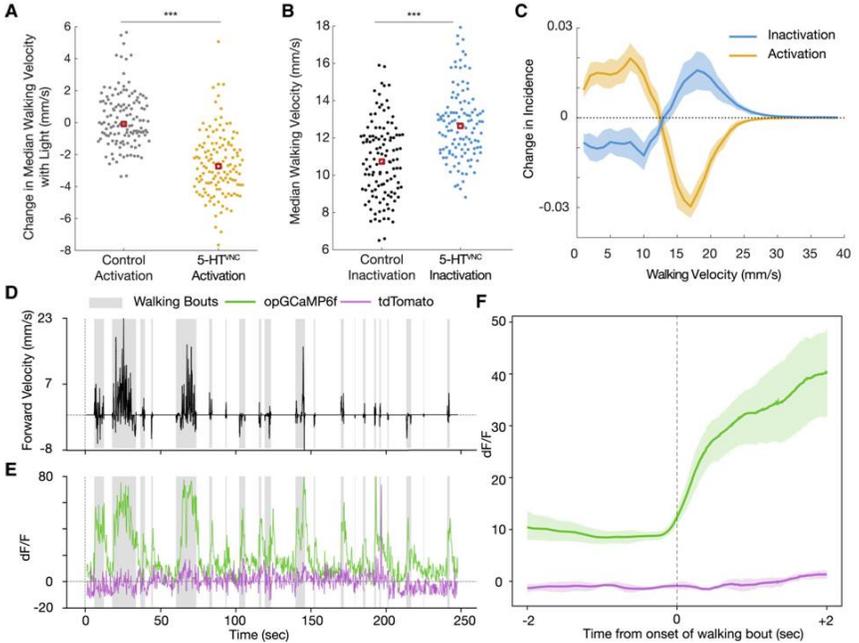


Fig.2. Shows an example of the time series of the electric potential of a pyramidal neuron. The time series consists of an intermittent series of electric potential jumps.

Nonlinear dynamic equation and the classical soliton model (1) for the active equation of an artificial neuron [6,7].

$$\begin{aligned}
 \dot{y} &= y(a - bx) + f \cos \omega t - \omega^2 \sin x, \\
 \dot{x} &= y, \\
 \dot{z} &= xy \operatorname{sch} x \operatorname{sch} y \sin \omega t \cos \omega t.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Time portraits of the system (1) are shown in **Fig.3** active with: $a=1.0, b=0.1, f=0.02, \omega=2\pi, \omega_1=64\pi$. **Fig.4** passive: $a=1.0, b=0.1, \omega_1=64\pi$.

The active states of the system are shown in **Fig.3**, and their active states are shown in **Fig.2(A,C)** in yellow and in **Fig.2(D,E,F)** in black and green. Generates continuous chaotic

modulation ($y/t, x'/t, y/x'$) and white noise (x/t). The inactive state of the system is shown in **Fig.4**, its inactive state is shown in **Fig.2(B,C)** in blue and in **Fig.2(F)** in purple. It is provided for a limited time.

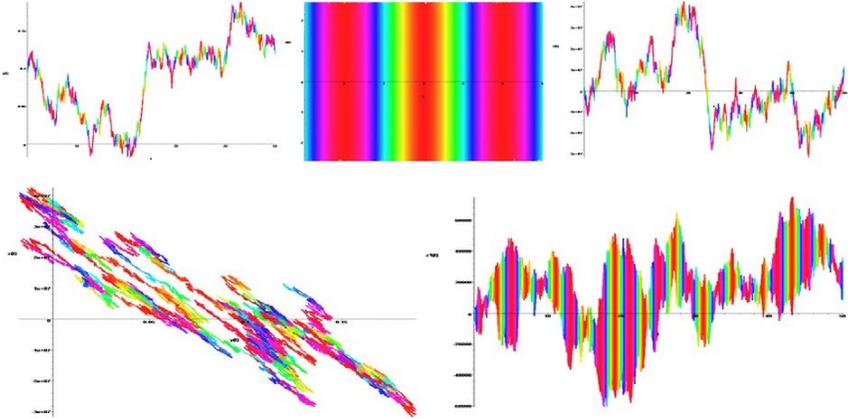


Fig.3. The phase (y/x') and time portraits (y, x, x', z) of system (1) are shown in the active state at: $a = 1.0, b = 0.1, f = 0.02, \omega = 2\pi, \omega_1 = 64\pi$.

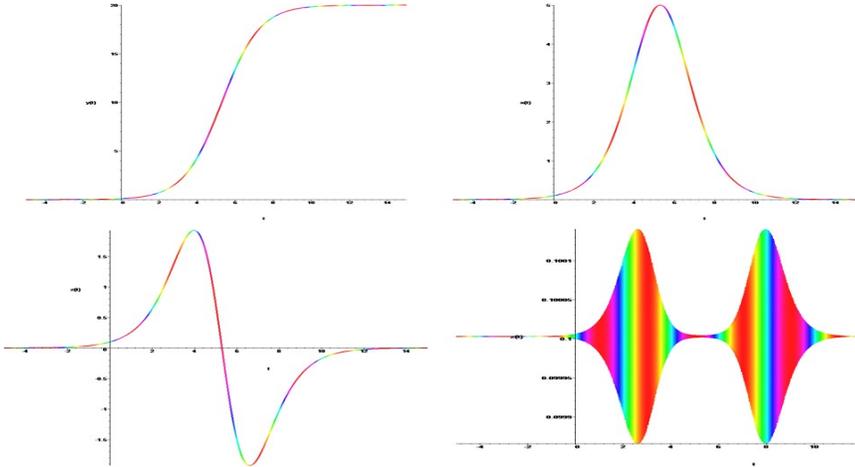


Fig.4. Temporary portraits (y, x, x', z) of the system (1) inactive state: $a = 1.0, b = 0.1, \omega_1 = 64\pi$.

Summary:

Artificial neural networks use a very simplified model of the fundamental computational unit, the neuron. In its simplest form, the model is simply a binary threshold unit. The network performs these calculations sequentially. Usually, discrete sequences of sample time steps are considered, $t = 0, 1, 2, 3, \dots$. Either all neurons are updated simultaneously at the same time step (synchronous update), or only one selected neuron is updated (asynchronous update). In the absence of a signal in the axon, chaotic self-excitation is observed. Mileage exists for a short time and is a stop signal. The conclusion is that this model can be used to study the behavior of a single axon.

References:

1. Belyakin S.T. "[Journal of Nanosciences Research & Reports](#)". US: v.2, №4, 2020, P.1–4.
2. Belyakin S.T. "[Global Journal of Nanomedicine](#)". US: v.13, №3, 2020, P.001 – 009.
3. Belyakin S.T. "[Advances in Nanoscience and Nanotechnology journal](#)". v.3, №3, 2019, P.1– 6.
4. Lecun, A., Bengio, Y., Hinton, G., // Deep learning. "Nature". US: v.521, 2015, P.463.
5. Gabbiani, F., Metzner, W. "Journal of Experimental Biology". US: v.202, №10, 1999, P.1267.
6. Belyakin S.T. " J of Ap Mat Science & Engineering Research", v.4, №4, 2020, P.157–159.
7. Belyakin S.T, Shuteev S.A.,// Study of the dynamics and evolution of fibrillation in the human heart by the classical soliton model. "Journal of Cardiology Interventions", US: v.2, №1, 2021, P.1.1006(1) – 1.1006(4).

HÖRMANDER INDEX AND COMPARATIVE INDEX

J.V. Elyseeva

MSTU “STANKIN”, Moscow, Russia

127055, Vadkovskii lane, 3a

Tel.: (+7 499)972-95-20, e-mail: elyseeva@gmail.com

We prove new relations between the comparative index [1-2] and the Hörmander index (and the Maslov index) in the finite dimensional case [3]. The Maslov index and the Hörmander index can be applied in studies of homoclinic orbits of nonlinear Hamiltonian evolution equations in one space dimension, such as the nonlinear Schrödinger equation, the longwave-shortwave resonance equations, the Swift-Hohenberg equation or some reaction-diffusion systems. The spectral problems associated with the Hessian of the Hamiltonian about a given homoclinic orbit, then leads to a parameter-dependent family of non-autonomous linear Hamiltonian systems which can be investigated using the Maslov index and the Hörmander index.

The main result is devoted to an algebraic formula for calculating the Hörmander index of four given Lagrangian planes $Y(a), Y(b), \tilde{Y}(a), \tilde{Y}(b)$ as a difference of two comparative indices involving the transformed Lagrangian planes $Z^{-1}(a)\tilde{Y}(a), Z^{-1}(a)\tilde{Y}(b), Z^{-1}(b)\tilde{Y}(a), Z^{-1}(b)\tilde{Y}(b)$, where $Z(t)$ is a continuous symplectic matrix on $t \in [a, b]$ having $Y(t)$ as its second block column. In particular, using the definition [4-5] of the Hörmander index $s(Y(a), Y(b), \tilde{Y}(a), \tilde{Y}(b))$ as the difference of the Maslov indices $\text{Mas}(Y, \tilde{Y}(b))$ and $\text{Mas}(Y, \tilde{Y}(a))$ we prove the representation

$$s(Y(a), Y(b), \tilde{Y}(a), \tilde{Y}(b)) = \mu(Z^{-1}(a)\tilde{Y}(a), Z^{-1}(a)\tilde{Y}(b)) - \mu(Z^{-1}(b)\tilde{Y}(a), Z^{-1}(b)\tilde{Y}(b)), \quad (1)$$

where $\mu(\cdot, \cdot)$ is the comparative index according to [1]. This result is based on a generalization of the comparison theorem [2] for the Maslov index involving three Lagrangian paths. According to our knowledge, the representations of the Hörmander index in terms of the frames $Y(a), Y(b), \tilde{Y}(a), \tilde{Y}(b)$ are known only for special cases associated with different transversality conditions for the Lagrangian planes, meaning that some blocks of $Y(a), Y(b), \tilde{Y}(a), \tilde{Y}(b)$ or/and their Wronskians are nonsingular, see [5]. Formula (1) presents the Hörmander index in terms of the frames $Y(a), Y(b), \tilde{Y}(a), \tilde{Y}(b)$ for the general case.

References:

1. Eliseeva Yu. // *Differencial'nyje Uravnenija*, v. 45, №3, 2009, P. 431—444.
2. Elyseeva J., Šepitka P., Šimon Hilscher R. // *Journal of Dynamics and Differential Equations*, 2022, doi: 10.1007/s10884-022-10140-7
3. Elyseeva J., Šepitka P., Šimon Hilscher R. // *Filomat*, Serbia, 2022, to appear
4. Zhou Y., Wu L., Zhou C. // *Frontiers of Mathematics in China*, v. 13, №3, 2018, P.725—761.
5. Howard P., *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, v. 500, №1, 2021, Art. 25076, P. 1—38.

IDENTIFICATION OF A PERSON ON VIDEO FOOTAGE BASED ON THE CHARACTERISTICS OF THE STEP CYCLE USING NEURAL NETWORKS

E.E. Fomina

Tver State Technical University, Tver, Russia

170026, Tver, emb. Af. Nikitin, 22

e-mail: f-elena2008@yandex.ru

Due to the active use of video surveillance systems, the task of identifying an individual by the signs of gait becomes especially relevant. The advantage of this identification method is the possibility of conducting an examination contactless, at a remote distance from the object. Currently, various identification methods based on gait characteristics are being actively developed. They can be divided into the following groups: techniques based on the neural network approach and techniques based on the analysis of basic features [1-4]. However, due to the large number of conditions affecting the very manner of human movement and its representation in the video, the task of identifying a person by gait still does not have a sufficiently accurate solution, so the problem of developing new identification methods is relevant. The present study is devoted to the development of a methodology for identifying a person on video footage based on the characteristics of the step cycle. A comparative analysis of the characteristics of the human step cycle when moving on an electric treadmill is carried out [5]. Video recordings of volunteers walking at speeds from 3 km/h to 7 km/h were used as research materials. The videography was carried out in such a way that the complete hit of the track platform and the legs of the subject were recorded in the frame, as well as the contact with the track platform of both feet was clearly visible. The video was supplemented with accompanying information, such as gender, age, height and body weight. The analysis of the results at each speed mode was carried out using the «Light Alloy» media player and a «Software package for calculating the characteristics of the step cycle». A database was formed and the average values of such characteristics of the step cycle as the duration of the transfer period and double support as a percentage of the step cycle and seconds, the length of the step cycle in seconds, walking frequency, walking pace separately for men, women and for the entire sample as a whole were analyzed. The change of the listed indicators depending on the walking speed is investigated, the change in the step frequency with increasing speed is analyzed. The obtained results formed the basis for the development of an individual identification method based on the characteristics of the step cycle using neural networks.

References:

1. Francisco Manuel Castro, Manuel J. Marín-Jiménez, Nicolás Guil, Nicolás Pérez de la Blanca. Automatic learning of gait signatures for people identification // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10306. PP. 257–270.
2. Sokolova A., Konushin A. Gait recognition based on convolutional neural networks // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2017. Vol. XLII-2/W4. PP. 207–212.
3. Zhang X., Sun S., Li C., Zhao X., Hu Y. Deepgait: A learning deep convolutional representation for gait recognition // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10568. PP. 447–456.
4. Sokolova A.I., Konushin A.S. Methods of human identification by gait in video // Proceedings of the Institute of System Programming of the Russian Academy of Sciences. 2019. Vol. 31. No. 1. pp. 69-82.
5. Skvortsov D.V. Clinical analysis of movements. Gait analysis. – Ivanovo: Publishing house NPC, «Stimulus», 1996. - 344 p.

ISSUES OF INFORMATION INTERACTION OF EDUCATIONAL STRUCTURES
WITH FEDERAL CENTERS ON THE EXAMPLE OF THE ARCTIC REGION

T.V.Karlova^{1,2}, A.Yu Bekmeshov^{1,2}, N.M.Kuznetsova¹, M.V. Mikhailova¹,
O.A. Fomina¹, A.E. Tikhomirov², A.N.Zapolskaya²

¹Moscow State University of Technology «STANKIN»
127055, Vadkovskii lane, 3a

²Federal State Autonomous Institution of Science Institute of Design and Technological
Informatics of the Russian Academy of Sciences
127055, Moscow, Vadkovskij per., 18, building 1A

Tel.: 8-(903)-776-90-78, E-mail: karlova-t@yandex.ru

Annotation. The article is devoted to solving problems in terms of the quality and completeness of the information interaction of educational structures with federal centers and state authorities based on the creation of a single integrated information platform as part of the development strategy for the Arctic region of Russia, which involves the implementation of local educational potential.

Keywords: management, information interaction, monitoring, educational structure, information protection.

The problem lies in the lack of a unified information platform for monitoring databases of industry-specific areas of scientific research in the field of higher education in the Arctic zone of the Russian Federation.

Today, the interaction between educational structures and government departments is carried out within the framework of five or six automated information systems that are not connected by a single architecture.

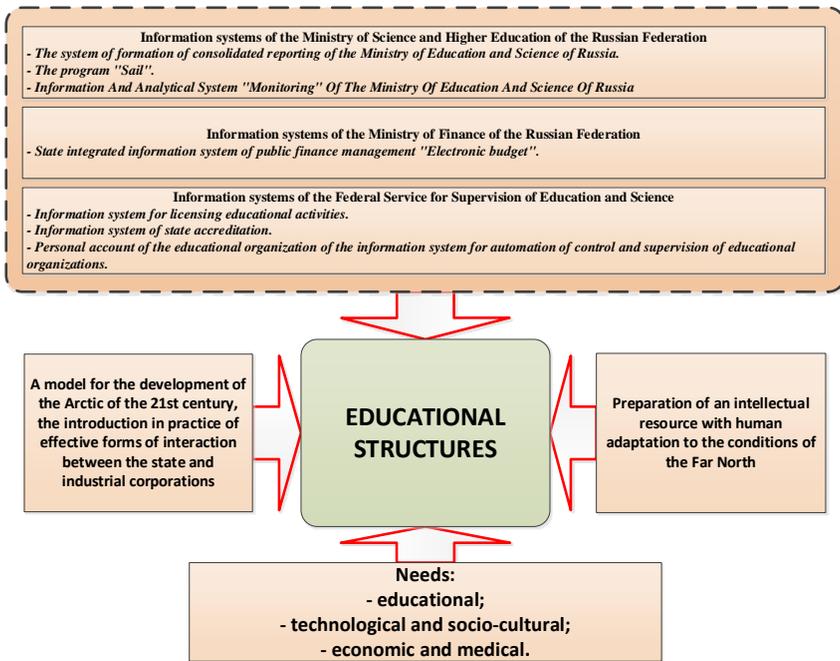
Difficulties in providing data lie in the lack of a single degree of integration and technological capabilities for the implementation of information and analytical tools.

The redundancy of the required information not only loads the system, but also makes it impossible to pay attention to the scientific aspects related to the achievement of the main professional goal.

The low level of development of the information and communication infrastructure does not allow full interaction with the authorities that manage within the framework of the implementation of state tasks.

Drawing 1 shows a fragment of the structure for managing the interaction between federal services and organizations engaged in educational activities.

Drawing 2 shows a brief structure of interaction between federal services and educational structures. Analyzing the structure, we can conclude that the need to organize a single information platform that combines a database to improve technological, socio-cultural, economic and medical areas will make it possible to increase the management efficiency of real interaction between the state and industrial corporations. In addition, it will increase the degree of preparation of the intellectual resource, ensuring a decent standard of living for qualified specialists in the Far North.



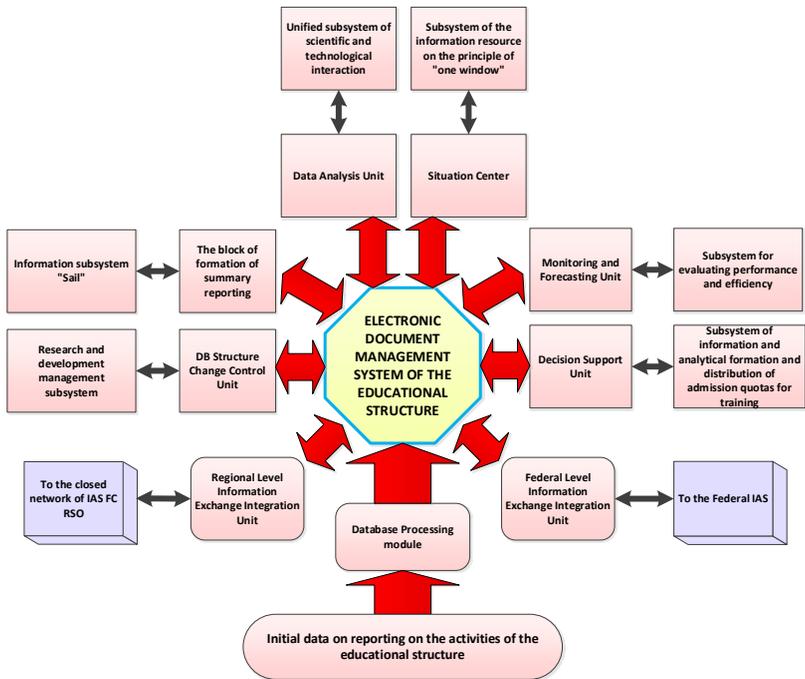
Dwg. 1 - A fragment of the structure for managing the interaction of federal services and organizations engaged in educational activities

Determining the priorities for the implementation of projects in accordance with the Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035 [1], it is the problem of training highly qualified personnel to solve the problems of their own region in the conditions of the north is the most relevant.

The functional scheme of network interaction management is considered from the point of view of active involvement of state corporations for the formation of technological platforms supporting the development of network technologies.

This platform is developed according to the system principles of data processing units with different hierarchical structure, including:

- a single subsystem of scientific and technological interaction (data analysis unit);
- information resource subsystem according to the principle of one window (situational block);
- information subsystem "Sail" (block for the formation of consolidated reporting);
- R&D management subsystem (block for managing changes in the database structure);
- subsystem for evaluating performance and efficiency (monitoring and forecasting unit);
- subsystem of information-analytical formation and distribution of admission quota for training;
- block of integration of information exchange at the regional level;
- database processing module;
- block of integration of information exchange at the federal level;
- initial data on the reporting of the educational structure.



Dwg. 2 - Functional diagram of the organization of network interaction (a fragment of the platform for interaction between government departments and educational institutions)

Local educational potential, as the development of the Arctic region's own resource, should be taken into account in the overall structure of interaction with government departments.

Conclusions

Solving the problems on the problem of information interaction of educational structures with federal centers and state authorities based on the creation of a single integrated information platform is one of the most important stages in the development and sustainable development of the Arctic region, which involves the implementation of local educational potential.

References:

1. On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and Ensuring National Security for the Period up to 2035 /
Url:<http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102888023>
2. Karlova T.V., Egorova M.S. Socio-economic aspects of the industrial development of the Russian regions of the Arctic / Section "Economic and social problems in mechanical engineering" // Bulletin of MSTU "STANKIN". Scientific peer-reviewed journal. M.: MSTU "STANKIN", No. 1 (28), 2014. - p. 160-163. ISSN 2072-3172

3. Karlova T.V., Aleshko R.A., Bekmeshov A.Yu., Vasendina I.S., Guryev A.T., Shoshina K.V., Schenikov V.S. Monitoring and control system for spatial heterogeneous objects (on the example of the Solovetsky Archipelago) / Scientific and technical journal "Bulletin of the Bryansk State Technical University" July-September No. 3 (43) 2014 // Publishing House of the Bryansk State Technical University, 2014, p. 104-107. ISSN 1999-8775
4. T.V. Karlova, M.S. Egorova Problems of the economic development of the Arctic and methods of managing them / All-Russian conference "Information technologies, quality management, information security" // Quality magazine. Innovation. Education "- No. 5 volume II, 2015. - M. : FSUE Izvestia Publishing House, UD PRF, 2015. - p. 344 – 347. ISSN 1999-513X
5. Aleshko R.A., Batrakov N.M., Guryev A.T., Karlova T.V., Sheptunov S.A., Shoshina K.V. Modern approaches to the study of Arctic ecological systems / Scientific and technical journal "Bulletin of the Bryansk State Technical University" No. 4 (48) 2015 // Publishing House of the Bryansk State Technical University, 2015, p. 155 – 159. ISSN 1999-513X
6. Karlova T.V., Nadykto A.B., Pletnev L.V., Mikhailova M.V., Bekmeshov A.Yu., Egorova M.S., Kazarova T.V., Guriev A.T., Lapushkina L. .I., Romanova E.Yu. Problems of environmental safety and improving the quality of life of the population of the Arctic / Collection of works of the laureates of the International competition of scientific, scientific, technical and innovative developments aimed at the development and development of the Arctic and the continental shelf in 2018. - M.: Ministry of Energy of the Russian Federation, Development Technologies LLC, 2018. - p. 163-166. ISBN 978-5-7688-1149-5
7. NM Kuznetsova, TV Karlova, SA Sheptunov Automation of Data Defense Processes in the Corporation Information Systems / Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS) September, 24-30, 2017 – Proceedings Edited by S.Shaposhnikov 2017 St.Peterburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", p. 199-202. ISBN 978-1-5386-0703-9.
8. Tatyana V. Karlova, Alexander Y. Bekmeshov, Natalia M. Kuznetsova. Protection the Data Banks in State Critical Information Infrastructure Organizations / Proceedings of the 2019 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), Sochy, Russia // Proceedings Edited by S. Shaposhnikov, St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", 2019, ISBN 9781728125947.

OVERVIEW OF METRICS AND CHARACTERISTICS OF INFORMATION SYSTEMS NEEDED TO SOLVE THE PROBLEM OF OFFLOADING

M. D. Kononov

Federal State Autonomous Institution of Science Institute of Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences

127055, Moscow, Vadkovskij per., 18, building 1A

Tel.: 8-(985)-777-54-93, E-mail: m.kononov98@yandex.ru

Abstract: this article provides an overview of metrics, external and internal characteristics of the information system related to the problem of unloading the system of edge and fog computing. The purpose of the work is to determine, based on a review of publications, the main metrics and characteristics of the system necessary for setting the task of unloading the work of the information system of edge, fog and cloud computing. At the moment, Internet of Things technologies are widely used in industry, in the design of smart cities and digital twins. But with such an increase in the number of information sources, the question arises about the rational use of resources for storing and processing information. In this regard, the question arises about the development of methods for unloading information systems.

Keywords: offloading task, offloading evaluation metrics, internet of things, fog computing, cloud computing, edge computing.

Today, due to the growing amount of data received from various devices: smartphones, components of the Internet of Things system, self-driving cars, augmented and virtual reality systems, telematics systems, etc., new requirements for data storage and processing systems are emerging. Technologies and methods of unloading these systems allow you to cope with the resource constraints that are characteristic of these systems. At the moment, various approaches have been proposed to help make more informed decisions about whether, where, when and to what extent unloading should be carried out, as well as to improve the efficiency of the unloading process. This article will analyze the metrics for assessing the unloading of an information system, the external and internal characteristics of unloading an information system, necessary for further development of an information system unloading strategy.

Description of metrics

When offloading calculations, important indicators that affect the overall efficiency and costs of the system include: energy consumption, latency, Quality of Service QoS (Quality of Service), quality of user experience QoE (Quality of Experience), response time and cost.

Energy consumption

For local computing, it is assumed that the central processor on each device operates at the operating frequency of the processor f . The energy consumption for each processor cycle can be represented using formula 1:

$$E_{cyc} = \xi f^2, \quad (1)$$

where ξ is a constant that depends on the board type [1].

You can also determine the operating frequency of the processor for performing one task during one time interval can be determined using the formula 2:

$$f = wC/\tau, \quad (2)$$

where w is the number of processor cycles required to process a single bit of data, With the number of input data bits for a single task.

The amount of energy consumed during the execution of a single task on a local device can be expressed using the formula 3:

$$E_{loc} = wCE_{cyc} = wC\xi f^2 = \xi w^3 C^3 / \tau^2. \quad (3)$$

In the process of offloading calculations, the availability of uplinks for transmitting code bits to a remote computing server is random for local devices. The speed of data transfer to the server can be represented using the formula 4:

$$R_i(t) = W \log_2(1 + p_i h_i(t)), \quad (4)$$

where $h_i(t)$ is the channel state for i -th device at a given time t , p_i – channel power i -th device, W -width of the data transmission channel.

Therefore, the discharge energy required for successful transmission of these bits by device i can be formulated as follows using formula 5:

$$E_{off}(h_i(t)) = \frac{p_i C}{R_i(t)}. \quad (5)$$

In addition, the total energy consumption for each device in a certain time period can be formulated as follows: using formula 6:

$$E_i(t) = \begin{cases} w^3 C^3 / \tau^2, & u_i(t) = loc, \\ p_i C / R_i(t), & u_i(t) = off, \\ 0, & u_i(t) = no. \end{cases} \quad (6)$$

Here $u_i(t)$ denotes the status update action for i -th device at a given time t . In this model, $E_i(t) \leq E_i^{max}$, where E_i^{max} is the maximum energy consumption for performing a single task is i - on the device.

Delay

Task execution delay is defined as the sum of the delay caused by local execution, remote execution, offload delay, which is the time taken for the remote server to receive the execution request, and the delay in receiving the server response by the local device. A detailed description and formulations are presented in [2]. In addition, some articles present a trade-off between power consumption and system latency. [3].

Quality of Service (QoS) and Quality of User Experience (QoE)

In some cases, it may be difficult to calculate these metrics. QoE is a qualitative indicator focused on the user in the context of providing the required set of services and service level. To determine the quality of user service, various methods currently exist, such as the

Mean Opinion Score (MOS), the Standard deviation of Opinion Scores (SOS), and the Net Promoter Score (NPS) [4].

Response time

When offloading calculations, the response time, which is a measure of performance, is represented as the total time to load a task from a local device to a remote server and get the correct response on the local device. The difference between response time and system latency is that in the first case, it is the total time to send the command and receive the response, and in the second case, it is the time taken to receive the transmitted request at the destination. A detailed description and formulations are presented in [3, 5].

Cost

For a system offload task, the cost is defined as the total cost of performing each task locally and remotely. This metric depends on the location of the task being used, the response time of the task, and the number of requests to complete the task [6]. In computing environments, total execution costs include the cost of local execution and the cost of remote execution, taking into account processing latency and buffering [7].

External characteristics of unloading

External characteristics include the benefit of use, the state of the wireless communication channel, the propagation path, and the dependence on latency.

Benefits of using it

The benefits of offloading can be expressed as a user benefit, in the form of energy savings, user satisfaction, and scalability. Offloading can increase the user's profit by optimizing the costs incurred by intermediary devices for users from the source of requests to the destination, i.e., the remote server. In addition, users can delegate their resource-intensive operations to remote servers and thus improve QoS and QoE performance. Because of resource-intensive delegation For high-power tasks to remote and local servers, users can continue to run their apps without worrying about the battery life of their devices. In addition, scalability makes it easy to handle existing applications and platforms, and also new and growing requirements.

Wireless link status

The position of the wireless channel is an important factor to consider when unloading models. The availability pattern of a typical channel can be considered stochastic or deterministic. The first one sometimes available, while the second one should always be available [8].

Distribution path

Unloading routing can be classified into direct and indirect routing. In the first case, the calculations are performed entirely on the remote server in full without using the computing resources of the local storage. This type of routing is the easiest to implement, but inefficient. In the case of indirect routing, we use the resources of intermediate participants, the resources of local servers.

With a significant number of requests and an increase in the load on the local server, tasks are reallocated to other servers. Calculations take place at the local server level, which

can be considered an example of edge and fog computing, or at a higher level, i.e. calculations take place on remote servers, which is an example of cloud computing.

Delay dependency

Taking into account the request latency restrictions, unloading requests can be classified into delay-sensitive and non-delay-sensitive ones. In the first case, the response time is considered as the highest priority indicator. In the latter case, the response time is not very important, but other indicators are taken into account, such as energy consumption [9].

Internal characteristics

Internal characteristics of the system unloading process include: dynamics and global decision-making about unloading, algorithm type, granularity, system architecture, schedule type, and request content.

Decision levels

The decision-making process for unloading can be performed locally or globally. In the local schema, the decision is made based on the state of mobile users. In the global schema, the decision is made taking into account the state of the entire system. In this scheme, the decision to unload can be made using reactive, proactive, or hybrid methods. In reactive methods, unloading occurs based on the current situation with mobile users, applications, and the network; in proactive methods, unloading occurs in accordance with the current situation with mobile users, applications, and the network. both existing and upcoming user situations, applications and the network [10].

Types of algorithms

Algorithms can be classified into heuristic and metaheuristic types. In the literature on unloading, it is assumed that heuristic algorithms, as a rule, have problem dependencies, which contributes to the search for an optimal solution. In contrast, metaheuristic algorithms with high-level structures are independent of the problem at hand and try to present general approaches that assume that the solution is a black box. Metaheuristic methods include unloading optimization algorithms based on genetic algorithms and evolutionary algorithms [11–13]. Optimization algorithms are also divided into continuous optimization, multi-objective optimization, and stochastic optimization [11].

Granularity

Granularity is a characteristic of splitting a task or process to execute. There is binary unloading and partial unloading, i.e., unloading in parts. With binary unloading, the transmitted application is treated as an integer or nothing is processed. Due to some restrictions, such as costs. However, there is a need for partial unloading [14].

System architecture

As far as architecture is concerned, offloading methods can be divided into centralized, distributed, and hybrid. Various types of optimization, task allocation, and resource allocation planning can be performed using centralized strategies, in which the central entity acts as the decision maker for completing the task [15]. Given some limitations, such as privacy, sometimes mobile ecosystem users are not interested in sharing their decision-making strategies with others. In such situations, decision-making and scheduling is performed by each party in a distributed manner [16,17].

Schedule type

Unloading can be performed offline, online, or in stochastic mode. In offline mode, the unloading schedule is formed in advance before the application starts executing. First of all, this is due to the fact that the speed of incoming requests is known in advance. When using an online schedule, we create an offload schedule during application execution. When requests are received in random order, you must use a hybrid schedule type that includes the principles of offline and online schedules [18].

Request contents

The request may contain data that needs to be saved, or an application that needs to be executed. Applications can come in the form of code, a container, or a virtual machine. A container is a platform for creating applications for virtualization at the operating system level. The approach that uses virtual machines is applicable when initializing the service takes a significant amount of time. However, approaches to unloading virtual machines and containers are associated with additional overhead costs and affect system efficiency, which should be carefully considered when implementing the model [19].

Conclusion

This article presents the metrics necessary for evaluating the optimization of the information system, i.e. its unloading. The following metrics were identified: power consumption, latency, quality of service QoS, quality of user experience QoE, response time, and cost.

External and internal characteristics of information system unloading were also highlighted. External characteristics include: usage benefit, state of the wireless communication channel, propagation path, and latency dependence. Internal characteristics of the system unloading process include: dynamics and global decision-making about unloading, algorithm type, granularity, system architecture, schedule type, and request content.

All the above metrics for evaluating unloading, as well as unloading characteristics, make it possible to build a design strategy for unloading algorithms based on optimization methods, as well as compare unloading algorithms.

References:

1. Liu, L., Qin, X., Zhang, Z., Zhang, P.: Joint task offloading and resource allocation for obtaining fresh status updates in multi-device MEC systems. *IEEE Access* 8, 38248–38261 (2020). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.2976048>
2. Huang, L., Feng, X., Zhang, C., Qian, L., Wu, Y.: Deep reinforcement learning-based joint task offloading and bandwidth allocation for multi-user mobile edge computing. *Digit. Commun. Netw.* 5(1), 10–17 (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dcan.2018.10.003>
3. Zhang, J., Hu, X., Ning, Z., Ngai, E.C.H., Zhou, L., Wei, J., Cheng, J., Hu, B.: Energy-latency tradeoff for energy-aware offloading in mobile edge computing networks. *IEEE Internet Things J.* 5(4), 2633–2645 (2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JIOT.2017.2786343>
4. Mahmud, R., Srirama, S.N., Ramamohanarao, K., Buyya, R.: Quality of Experience (QoE)-aware placement of applications in Fog computing environments. *J. Parallel Distrib. Comput.* 132, 190–203 (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.03.004>
5. Wu, S., Xia, W., Cui, W., Chao, Q., Lan, Z., Yan, F., Shen, L.: An efficient offloading algorithm based on support vector machine for mobile edge computing in vehicular

- networks. In 2018 10th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP) (pp. 1–6). IEEE (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WCSP.2018.8555695>
6. De Maio, V., Brandic, I.: Multi-objective mobile edge provisioning in small cell clouds. In Proceedings of the 2019 ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering (pp. 127–138). ACM (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3297663.3310301>
 7. Li, L., Siew, M., Quek, T.Q., Ren, J., Chen, Z., Zhang, Y.: Learning-based priority pricing for job offloading in mobile edge computing. arXiv preprint arXiv:1905.07749 (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3297663.3310301>
 8. Hu, M., Wu, D., Wu, W., Cheng, J., Chen, M.: Quantifying the Influence of Intermittent Connectivity on Mobile Edge Computing. IEEE Trans. Cloud Comput. (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCC.2019.2926702>
 9. Samanta, A., Chang, Z.: Adaptive service offloading for revenue maximization in mobile edge computing with delay-constraint. IEEE Internet Things J. 6(2), 3864–3872 (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JIOT.2019.2892398>
 10. Gu, F., Niu, J., Qi, Z., Atiquzzaman, M.: Partitioning and offloading in smart mobile devices for mobile cloud computing: State of the art and future directions. J. Netw. Comput. Appl. 119, 83–96 (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2018.06.009>
 11. Sörensen, K., Glover, F.: Metaheuristics. Encyclopedia of operations research and management science, 62, pp. 960–970 (2013). DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-1153-7_1167
 12. De Maio, V., Brandic, I.: Multi-Objective Mobile Edge Provisioning in Small Cell Clouds. In Proceedings of the 2019 ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering (pp. 127–138). ACM (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3297663.3310301>
 13. Liu, J., Zhang, Q.: Code-partitioning offloading schemes in mobile edge computing for augmented reality. IEEE Access 7, 11222–11236 (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2891113>
 14. Huang, L., Bi, S., Zhang, Y.J.: Deep reinforcement learning for online computation offloading in wireless powered mobile-edge computing networks. IEEE Trans. Mob. Comput. (2019). DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.01977>
 15. Tout, H., Talhi, C., Kara, N., Mourad, A.: Smart mobile computation offloading: Centralized selective and multiobjective approach. Expert. Syst. Appl. 80, 1–13 (2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2017.03.011>
 16. Chen, Z., Wang, X.: Decentralized computation offloading for multi-user mobile edge computing: A deep reinforcement learning approach. arXiv preprint arXiv:1812.07394 (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13638-020-01801-6>
 17. Jošilo, S., Dán, G.: Decentralized scheduling for offloading of periodic tasks in mobile edge computing. In 2018 IFIP Networking Conference (IFIP Networking) and Workshops (pp. 1–9). IEEE (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.23919/IFIPNetworking.2018.8696507>
 18. Atoui, W.S., Ajib, W., Boukadoum, M.: Offline and online scheduling algorithms for energy harvesting RSUs in VANETs. IEEE Trans. Veh. Technol. 67(7), 6370–6382 (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TVT.2018.2797002>
 19. Wu, S., Niu, C., Rao, J., Jin, H., Dai, X.: Container-based cloud platform for mobile computation offloading. In 2017 IEEE international parallel and distributed processing symposium (IPDPS) (pp. 123–132). IEEE (2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IPDPS.2017.47>

SEMICLASSICAL ASYMPTOTICS FOR THE NONLINEAR SCHRÖDINGER EQUATION WITH A NONHERMITIAN PART

A.E. Kulagin^{1,2}, A.V. Shapovalov^{3,4}

¹ Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

634050, 30 Lenin av.

e-mail: aek8@tpu.ru

² V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

634055, 1 acad. Zuev sq.

³ Tomsk State University, Tomsk, Russia

634050, 1 Novosobornaya sq.,

Tel.: (+7 3822)529843, e-mail: shpv@phys.tsu.ru

⁴ Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

634050, 40 Lenina av.

Abstract: We propose the original semiclassical approach to the solving the Schrödinger equation with a nonlocal nonlinearity and nonhermitian part. The approach is based on ideas of the Maslov complex germ method. Within the framework of our method, we reduce the Cauchy problem for the original nonlinear Schrödinger equation with a dissipation term to the auxiliary dynamical system of ordinary differential equations. The formalism is illustrated with the model equation of the atomic laser.

Keywords: nonlinear Schrödinger equation; dissipation; nonhermitian part; semiclassical asymptotics.

Great variety of nonlinear phenomena in matter-wave and optical media are modelled based on generalizations and modifications of the nonlinear Schrödinger equation (NLSE). A significant share of theoretical research based on NLSE is associated with nonlinear optics [1], the physics of Bose–Einstein condensates [2], including the dynamics of quantum vortices [3] and other areas of nonlinear physics. Mathematical models of such systems are often based on the NLSE considered in the multidimensional space-time with variable coefficients responsible for the external fields of the traps.

In real conditions, quantum systems interact with the environment. In many-particle quantum systems, this interaction is dissipative, weakening the coherence in the system and, accordingly, blurring the manifestation of pronounced quantum properties. On the other hand, the combination of dissipative effects with quantum ones gives rise to new scenarios of behavior in nonlinear systems. This causes interest in the study of dissipative phenomena in nonlinear quantum systems, primarily BEC and nonlinear optical ones that has been the subject of detailed studies in many publications. The dissipative nature of processes leads to the NLSE with

nonhermitian part. It further complicates the mathematical problem under consideration. Thus, the rigorous mathematical analysis of such complex systems requires the use of asymptotic methods.

We propose the original method of semiclassically concentrated states for the problem under consideration. Our approach is based on ideas of the Maslov complex germ method [4] and generalizes results of [5]. The method is applied to the Cauchy problem for the generalized multi-dimensional NLSE with a nonhermitian part and a nonlocal form of nonlinearity. Within the semiclassical approximation, the analytical form of the nonlinear evolution operator for the NLSE is obtained. The construction of the semiclassical solutions is reduced to solving the auxiliary dynamical system of ODEs.

The formalism proposed is illustrated with the simple example that corresponds to the mathematical model of the atomic laser accounting the interaction of condensed and uncondensed atoms of a gas. The NLSE with the nonhermitian part corresponding to this model turned out to be integrable within our semiclassical approach.

This research was funded by Russian Foundation for Basic Research (RFBR) and Tomsk region grant number 19-41-700004.

References:

1. Lederer F., Stegeman G. I., Christodoulides D. N., Assanto G., Segev M., and Zilberberg Y.. Discrete solitons in optics // *Physical Reports*. 2008. Vol. 463. Issues 1-3. P. 1–126.
2. Dalfovo F., Giorgini S., Pitaevskii L. P., and Stringari S. Theory of Bose-Einstein condensation in trapped gases // *Rev. Mod. Phys.* 1999. Vol. 71. No. 3. P. 463–512.
3. Fetter A. L. and Svidzinsky A. A. Vortices in a trapped dilute Bose-Einstein condensate // *J. Phys.: Condens. Matter*. Vol. 13. No. R135. 2001.
4. Maslov V. P. *The Complex WKB Method for Nonlinear Equations. I. Linear Theory*. Basel: Birkhauser Verlag, 1994. 304 p.
5. Belov V. V., Trifonov A. Yu., Shapovalov A. V. The trajectory-coherent approximation and the systems of moments for the Hartree type equation // *Int. J. Math. and Math. Sci.* Vol.32. No. 6. 2002. P. 325-370.

AUTOMATION OF THE COLLECTION, STORAGE AND PROCESSING THE INFORMATION RELATED TO THE DEVELOPMENTS OF HIGH-TECH INDUSTRIAL PRODUCTS OF HIGH-RISK

N.M. Kuznetsova¹, T.V.Karlova^{1,2}, A.Yu Bekmeshov^{1,2}, M.V. Mikhailova¹

¹Moscow State University of Technology «STANKIN»
127055, Vadkovskii lane, 3a

²Federal State Autonomous Institution of Science Institute of Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences
127055, Moscow, Vadkovskij per., 18, building 1A

Tel.: 8-(903)-581-80-15, E-mail: knm87@mail.ru

Annotation. Modern society is faced with the problem of security. It is extremely important to solve the actual problem of timely detection and recognition the danger of using the latest technologies. The article is devoted to threats detection technique based on the automation of collection, storage and processing the information related to the development of high-tech industrial products of high-risk.

Key words: automation, security, Sociology, data collection, data storage, database.

In the case when the latest technologies are used by modern enterprises, most business processes are controlled. However, there are also situations in which:

- a group of employees plans to implement an information security threat (internal intruders);

- «offended» fired employees try to harm (external intruders) [1-4];

- In addition to the main activity, the organization is engaged in «shadow» developments (including using the main activity as a «legend»).

In addition, the so-called handicraft industries, which are not legal entities at all, could use the latest technologies.

Figure 1 shows the diagram of use the latest technologies by enterprises, made by IDEF0-notation.

Important features of the diagram are:

- independence from the type of the used latest technologies;

- applicability to all of the above situations.

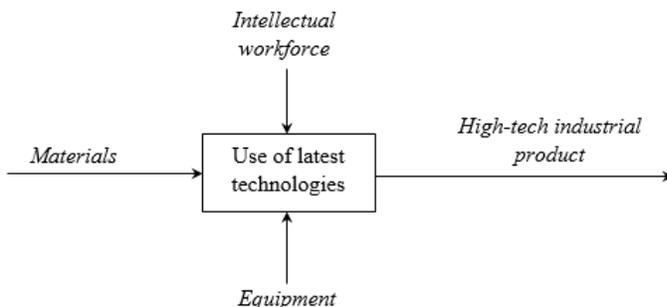


Figure 1. The diagram of use the latest technologies by enterprises

In case when the enterprise (organization) hides the fact of use the latest technologies, it could be identified through the analysis of information of:

- materials consumed by the enterprise;
- equipment, used on enterprise;
- employees.

Each technology is characterized by the use of specific materials and equipment. In addition, it is important to involve the specialists who has knowledge in the relevant subject area.

Therefore, to identify the facts of use the latest technologies it is necessary to implement monitoring and analysis of data:

- materials market;
- equipment market;
- labor market.

Monitoring and analysis the data of materials and equipment markets could be provided by:

- maintenance of databases (further – DB) of materials and equipment markets;
- obtaining information from The Federal Customs Service (further – FCS) [5];
- obtaining information from The Federal Tax Service (further – FTS) [6];

Figure 2 shows the scheme of collection, storing and processing the information about materials and equipment markets of automated system of analysis the information related to the development of high-tech industrial products of high-risk (further – ASAIRD).

According to Figure 2, ASAIRD receives the information from external sources, which could be:

- open data from FCS and FTS;
- open data from equipment and materials markets, etc.

Further the information from modules of collection moves to DBs of materials and equipment.

The fields of main table of materials DB are shown in table 1, the fields of main table of equipment DB are shown in table 2.

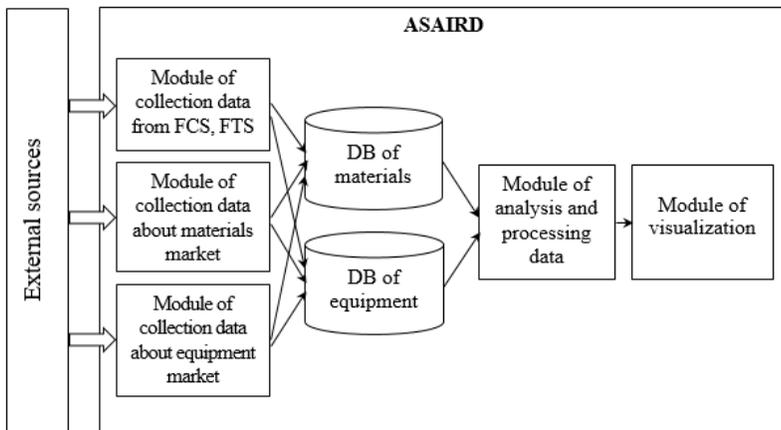


Figure 2. The scheme of collection, storing and processing the information about materials and equipment markets of ASAIRD

T a b l e 1 – The fields of main table of materials DB

| Key | Name | Type | Description | |
|-----|------|---|-------------|---|
| 1 | + | Unique identifier the fact of interest in materials | UID | Short description of the fact of interest in materials |
| 2 | | Type the material of interest | Complex | Description of the materials of interest |
| 3 | | Subject of interest | Complex | Legal entity or person, who interested in the materials |
| 4 | | Address of interest | Text | Localization of interest (territorial location of the object of interest) |
| 5 | | Time of interest | Date | Date and time of detection of fact of interest in materials |

T a b l e 2 – The fields of main table of equipment DB

| | Key | Name | Type | Description |
|---|-----|---|---------|---|
| 1 | + | Unique identifier the fact of interest in equipment | UID | Short description of the fact of interest in equipment |
| 2 | | Type the equipment of interest | Complex | Description of the equipment of interest |
| 3 | | Subject of interest | Complex | Legal entity or person, who interested in the equipment |

| | | | | |
|---|--|---------------------|------|---|
| 4 | | Address of interest | Text | Localization of interest (territorial location of the object of interest) |
| 5 | | Time of interest | Date | Date and time of detection of fact of interest in equipment |

Equipment and materials are the objects of interest. The subjects of interest in both cases are legal entities (organizations, enterprises, etc.) or persons. In DBs of objects and subjects there is a special type of data – complex type. Table 3 shows the fields of BD «Subjects of interest», table 4 shows the fields of DB «Objects of interest».

T a b l e 3 – The fields of BD «Subjects of interest»

| | Key | Name | Type | Description |
|---|-----|---|------|---|
| 1 | + | Unique identifier the subject of interest | UID | Short description of subject of interest |
| 2 | | Name of subject of interest | Text | Full Name / Name of organization |
| 3 | | Type of subject of interest | Text | Organization / Person |
| 4 | | Description of subject of interest | Text | Detailed description of subject interest (date of birth for type «Person», history of organization for type «Organization», etc.) |
| 5 | | Address of subject of interest | Text | Localization of interest (territorial location of the subject of interest) |

T a b l e 4 – The fields of BD «Objects of interest»

| | Key | Name | Type | Description |
|---|-----|---|------------|---|
| 1 | + | Unique identifier the object of interest | UID | Short description of object of interest |
| 2 | | Name of object of interest | Text | Name of material / Name of equipment |
| 3 | | Type of object of interest | Text | Material / Equipment |
| 4 | | Description of object of interest | Text | Detailed description of object interest (in which industry could be used, expiration dates, etc.) |
| 5 | | List of addresses of sources of objects of interest | List<Text> | Localization of interest (territorial location of the of sources of objects of interest) |

As sources of objects of interest could be suppliers of materials/equipment, which also could be placed in table «Subject of interest».

Figure 3 shows the scheme of relationships between the tables of materials, equipment, subjects and objects of interests.

It is important to say, that tables «Subjects of interests» should be the same for each DB to improve the efficiency of ASAIRD. In this case the analysis of facts of interests would be more accurate. In addition, it is possible to match the facts of interests in the materials and equipment by the same subjects.

Conclusion

The described in the article methods of collection, storage and processing the information about suppliers of equipment and materials would allow to maximize the level of security, timely detect the violations of the law and prevent from Advanced Persistent Attacks [7].

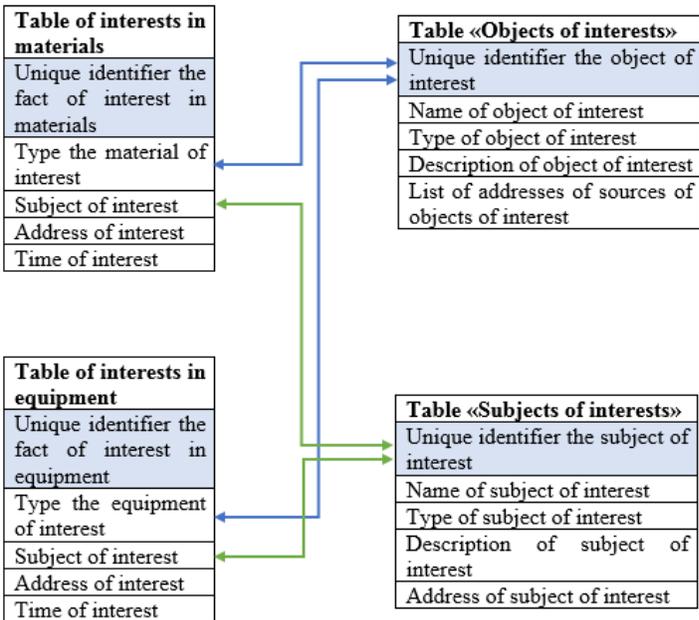


Figure 3. The scheme of relationships between the tables of materials, equipment, subjects and objects of interests

References:

1. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Y. Solving the Problem of Automating the Processes of Protecting Strategically Important Enterprise Resources from Complex Cyberattacks Based on an Analysis of the Tactics of Intruders / Scientific and technical journal «Bulletin of the Bryansk State Technical University» № 7 (92) 2020 // Publishing

- House of the Bryansk State Technical University, 2020. – pp. 48 – 53.
<https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-7-48-53>
2. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Y. Building a Digital Twin of the Main Automated Systems of an Industrial Enterprise in Order to Determine the Level of Information Security / ERGODESIGN // Bryansk State Technical University (Bryansk) № 2(12) 2021, pp. 97 – 102, eISSN: 2658-4026, DOI: 10.30987/2658-4026-2021-2-97-102.
 3. Tatyana V. Karlova, Alexander Y. Bekmeshov, Natalia M. Kuznetsova. Protection the Data Banks in State Critical Information Infrastructure Organizations / Proceedings of the 2019 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), Sochy, Russia // Proceedings Edited by S. Shaposhnikov, St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2019, ISBN 978-1-7281-2594-7.
 4. N.M. Kuznetsova, T.V. Karlova, S.A. Sheptunov Automation of Data Defence Processes in the Corporation Information Systems / Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS) September, 24-30, 2017 – Proceedings Edited by S.Shaposhnikov 2017 St.Peterburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", c. 199-202. ISBN 978-1-5386-0703-9
 5. The Federal Customs Service URL: customs.gov.ru (accessed 01.12.2022)
 6. The Federal Tax Service URL: nalog.gov.ru (accessed 01.12.2022)
 7. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Y. Classification of Computer Attacks on Automated Systems of Industrial Enterprises / Periodical scientific and practical journal «Quality. Innovation. Education» – № 4 (162) July-August, 2019. – М.: FSUE Izvestia Publishing House, 2019. – pp. 54 – 59. ISSN: 1999-513X. DOI: 10.31145/1999-513x-2019-4-54-59.

**APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING METHODS FOR EVALUATE
THE EFFICIENCY OF AUTOMATED SYSTEMS FOR THE PROTECTION OF
INTELLECTUAL RESOURCES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

N.M. Kuznetsova¹, T.V.Karlova^{1,2}, A.Yu Bekmeshov^{1,2}, A.S. Sheptunov²

¹Moscow State University of Technology «STANKIN»
127055, Vadkovskii lane, 3a

²Federal State Autonomous Institution of Science Institute of Design and Technological
Informatics of the Russian Academy of Sciences
127055, Moscow, Vadkovskij per., 18, building 1A

Tel.: 8-(903)-581-80-15, E-mail: knm87@mail.ru

Annotation. Modern automated protection systems used in industrial enterprises are the complex structured objects. Its' complexity is determined by the variety of ways of storing, transmitting and processing the protected information resources, as well as the complexity of the main automated systems of the enterprise. According to this, the determining and evaluating the efficiency of these systems is the actual problem. The article is devoted to development of methods for evaluating the efficiency of automated protection systems using mathematical methods.

Key words: mathematical modeling, data protection, intellectual resource, information security, intruder model.

The most rational solution is to build automated protection systems simultaneously with the design of the main automated systems of an industrial enterprise. In addition, it is important to timely modernize the protection system in case of any changes in the structure and principles of operation of the main automated systems. Thus ensuring the maximum level of the information security of the enterprise. However, the application of this principle involves increasing the complexity of the structure and functioning of the automated protection systems, which in turn affects the efficiency of its work.

For evaluation the efficiency of automated system for protection information resources of an industrial enterprise (further – ASPIRIE) it is necessary to use reliable and convenient methods for determining the current level of information security. The application of mathematical modeling methods would allow to carry out the most accurate calculation the protection degree of enterprise information resources, as well as to evaluate the efficiency of ASPIRIE [1-5].

For evaluating the efficiency of ASPIRIE it is important to:

- create the mathematical model of main automated systems of industrial enterprise;
- create the mathematical model of ASPIRIE;
- create intruder model:
 - a) external intruder;
 - b) internal for the main automated systems intruder;
 - c) internal for ASPIRIE intruder.

When building the models of the automated systems (ASPIRIE and main enterprise's automated systems), it is necessary to take into account:

- data streams (input, output, internal);
- features of the modules, including the features of their interaction;

- list and range of correct parameters of modules operation (for example, processor load, network traffic, etc.).

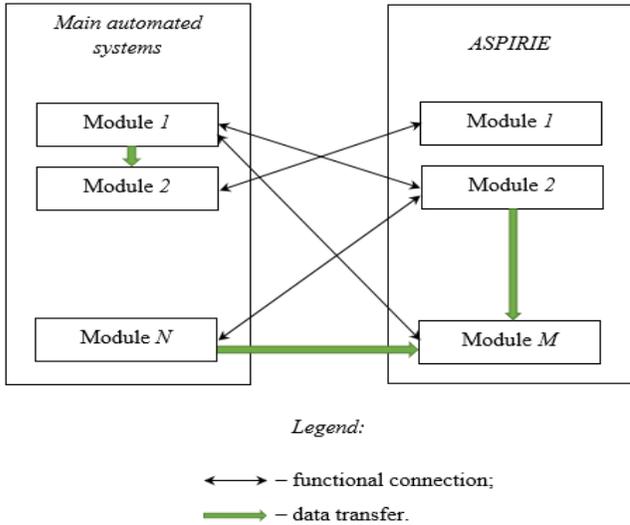


Figure 1. The example of ASPIRIE mathematical model

It is important to note that due to the complexity and hierarchical nature of the described structures, the IDEF0, IDEF3, UML, etc. tools could be used to model the interaction between the ASPIRIE modules and the modules of the main automated systems of an enterprise.

Modeling the operation of automated system for protection information resources of an industrial enterprise

For the mathematical model of ASPIRIE operating, the input data are:

- actions of intruders;
- changes of external environmental parameters (wetness, temperature, etc.);
- changes of parameters of the main automated systems of the enterprise (parameters of the «internal» environment).

During the simulating of ASPIRIE operation, it is important to enumerate all possible combinations of input parameters.

To form a set of intruders’ actions, it is necessary to determine a set of attack vectors [6-8].

In addition, it is important not only to form a set of attack vectors, but also to «generate» sequences from them. Further, for each sequence, it is also necessary to consider the changes in the parameters of the external environment, as well as many modifications of the parameters of the main automated systems of the enterprise. Formula 1 describes the calculation of all variants of combinations of attack input parameters.

$$W = \sum_{i=0}^m AttackVector_i \times \sum_{j=0}^n Env_j \times \sum_{k=0}^p Mod_k \tag{1}$$

Where:

- $AttackVector_i$ – attack vector i ;

- Env_j – modification of one external environment parameter j ;

- Mod_k – modification of one parameter of main automated system k .

Figure 2 shows the scheme for forming the input data for the model of ASPIRIE.

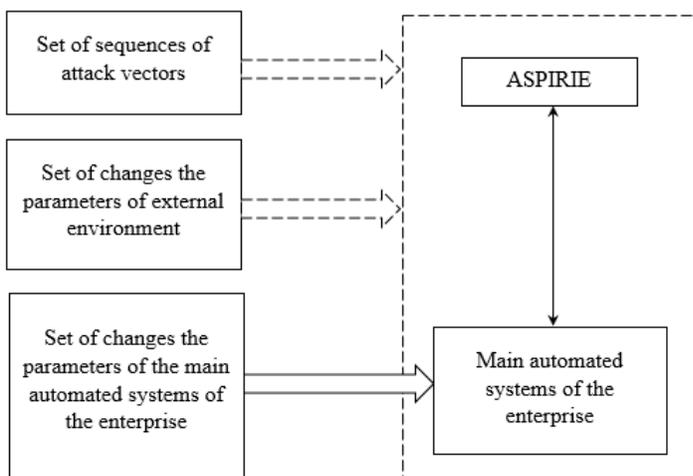


Figure 2 – Scheme for forming the input data for the model of ASPIRIE

The output data will be the parameters of the level of protection of enterprise resources, including the main automated systems of the enterprise. According to these parameters, it is easy to qualitatively and quantitatively determine the effectiveness of the ASPIRIE.

Conclusion

Described in the article concepts of applying mathematical modeling methods to evaluate and assess the efficiency of automated systems for protecting information of an industrial enterprise would allow to determine of information security level and degree of protection of strategically important resources of an enterprise in time.

References:

1. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Y. Building a Digital Twin of the Main Automated Systems of an Industrial Enterprise in Order to Determine the Level of Information Security / ERGODESIGN // Bryansk State Technical University (Bryansk) № 2(12) 2021, pp. 97 – 102, eISSN: 2658-4026, DOI: 10.30987/2658-4026-2021-2-97-102
2. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Y. Solving the Problem of Automating the Processes of Protecting Strategically Important Enterprise Resources from Complex Cyberattacks Based on an Analysis of the Tactics of Intruders / Scientific and technical journal «Bulletin of the Bryansk State Technical University» № 7 (92) 2020 // Publishing House of the Bryansk State Technical University, 2020. – pp. 48 – 53. <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-7-48-53>

3. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Y. Automated Modeling of the Spread of Infectious Diseases Among the Population of a Metropolis Using the Monte-Carlo Method, Taking into Account Aspects of Information Security / Periodical scientific and practical journal «Quality. Innovation. Education» – № 5 (169) September-October 2020. – M.: FSUE Izvestia Publishing House, 2020. – pp. 96 – 102. ISSN: 1999-513X
4. N.M. Kuznetsova, T.V. Karlova, S.A. Sheptunov Automation of Data Defence Processes in the Corporation Information Systems / Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS) September, 24-30, 2017 – Proceedings Edited by S.Shaposhnikov 2017 St.Peterburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», pp. 199-202. ISBN 978-1-5386-0703-9.
5. Tatyana V. Karlova, Alexander Y. Bekmeshov, Natalia M. Kuznetsova. Protection the Data Banks in State Critical Information Infrastructure Organizations / Proceedings of the 2019 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS), Sochy, Russia // Proceedings Edited by S. Shaposhnikov, St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2019, ISBN 978-1-7281-2594-7
6. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Y. Classification of Computer Attacks on Automated Systems of Industrial Enterprises / Periodical scientific and practical journal «Quality. Innovation. Education» – № 4 (162) July-August, 2019. – M. : FSUE Izvestia Publishing House, 2019. – pp. 54 – 59. ISSN: 1999-513X. DOI: 10.31145/1999-513x-2019-4-54-59
7. Horev P.B. Hardware and Software Information Security / P.B. Horev. - 2nd ed., Rev. and add. - M.: FORUM: INFA-M, 2019.352p. - (Higher education) ISBN 978 5 00091 709 1 (FORUM)
8. Kuznetsova N.M., Karlova T.V. Basic Principles of Protecting Automated Systems of Large Industrial Enterprises from Complex Cyberattacks / Scientific and technical journal «Bulletin of the Bryansk State Technical University» № 4 (57) 2017 // Publishing House of the Bryansk State Technical University, 2017, pp. 84 – 89. DOI: 10.12737/issue_5a02f9f7150658.06648590

NEW GENERATION INFORMATION SYSTEMS. NANOBIOELECTRONICS

V. D. Lakhno

Institute of Mathematical Problems of Biology RAS – the Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ. НАНОБИОЭЛЕКТРОНИКА

В.Д.Лахно

Институт Математических Проблем Биологии РАН – Филиал Института Прикладной Математики им. М.В. Келдыша Российской Академии Наук, Пушкино, Россия
e-mail: lak@impb.ru

Биоинформатика, как раздел информатики, представляет собой область, которая развивает методы и программное обеспечение для анализа и обработки биологических данных и включает в себя анализ последовательностей, экспрессию генов и белков, анализ клеточной организации, создание Дата-центров и т. д.

Молекула ДНК представляет собой уникальный пример хранилища данных и может быть использована для биокомпьютинга. Совершая одновременно миллионы операций ДНК-биокомпьютер позволяет экспоненциально увеличивать производительность с увеличением числа олигонуклеотидов. Ограничение производительности такого биокомпьютера обусловлено ограничением скорости проведения параллельных операций, измеряемых часами. Преодолеть эти ограничения призвана нанобиоэлектроника.

Центральной проблемой нанобиоэлектроники является реализация эффективного переноса заряда в биомакромолекулах. Наиболее перспективной для осуществления такого переноса является молекула ДНК. Компьютерное моделирование такого переноса в настоящее время способно заменить натуральный эксперимент. Приведены результаты моделирования транспорта заряда в форме блоховских осцилляций, солитонного переноса, поляронной и бризерной динамики. Рассматриваются вопросы моделирования заряда при конечных температурах. Обсуждаются различные молекулярные устройства на основе ДНК. Их реализация создаст прочную основу для решения задач информатики на биомолекулярной основе.

Литература:

1. Lakhno V.D., DNA Nanobioelectronics, Int. J. Quantum Chem, 2008, v.108, p. 1970-1981
2. Lakhno V.D., Theoretical basis of Nanobioelectronics, EPJ Web of Conferences, 2020, **226**, 01008
3. Lakhno V.D., Vinnikov A.V., Molecular devices based on DNA, MBB, 2021, v. 16, p. 115-135

ENERGY TRANSPORT INTO A SEMI-INFINITE β – FERMI-PASTA-ULAM-TSINGOU CHAIN UNDER PERIODIC FORCE LOADING

S.D. Liazhkov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

195251, Polytechnicheskaya str., 29

Tel.: (+7 931)2254835, e-mail: sergeiliazhkov@gmail.com

Non-stationary dynamics of medium, undergone external excitations, has been being an object of investigation for a long time. One of the most popular and relevant problems is energy propagation, caused by external perturbation (see e.g. [1]).

Wave transmission into the discrete linear medium is known to be possible only at driving frequencies, enclosed inside the phonon band (linear dispersion relation). However, energy can propagate into the nonlinear medium at frequencies, which are out from the linear phonon band. The possibility of propagation is owing to excitation of intrinsic localized modes, which may give rise to the sudden flow of energy into the medium (supratransmission). This process is regularly studied in the field of both electrodynamics (see e.g. [2]) and mechanics (see e.g. [3]).

There are many studies, in which energy transfer by ILMs is observed in experiments (see e.g. [4]) and is analyzed theoretically. As for the latter, there are two branches, on which, in general, investigation are focused on. The first is determining condition, under which the supratransmission occurs, for instance, the threshold amplitude value of kinematic loading (see e.g. [5]). The second, which is studied rather seldom, is behavior on time of the total energy. For instance, in the paper [6], evolution of the transferred energy into the chain with on-site potential interactions and kinematic loading is demonstrated. To the best of our knowledge, evolution of the total energy at large times has not been studying systematically. We address this issue below.

We consider forced oscillations of the semi-infinite chain, consisting of identical particles with mass m , which interact with the nearest neighbors via hard-type β -Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou potential. The chain has one free end, excited by periodic force with the amplitude F_0 and the frequency Ω . The governing dynamics equations are

$$\begin{aligned} \dot{u}_n &= v_n, \\ m\dot{v}_n &= c(u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1}) + \beta((u_{n+1} - u_n)^3 - (u_n - u_{n-1})^3), \quad n \in \mathbb{N}, \\ m\dot{v}_0 &= c(u_1 - u_0) + \beta(u_1 - u_0)^3 + F_0 \sin(\Omega t) H(t), \end{aligned} \quad (1)$$

where $H(t)$ is the Heaviside function; u_n and v_n are displacement and velocity for particle n ; c and β are harmonic and anharmonic force constants respectively. We assume that interatomic interactions are associated with weak anharmonicity, i.e. ($\beta F_0^2 \ll c^3$). Initially, the chain is unperturbed (initial conditions for displacements and velocities are zero).

In order to know the spectrum bounds, which it is worth to draw on, we solve the problem in the harmonic approximation ($\beta = 0$). Then, we obtain the field of particle velocities, expressed as

$$v_n = \frac{F_0 \Omega H(t)}{m\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{\cos(\omega(\theta)t) - \cos(\Omega t)}{\Omega^2 - \omega(\theta)^2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{(2n+1)\theta}{2} d\theta. \quad (2)$$

According to the energy balance law, the total energy is the work of displacement of zeroth particle. Assuming that the excitation frequency is not above the cut-off frequency for the Hooke chain (otherwise, the energy is not transmitted into the chain) and is not too close to zero (otherwise, rate of energy transfer is too small), we derive the large-time asymptotic for the total energy U , using proposed in [7] approach. That yields

$$U \approx \frac{F_0^2 v^g(\Omega) a t}{2m v_s^2}, \quad (3)$$

where a is the undeformed bond length; v^g is the group velocity; v_s is the sound velocity. Note that for zero group velocities ($\Omega = 2\omega_e$) the formula (3) is inapplicable. Then, formula for the evolution of the total energy can be written as

$$U \approx \frac{F_0^2 \sqrt{t}}{m \sqrt{2\pi \omega_e^3}}. \quad (4)$$

In order to estimate rate of energy transfer in the anharmonic case, we refer to the wave turbulence theory. According to the latter, main contribution to the energy exchange between waves (phonons) comes from the internally resonant waves, spectrum of which is enclosed in the frameworks of the spectrum, which can be approximated by renormalized dispersion relation. For β -FPUT periodic chain, expression for the renormalized dispersion relation is derived in [8]. For the semi-infinite chain, we rewrite the renormalized dispersion relation, $\tilde{\omega}$, as

$$\tilde{\omega} = \omega \left(1 + \frac{\beta F_0^2}{c^3} \chi(\Omega) \right), \quad \omega(\theta) = 2\omega_e \sin \frac{\theta}{2}, \quad (5)$$

$$\chi(\Omega) = \frac{3\omega_e^2}{8\pi^2} \iint_0^{2\pi} \frac{\cos^2 \frac{\theta}{2} (\Omega \sin(\omega(\theta)t) - \omega(\theta) \sin(\Omega t))}{(\Omega^2 - \omega(\theta)^2)^2} d(\omega_e t) d\theta.$$

Then, assuming that the main contribution to the energy transfer comes from the oscillations with the renormalized frequency $\tilde{\omega}$ and harmonic oscillations with the frequency Ω , we rewrite expression for the total energy, transmitted into the chain in the form

$$U \approx \frac{F_0^2 v^g(\tilde{\Omega}) a t}{2m v_s^2} \left(1 - \frac{\beta F_0^2}{c^3} \chi \right), \quad \tilde{\Omega} = \Omega \left(1 - \frac{\beta F_0^2}{c^3} \chi \right). \quad (6)$$

We refer (6) to as a quasiharmonic approximation for the total energy. From (6), we obtain the following formula for the maximal frequency, permitting passing waves into the chain:

$$\Omega_{cr} \approx 2\omega_e \left(1 + \frac{\beta F_0^2}{c^3} \chi(2\omega_e) \right). \quad (7)$$

Comparison of the predictions (formulas (6)-(7)) with results of numerical simulations shows that, for frequencies $\Omega \in [0.10\omega_e; 0.30\omega_e]$ and $\Omega \in [1.40\omega_e; 2\omega_e]$, the quasiharmonic approximation is more accurate than harmonic. For $\Omega \geq 2\omega_e$, quasiharmonic approximation for the total energy has relative accuracy for times $\omega_e t < 150$, hereafter, energy grows slower than linearly. According to numerical simulations, the maximal frequency, permitting energy propagation, is less than Ω_{cr} .

We expect, that the obtained results may be validated with experiments [4] and may serve for development theory of quasiballistic heat transport in nonlinear heterogeneous lattices.

References:

1. Mead, D.J.// Journal of Engineering for Industry, v. 93, №3. 1971, pp.783-792
2. Santis, D., Guarcello, C. et al. // arXiv:2022.106736 . 2022
3. Geniet, F., Leon, J. // Phys. Rev. Lett, v.89, №3, 2002, pp.1-4
4. Watanabe, Y., Nishida, T., Doi, Y., // Physics Letters, v.382 №30, 2018, pp.1-13
5. Mac'ias-D'iaz, // Results in Physics, Vol.18, 2020, pp.1–11
6. Saadatmand, D., et al. // Phys. Rev. E., v.97 №2 ,2018, pp.1-12
7. Kuzkin, V.A., Krivtsov, A.M. // Physics, v. 3, №1-2 ,2018, pp.1-17
8. Gershgorin, B., Lvov, Y. V., Cai, D.// Phys. Rev. Lett, v. 95 №26, 2005, pp.1-4.

NUMERICAL SIMULATION OF WORKING MEMORY USING STOCHASTIC NEURAL FIELD EQUATIONS

P. M. Lima (*) , G. Yu. Kulikov, M. V. Kulikova

Centro de Matemática Computacional e Estocástica, Instituto Superior Técnico

Universidade de Lisboa, Portugal

W. Erhagen

Centro de Matemática, Universidade do Minho, Portugal

(*) Corresponding author: plima@math.tecnico.ulisboa.pt

In the present talk we will focus on the effect of noise in some neural fields, used to simulate working memory processes.

The underlying mathematical model is a stochastic integro-differential equation.

In order to approximate this equation we apply a numerical scheme which uses the Galerkin method for the space discretization. In this way we obtain a system of stochastic differential equations, which are then approximated in two different ways, using the Euler-Maruyama and the Itô-Taylor methods. We apply this numerical scheme to explain how a population of cortical neurons may encode in its firing pattern simultaneously the nature and time of sequential stimulus events. Numerical examples are presented and their results are discussed.

The contents of this talk are based on theoretical and numerical results recently published in international journals [1], [2]

References:

1. P.M. Lima, W.Erhagen, M.V. Kulikova, G.Yu. Kulikov, Numerical Solution of the Stochastic Neural Field Equation with Applications to Working Memory // Physica A: Statistical Methods and its Applications, V. 596, 2022, p. 127166.
2. M.V. Kulikova, P.M. Lima, G.Yu. Kulikov, Sequential method for fast neural population activity reconstruction in the cortex from incomplete noisy measurements// Computers in Biology and Medicine , V. 141 ,2022, p. 105103

EFFECT OF MORPHOGENESIS OF PEPTIDE NANOCOMPOSITES ON THEIR STRUCTURE AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES

Alexander I. Loskutov

Moscow State Technological University STANKIN, Moscow, 127994 Russia

The synthesis of nanocomposites from water-soluble components has many advantages. However, this inevitably raises the question of maintaining the functional properties of such composites during long-term storage at ambient conditions. The synthesis of Ag and Au nanoparticles in aqueous solutions of heptapeptide and processes of structural transformations during different stages of crystallization were studied. The influence of various factors: temperature, humidity, nature of the substrate, its wetting on the morphology of the surface of composites, the conformation of peptide molecules, their secondary structure and the electrical properties was investigated also. Similarly to polymers two stages of crystallization were found. Increasing the temperature does not affect this process. Despite significant changes in the surface morphology of composites, the conformation of molecules and electrical properties do not change. An increase in humidity accelerates the processes of their post crystallization, but does not affect the electrophysical properties of the composites.

Keywords: peptides, crystallization, morphogenesis, composites, silver and gold nanoparticles

A new research area named "green chemistry" appeared in the 1990s. New schemes of chemical reaction and processes, developed in numerous laboratories all over the world, are due to strongly reduce the detrimental effect of large-tonnage chemical industries on the environment. The basic principles of green chemistry were first formulated in [1].

Recently, fundamentally new opportunities have begun to appear for creating materials with desired functional properties. First of all, this is due to the development of nanotechnology and the emergence of the task of molecular design. A wide variety of organic molecules and the possibility of a targeted change in their physical and electrical properties make it possible to use methods of molecular design to obtain functional solid layers with predetermined properties. It is also possible to customize the properties of such materials, for example, the photonic band gap, electronic and optical properties. Molecular engineering is the synthesis of molecules with desired functional properties. But the functional properties of a substance are most often set at the macroscopic, and not at the molecular level. However, the relationship between the structure of molecules and supramolecular organization is usually very complex and very often not well studied. Therefore, the aim of elucidating relationship between the structure of an element and the forms or properties of a macro system is of great scientific and practical importance. No less important are the processes of self-assembly and self-organization of molecules and NPs due to the formation of intermolecular non-covalent bonds [2].

Previously, the biomimetic approach was used in the synthesis of a dipeptide (DPT) that is an NGF memetic [3]. Later, on its basis, a composite with gold NPs was synthesized which can be used not only in medicine and pharmacology, but also to create new solid-state smart materials for organic microelectronics [4-6]. These studies have shown that DPTs composite materials and coatings with gold NPs do have a variety of structural, electrical and tribological properties that make them promising for large-scale practical applications in engineering.

The study of the morphology of crystals in thin polymer films has become an important topic of research in recent years due to the development of nanotechnology and the need to obtain ultrathin (on the order of tens of nanometers) polymer films. This is evidenced by a much larger number of publications compared to biomaterials. Since crystallization in a confined space proceeds more slowly than in a bulk, it leads to the formation of two-dimensional flat crystals instead of the characteristic bulk spherulites (morphogenesis). The variety of shapes of

such crystals is determined by the growth anisotropy of different crystal planes, which, in turn, depends on many factors (supersaturation, deposition methods, surface wetting, etc.).

The relationship between the surface morphology of solid layers and their electrical properties in organic electronics is of fundamental importance, especially considering the processes of self-assembly and self-organization of molecules and NPs, as well as the creation quantum dots based on NPs. So far, there is no reliable data on the presence or absence of such a relationship. Since all our reagents and synthesis products are water-soluble and this is their definite advantage, the question of the stability of solid layers based on them and the preservation of their properties under ambient conditions is quite relevant from a practical point of view. But the main goal of this work is to establish the presence or absence of a direct relationship between changes in the surface morphology of PT nanocomposites and their electrophysical properties. At present, the very few and extremely contradictory information available in the literature does not allow one to reliably judge this.

An amyloid oligopeptide was taken. Its chemical formula: Asp - Glu - Val - Asp - Trp - Phe - Asp, molecular weight 924, pH value of 0.1% aqueous solution is 5.0. Images of the surface of composite coatings were obtained using a universal high-vacuum atomic force microscope (AFM) and a scanning tunneling microscope (STM-STs) "Solver HV-MFM" (NT-MDT, Russia) and a laser interference microscope MIM-321 ("Amfora", Russia) with a height resolution of ~ 0.1 nm at the Research Center of the MSTU "STANKIN". All measurements were carried out at room temperature in air or in vacuum of 10^{-5} Pa. The IR spectra were measured in the transmission mode with a Nicolet 6700 spectrometer operating at a resolution of 2 cm^{-1} . Gold NPs were synthesized in an aqueous solution of PT, potassium carbonate (K_2CO_3), and $\text{HAuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ at a temperature of 95°C . Silver NPs were also synthesized in an aqueous solution of PT, (K_2CO_3), NaNO_3 and tannin at a temperature of 95°C . Details of the synthesis are presented in [7,8]. The sizes of synthesized gold NPs determined by dynamic light scattering (DLS) on a Zetasizer Nano ZS instrument (Malvern, UK). The sizes of gold and silver NPs were 40 nm and 56 nm respectively. The synthesized nanodispersions were deposited at room temperature onto the surfaces of polycrystalline gold and aluminum films, glass, silicon, mica and polished stainless steel.

Fig.1 shows the IR spectra of original PT (spectrum 1 in Fig. 1) and dispersions of gold NPs (spectrum 3). It is known that the ionization of α -amino and α -carboxyl groups (both in the terminal and side chains of PT) and, accordingly, the realization of rotational isomers in different conformations of the PT chain, depends on pH [3]. It is also known that at high pH and temperatures, PTs are prone to hydrolysis. Therefore, we additionally measured the IR spectrum of the PT layer obtained from its solution (spectrum 2 in Fig. 1), which contained K_2CO_3 (pH 8.75) and was subjected to the same heat treatment (95°C) as sample 3 on the same figure. The IR spectrum of the PT composition with silver NPs is also shown in Fig. 1 (spectrum 4). Analysis of spectrum 1 shows that the original PT has a dipolar, zwitterionic structure. The presence of PT groups and ionized α -amino and α -carboxyl groups in the PT molecule creates conditions for the formation of a crystal packing. The reduction of silver ions with PT is accompanied by a slight degradation of the PT backbone. However, the main difference between the spectra of the studied samples and original PT consists in the following. Almost all PTs, except for cyclic ones, occur in the form of trans-isomers, and the studied PT is not an exception. The reduction of silver ions and stabilization of the formed NPs are accompanied by not only the rupture of PT bonds in molecules, but also the realization of another isomeric form (cis-configuration), which is, as has been mentioned above, characteristic of cyclic PTs. The formation of nanocomposites is accompanied by structural rearrangements of the PT molecules and a change in the secondary structure of the solid layers. In this case, hydrogen bonds play a significant role and indicate the presence of a system of very strong hydrogen bonds. It is these bonds that transform the conformation of PT molecules and, accordingly, affect all subsequent

levels of the system organization. When hydrogen bonds are formed between carboxyl groups and NPs surfaces, the charge of these groups markedly decreases. The differences between the secondary structures of PTs with gold and silver NPs are not very significant and are mainly due to different degrees of their ordering.

Fig. 2 presents the results of the measurements of local tunneling current-voltage characteristics (LTCVCs). All CVCs have a nonlinear shape, and the largest energy gap width corresponds to the PT itself. CVCs of composite layers with silver and gold NPs have almost the same shape and energy gap width. Thus, the PT and its nanocomposites are organic semiconductors. It was previously established that it was not possible to find a direct relationship between the shape of CVCs and surface morphology in thin layers of DPT [4-6]. We also could not find such relationship when studying this PT having more complex chemical structure.

In order to establish the mechanism of structural transitions in thin layers of PTs and

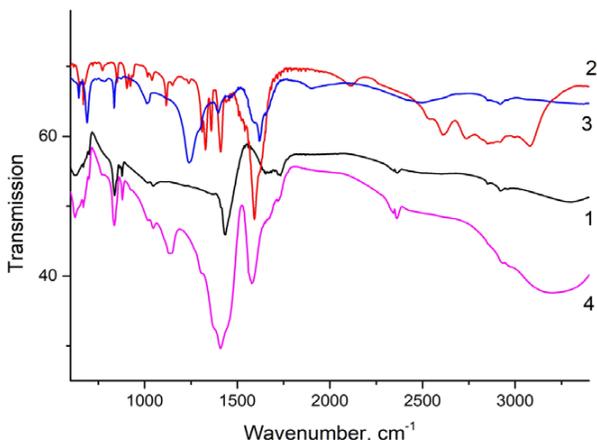


Fig. 1. IR spectra of the peptide and composites with gold NPs (a): 1 - original peptide (pH 5.0), 2 - heat-treated peptide with potassium carbonate (pH 8.75), 3 - peptide composite with gold NPs, 4 - peptide composite with silver NPs.

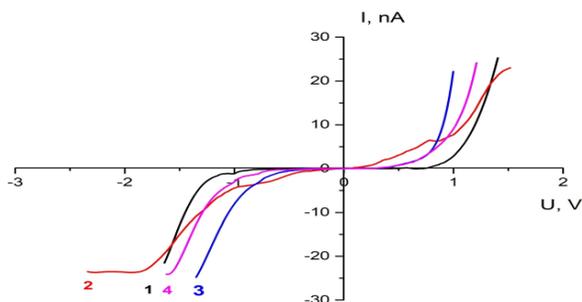


Fig. 2. LTCVCs of the solid layers formed of peptide solution. 1 – original peptide, 2- heat-treated peptide with potassium carbonate (pH 8.75), 3-peptide composite with gold NPs, 4-peptide composite with silver NPs.

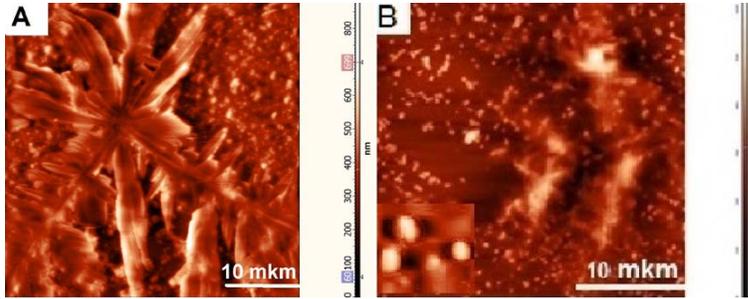


Fig. 3. AFM images of peptide composite layers with gold NPs on the glass surface: freshly deposited (A) and after exposure at (RH (30-40%), (23 °C) for 1 month (B).

PT nanocomposites, we studied the influence of temperature and humidity on these processes (Figs. 3,4). The synthesis of silver and gold NPs in solutions occurs with the participation of several reagents; therefore, when considering the crystallization processes of PT composites, it is necessary to take into account the features of crystallization of multicomponent solutions [5].

At the first fast stage, which proceeds under essentially nonequilibrium conditions, metastable fractal structures are formed. Then, in a humid atmosphere, a longer process of formation of more stable structures begins with the destruction of the initially formed fractal structures. Increasing the temperature to 100 °C and above negatively affects this process unlike polymers.

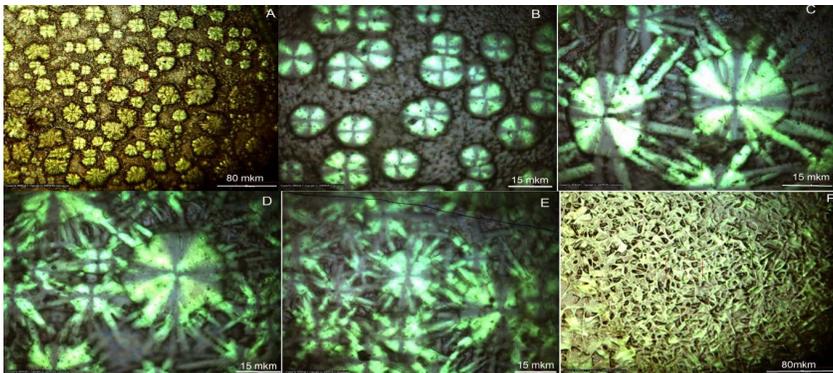


Fig 8. Optical images of the composite layers, obtained from a dispersion of silver (a) and gold (b) nanoparticles: a,b - freshly prepared, c,d,e,f – consecutive stages of morphogenesis upon a month exposure at ambient conditions (RH 40%)

The first stage of crystallization of peptide composites is well described by the mechanism of diffusion-controlled aggregation and the second one is well described by the mechanism of dense branching and proceeds only in the presence of adsorbed moisture on the surface. Despite significant changes in the surface morphology of peptide layers and composites, the conformation of molecules and secondary structure, as well as electrical properties, do not change. The presence of NPs in the peptide matrix fixes the contact line and significantly changes the morphology of the composite layers. An increase in humidity

accelerates the processes of their post crystallization, which affects only peptide itself. At the same time, at the second stage of post-crystallization, the composition of the stabilizing shell around silver and gold NPs (crown) and their location on the surface do not change. This makes it possible to use these nanocomposites as functional materials for organic electronics.

This study was supported by the Ministry of Higher Education and Science of the Russian Federation grant NFSFS-07-07-2020-0025.

References:

1. Anastas P and Warner J (1998) *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press. New York, ISBN: 9780198506980.
2. Grzybovski, B.A. Charged nanoparticles crystallizing and controlling crystallization: from coatings to nanoparticle surfactants to chemical amplifiers. *Cryst Eng Comm*. 2014, 16, 9368-9380.
3. Loskutov A, Guskova O, Grigor'ev S, Oshurko V et al (2016) Influence of the synthesis conditions of gold nanoparticles on the structure and architectonics of dipeptide composites. *J Nanopart Res*, v.18, pp.238-254, DOI 10.1007/s11051-016-3548-1.
4. Loskutov A, Lokshin B, Gudasheva T et al (2018) Role of the interfaces and the charge of a molecule in the non-equilibrium crystallization of dipeptide nanomaterials onto solid substrates. *Cryst Eng Comm*, v.20, pp.7688-7699, DOI: 10.1039/c8ce01468j.
5. Loskutov A, Lokshin B, Sazonova N et al (2021) Features of the crystallization of multicomponent solutions: a dipeptide, its salt and potassium carbonate. *CrystEngComm*, v.23, pp. 6427-6441, DOI: 10.1039/d1ce00491c.
6. Loskutov, A.I. Bio-Memristor Based on Peptide and Peptide Composite with Gold Nanoparticles. *EPJ Web of Conferences, (MNPS-2019 2019)*.v. 224, 03003, pp.1-8.
7. A.I. Loskutov, O. Ya. Uryupina, S. N. Grigor'ev, V. B. Oshurko, and V. I. Roldughin, ISSN 1061_933X, *Colloid Journal*, 2013, Vol. 75, No. 3, pp. 332–342.
8. A.I. Loskutov, O. Ya. Uryupina, S. N. Grigor'ev et al 2015, *Protection of metals and physical chemistry of surfaces*, v. 51 (4), pp. 411–419, DOI: 10.7868/S0044185615040221

LOW-TEMPERATURE OXIDATION OF METHYLENE GROUPS IN A DIPEPTIDE ON GOLD AND ITS COMPOSITES WITH GOLD NANOPARTICLES

Alexander I. Loskutov

Moscow State Technological University STANKIN, Moscow, 127994 Russia

**НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОКИСЛЕНИЕ МЕТИЛЕНОВЫХ ГРУПП
В ДИПЕПТИДЕ НА ЗОЛОТЕ И ЕГО КОМПОЗИТАХ
С НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА**

А. И. Лоскутов

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,

Москва, 127994 Российская Федерация

Gold is an inert material and therefore is widely used in various fields of science and technology, including medicine. However, this does not take into account its very high catalytic activity, which can significantly change the conformation of organic molecules. During the crystallization of the dipeptide on the surface of gold or its composite with gold nanoparticles, CO molecules are formed as a result of the catalytic oxidation of methylene groups in the dipeptide molecule by atmospheric oxygen. When studying various substrate materials, it was found that CO lines are observed in the Raman spectra only on the surface of gold or gold nanoparticles. An increase in the thickness of crystallized layers significantly reduces the intensity of CO lines, similarly to an increase in the crystallization temperature from 23 °C to 95 °C. The observed destruction of the methylene linker in the dipeptide molecule must be taken into account in the practical application of the nanocomposite *in vivo*.

Key words: peptides, crystallization, organic catalysis, nanocomposites, gold.

Oral administration of water-soluble pharmacological formulations requires a preliminary study of their properties *in vitro* and *in vivo*. Therefore, any changes in the structure and conformation of the molecules that make up their composition require additional studies. At present, the use of composites with metal nanoparticles (NPs) for their targeted delivery inside the body is being actively studied in medicine. Of these, gold NPs are most actively used as the most inert metal.

Previously, we studied the synthesis of gold NPs in an aqueous solution of a dipeptide (DPT), which is a patented neuromorphic drug [1], as well as various processes that occur during the crystallization of this nanocomposite [2]. The gold surface was obtained by magnetron sputtering in vacuum (Fig. 2a). The layer thickness was ≈ 0.5 -1 μm , and the surface roughnesses (S_a and S_q) were 7.8 nm, was 6.3 nm respectively (Fig. 1a). For comparison, this figure also shows an AFM image of the surface of a peptide composite with gold NPs (DPT-2). The NP size was 30–40 nm.

The DPT molecule consists of two peptides connected by a methylene linker (Fig. 2.) . As shown by the results of the studies, when deposited layers of the peptide (DPT-0) or its

potassium salt (DPT-1) interact with the surface of gold, bands appear in the Raman spectrum at 2110 – 2123 cm⁻¹, which can be attributed to vibrations of CO molecules (Fig.3). However, the reasons for the formation of CO molecules in DPT and its composites remained unclear.

Since the synthesis of gold NPs in an aqueous solution of DPT proceeds at sufficiently high temperatures (up to 95 °C), it was also necessary to study the effect of the crystallization temperature on the formation of CO molecules in solid layers. As can be seen from these spectra, the intensity of the CO lines is quite high and is comparable with the intensity of the hydrocarbon lines in the spectrum. An increase in temperature leads to a decrease in the intensity of CO lines both on the surface of gold and monographite. In the latter case, layers of DPT-2 were deposited on the monographite surface. These spectra are shown in Fig.4.

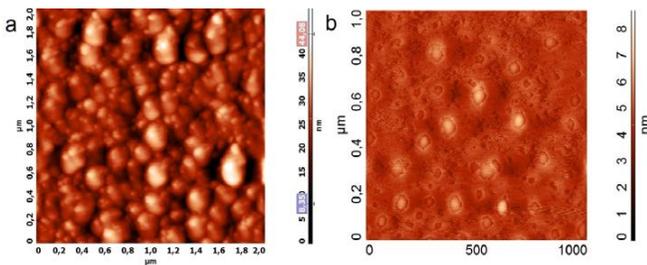


Fig.1. AFM image of the surface of the magnetron sputtering gold film (a) and gold nanoparticles in the peptide matrix on the mica surface (b).

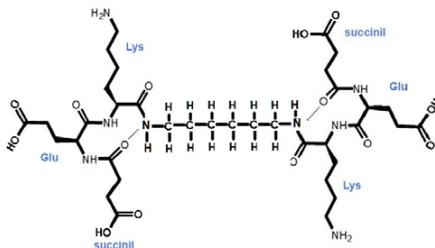


Fig.2. Structural formula of a dipeptide molecule (DPT-0)

As can be seen from fig. 3, no changes are observed in the DPT-1 spectrum, in contrast to DPT-0, where the main lines are shifted towards lower frequencies, and the 2129 cm⁻¹ line disappears and the 2112 cm⁻¹ line appears instead. These spectral lines are never observed in the spectra of DPT-0 and DPT-1 on other substrates and disappear with increasing layer thickness (Fig.5). It should be noted that an increase in the crystallization temperature is also accompanied by disordering of the surface structure of the composite layers. However, in this case the electrical properties of the peptide layers do not change.

Figure 4 shows the Raman spectra of DPT-2 on a clean monographite surface depending on different stages of water evaporation. It was found that in the presence of moisture on the surface, CO lines are absent and appear only in the process of its evaporation. At the same time, their intensity is insignificant, in contrast to the DPT-2 layers deposited on the gold surface. An increase in the crystallization temperature leads to a sharp decrease in the intensity of the CO line and its shift to the low-frequency region.

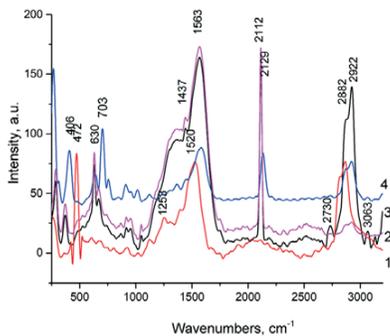


Fig. 3. Raman spectra of single-layer DPT deposition on the gold surface at crystallization temperatures of (1, 4) 95°C and (2, 3) 23°C for (1, 3) DPT-0 and (2, 4) DPT-1.

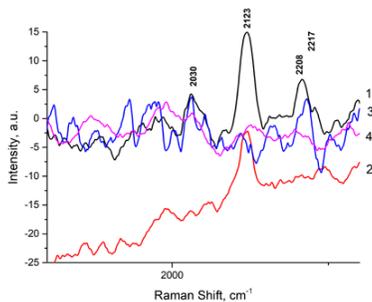


Fig.4. Raman spectra of a peptide composite with gold nanoparticles (DPT-2) on monographite. 1 – after water evaporation (23 °C), 2 – semi-dry surface of DPT-2 (23 °C), 3 – DPT-2 layer at 95 °C, 4 – clean surface of monographite.

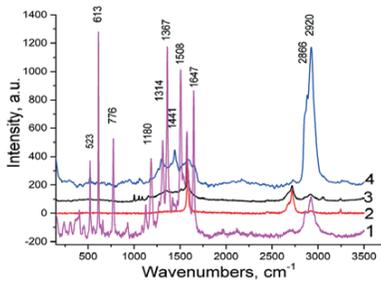


Fig.5. Raman spectra of DPT layers on the surface of gold and graphite after deposition of 3 layers: 1 – DPT-1 on gold, 2 – DPT-0 on graphite, 3 – DPT-1 on graphite, 4 – DPT-0 on gold.

Consider the results. Given that both the IR and Raman spectra of peptides in the regions of Amide I and Amide II on the gold surface do not change significantly compared to other substrates (graphite, mica, glass), we can conclude that the processes of catalytic low-temperature oxidation of the peptide and its composites on the gold surface can only be due to the oxidation of the methylene groups of the linker in the peptide molecule. It is well known that gold is a very efficient catalyst with a variable valence from +3 to -1, which is due to the peculiarities of the structure of its electron shell [5]. On the other hand, peptides are quite strong chemical compounds, although they are prone to hydrolysis. Therefore, it is quite natural that they do not enter into a catalytic oxidation reaction with atmospheric oxygen.

The fact that the intensity of CO lines in the peptide composite with gold NPs compared to the same peptide deposited on a gold substrate significantly less is explained by the fact that, as can be seen from Fig. 1, the active surface area of NPs is much less than the surface area of the gold film, especially taking into account its roughness, and confirms the fact that the catalytic oxidation of the peptide is a purely surface rather than a bulk reaction.

It is more difficult to explain the decrease in the intensity of CO lines with an increase in the crystallization temperature, since it is known that, as a rule, an increase in temperature increases the reaction rate in the presence of the activation energy of the reaction. It is possible that this is due to an increase in the rate of water desorption with increasing temperature. In this case the reduction in the duration of the interaction of the peptide with gold surface the crystallization time is significantly reduced and more disordered structures of the layers are formed. As a result, the reactions of catalytic oxidation of methylene groups in the peptide molecule do not have enough time to complete.

The work was supported by a grant from the Ministry of Higher Education and Science of the Russian Federation NFFS-07-07-2020-0025.

References:

1. S. B. Seredenin and T. A. Gudasheva, Dipeptide mimetics of neurotrophines NGF and BDNF, US Pat., 9683014B29, 2017; S. B. Seredenin and T. A. Gudasheva, European Patent, EPVER No. 2397488, 2019.
2. Loskutov A, Guskova O, Grigor'ev S, Oshurko V et al (2016) Influence of the synthesis conditions of gold nanoparticles on the structure and architecture of dipeptide composites. *J Nanopart Res*, v.18, pp.238-254, DOI 10.1007/s11051-016-3548-1.
3. Loskutov A, Lokshin B, Gudasheva T et al (2018) Role of the interfaces and the charge of a molecule in the non-equilibrium crystallization of dipeptide nanomaterials onto solid substrates. *Cryst Eng Comm*, v.20, pp.7688-7699, DOI: 10.1039/c8ce01468j
4. Jansen M (2008) The chemistry of gold as an anion, *Chem. Soc. Rev.*, 37, 1826–1835 DOI: 10.1039/b708844m

STATISTICAL ESTIMATIONS OF CLUSTER PARAMETERS ON UNIFORMLY WEIGHTED SQUARE LATTICES

P. V. Moskalev

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

394006, st. 20th anniversary of October, 84

E-mail: moskaleff@mail.ru

Statistical estimates of the macroscopic parameters of percolation clusters, such as functions of percolation probability $P_\infty(p)$, fractal dimension $d(p)$, or percolation threshold p_c for lattice percolation models, depend on the neighborhood of a single site of a homogeneous lattice [1]. In addition, as shown in [2], a change in the cumulative distribution function $F_S(p)$ of random variables S weighing the sites of a square percolation lattice with a (1,0)-neighborhood (von Neumann neighborhood) also leads to a significant variation of these parameters.

An estimate of the fractal dimension for individual implementations of site clusters follows from the scaling relation $N \propto r^d$, where N is the number of sites covered by similar elements with characteristic size r . Taking the logarithm of this relation leads to a linear regression model [1], whose deviations e are minimized by the least squares method

$$\ln N_i = d_N \ln r_i + e_i. \quad (1)$$

Figure 1 (a-c) shows examples of rectangular sets covering clusters on uniformly weighted square lattices of 65×65 sites for sub-, near- and supercritical values of the open site probability p on percolation lattices: (a) $p < p_c$; (b) $p \approx p_c$; (c) $p > p_c$, where $p_c \approx 0.592746\dots$ is the critical value in the site problem on uniformly weighted square percolation lattice with (1,0)-neighborhood [3]. The sites of the square lattice included in the percolation cluster are shown in white, and all other sites are shown in different shades of gray.

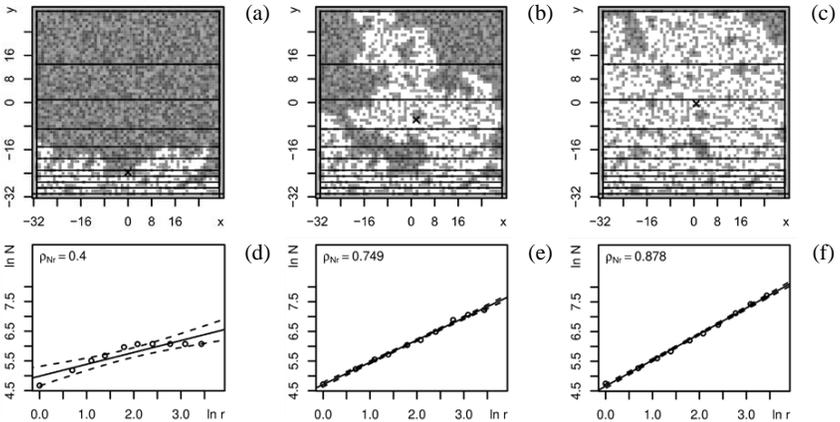


Fig. 1. Examples of rectangular sets covering clusters on uniformly weighted square lattices (a-c) and their regression models (d-f) for sub-, near- and supercritical values of the open site probability p : (a, d) $p < p_c$; (b, e) $p \approx p_c$; (c, f) $p > p_c$

The starting subset of sites shown in Figure 1 (a-c) consists of open sites along the lower boundary of the percolation lattice, the left and right boundaries of which are marked with “+” symbols. The symbols “x” designate the centers of mass for the shown implementations of clusters. The covering set is formed by rectangles with variable height $r = 1, 3, 5, 7, 11, 15, 21, 31, 45, 63$ sites and a base fixed along the lower boundary of the lattice. All results were obtained using the SPSL and SECP packages released by the author for the R system under the GNU GPL-3 license [4, 5].

Analyzing the results shown in Figure 1 (d-f), we can see that the estimates of the fractal dimension d_N obtained from regression models (1) belong to the interval $[0; 1]$, which diverges significantly with estimates of the Minkowski dimension [6] obtained, for example, by the box-counting method and belonging to the interval $[1; 2]$. One of the possible explanations for this contradiction is that the Minkowski dimension estimates only the local topology of the site cluster, while model (1) estimates the global direction of the percolation process from the lower boundary of the square lattice to the upper one. However, representative estimates of the fractal dimension d_N for individual clusters are possible only for near- or supercritical probabilities of open sites $p \geq p_c$, since for the subcritical probabilities $p < p_c$ most clusters have a limited size, which reduces the significance of the d_N estimate using model (1).

Estimating the fractal dimension from a sample of site clusters, by analogy with (1), we use a linear regression model for the total relative frequencies of percolation lattice sites covered by similar elements with a characteristic size r :

$$\ln V_i = d_V \ln r_i + e_i. \quad (2)$$

Figure 2 (a-c) shows examples of rectangular sets covering samples of 1000 site clusters on uniformly weighted square lattices of 65×65 sites for sub-, near- and supercritical values of the relative frequencies of open sites p on percolation lattices with (1,0)-neighborhood: (a) $p < p_c$; (b) $p \approx p_c$; (c) $p > p_c$. White color corresponds to percolation lattice sites with relative frequencies close to unity, and black corresponds to sites with relative frequencies close to zero. Lattice sites with relative frequencies less than 0.01 are conventionally not shown.

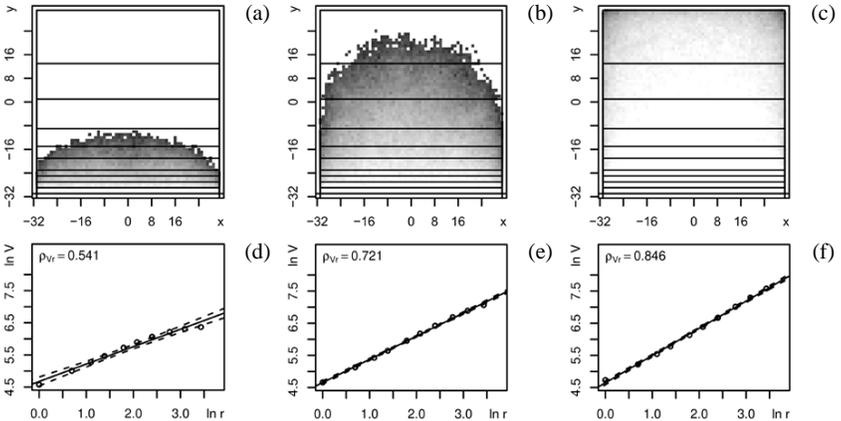


Fig. 2. Examples of rectangular sets covering samples of clusters on uniformly weighted square lattices (a-c) and their regression models (d-f) for sub-, near- and supercritical values of the open site probability p : (a, d) $p < p_c$; (b, e) $p \approx p_c$; (c, f) $p > p_c$

Analyzing the results shown in Figure 2 (d-f), we can see that the transition in the regression model from the sum of absolute frequencies N_i to the sum of relative frequencies V_i of lattice sites covered by similar rectangles significantly reduces errors and increases the representativeness of statistical estimates of the fractal dimension. In addition, this method reduces the complexity of estimation because the regression model is built not many times for each cluster, but once for the sample as a whole.

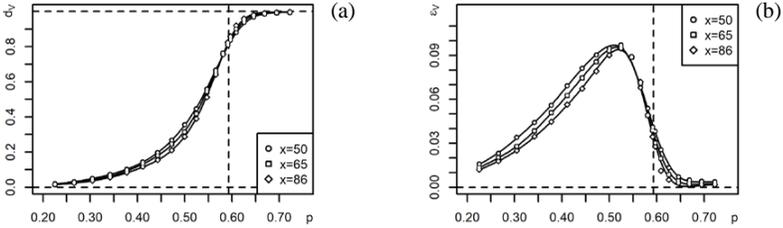


Fig. 3. Dependencies of estimates $d_V(p)$ and errors $\varepsilon_V(p)$ of the fractal dimension on the open site probability p obtained for a sample of 1000 percolation clusters on uniformly weighted square lattices of size $x = 50, 65, 86$ sites with $(1,0)$ -neighborhood

Dependencies $d_V(p/x)$ are approximated in Figure 3 (a) by sigmoid functions with horizontal asymptotes at levels $d_V = 0$, $d_V = 1$, and inflection points in the left neighborhood of the percolation threshold $p_c = 0.592746\dots$, which are shown in Figure 3 (a) by horizontal and vertical dashed lines. Dependencies $\varepsilon_V(p/x)$ are approximated in Figure 3 (b) by bell-shaped functions with horizontal asymptotes at the level $\varepsilon_V = 0$ and maxima at the neighborhood of the point $p_m \approx 0.5$.

With an unlimited increase in the lattice size $x \rightarrow \infty$ at the percolation threshold $p = p_c$, we can expect that the function $d_V(p)$ will have a discontinuity of the first kind (a jump with unit amplitude), and the function $\varepsilon_V(p)$ will have a discontinuity of the second kind (a jump with infinity amplitude). On lattices of limited size $x < \infty$ the sigmoidal function $d_V(p/x)$ has an asymmetric form, where the downward convex part of the curve has larger radii of curvature than its upward convex part. Noteworthy is the fact that the maximum error for estimates of the fractal dimension $\varepsilon_V(p/x)$ is achieved at subcritical values of the open sites probability $p_m \approx 0.5 < p_c$. All this allows us to assume that the error function $\varepsilon_V(p/x)$ for statistical estimates of the fractal dimension of percolation clusters can be related to the derivative of the function $d_V(p/x)$ with respect to the model parameter p .

References:

1. Moskalev P. V., Percolation Modeling of Porous Structures. – Moscow: URSS, 2018 [in Russian].
2. Moskalev P. V. // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, V. 553, 2020, P. 124657, DOI: 10.1016/j.physa.2020.124657.
3. Newman M. E. J., Ziff R. M. // Phys. Rev. Lett., V. 85, 2000, P. 4104, DOI: 10.1103/PhysRevLett.85.4104.
4. Moskalev P. V., SPSL: Site Percolation on Square Lattices. – CRAN, 2019, URL: <https://cran.r-project.org/package=SPSL>.
5. Moskalev P. V., SECP: Statistical Estimation of Cluster Parameters. – CRAN, 2022, URL: <https://cran.r-project.org/package=SECP>.
6. Feder J., Fractals. – New York: Springer, 1988.

**IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL INDICATORS OF THE HEATING
COMPLEX SERVICE BASED ON THE DEVELOPMENT OF A STRUCTURAL
MODEL OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS**

Y.S. Pozdnyak², T.V. Karlova^{1,2}, A.Y. Bekmeshov^{1,2}

¹Moscow State University of Technology «STANKIN»
Moscow, Vadkovskij per., 1

²Federal State Autonomous Institution of Science Institute of Design and Technological
Informatics of the Russian Academy of Sciences
127055, Moscow, Vadkovskij per., 18, building 1A

Annotation. The article is devoted to the study of the issues of improving the environmental performance of the heating complex service on the basis of a structural model by determining the key quality indicators of the heat generation process that affect the sustainable environmental development of the enterprise.

Keywords: process improvement, structural model, management, defect, key indicators, strategy.

Environmental protection occupies an important place in public administration and regulation of the economy. An analysis of the development of industrial production in recent decades shows a sharply increasing role of the environmental factor in the functioning of an industrial enterprise.

The degree of impact of an industrial enterprise on the environment depends primarily on the specialization of the enterprise, the scale of production, the adopted technology. It is necessary to constantly monitor the scale of pollution, monitor changes in the natural complex of the environment, developing comprehensive programs to minimize the harmful effects of enterprises. This is a strategy in the field of ecology, which contributes to the environmentally safe and sustainable development of the enterprise, at the moment and in the long term.

The basis of the heating complex is a complex of devices necessary for the production of steam or hot water, as a result of which a lot of production waste is released. Therefore, the issue of environmentally safe development of heating complexes is a priority, which means that in future developments special attention should be paid to innovations, thanks to the introduction of which it will be possible to achieve such development.

For the environmentally safe development of the enterprise in the long term, it is necessary to analyze the main indicators of the quality of technological processes, identify vulnerabilities and develop a structural model for improving the process. After achieving the set goals, it will be possible to achieve the following results:

1. improve management efficiency and reduce risks in all areas of activity;
2. to increase the efficiency of heat energy sales by constantly improving the strategy of activity in the heat energy market.

Let's use the process approach, and consider in more detail the main process that is performed at the heating complex - the process of heat generation with the main stages of its implementation. The elements involved in this process are shown in figure 1.

With a detailed study of the scheme, the following main technological processes can be distinguished:

- fuel oil supply from tanks to boilers;

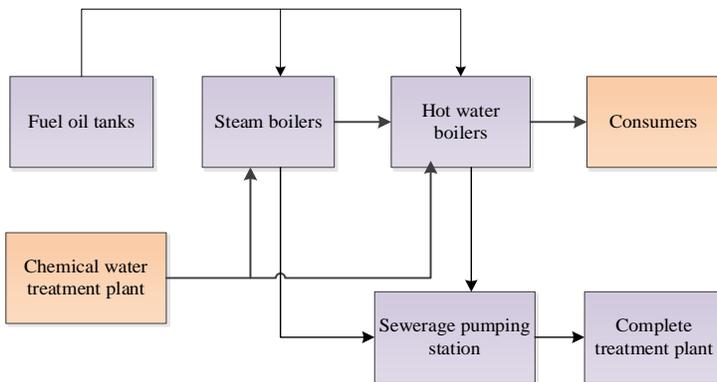


Fig. 1 - The main elements of technological processes at the heating complex

- mixing of fuel oil with air and gorenje;
- heat distribution to consumers;
- removal of drainage water to a complete treatment plant.

To determine the main factors affecting the environmentally safe operation of the enterprise, we will consider all the indicators that require control during heat generation.

For example, let's analyze the number of deviations identified over the past 10 years in the heating complex (table 1) in relation to the indicators of technological processes and highlight those that had the greatest impact on pollution.

To do this, we will use one of the statistical quality control tools – the Pareto diagram, which allows us to identify the most significant and significant factors affecting the occurrence of inconsistencies, and in our case, the level of pollution.

Table 1

Data on the number of malfunctions collected from 2010 to 2020 at the heating complex in relation to the indicators of technological processes

| No. | Process indicators | Number of faults | Accumulated sum of the number of faults | Percentage of the number of failures for each indicator to the total amount, % | Accumulated % |
|-----|---|------------------|---|--|---------------|
| 1 | Completeness of fuel combustion | 18 | 18 | 27.27 | 27.27 |
| 2 | The amount of harmful substances in indoor air | 15 | 33 | 22.73 | 50.00 |
| 3 | The amount of harmful emissions released into the environment | 10 | 43 | 15.15 | 65.15 |

| | | | | | |
|----|--|----|----|------|-------|
| 4 | Supply air pressure | 5 | 48 | 7.57 | 72.72 |
| 5 | The pressure of the fuel oil supplied to the burner | 4 | 52 | 6.06 | 78.78 |
| 6 | The pressure of the water supplied to the boiler | 3 | 55 | 4.54 | 83.32 |
| 7 | Flue gas pressure | 3 | 58 | 4.54 | 87.86 |
| 8 | Prepared water temperature | 2 | 60 | 3.04 | 90.90 |
| 9 | Absence of heat leakage through the seals of hatches, technological openings | 2 | 62 | 3.04 | 93.94 |
| 10 | The level of chemically treated water in the expansion tank; | 2 | 64 | 3.04 | 96.98 |
| 11 | Serviceability of auxiliary equipment | 1 | 65 | 1.51 | 98.49 |
| 12 | Other | 1 | 66 | 1.51 | 100 |
| 13 | Total | 66 | 66 | 100 | 100 |

The number of identified malfunctions related to the indicators of technological processes at the heating complex is shown in figure 2.

As can be seen from the diagram, the greatest number of environmental problems arise due to the following indicators: incomplete combustion of fuel, increased content of harmful emissions in the working area of premises and in the environment. Evaluating these indicators, it can be concluded that the gorenje process has the greatest impact on the environment. Let's consider possible ways to improve the technology of the gorenje process.

To improve the environmental safety of the enterprise, we will build a structural model of the technological processes of the developed technology to ensure a more complete gorenje mazut.

Based on the above analysis of indicators that cause environmental deviations, we have identified the process that we will further improve and control to minimize the possible occurrence of risks.

Based on the existing technological scheme of the heating complex, we will develop structural models using new equipment introduced at the stage of fuel supply to boilers before the combustion stage, where fuel is fuel oil (figure 3) and water-oil emulsion (figure 4), which allows to maximize the level of environmental safety of production.

Thus, we perform preventive actions and minimize deviations at the output of our production.

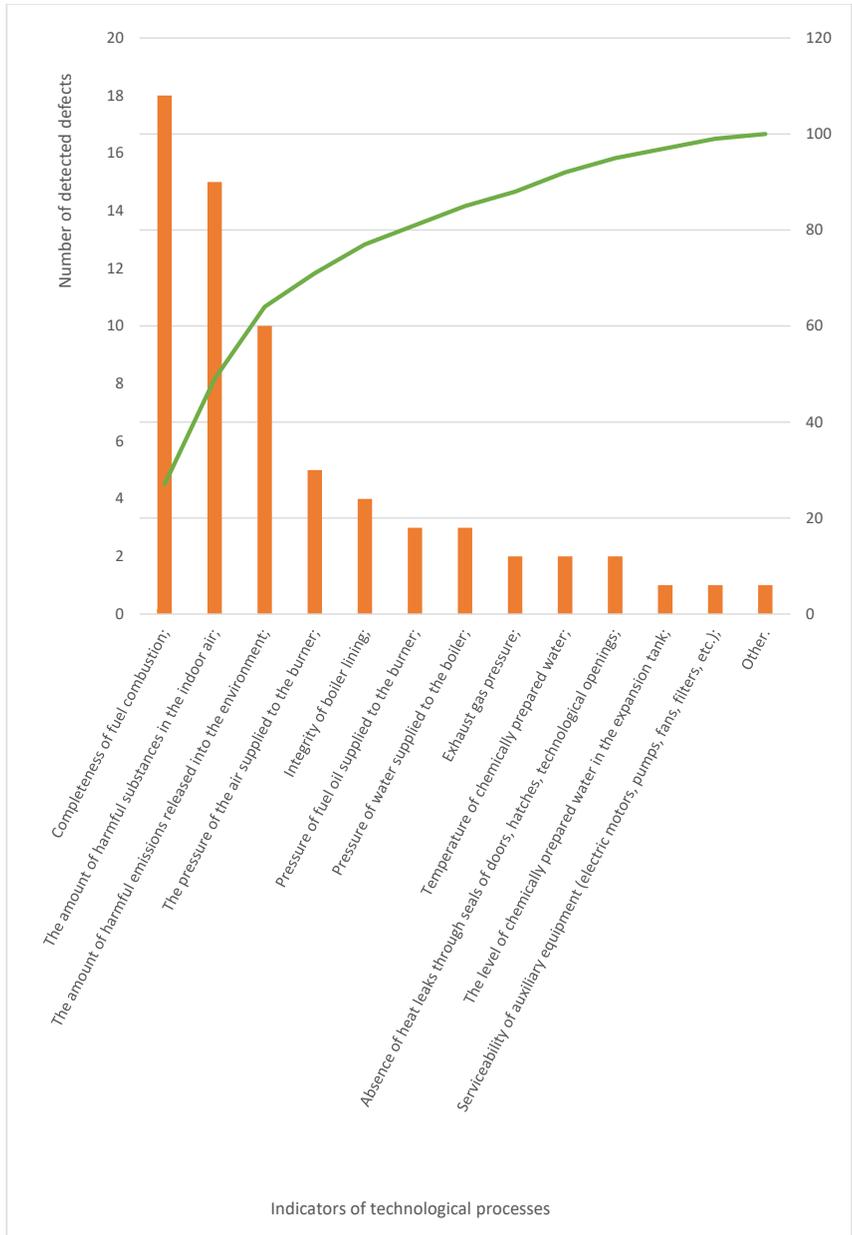


Fig. 2 - Pareto Chart

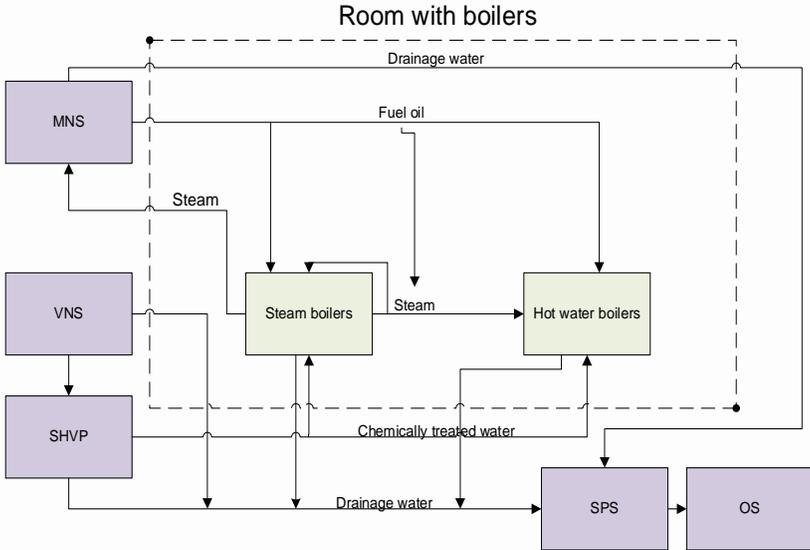


Fig. 3 - Structural model of the process of heat release, where the fuel is fuel oil

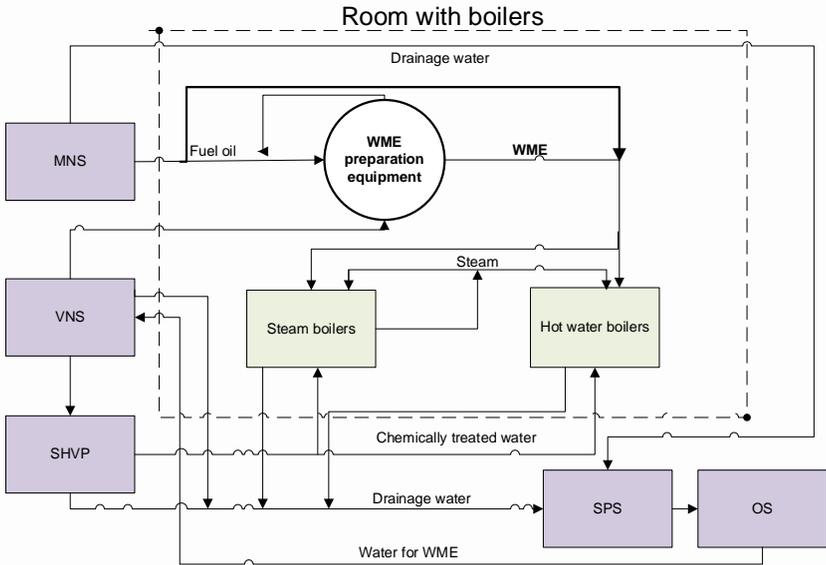


Fig. 4 - Structural model of the process of heat release, where the fuel is a water-oil emulsion (WME)

Legend:

- MNS - fuel oil pumping station;
- VNS - water pumping station;
- SHVP - chemical water treatment plant;
- SPS - sewer pumping station;
- OS - cleaning station.

Conclusions

Currently, not enough attention is paid to the environmental strategy at the production facilities, its relationship with the economic strategy and the role of the environmental management system in the development and implementation of the environmental strategy are not determined.

The determination of key indicators of the quality of the technological process using statistical methods, as well as the creation of a structural model of the process, allow us to further develop a mathematical model and identify opportunities for improving the strategy in the field of ecology. This will help to improve the environmental performance and safety of the heating complex by improving the quality of the processes performed.

References:

1. Khomchenko Ya.S, Savvateeva O.A. "Heat power engineering as a significant source of environmental impact";
2. Vavilin Ya.A. "Improving the quality of engineering products based on ensuring the requirements for its safety." 2016;
3. Tebekin, A. V. Quality management: a textbook for universities / A. V. Tebekin. - 2nd ed., revised. and additional - Moscow: Yurayt Publishing House, 2021;
4. Article, Batuev S.P. Improvement of economic and environmental parameters of boiler houses when burning oil-water emulsions. Sources of thermal energy. PocTeplo.ru, 2012;
5. GOST R ISO 9001-2015. Quality management systems. Requirements.

GROUP METHODS FOR INTEGRATING DIFFERENTIAL EQUATIONS ON HOMOGENEOUS SPACES ON THE EXAMPLE OF NLSE

A.V. Shapovalov^{1,2}, A.I. Breev¹

¹ Tomsk State University, Tomsk, Russia

634050, Novosobornaya sq., 1

Tel.: (+7 3822)529843, e-mail: shpv@phys.tsu.ru; breev@mail.tsu.ru

² Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

634050, Lenin ave., 40

We discuss an approach to integrating partial differential equations with symmetries. The proposed approach is based on a combination of Lie group theory on homogeneous spaces and the noncommutative integration method (NIM) proposed in [1] and developed in subsequent papers [2,3] and a number of others for both linear and non-linear equations.

The main ideas of the approach are described by the example of the generalized nonlinear Schrödinger equation (NLSE) on a homogeneous space with a nonzero curvature tensor [4]. The construction of NIM analogues of coherent states is considered. The possibility of applying the proposed approach in combination with the semiclassical approximation is considered on the example of a nonlocal generalization of the Gross-Pitaevskii equation (NLSE with a trap potential).

References:

1. Shapovalov, A.V.; Shirokov, I.V. // Theor. Math. Phys., v. 104. 1995, P. 921–934. (In Russian).
2. Shirokov, I.V. // Theor. Math. Phys., v. 123. 2000, P. 754–767. (In Russian).
3. Breev, A.I.; Shapovalov, A.V. // Symmetry, v. 12, 2020, article ID 1867, 30 pp.
4. Breev, A.I.; Shapovalov, A.V., Gitman, D.M. // Universe, v. 8, 2022, article ID 445, 13 pp.

MATHEMATICAL FUNCTIONS OF CALIBRATION MODELS FOR INDUSTRIAL COMPANIES

O.V. Stikhova

MSTU "STANKIN", Moscow, Russia

127055, Vadkovsky lane, 3a

Tel.: (+7 499)972-42-55, e-mail: olgitast2011@mail.ru

Mathematical functions of default calibration models for industrial companies continue to be relevant due to their multiparametric properties. As a rule, the real dependence structure of the financial assets is different from the Gaussian one and especially under situations of market stress. The approaches required for the industrial production manufacturers derivative credit tools market are shown in this paper [1]. An important part in calibration models is to select and calibrate the most adequate copula function based on real financial data. The multiparametrical model based on generalized hyperbolic copula with generalized hyperbolic borders (CGH) takes into account the various mixed distribution and various boundary areas distributions, keeps desirable one-dimensional distribution GH properties [2]. The estimation functional characteristics required for solving the problems of forecasting the behavior of some collateralized debt obligations (CDO) and credit default swaps (CDS) problem are given in this paper.

The copula functions can be a useful and simple tool for implementing efficient algorithms and to simulate the financial asset returns distribution more realistically. The concept "derivative" of standard financial actives is allocated and the industry obligations secondary market control are considered. The credit derivatives tranches risk mathematical modeling task is solved. The copulas allow us to model the dependence structure independently from the marginal distributions. In this way we construct a multivariate distribution with different margins and the dependence structure given from a particular type of copula function.

The synthetic debt tools portfolio is made proceeding from required parameters. In calibration models early defaults reduce the equity tranches payment required sums with high spreads, late defaults work absolutely opposite. A group of useful methods for calibrating and simulating copula functions is presented.

For the basic portfolio CDO valuation the multiple-name default probability model is used [4].

$$V_{prot}(0) = E \left[\begin{array}{c} T - \int_0^s r_u du \\ e^{0} \quad N_{tr} dL_s^{(K_1, K_2)} \\ 0 \end{array} \right]$$

In this work the premium part estimation takes into account the saved payments, default time distribution is calibrated under the CDS rates and for the basic portfolio CDS valuation the single-name default probability model is used.

The value of protection is determined by the size of the expected tranche default losses and the value of tranche premium part is calculated as the current price of all expected payments on spread, where an interval in payments is $\Delta_i = T_i - T_{i-1}$:

$$V_{prem}(0) = \sum_{i=1}^M E \left[e^{-\int_0^{T_i} r_u du} s \Delta_i N_{tr} \frac{2 - L_{T_{i-1}}^{(K_1, K_2)} - L_{T_i}^{(K_1, K_2)}}{2} \right].$$

The single-name non-repayment credit risk estimation models help us to estimate the default opportunity and avoid it.

With the portfolio losses $x \in [0, 1]$ and the default threshold value $K(t) = F_{GH}^{-1}(p(t))$, where $p(t)$ is neutral to risk default probability of each portfolio emitter, the portfolio loss distribution is:

$$F_{\infty}(t, x) = 1 - F_{GH_d} \left(\frac{1}{a} \left(K(t) - \sqrt{(1 - a^2)} F_{GH_i}^{-1}(x) \right) \right)$$

For the tranche expected losses estimation in generalized hyperbolic copula multiparametrical model [5]:

$$EL_{(K_1, K_2)}(t) = \frac{1}{K_2 - K_1} \int_{K_1}^{K_2} (x - K_1) dF_{\infty}(t, x) + (1 - F_{\infty}(t, K_2)).$$

To develop the financial portfolio modern models it is necessary to study the mathematical calibration functions behavior in detail. Calibration functions have been also implemented in the field of the integrated measurement of the different financial risks by modeling the dependence structure among the market, credit, and operational losses. In this work the computing experiments and results verification on market products industrial sector companies credit default derivatives value are carried out both with the generated samples and with the real data. The calibration functions may be implemented to a portfolio of n financial assets traded on different stock markets such as the American, European and Asian ones.

The iTraxx indices of Europe, Asia, the Middle East and Africa with maturities of 3, 5, 7 and 10 years are considered, a new series is determined on the basis of liquidity every six months. The basic iTraxx Europe index includes 125 European names with the same weight in the effectiveness of the corresponding current iTraxx CDS contracts. Our methods and models allow to simulate simultaneously tail dependence and various boundary areas distributions. The copula functions are used for estimating the marginal contribution of each financial institution to the systemic risk, that is the instability of the global financial system. The implications in terms of macro-prudential policy and supervisory choices on financial and industrial companies are evident. The carried out calculation results, also for the various sphere of activity enterprises, have shown high efficiency.

References:

1. Stikhova O.V. Mathematical modeling of the industrial companies credit derivatives default process / Vestnik MSTU «STANKIN». Scientific referenced journal. M.: MSTU «STANKIN», №4(23), 2012, pp.81-84.
2. Stikhova O.V. Mathematical modeling double normal inverse gaussian copula and large portfolio approximation. «The Fundamentalphysics and mathematical problems and techno-technological systems modeling ». Annual collected scientific papers, 16. Ed.by. L.A.Uvarova. - M.: «Janus-K», 2014. pp. 97-102.
3. Stikhova O.V. About some loss distributions mathematical models of credit derivatives estimation. «The Fundamentalphysics and mathematical problems and techno-technological systems modeling». Annual collected scientific papers, 13. Материалы международной научной конференции «Моделирование нелинейных процессов и систем». Ed.by. L.A.Uvarova.- M.: «Janus-K»,2010. pp.127-136.
4. Schetinin E.Yu, Stikhova O.V. Mathematical modeling of default credit derivatives by copula models. / Научно-практический и информационно-аналитический сборник «Финансовая аналитика: проблемы и решения», «Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ», 7(49)-2011,pp.16-25.
5. Stikhova O.V. «Mathematical Estimation Methods and Models for Industrial Companies» EPJ Web of Conferences 248, 03001 (2021) MNPS-2020 <https://doi.org/10.1051/epjconf/202124803001>.

**DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE INFORMATION
AND STATISTICAL SYSTEM OF THE SERVICE CENTER
FOR THE REPAIR OF ELECTRICAL PRODUCTS**

A. E. Tikhomirov², T.V. Karlova^{1,2}, A.Yu. Bekmeshov^{1,2}

¹Moscow State University of Technology «STANKIN»
Moscow, Vadkovskij per., 1

²Federal State Autonomous Institution of Science Institute of Design and
Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences
127055, Moscow, Vadkovskij per., 18, building 1A

Annotation. The article is devoted to the study of the issues of competitiveness of manufacturing enterprises, its calculation and analysis based on the model of the information and statistical system of a service center that provides repair services in the field of the latest electronic devices.

Keywords: management, information-statistical model, competitiveness, expert method.

In order to develop a model of an information-statistical system for further assessment of the competitiveness of manufacturing enterprises, it is necessary to understand the concept of the competitiveness of an enterprise.

The competitiveness of an enterprise is the ability of an enterprise to resist other enterprises providing similar services in order to achieve an advantage by having it have higher quality, lower prices and convenience for customers.

The competitiveness of manufacturers selling electrical products is determined by a set of criteria: durability, reliability, reliability, maintainability, storability, time to failure, protection from external factors and repair budget. This set of criteria divides manufacturers of electrical products into 2 groups, namely:

1. no name;
2. brand.

If translated literally, then “no name” is the absence of a name, that is, electrical products are developed by an unknown manufacturer, in most cases such electronics are produced without using standards.

These electrical products are distinguished by a low price, since there are no overpayments for the brand, branded box, documents for the device and accessories for it, which should also be in the box, and so on, which no doubt affects the price of the finished product.

Since the price of a product is directly related to its quality, the quality here is often low. People ordering such products cannot be 100% sure that they will receive a device that will meet all requirements. A person can receive both an excellent high-quality device with a complete set, and an inoperative device or a device that is operable, but does not fully meet all the requirements. However, no name products are in high demand due to the sometimes ridiculous price level.

Brand is a popular manufacturer that in most cases has established itself in the market of electrical devices and has established itself as a company that produces high-quality electronic devices. Here, unlike no name companies, the manufacturer provides the buyer with a complete list of equipment, namely: all necessary documents, original accessories, as well as

a box in which it all is located. When ordering such a product, people know that they will receive it in the proper form, and it will meet all requirements. Without a doubt, it can be argued that due to the high level of product quality, reliability, durability and maintainability, this product has a price much higher than in the case of no name products from manufacturers.

We will consider just the enterprises of the second category, hereinafter referred to as BPI. Based on the statistical data available from the service center "IS CONTACT", a diagram has been compiled that reflects the frequency of customer requests for electrical products of the BPI (as a percentage) [Figure 1].

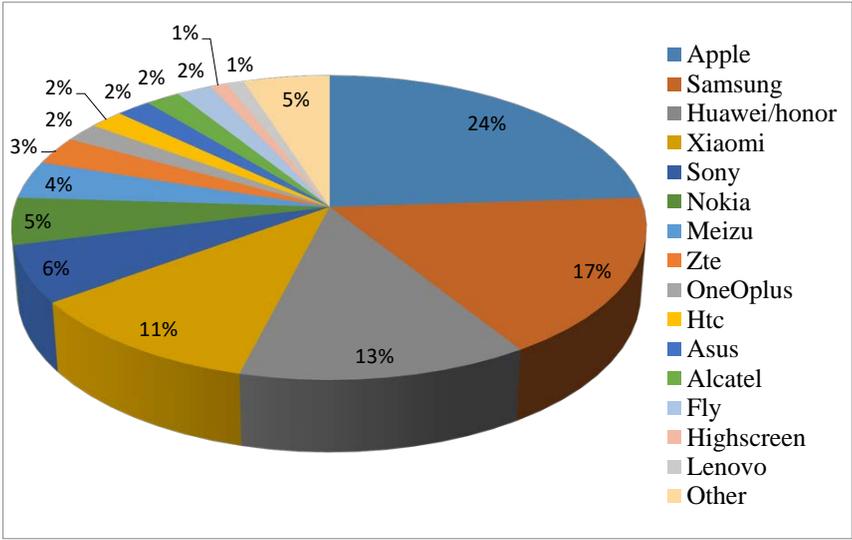


Fig. 1 – Indicators of the frequency of customer requests with electrical products of specific firms

The figure shows that most of the customer requests (more than 70%) are from the following 5 manufacturers, namely:

1. Apple (24%);
2. Samsung (17%);
3. Huawei/Honor (13%);
4. Xiaomi (11%);
5. Sony (6%).

Therefore, in the future, competitiveness will be assessed precisely according to these manufacturers. It is important to note that the competitiveness of manufacturers will be assessed by electrical products of the same price category.

Expert assessments were assigned to each enterprise by the management of the IS CONTACT service center. The results are presented in table 1.

The stage in the life cycle of a product that affects after-sales service is the operation of the product and the provision of repair work. From this it follows that it is at this stage that feedback is provided to the manufacturer of the product.

Frequent failures and errors in the product clearly show which manufacturers do not provide the proper level of quality in the production of the product and allow you to fully assess the competitiveness of these enterprises.

Table 1
Model of the information-statistical system of the service
center for the repair of electrical products

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|----------------------------|--|----------------|-------------------------|---------------|-------------|---|
| Manufacturers | <i>Apple</i> | <i>Samsung</i> | <i>Huwei/ Honor</i> | <i>Xiaomi</i> | <i>Sony</i> | |
| Критерии | Durability | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 |
| | Reliability | 9 | 9 | 7 | 7 | 5 |
| | Dependability | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 |
| | Maintainability | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| | Persistence | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| | MTBF | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 |
| | Protection against external factors | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| | Repair budget | 5 | 3 | 6 | 7 | 5 |
| Σ | 58 | 52 | 48 | 47 | 42 | |
| Average peer review | 7,25 | 6,5 | 6 | 5,875 | 5,25 | |

Analyzing the data in Table 1, it can be seen that each analyzed company has been given expert assessments on eight criteria that affect the competitiveness of manufacturers, namely:

1. durability;
2. reliability;
3. reliability;
4. maintainability;
5. persistence;
6. time to failure;
7. protection from external factors;
8. budget repair.

Even in the absence of further more detailed consideration of each manufacturer, it can be seen from expert assessments that their spread is colossal.

Let's make a petal diagram of indicators of expert assessments of the considered firms, which will allow us to identify the dependence of the value of indicators of expert assessments according to certain criteria that affect competitiveness, on specific manufacturers of electrical products [Figure 2].

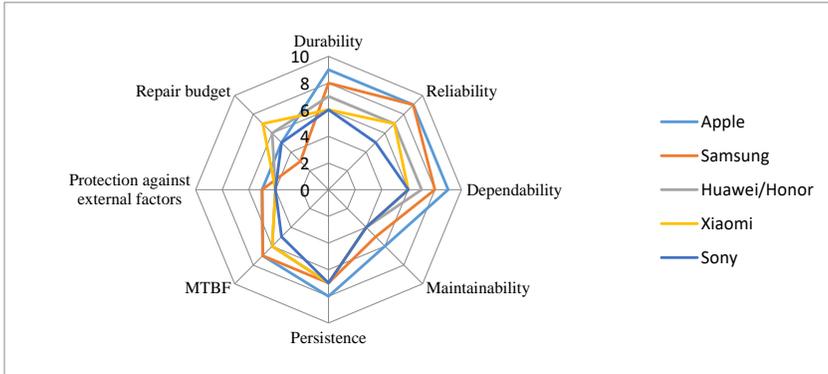


Fig. 2 – Petal chart of indicators of expert assessments of competitiveness criteria by manufacturers: “Apple”, “Samsung”, “Huawei/Honor”, “Xiaomi” and “Sony”

Analyzing the resulting diagram, it is easy to see that not a single firm, according to any competitiveness criterion, has expert ratings equal to ten (the maximum value). Therefore, it can be concluded that the limit of firm development for 2019 is much higher, and enterprises should strive to reach this limit by ensuring the proper level of quality in order to resist in order to achieve an advantage over other enterprises.

It can be seen that, despite the spread of competitiveness indicators, no manufacturer reaches the minimum value. From the diagram, we note that almost similar low scores belong to the criterion "protection from external factors."

The idea of monitoring manufacturers, on the basis of which the information and statistical system of the service center for the repair of electrical products was compiled, is to assess how balanced the values of the competitiveness criteria are for the subsequent assessment of the competitiveness of manufacturers.

Analysis of the schedule allows you to highlight those aspects that manufacturers need to pay attention to and think over a plan for subsequent actions.

Having calculated the total expert ratings for all competitiveness criteria, we can determine the average expert rating for each manufacturer under consideration in order to easily assess their competitiveness.

Comprehensive indicators of enterprises-manufacturers of electrical products are as follows:

1. Apple - 7.25;
2. Samsung - 6.5;
3. Huawei/Honor - 6;
4. Xiaomi – 5,875;
5. Sony - 5.25.

From the results of the study, it can be seen that Apple has the maximum competitiveness, and Sony has the minimum. The biggest threat to Apple as a competitor is

Samsung. The American corporation "Apple" needs to pay attention to the fact that the limit value of the indicators has not been reached, and also to analyze the results obtained.

1. Durability. Due to the high level of quality components, Apple products have proven to be the most durable. Devices are able to maintain their operability for a long time before a critical state occurs. The weakest in this parameter were the products of Xiaomi and Sony.

2. Reliability. The best in terms of reliability was Apple, and the worst was Sony.

3. Dependability. Since Apple has significant costs for the development of devices and their further verification, it is she who has a high level of reliability. Thanks to this, Apple is at least a step above its competitors. According to this criterion, devices from Xiaomi and Sony performed the worst.

4. Maintainability. Clearly designed and implemented product layout and ease of disassembly allows Apple to give the highest score on the repairability criterion.

5. Persistence. According to the criterion of persistence, based on Table 3.1 "Model of the information and statistical system of a service center for the repair of electrical products", Apple products slightly outperform their competitors.

6. MTBF. After one or even several restores, Apple and Samsung products have the longest time between failures. This can be attributed to the high quality of spare parts needed to repair the devices of these companies. However, we can observe the opposite situation with Sony. Original spare parts for devices from this company are much more difficult to find, and compatible non-original spare parts are of low quality.

7. Protection from external factors. Electrical devices of all the considered companies have a low level of protection against the effects of such external factors as: humidity, temperature extremes and mechanical stress. Slightly better than competitors, the situation is with Apple and Samsung products.

8. Budget repair. The most budgetary in terms of repair work is the manufacturer Xiaomi. Spare parts for Xiaomi repairs are readily available and are always available from suppliers at reasonable prices, and the simplicity of the design of the devices of this company allows most repairs to be carried out in a short time and at the most budgetary prices. Samsung products were the most expensive in terms of repairs, since there are practically no compatible third-party parts, and the cost of original parts is very high. First of all, this concerns branded Super AMOLED displays.

Conclusion

Modern enterprises strive to produce competitive products that occupy a certain place in the segments of the domestic and foreign markets and implement an effective competitive development strategy. The developed model of the information-statistical system makes it possible to evaluate the competitiveness of a manufacturer based on analytical data, and with the help of the results obtained, not only contribute to the improvement of the characteristic properties of products, but also influence the processes that increase its competitiveness.

References:

1. Sivachev, V.V., Tretyakova E.P. Analysis of existing approaches to assessing the competitiveness of manufacturing enterprises [Text] // Actual issues of economics and modern management 2017 - No. 2;
2. Antonov, G. D. Management of the competitiveness of an organization / Antonov, G. D. - M.: Infra-M, 2012;
3. Gorbashko, E. A. Quality management: Textbook / Gorbashko E. A. - St. Petersburg: Publishing house Peter, 2008;
4. Tebekin, A. V. Quality management: a textbook for universities / A. V. Tebekin. - 2nd ed., revised. and additional - Moscow: Yurayt Publishing House, 2021;

5. Fomichev, V. I. Management of quality and competitiveness: a textbook for universities / V. I. Fomichev. - Moscow: Yurayt Publishing House, 2021;
6. Pykhov S.I., Alferova L.V., Dimitrov V.I. Statistical analysis of the effectiveness of the enterprise in the field of quality. International dialogue: current trends in the humanities, natural and technical sciences // Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference of teachers, scientists, specialists and graduate students (April 24, 2012). - Chelyabinsk: UralPechat, 2012.

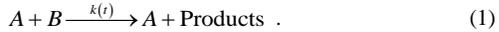
METHOD OF FRACTIONAL DERIVATIVES IN THE THEORY OF DIFFUSION-CONTROLLED REACTIONS

S.D. Traytak

Semenov Federal Research Center for Chemical Physics RAS,
4 Kosygina St., 119991 Moscow, Russian Federation
Tel.: (+7 495)939-71-01, e-mail: sergray@mail.ru

1.Introduction. Considerable recent attention has been focused on applications of fractional calculus methods in various fields of physical and natural sciences. Among them the method of *fractional-order differential operators* (FODO), proposed by Y.I. Babenko [1], is of great consequence. In this paper we consider different aspects of the FODO method applications to study kinetics of reactions in liquids for both Fickian and non-Fickian diffusion of reactants. Herewith for both cases of diffusion we employ the classical Smoluchowski trapping model [2].

In a quiescent homogeneous chemically inert medium consider bimolecular reaction processes involving Brownian diffusion of point-like non-self-interacting reactants called *B particles* toward static *sinks A* and subsequent irreversible fast trapping of *B*'s by these sinks. We assume that all *A*'s are identical. Provided the *rate coefficient* $k(t)$ is solely determined by the diffusive transport rate of *B* particles, this type of reaction is commonly termed a *diffusion-controlled reaction*. These reactions occur by the elementary bimolecular reaction scheme [2]



Hence the main objective for the theory is to calculate the rate coefficient $k(t)$ assigned by

$$k(t) := \int_{\partial\Omega} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{j}) \Big|_{\partial\Omega} dS > 0, \quad (2)$$

where $\mathbf{j}(\mathbf{x}, t)$ and $\mathbf{v}(\mathbf{x})$ are the local flux of *B* particles and the outward-pointing unit vector normal to the reaction interface $\partial\Omega$ of the sink domain $\Omega \subset \mathbb{R}^3$. In the present paper we investigate reaction on a spherical sink of the radius R , choosing its center as the origin of spherical coordinates. Therefore, one has $\partial\Omega = \{\|\mathbf{x}\| = r = R\}$. Particularly for the *Smoluchowski steady-state rate constant* formula (2) yields [2]

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} k(t) = k_s = 4\pi RD. \quad (3)$$

For non-Fickian diffusion the probability of finding of a *B* particle around a test sink at a distance r and at time t is denoted as $\rho(r, t)$, while in case of Fickian diffusion $w(r, t) := \lim_{\tau_D \rightarrow 0} \rho(r, t)$. We shall call probability $\rho(r, t)$ (or $w(r, t)$) *particle distribution function* (PDF).

The *Riemann-Liouville fractional derivative* of order ν ($-\infty < \nu < 1$) is defined by the linear integral operator [1]

$$\mathcal{D}_t^\nu \{f(t)\} := \frac{1}{\Gamma(1-\nu)} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{f(\xi)}{(t-\xi)^\nu} d\xi \quad t > 0, \quad (4)$$

where $\Gamma(z)$ is the Euler gamma function.

2. Fickian diffusion. This case corresponds to the *classical first Fick's law* [2]

$$\mathbf{j}(\mathbf{x}, t) = -D\nabla w(\mathbf{x}, t). \quad (5)$$

For the spherically symmetric diffusion general parabolic initial boundary value problem may be reduced to the relevant 1D problem of the form [2, 4-7]

$$\left[\partial_\tau - \alpha_2(x, \tau) \partial_x^2 - \alpha_1(x, \tau) \partial_x + \alpha_0(x, \tau) \right] w(x, \tau) = 0 \quad (x, t) \in \mathbb{R}_+ \times \mathbb{R}_+; \quad (6)$$

$$w|_{\tau \rightarrow 0+} \rightarrow 0, \quad w|_{x \rightarrow 0+} \rightarrow f(\tau), \quad w|_{x \rightarrow +\infty} \rightarrow 0. \quad (7)$$

Hereafter coefficients $\alpha_i(x, \tau)$ ($i = 0, 1, 2$) are smooth functions and dimensionless variables are $x := r/R - 1$, $\tau := t/t_D$, where $t_D := R^2/D$ and D are *diffusion time* and *diffusivity*, respectively. Note, that one can weaken condition at infinity (7), assuming that PDF is a bounded function on its domain. In the paper we dwell on a specific, but important case:

$$\alpha_2(x, \tau) \equiv 1, \quad \alpha_1(x, \tau) = \frac{2}{1+x} \left(1 + \frac{b}{1+x} \right), \quad \alpha_0(x, \tau) \equiv 0;$$

where $b \in \mathbb{R}$ is a physical parameter which value depends on the kind of problem [4, 5]. With the aid of FODO method one can show that

$$\lim_{x \rightarrow 0+} \partial_x w(x, \tau) = \lim_{x \rightarrow 0+} \sum_{n=0}^{\infty} a_n(x) \mathcal{D}_t^{(1-n)/2} \{f(\tau)\} \quad (8)$$

In this expression [1, 4, 5] coefficients $a_n(x)$ are $a_0 = 1$, $a_1 = \frac{1}{2} \alpha_1$, $a_2 = \frac{1}{2} (\partial_x \alpha_1 + \alpha_1^2)$,

$$a_3 = \frac{1}{2} \partial_x \alpha_2, \quad a_n = \frac{1}{2} \left(\partial_x \alpha_{n-1} - \sum_{\nu=0}^{n-2} a_\nu \alpha_{n-\nu} \right) \quad \text{for } n \geq 4.$$

Using general formula (2) and expansion (8) we can derive the following expression [4, 5]

$$k(t) = \left(1 + \frac{1}{\sqrt{\pi t}} \right) \exp(-b^2 t) - \text{berfc}(b\sqrt{t}) + O\left(\frac{1}{|b|}\right) \quad \text{as } |b| \rightarrow \infty. \quad (9)$$

Consider now so-called *radiation boundary condition* on the reaction surface [2, 6]

$$k_h(t) = \lim_{x \rightarrow 0+} \partial_x w(x, \tau) = h[1 - w(0+, \tau)]. \quad (10)$$

Here $h = k_a/k_s > 0$ and k_a stands for an *intrinsic rate constant*.

Utilization of the FODO method for boundary condition (10) leads to the following exact relationship

$$k_h(t) = k(t) - \frac{1}{h} \sum_{n=0}^{\infty} a_n(0+) \mathcal{D}_t^{(1-n)/2} \{k_h(t)\}. \quad (11)$$

Obtained expression (11) allows us to prove

Theorem 1. *There exists an exact connection (12) between the rate coefficient $k(t)$ in case of the perfectly absorbing boundary condition (7) and the corresponding rate coefficient $k_h(t)$ in case of the radiation boundary condition (10)*

$$k_h(t) = k(t) - \frac{1}{h} \frac{d}{dt} \int_0^t k(t-\xi) k_h(\xi) d\xi, \text{ where } k(t) = \lim_{h \rightarrow +\infty} k_h(t). \quad (12)$$

We have also proved the general assertion concerning problem (6), (7) [3]

Theorem 2. *Solution of the initial boundary value problem (6), (7) with coefficients $\alpha_i(x)$, depending only on x , by the FODO method is equivalent to use of the WKB method.*

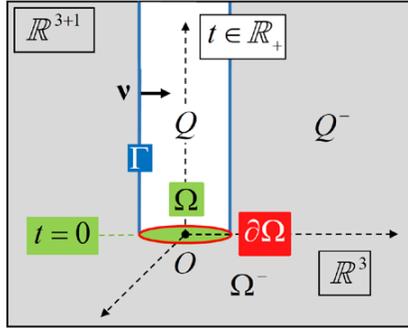


Fig. 1. Sketch of the geometrical components corresponding to the initial boundary-value problem for the diffusion equations. Here $Q := \Omega \times \mathbb{R}_+$, $\Omega^- = \mathbb{R}^3 \setminus \overline{\Omega}$ and $Q^- := \Omega^- \times \mathbb{R}_+$.

3. Non-Fickian diffusion. It is well known that for many media with finite *relaxation time* τ_D , diffusion should be described in terms of *non-Fickian first law* [2, 8]

$$(1 + \tau_D \partial_t) \mathbf{j}(\mathbf{x}, t) = -D \nabla \rho(\mathbf{x}, t). \quad (13)$$

Note here that Non-Fickian diffusion theory is preferable from the physical point of view [8, 9].

Using approach, based on the diffusion analog of the known Cattaneo-Vernotte model [9], and FODO method, we readily derive corresponding time-dependent linear *hyperbolic diffusion equation* [2]

$$(1 + \tau_D \partial_t) \partial_t \rho = D \nabla^2 \rho \quad \text{in } Q^- \quad (14)$$

with the following initial and boundary conditions

$$\rho(r, t) \Big|_{t \rightarrow 0^+} \rightarrow 0, \quad \partial_t \rho(r, t) \Big|_{t \rightarrow 0^+} \rightarrow 0, \quad \rho(r, t) \Big|_{r \rightarrow R^+} \rightarrow 1. \quad (15)$$

An important statement on the solution to the above initial boundary value problem may be proved straightforwardly [8, 9]

Theorem 3. *Classical solution to the initial boundary value problem (14), (15) reads*

$$\rho(r(x), t(\tau)) := 1 - (1+x)u(x, \tau), \quad (16)$$

where $u(x, \tau)$ is an auxiliary function obeying the initial boundary value problem

$$\left[(1 + \varepsilon \partial_\tau) \partial_\tau - \partial_x^2 \right] u = 0, \quad (17)$$

$$u(x, \tau) \Big|_{\tau \rightarrow 0^+} \rightarrow 0, \quad \partial_\tau u(x, \tau) \Big|_{\tau \rightarrow 0^+} \rightarrow 0, \quad u(x, \tau) \Big|_{x \rightarrow 0^+} \rightarrow 1 \quad (18)$$

with dimensionless parameter $\varepsilon := \tau_D / t_D$.

The following result is a consequence of the previous theorem

Theorem 4. *For the corresponding rate coefficient $k(t)$ the following expression holds true*

$$k(t) = k_c(t) + k_x(t), \quad (19)$$

where function $k_c(t) = k_s \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_D}\right) \right]$ describes the curvature effects.

Note in passing that function $k_x(t)$ in formula (19) is a part, corresponding to the rate coefficient upon the wall of the semi-infinite absorbing slab [8, 9].

To derive the known *Rice formula* for the hyperbolic rate coefficient, we factorize the hyperbolic diffusion operator in (17) as follows [1, 9]:

$$\left[(1 + \varepsilon \partial_\tau) \partial_\tau - \partial_x^2 \right] = \left(\sqrt{\mathcal{D}_\tau + \varepsilon \mathcal{D}_\tau^2} - \partial_x \right) \left(\sqrt{\mathcal{D}_\tau + \varepsilon \mathcal{D}_\tau^2} + \partial_x \right). \quad (20)$$

According to the FODO method we arrive at

$$k_x(\tau) = k_s \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \exp\left(-\frac{\tau}{\varepsilon}\right) \mathcal{D}_\tau^{-1/2} \left\{ \exp\left(\frac{\tau}{\varepsilon}\right) \cdot \mathcal{D}_\tau^{1/2} \{1\} \right\}. \quad (21)$$

Using here properties of the Riemann-Liouville fractional derivatives, one can derive

$$k_x(\tau) = k_s \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \exp\left(-\frac{\tau}{2\varepsilon}\right) I_0\left(\frac{\tau}{2\varepsilon}\right), \quad (22)$$

where $I_0(z)$ is the first kind modified Bessel function of order zero.

Combining expressions (19) and (22), we obtain desired Rice's formula for the rate coefficient [2]

$$k(t) = k_s \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_D}\right) + \frac{R}{\sqrt{D\tau_D}} \exp\left(-\frac{t}{2\tau_D}\right) I_0\left(\frac{t}{2\tau_D}\right) \right\}. \quad (23)$$

One can see that Rice's formula (23) successfully resolve the paradox of singular behavior of the reaction rate as $t \rightarrow 0 +$ [2]. Moreover, it leads to an interesting relation

$$\lim_{t \rightarrow 0+} k(t) = 4\pi R^2 c, \quad (24)$$

where $c = \sqrt{D/\tau_D}$ is the *speed of the diffusive wave* [8, 9].

Thus, the use of FODO method allows us to calculate analytically time-dependent reaction rate coefficients (2) directly, without knowing relevant PDF field. These calculations may be performed for diffusion-controlled reactions describing by both Fickian and non-Fickian diffusion under perfectly absorbing and radiation boundary conditions.

Acknowledgments. Note that this work was performed in accordance with STATE TASK 45.12 (No. 0082-2019-0009), registration number in GZ 122040500058-1. Scientific basis for the designing of new materials with desired properties and functions, including high-purity and nanomaterials. Topic 1.1 "Physics and chemistry of new nanostructured systems and composite materials with prescribed properties".

Furthermore, the author would like to express sincerely thanks Prof. Yu.V. Maksimov for constant attention to this research.

References:

1. Babenko Y.I., Method of Fractional Differentiation in Applied Problems of Heat and Mass Exchange Theory, St. Petersburg: NPO Professional, 2009 (in Russian).
2. Rice S.A., Diffusion-limited Reactions, Amsterdam: Elsevier, 1985.
3. Traytak S.D.// Inzh. Fiz. Zhurnal., v. 49, 1985, P. 501 (in Russian).
4. Traytak S.D.// Chem. Phys., v. 140, 1990, P. 281.
5. Traytak S.D.// High Temperature, v. 28, 1990, P. 772.
6. Traytak S.D.// Chem. Phys. Lett., v. 173, 1990, P. 63.
7. Traytak S.D. and Traytak T.V.// Diffus. Fundam., v. 6, 2007, P. 38.1.
8. Traytak S.D.// J. Chem. Phys. (Submitted).
9. Traytak S.D.// J. Math. Chem. (in Preparation).

ON THE QUESTION OF THE STOCHASTIC KdV MODEL

L.A. Uvarova, V.D. Merzlyakov
MSTU "STANKIN", Moscow, Russia
127055, Vadkovskii lane, 3a

e-mail: uvar11@yandex.ru, merz-vlad@yandex.ru

The solution to KdV equation in definitive case has been thoroughly researched and documented, with multiple solutions existing for different forms and different types of starting conditions. Different types of solutions (for instance, soliton solution) are well documented as well. When it comes to a stochastic KdV equation, however, several problems present themselves. Different starting conditions may severely impact the resulting solutions, as well as the choice of the form of said solution. It is the goal of this paper to construct a mathematical model for numerical solution of a stochastic KdV equation - one that incorporates not just one, but two random noise components.

The noise components in question can be modeled as several different types of noise, depending on the desirable model qualities. These components are considered to be co-dependent, so that the resulting model will be more accurate with regards to a more realistic circumstance. The noise, due to the methods used in the process of constructing the model, needs to be of either a low-frequency or a noncontinuous variety. Two types of random noise can be applied in this case: black noise, typically characterizing critical states in the system (market crash in a case of finance, or a waterfall in the case of hydrodynamics); and flicker noise, typically characterizing random signals and background noise registered by electronics. These types of noise are also considered with regards to their nature – for instance, if there is a black noise affecting the system its nature is most likely outside of the system itself (for instance, consider the water surface near an edge of a waterfall) and thus is added to the model as a additive noise. The flicker noise, on the other hand, is more likely to occur within the measuring devices or connectors, and as such needs to be considered as internal for the system – thus it is added to the model as multiplicative noise.

The next part of the model is to represent not only the two random noises that affect the system, but to also include their codependent nature. With that in mind, the random distributions of these noises are replaced by a specific copulae, to effectively model the desirable qualities of the random processes and simplify the calculations required to solve the resulting mathematical model. This might restrict the model in one way – both noises are now required to be of the same type – either black or flicker. This restriction may be circumvented with the modification of the copulae, by disguising the flicker noise (or the black noise) as the other type with the help of coefficients. This will still impact the quality and accuracy of the model, but may allow to model cases of the influence of different types of interference. The noises themselves can be modeled as additive white Gauss noises in the same way.

This project is funded by the Russian Science Foundation (grant No 18-11-00247).

References:

1. Artme'ev S.S. The stability of numerical methods for solving stochastic differential equations. Bulletin of the Novosibirsk Computing Center, 1993.
2. Burrage K., Burrage P.M. General order conditions for stochastic Runge-Kutta methods for both commuting and non-commuting stochastic ordinary differential equation systems. Applied Numerical Mathematics, 1997.
3. Foursov M.V. Classification of certain integrable coupled potential KdV and modified KdV-type equations. Journal of Mathematical Physics, 2000.
4. Hirota R., Satsuma J. Soliton Solutions of a Coupled Korteweg-de Vries Equation. Physics Letters, 1981.
5. Schmidt T. Coping with Copulas. Department of Mathematics, University of Leipzig, 2006.

**MATRIX INTEGRAL TRANSFORMATIONS
FOR MODELING WAVE PROCESSES**

O.E. Yaremko, K.R. Zababurin

MSTU “STANKIN”, Moscow, Russia

127055, Vadkovskii lane, 3a

Tel.: (+7 499)972-42-55, e-mail: yaremki8@gmail.com , zababurinkir@gmail.com

Abstract. A vector version of the D'Alembert formula is found for the problem of wave propagation in an infinite string with two sections of different densities. The method of matrix integral transformations with piecewise trigonometric kernels is applied. The kernel of the inverse matrix transformation satisfies the internal conjugation conditions. In the scalar case, the formula of V.A. Ilyin and E.I. Moiseev is obtained.

Keywords: matrix integral transformation, D'Alembert formula, matrix argument function.

Vector analog of wave propagation the problem in an infinite string with two regions of different density a solution is found . The concept of a matrix transformation operator is proposed, which made it possible to untie the interconnected model, i.e. interpreted as a deformation of the classical scalar model with the help of reflections from the inner boundary. The d'Alembert formula for solving the Cauchy problem for the equation of vibrations of an infinite string served as the basis for modeling wave phenomena in unbounded media. The Cauchy problem for the equation of vibrations of an infinite string with two sections of different density seems natural. In this case, the so-called internal boundary conditions arise. A formal solution to this problem by the Fourier transform was found back in the 1980s in [1]. However, such a solution cannot be considered satisfactory, because its notation contains two improper integrals. In the d'Alembert formula, as is well known, there are no integrals. Only at the beginning of the 21st century in the works of V.A. Ilyin and E.I. Moiseev [2] found its generalization for an unbounded string with two sections of different density, in a form that does not contain integrals. V.A. Ilyin and E.I. Moiseev developed the original ideas of d'Alembert. In the vector case, the results have not yet been known, although many problems of mathematical modeling lead to systems of differential equations of hyperbolic type. Thus, the goal of the authors is to fill this gap.

Let's present the d'Alembert vector formula for the vector equation of oscillations in an unbounded homogeneous medium. For this, we define the vector function of the matrix argument.

Let a vector function $f(x)$ be given on some interval X

$$f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x))$$

the vector function of the matrix argument Ax is the expression

$$f(Ax) = f_1(Ax)e_1 + \dots + f_n(Ax)e_n,$$

here e_k is a unit vector with unit in the k -th coordinate. In this case, the functions of the matrix argument $f_k(Ax)$ are understood in the sense of the definition by the monograph [3].

Consider a separate system of equations describing the n component model of a coupled wave process in an unbounded medium

$$u_{tt} = A^2 u_{xx}, t > 0, x \in (-\infty, \infty)$$

with initial conditions

$$\begin{aligned} u(0, x) &= f(x), x \in (-\infty, \infty) \\ u'_t(0, x) &= g(x), x \in (-\infty, \infty). \end{aligned}$$

The vector analogue of the d'Alembert formula has the form

$$u(t, x) = \frac{f(Ex + At) + f(Ex - At)}{2} + \frac{1}{2} \int_{-1}^1 g(Ex + At\varepsilon) d\varepsilon.$$

Let us present the main result of the work, an analogue of the d'Alembert formula for the vector equation of oscillations in an unbounded two-layer medium. Let us consider a separate system of hyperbolic equations describing the n -component model of a wave process in a two-layer medium

$$u_{tt} = A_i^2 u_{ixx}, t > 0, x \in (-\infty, 0) \cup (0, \infty)$$

with initial conditions

$$\begin{aligned} u_i(0, x) &= f_i(x), \\ u'_i(0, x) &= 0, \end{aligned}$$

with internal boundary conditions

$$\begin{aligned} u_1(t, 0) &= u_2(t, 0) \\ \lambda_1 u'_{1x}(t, 0) &= \lambda_2 u'_{2x}(t, 0) \end{aligned}$$

The first component of the d'Alembert vector formula was found using the matrix Fourier transform [4]:

$$\begin{aligned} u_1(t, x) &= \frac{f_1(Ex + A_1 t)H(-t(Ex + A_1 t)) + f_1(Ex - A_1 t)H(-(Ex - A_1 t))}{2} + \\ &+ \frac{\sum_{j=1}^n T_1^{-1} E_j T_1 2(E + \chi)^{-1} f_2(\lambda_{1j}^{-1} A_2 x + A_2 t) H_2(\lambda_{1j}^{-1} A_2 x + A_2 t)}{2} + \\ &+ \frac{\sum_{j=1}^n T_1^{-1} E_j T_1 2(E + \chi)^{-1} f_2(\lambda_{1j}^{-1} A_2 x - A_2 t) H_2(\lambda_{1j}^{-1} A_2 x - A_2 t)}{2} + \\ &+ \frac{\sum_{j=1}^n T_1^{-1} E_j T_1 2(E + \chi)^{-1} (E - \chi) f_1(\lambda_{1j}^{-1} A_1 x + A_1 t) H_2(\lambda_{1j}^{-1} A_1 x + A_1 t)}{2} + \\ &+ \frac{\sum_{j=1}^n T_1^{-1} E_j T_1 2(E + \chi)^{-1} (E - \chi) f_1(\lambda_{1j}^{-1} A_1 x - A_1 t) H_2(\lambda_{1j}^{-1} A_1 x - A_1 t)}{2}. \end{aligned}$$

In the above formula, the designations are adopted E – identity matrix, E_j – matrix in which all elements are 0 except one $a_{jj} = 1$, numbers λ_{1j} – matrix eigenvalues A_1 ; T_1 – transformation matrix to diagonal matrix form A_1 , $H(z)$ – Step function. The second component of the d'Alembert formula is expressed by a similar formula obtained by changing the index $i \rightarrow j = \frac{3+(-1)^{i+1}}{2}$.

Note. In the scalar case $n=1$, we obtain the formula from the work by V.A. Ilyin and E.I. Moiseev [2].

Reference:

1. Russian Math. (Iz. VUZ), **31**:8 (1987), 1–11.
2. Il'in V. A., Moiseev E. I., Optimal boundary control of displacement at one end of a string with the second end fixed, and the corresponding total energy of the string, *Dokl. Akad. Nauk*, **400**:5 (2005), 587–591
3. [F. R. Gantmacher](#). The Theory of Matrices. AMS Chelsea Publishing, 1959; 660 pp.
4. Yaremko, O.E. Matrix integral Fourier transforms for problems with discontinuous coefficients and transformation operators. *Dokl. Math.* **76**, 876–878 (2007).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТОВ

Е.В. Бабенко

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Россия

e-mail: e.babenko@stankin.ru

Аннотация: В докладе представлены результаты исследования и обоснования структуры процессов управления умным производством на основе анализа стандартов и лучших практик. Акцентировано внимание на необходимость использования требований стандартов и концептуальных принципов Индустрии 4.0 для создания и управления умными производствами в промышленности. Представлены результаты применения исследования для разработки новой системы национальных стандартов в области цифровой промышленности и гармонизации основных понятий в этой новой области инновационного развития

Ключевые слова: умное производство, процессы управления, моделирование, стандарты, цифровая трансформация, цифровая промышленность, интероперабельность, модель эталонной архитектуры.

В настоящее время активно развивается процесс перехода к новой сфере человеко-машинного управления, в сферу применения искусственного интеллекта, поскольку прежними методами не удастся обеспечить в режиме онлайн управление сложными распределенными производствами, предприятиями, крупными холдингами и корпорациями. В связи с этим, системы автоматизации и управления должны стать семантически интероперабельными, что означает способность разных систем понимать друг друга и взаимодействовать без участия человека. Интероперабельность должна быть обеспечена на организационном, семантическом и техническом уровнях.

Необходимость обеспечения внутренней и внешней интероперабельности систем управления требует развития в сфере нормативно-технического регулирования, реализации новых подходов к стандартизации и управлению нормативно-справочной информацией. Речь идет о создании новых машиночитаемых и машинопонимаемых стандартов и различного рода других документов. Машиночитаемыми являются те документы, которые будут восприниматься системами управления, а машинопонимаемыми – те стандарты, которыми будут обмениваться различные системы без участия человека. [1]

Независимо от назначения и функциональных свойств применяемых систем, цифровая инфраструктура промышленности должна обладать интероперабельностью – способностью различных компонентов, систем, технологий и/или предприятий активно взаимодействовать для определенной цели. Свойство интероперабельности должно быть обеспечено нормативным правовым (юридическим), организационным, семантическим и техническим уровнями (см. рис. 1).

Применение нового архитектурного подхода для цифровой трансформации и создания умных производств в промышленности должно основываться на концептуальных принципах Индустрии 4.0 и требованиях стандартов в области стратегического и инновационного менеджмента, методологии описания архитектур и системам промышленной автоматизации.

При создании умного предприятия должен быть такой уровень интеграции и интероперабельности, при котором могут быть обеспечены самоорганизующиеся функции на производстве и во всех бизнес-процессах, связанных с производством.

Концепция передового производства должна быть основана на интеграции передовых технологий, таких как IoT в производственную зону для улучшения производства товаров и производственных процессов. Концепции передового производства также часто называют умным производством или умным изготовлением и сосредоточены они на умной продукции и объектах в производственной среде, которые поддерживают производство продукции, планирование, сообщение и обработку процесса на всех заводах и производственных сетях, чтобы увеличить эффективность и возможность индивидуализации продукции. [2]



Рис. 1. Четыре уровня интероперабельности

Умное производство и модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0) является основой развития цифровой промышленности, определяющей в трех проекциях уровни архитектуры, жизненного цикла и объектов производств, интеграцию систем управления предприятием и объединениями предприятий для их цифрового взаимодействия. Применение модели умного производства (RAMI 4.0) обеспечивает взаимодействие между умным предприятием (фабрикой) и умной продукцией в соответствии с общей методологией представления активов и административных оболочек компонентов Индустрии 4.0.

При создании умного предприятия должен быть такой уровень интеграции, при котором могут быть обеспечены самоорганизующиеся функции на производстве и во всех бизнес-процессах, связанных с производством.

При этом, произведенный на умном предприятии умный промежуточный продукт (умный продукт), должен иметь внешние коммуникационные возможности для представления в сети и интеллектуального взаимодействия с другими участниками производства. [3]

С учетом важного концептуального и методологического значения, сложной терминологической базой и описанием эталонной модели умного производства экспертами Ассоциации «Цифровые инновации в машиностроении» (АЦИМ) разработан национальный стандарт ГОСТ Р 59799-2021 «Умное производство. Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)», который служит ключом для понимания целого ряда взаимосвязанных стандартов в области умного производства.

Затем подготовлены еще два национальных стандарта: «Измерение, управление и автоматизация промышленного процесса. Структура цифровой фабрики. Часть 1. Основные положения» и «Информационные технологии. Управление ИТ. Применение ISO/ IEC 38500 для управления инвестициями в сфере ИТ».

В Стандарте ГОСТ Р 59799-2021 «Умное производство. Модель эталонной архитектуры индустрии 4.0 (RAMI 4.0)» определена терминологическая база и модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0) умного производства, являющегося основой формирования и функционирования цифровой промышленности.

Модель эталонной архитектуры должна применяться для обеспечения единого архитектурного подхода к разработке моделей архитектуры умных производств, создаваемых для конкретных производственных систем, цифровых предприятий, отраслевых сегментов и межотраслевого взаимодействия. Модель эталонной архитектуры (RAMI 4.0) должна быть основой для создания, функционирования и совершенствования умных производств, обеспечивающих взаимосвязь между умным (цифровым) предприятием и умной продукцией в соответствии с концепцией Индустрии 4.0. модель эталонной архитектуры должна отображать основные элементы активов в трехкоординатном отображении, что позволяет выявить сложные взаимосвязи элементов модели в различных точках многослойного куба (см. рис. 2). [3]

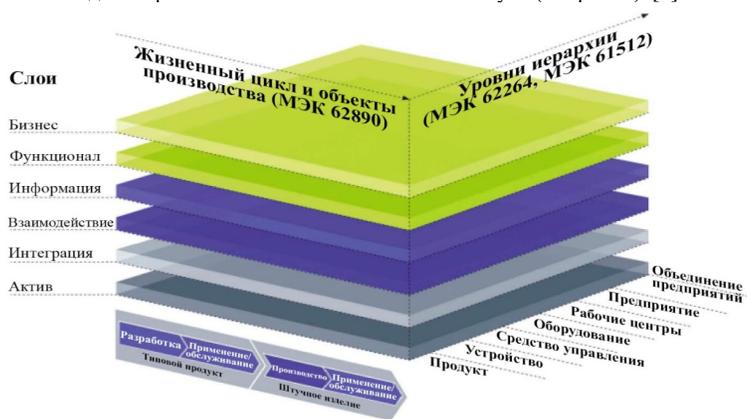


Рис. 2. Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)

Процесс обоснования и проектирования архитектуры умного производства на основе модели эталонной архитектуры RAMI 4.0 относится к области стратегического и инновационного менеджмента организации и должен быть реализован в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54147-2010 «Стратегический и инновационный менеджмент. Термины и определения», ГОСТ Р ИСО/МЭК 38500-2017 «Информационные технологии. Стратегическое управление ИТ в организации» и ГОСТ Р ИСО 15704-2008 «Промышленные автоматизированные системы. Требования к стандартным архитектурам и методологиям предприятия».

В настоящее время необходима ускоренная разработка национальной системы общетехнических стандартов для цифровой трансформации промышленности, основанной на едином методологическом подходе, гармонизации с базовыми международными стандартами и применении обоснованных требований к архитектуре, моделям представления и функционированию компонентов цифровой среды промышленности.

Необходимо активизировать деятельность российских экспертов в технических комитетах ИСО и МЭК, в первую очередь в ключевых комитетах, разрабатывающих системообразующие стандарты для умного производства, управления компонентами и активами цифровых предприятий. [4]

Для реализации контроля и взаимодействия друг с другом автономных систем умного производства требуются международные стандарты на основе консенсуса с учетом существующих национальных и региональных стандартов промышленной автоматизации. Более широкий рынок с надежными стандартами будет поддерживать функциональную совместимость, необходимую для расширения тиражируемых и доступных по цене технологий во всем мире. [2]

Экспертами АЦИМ в рамках Программы национальной стандартизации на 2022 г. (ПНС-2022) разрабатывается новый национальный стандарт – ГОСТ Р «Руководство по применению модели эталонной архитектуры RAMI 4.0». В рамках системы цифровой трансформации промышленности также разрабатываются следующие стандарты:

– Цифровая трансформация промышленности. Основные положения. Общие требования к системе;

– Цифровая трансформация промышленности. Классификация и структура стандартов;

– Цифровая трансформация промышленности. Интеграция и интероперабельность систем. Термины и определения;

– Цифровая трансформация промышленности. Термины и определения.

Стандарты, предоставляющие предпочтительные решения для промышленной автоматизации, должны выходить за рамки простого подхода к продукции и последовательно использовать реальную перспективу применения. Это потребует учета глобальных эффектов, желательных для завода будущего, умного производства и Industry 4.0.

Литература:

1. Позднеев Б.М. Интеграция в Индустрию 4.0 невозможна без гармонизации национальных стандартов с международными // Connect WIT 2019 № 11-12. С.4-10.
2. Белая книга Международной электротехнической комиссии «Завод будущего», Женева, Швейцария, 2015 г. – 52 стр.
3. ГОСТ Р 59799-2021 «Умное производство. Модель эталонной архитектуры индустрии 4.0 (RAMI 4.0)».
4. Позднеев Б.М. Новая система стандартов должна вооружить отечественную промышленность методологией и знаниями для управления процессами цифрового развития // Connect WIT 2022 № 3-4. С.4-10.
5. Позднеев Б.М., Овчинников П.Е., Левченко А.Н., Шароватов В.И., Бабенко Е.В. О развитии цифровых инноваций в машиностроении в условиях формирования Промышленности 4.0 // Вестник МГТУ «СТАНКИН». Научно-рецензируемый журнал. – 2019. - № 2 (49). – С. 23-28.
6. Олейников А.Я. Проблема интероперабельности в платформе Industry 4.0 и смежных областях. / А.Я. Олейников // IX Междунар. конф. «ИТ-стандарт 2019». – М.: Проспект, 2019. С. 49-57.
7. Позднеев Б.М. Интеграция и интероперабельность информационных систем в промышленности на основе стандартов / Б.М. Позднеев, Ф. Бушина, А.Н. Левченко и др. // X Междунар. конф. «ИТ-стандарт 2020»: сб.тр. – М.: Проспект, 2020. С. 65-74.

**ЗОЛОТОДОБЫЧА И ЭКОНОМИКА: ПОСТРОЕНИЕ
ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
И ПРОВЕДЕНИЕ БАНКОВСКИХ ОПЕРАЦИЙ КАК ВАЖНЫЕ
ЭЛЕМЕНТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**GOLD MINING AND ECONOMIC: BUILDING ECONOMIC AND
MATHEMATICAL MODELS OF CONDUCTING BANKING
OPERATIONS AS IMPORTANT ELEMENTS OF PRODUCTION
MODERN FUNCTIONING**

Т.В. Бармакова, Н.М. Малютина, А.М. Перепёлкина

T.V. Barmakova, N.M. Malyutina, A.M. Perepyolkina

barmakov20022yandex.ru

ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН» Егорьевский филиал, 140310, Россия,

г. Егорьевск, ул. Профсоюзная, 34

VSTU «SNANKIN»

140310, Russia, Egorievsky, Profsoiynaya. 34

В работе выполнены построения экономико-математических моделей некоторых задач, алгоритмизация расчётов. Используются авторские фотографии и фотографии из фондов музея прииска Мальдяк Магаданской области.

Ключевые слова: золотодобыча, математические методы в экономике, золотовалютный фонд, денежный эквивалент.

В условиях современных производственно-экономических отношений связь экономики и производства достигла достаточно высокой степени прочности. Развитие производства неизбежно порождает виток роста экономики, так же, как развитие экономики порождает возможность развивать производство, достигая высокой степени развития. Это общеизвестные факты.

Важную роль в денежно – финансовых и производственных расчётах играет *золото – золотой запас* как централизованный резервный запас (в слитках и монетах), находящийся в распоряжении центрального эмиссионного банка, финансовых органов государства, международных валютно-кредитных организаций. Золотой запас государства используется как резерв при международных расчётах, является средством обеспечения устойчивости национальной валюты.

Золотой стандарт – это форма организации денежно-валютных отношений, основанная на использовании золота как денежного товара.

При построении экономико-математических моделей используют понятие *золотого запаса* или *золотого эквивалента*

В связи с этим возрастает и роль ИКТ, применение которых позволяет оперативно, грамотно, компетентно строить экономико-производственные и экономико-финансовые модели, основанные на строгих математических расчётах. Строгая алгоритмизация и пошаговость процессов вычисления достигается благодаря именно применению ИКТ .

В данной работе рассматривается ряд задач экономико-производственного содержания, в которых выполняется экономико-математическое моделирование при помощи ИКТ. Важным элементом является строгая алгоритмизация процессов

вычисления, что позволяет сделать наглядным весь экономико-математический процесс вычисления.

Конечно, в реальной экономике возникает гораздо больше факторов, влияющих на процесс алгоритмизации. Но мы рассматриваем лишь основополагающие факторы, позволяющие максимально линеаризовать процессы вычислений.

МОДЕЛЬ 1.

СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ВЫГОДЫ ПРИ ЗАКЛЮЧЕНИИ КРЕДИТНЫХ ДОГОВОРОВ С БАНКАМИ С РАЗЛИЧНОЙ ПРОЦЕНТНОЙ СТАВКОЙ ПО КРЕДИТУ.

Задача 1

Предприятие малого бизнеса планирует взять кредит в банке сроком на 2 года на сумму S ($S=1.806.000$). Рассматриваются два возможных варианта погашения кредита, условия которого приводятся в таблице:

| ВАРИАНТ 1 ПОГАШЕНИЯ ДОЛГА | ВАРИАНТ 2 ПОГАШЕНИЯ ДОЛГА |
|---|---|
| 1) Каждый январь долг по кредиту возрастает на a % ($a = 15$ %) по сравнению с концом предыдущего года; 2) С февраля по июнь каждого года необходимо выплатить одним платежом часть долга; 3) Кредит должен быть полностью погашен за 2 года двумя равными платежами | 1) 1 – го числа каждого месяца долг по кредиту возрастает на b % ($b=15$ %) по сравнению с концом предыдущего месяца; 2) Со 2 – го по 14 число каждого месяца необходимо выплатить часть долга; 3) 15 числа каждого месяца долг должен быть на одну и ту же величину меньше долга на 15 число предыдущего месяца; 4) К 15 – му числу 24 – го месяца общая сумма кредита должна быть выплачена полностью |

Необходимо определить экономическую выгоду кредитования в 2 – х банках.

Решение:

ВАРИАНТ 1

- 1) Строим экономико-математическую модель расчётов предприятия с банком по кредиту (вариант 1)
- 2) Строим алгоритм расчётов следующего вида:

| № п/п | ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ | БАНКОВСКИЕ ОПЕРАЦИИ |
|----------|--|--|
| 1. | $S = 1.806.000$ – сумма кредита; $a \% = 15\%$ - процентная ставка по кредиту; $X_1 = X_2$ - сумма одноразовой выплаты | - |
| 2. | $S + \frac{S \cdot a\%}{100\%} = S \cdot (1 + 0.01a)$ | Начисление банком a % 1- й раз |
| 3. | | Остаток долга после выплаты 1 – го транша |

| | | |
|----|--|---------------------------------------|
| | $[S \cdot (1 + 0.01a) - X_1]$ | (1 – й раз) |
| 4. | $[S \cdot (1 + 0.01a) - X_1] + \frac{[S \cdot (1 + 0.01a) - X_1] \cdot a\%}{100\%}$ $= [S \cdot (1 + 0.01a)^2 - X_1 \cdot (1 + 0.01a)]$ | Начисление банком $a\%$ 2 – й раз |
| 5. | $[S \cdot (1 + 0.01a)^2 - X_1(1 + 0.01a)] - X_2 = 0$ | Полное погашение кредита за 2 – й раз |
| 6. | $S(1 + 0.01a)^2 = X_1(2 + 0.01a) = 0$ | |

Подставляя числовые значения в последнее уравнение, находим его решение:

$$1.806.000 \cdot (1,15)^2 = X \cdot (2,15)$$

$$X = 1.110.900 \Rightarrow 2X = 2.221.800$$

Получена общая сумма выплат предприятия по кредиту – 1 вариант

ВАРИАНТ 2

1. Строим экономико-математическую модель расчётов предприятия с банком по кредиту (вариант 2).

2. Строим алгоритм расчётов следующего вида:

| № п/п | ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ | | | | | | | | | | |
|-------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 1. | Составляем последовательность ежемесячного долга предприятия по кредиту без учёта начисления процентов: | | | | | | | | | | |
| | $\frac{24}{24}S$ | $\frac{23}{24}S$ | $\frac{22}{24}S$ | $\frac{21}{24}S$ | $\frac{20}{24}S$ | | $\frac{5}{24}S$ | $\frac{4}{24}S$ | $\frac{3}{24}S$ | $\frac{2}{24}S$ | $\frac{1}{24}S$ |
| 2. | Составляем последовательность роста долга предприятия с учётом начисления процентов по кредиту | | | | | | | | | | |
| | $\frac{24}{24}kS$ | $\frac{23}{24}kS$ | $\frac{22}{24}kS$ | $\frac{21}{24}kS$ | $\frac{20}{24}kS$ | | $\frac{4}{24}kS$ | $\frac{3}{24}kS$ | $\frac{2}{24}kS$ | $\frac{1}{24}kS$ | |
| 3. | Составляем последовательность сумм ежемесячных выплат предприятия по кредиту: | | | | | | | | | | |

| | | | | |
|------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | $\frac{24}{24}(k-1)S + \frac{S}{24}$ | $\frac{23}{24}(k-1)S + \frac{S}{24}$ | $\frac{22}{24}(k-1)S + \frac{S}{24}$ | $\frac{21}{24}(k-1)S + \frac{S}{24}$ |
| • | | $\frac{3}{24}(k-1)S + \frac{S}{24}$ | $\frac{2}{24}(k-1)S + \frac{S}{24}$ | $\frac{1}{24}(k-1)S + \frac{S}{24}$ |
| 4. | С математической точки зрения сумма выплат - это сумма n первых членов арифметической прогрессии: $S_n = \frac{a_1 + a_n}{2} \cdot n = \frac{\frac{24(k-1)S}{24} + \frac{S}{24} + \frac{1(k-1)S}{24} + \frac{S}{24}}{2} \cdot 24 = \frac{25}{2}(k-1)S + S =$ $= 12,5 \cdot 0,02S + S = S \cdot 1,25$ | | | |
| 5. | Подставляя числовые значения, вычисляем результат: $1.806.000 \cdot 1,25 = 2.257.500 \text{ (руб)}$ | | | |

Определяем экономическую выгоду как разность вычисленных сумм:

$$2257000 - 2221800 = 35700$$

Таким образом, наиболее целесообразным представляется первый вариант кредитования.

МОДЕЛЬ 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ ЗАРАБОТАННОЙ СУММЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗАКАЗА

Процесс золотодобычи в районах Крайнего Севера России (на Колыме и Чукотке) является достаточно трудоёмким и, следовательно, дорогостоящим производственным процессом. Высокая стоимость этого процесса обусловлена сложными геофизическими условиями вечной мерзлоты и трудностью обработки почв. Но золото является валютным запасом страны, следовательно, способно обеспечить экономическую устойчивость государства. Таким образом, экономика и производство в данной отрасли представляют собой взаимный интерес в развитии. На приисках Магаданской обл. добыча золота осуществляется поверхностным способом путём *промывки золотоносного песка*.

Представляется целесообразным рассмотреть модельную задачу, интерпретирующую экономическую выгоду капиталовложений в производство.

Задача 1.

На золотодобывающем прииске Мальдяк Сусуманского района Магаданской области бригада из 11 человек за день может выполнить заказ на общую сумму $S=50000$ руб., а бригада из 17 человек – на сумму $S = 100000$ руб. Всего на прииске работает 798 человек. Определить, на какую максимальную сумму в день они могут выполнить заказы, если на каждый день можно формировать бригады только из 11-ти и 17-ти человек ?

Решение

- 1) Строим экономико-математическую модель расчётов получения наибольшей прибыли бригад за 1 день.
- 2) Строим алгоритм расчётов. Пусть количество бригад из 17-ти человек равно x , тогда количество бригад из 11-ти человек равно соответственно :

$$\frac{798 - 17x}{11}$$



Рис. 1. Прииск Мальдяк Сусуманского района Магаданской области. Драга. Промывка золотоносного песка. Фотография авторов



Рис. 2. Промывка грунта, содержащего золотоносный песок. Прииск Мальдяк Сусуманского района Магаданской обл. Фотографии автора

- 3) Составим функцию $F(x)$ для определения наибольшей суммы заработка в день:

$$F(x) = 50000 \cdot \frac{798 - 17x}{11} + 100000x$$

Произведём необходимые числовые расчёты:



| Количество бригад | ЭКОНОМИКО-ФИНАНСОВЫЕ РАСЧЁТЫ | НАИБОЛЬШАЯ СУММА |
|--------------------|--|------------------------------|
| $x_1 = 1$ | $\frac{798 - 17 \cdot 1}{11} \cdot 50000 = 71 \cdot 50000 = 355000$ | $1 \cdot 100000 = 100000$ |
| ОБЩАЯ СУММА | $\sum 3650000$ | |
| $x_2 = 12$ | $\frac{798 - 17 \cdot 12}{11} \cdot 50000 = 54 \cdot 50000 = 2.700000$ | $12 \cdot 100000 = 1.200000$ |
| ОБЩАЯ СУММА | $\sum 3.900000$ | |
| $x_3 = 23$ | $\frac{798 - 17 \cdot 23}{11} \cdot 50000 = 37 \cdot 50000 = 1.850000$ | 2.300000 |
| ОБЩАЯ СУММА | $\sum 4.150000$ | |
| $x_2 = 34$ | $\frac{798 - 17 \cdot 34}{11} \cdot 50000 = 20 \cdot 50000 = 1.000000$ | 3.400000 |
| ОБЩАЯ СУММА | $\sum 4.400000$ | |
| $x_5 = 45$ | $\frac{798 - 17 \cdot 45}{11} \cdot 50000 = 3 \cdot 50000 = 150000$ | 4.500.000 |
| ОБЩАЯ СУММА | $\sum 4.650000$ | |
| $x_6 = 56$ | $\frac{798 - 17 \cdot 56}{11} \cdot 50000 = \frac{798 - 952}{11} < 0$ | РЕШЕНИЙ НЕТ |

Наибольшая сумма составляет 4.650 000 .

5) Построена экономико-математическая модель и выполнены соответствующие числовые расчёты.

МОДЕЛЬ 3 ПОДДЕЛКА ДЕНЕГ И ПРОЦЕСС ВЫВЕДЕНИЯ ФАЛЬШИВЫХ ДЕНЕГ ИЗ ОБОРОТА СТРАНЫ

Подделка денег всегда, с глубокой древности, представляла интерес для авантюристов и искателей лёгкой жизни. Но это подрывало золотой запас страны. В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть использование ИКТ для построения модели выведения фальшивых денег из оборота.

Задача.

В некоторой стране в обращении находится **1.000000** долларов, 20 % из которых – фальшивые. Некоторая структура стала ввозить в страну по **100000** долларов ежемесячно, причём 10 % из них – тоже фальшивые. Другая структура вывозит по **50000** долларов ежемесячно, причём 30 % из них – фальшивые. Через сколько месяцев фальшивых долларов останется 5 % ? Через сколько месяцев фальшивые доллары исчезнут из оборота полностью ?

Решение:

1) Строим экономико-математическую модель выведения фальшивых денег из оборота. Составляем таблицу *денежных сумм на начало финансовой операции*:

| № п/п | ВСЕГО ДЕНЕЖНЫЕ СУММЫ, НАХОДЯЩИЕСЯ В ОБРАЩЕНИИ | ИЗ НИХ ФАЛЬШИВЫЕ ДЕНЬГИ 20 % | ОБЩИЙ ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ВВОЗ В СТРАНУ | ИЗ НИХ ВВЕЗЁННЫЕ ФАЛЬШИВЫЕ ДЕНЬГИ 10 % | ОБЩИЙ ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ВЫВОЗ ИЗ СТРАНЫ | ИЗ НИХ ВЫВОЗ ФАЛЬШИВЫХ ДЕНЕГ 15 % |
|-------|---|------------------------------|---------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 1000000 | 200000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 2 | 1050000 | 195000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 3 | 1100000 | 190000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 4 | 1150000 | 185000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 5 | 1200000 | 180000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 6 | 1250000 | 175000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 7 | 1300000 | 170000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 8 | 1350000 | 165000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 9 | 1400000 | 160000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 10 | 1450000 | 155000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 11 | 1500000 | 150000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 12 | 1550000 | 145000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 13 | 1600000 | 140000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 14 | 1650000 | 135000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 15 | 1700000 | 130000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 16 | 1750000 | 125000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |

| | | | | | | |
|----|---------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 17 | 1800000 | 120000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 18 | 1850000 | 115000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 19 | 1900000 | 110000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |
| 20 | 1950000 | 105000 | 100000 | 10000 | 50000 | 15000 |

2) Составляем таблицу *денежных сумм, полученных в процессе операций:*

| | | | |
|----|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| 3 | 1100000+100000- -50000=1150000 | 1900000+10000- -15000=185000 | $\frac{185000}{1150000} \cdot 100\% = \frac{370}{23}\% = 16,1\%$ |
| 4 | 1150000+100000- -50000=1200000 | 1850000+10000- -15000=180000 | $\frac{180000}{1200000} \cdot 100\% = \frac{180}{12}\% = 15\%$ |
| 5 | 1200000+100000- -50000=1250000 | 180000+100000- -15000=175000 | $\frac{175000}{1250000} \cdot 100\% = \frac{1750}{125}\% = 14\%$ |
| 6 | 1250000+100000- -50000=1300000 | 1750000+100000- -15000=170000 | $\frac{170000}{1300000} \cdot 100\% = \frac{170}{13}\% = 13,07\%$ |
| 7 | 1300000+100000- -50000=1350000 | 1750000+100000- -150000=165000 | $\frac{165000}{1350000} \cdot 100\% = \frac{1600}{135}\% = 11,85\%$ |
| 8 | 1350000+100000- -50000=1400000 | 1650000+10000- -150000=160000 | $\frac{160000}{1400000} \cdot 100\% = \frac{80}{7}\% = 11,4\%$ |
| 9 | 1400000+100000- -50000=1450000 | 160000+10000- 15000=155000 | $\frac{155000}{1450000} \cdot 100\% = \frac{1550}{145}\% = 10,7\%$ |
| 10 | 1450000+100000- -50000=1500000 | 155000+10000- -15000=150000 | $\frac{150000}{1500000} \cdot 100\% = \frac{150}{15}\% = 10\%$ |
| 11 | 1500000+100000- -50000=1550000 | 150000+10000- 15000=145000 | $\frac{145000}{1550000} \cdot 100\% = \frac{290}{31}\% = 9,35\%$ |
| 12 | 1550000+100000- -50000=1600000 | 145000+10000- 15000=140000 | $\frac{140000}{1600000} \cdot 100\% = \frac{140}{16}\% = 8,75\%$ |
| 13 | 1600000+100000- -15000=1650000 | 140000+10000- -15000=135000 | $\frac{135000}{1650000} \cdot 100\% = \frac{1350}{165}\% = 8,2\%$ |

| | | | |
|----|-----------------------------------|--------------------------------|---|
| 14 | 1650000+100000- -50000=1700000 | 135000+10000- -15000=130000 | $\frac{130000}{1700000} \cdot 100\% = \frac{130}{17}\% = 7,65\%$ |
| 15 | 1700000+100000- -50000=1750000 | 130000+10000- -15000=125000 | $\frac{125000}{1750} \cdot 100\% = \frac{1250}{175}\% = 7,14\%$ |
| 16 | 1750000+100000- -50000=1800000 | 125000+10000- -15000=120000 | $\frac{120000}{1800000} \cdot 100\% = \frac{120}{18}\% = 6,67\%$ |
| 17 | 1800000+100000- -50000=1850000 | 120000+10000- -15000=115000 | $\frac{115000}{1850000} \cdot 100\% = \frac{1150}{185}\% = 0,621\%$ |
| 18 | 1850000+100000- -50000=1900000 | 115000+10000- -15000=110000 | $\frac{110000}{1900000} \cdot 100\% = \frac{1150}{190}\% = 0,605\%$ |
| 19 | 1900000+100000- -50000=1950000 | 110000+10000- -15000=105000 | $\frac{105000}{1950000} \cdot 100\% = \frac{1050}{195}\% = 0,54\%$ |
| 20 | 1950000+100000- -50000=2000000 | 105000+10000- -15000=100000 | $\frac{100000}{2000000} \cdot 100\% = \frac{10}{200}\% = 0,5\%$ |

4. СТРАНИЦЫ ТРАГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КОЛЫМЫ

Колыма – крупнейшая река на северо-востоке Сибири в Магаданской области. В её бассейне находятся крупнейшие месторождения золота. Золотодобыча на Колыме и Чукотке начинала развиваться ещё в царской России старательскими артелями. В период СССР там стали зарождаться приисковые посёлки. Так как в этих районах очень суровый климат, то там стали обосновываться тюремные лагеря для осуждённых. В число таких заключённых зачастую входили и люди выдающиеся, но по каким – либо причинам ставшие негодными людям, стоявшим у власти. Одним из узников лагеря Мальдяк Сусуманского района был и Королёв Сергей Павлович, ставший впоследствии создателем ракетной техники.

Заключение.

Процесс золотодобычи на прииске МАЛЬДЯК Сусуманского района Магаданской области имеет много трагических страниц. Там находились тюремные лагеря, куда на долгие годы и десятилетия отправляли людей, в основном, по политическим соображениям, в период сталинских репрессий. Среди них многие годы жил и работал отец советской космонавтики Сергей Павлович Королёв.

Выводы

В работе выполнены построения экономико-математических моделей. Применение ИКТ позволило смоделировать процесс ведения расчётов и построить необходимые алгоритмы.

Использованы авторские фотографии и фотографии из фондов музея прииска Мальдяк.



Рис.3. Прииск Мальдяк Сусуманского района Магаданской обл.
Бескрайние просторы реки Колымы.



Рис.4 Бараки, в одном из которых жил Королёв С.П.
Материалы музея прииска Мальдяк.



Рис.5. Мемориальная доска, посвящённая жертвам репрессий. Фото автора.

ЕГЭ В ГЕОМЕТРИИ: ОТ АНТИЧНОЙ КЛАССИКИ ДО НАУЧНЫХ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ СОВРЕМЕННОСТИ. БИСЕКТРИСЫ

Т.В. Бармакова, Н.М. Малютина, А.М. Перепёлкина
ЕТИ МГТУ «СТАНКИН», кафедра Прикладной математики
г. Егорьевск, barmakov2002@yandex.ru

При подготовке к ЕГЭ решение задач по геометрии представляется очень важным и необходимым. Среди задач, предлагаемых на экзаменах, достаточно часто встречаются задачи с биссектрисами внешних и внутренних углов.

Понятие биссектрисы угла сегодня известно каждому школьнику, изучающему геометрию. Без преувеличения можно сказать, что это, пожалуй, одно из самых фундаментальных и основополагающих понятий геометрии.

Биссектриса как луч, делящий угол пополам, была известна ещё с далёких античных эпох. Вот, например, древнеримский писатель и публицист Гай Светоний Транквилл (1-й век до н.э.) в своей книге «Жизнь двенадцати Цезарей», ссылаясь на воспоминания самого Юлия Цезаря в его «Записках о галльской войне», писал, что в одном из сражений Цезаря с галлами войско римлян было построено в виде тупого угла. Вершина его была направлена на неприятеля, а внутри этого угла по биссектрисе находился резервный хорошо вооружённый отряд, который был скрыт от противника. В разгар сражения резервный отряд наносил противнику непоправимый и сокрушительный удар и, таким образом, успех сражения был предreshён.

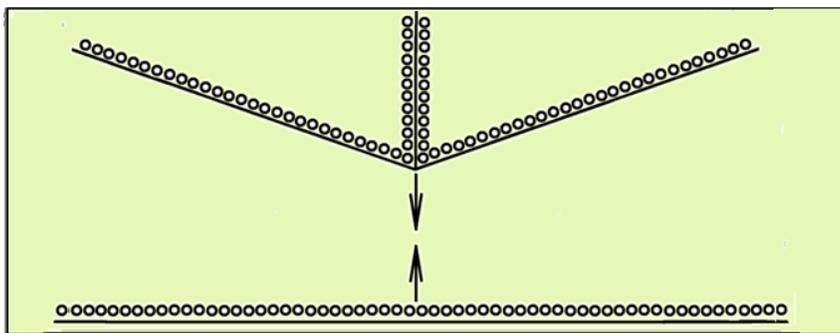


Рис. 1. Расположение отрядов противников. Битва Юлия Цезаря с галлами.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ. ВНУТРЕННИЕ И ВНЕШНИЕ БИСЕКТРИСЫ УГЛОВ ТРЕУГОЛЬНИКОВ. СВОЙСТВА БИСЕКТРИС

В любом треугольнике имеется три биссектрисы внутренних углов и шесть внешних. На рис. 1.2. - внутренняя биссектриса AM делит угол BAC на два равных угла $\angle BAA = \angle MAC$, т.е. $\angle 1 = \angle 2$, а биссектрисы AF и AN внешних углов - на четыре равных угла $\angle 3 = \angle 4 = \angle 5 = \angle 6$. Аналогично, для остальных вершин треугольника B , C .

Биссектрисы обладают целым рядом интересных свойств, применяющихся при решении практических задач.

Теорема 1.

Биссектриса любого угла треугольника делит противоположную сторону на части, пропорциональные прилежащим сторонам треугольника.

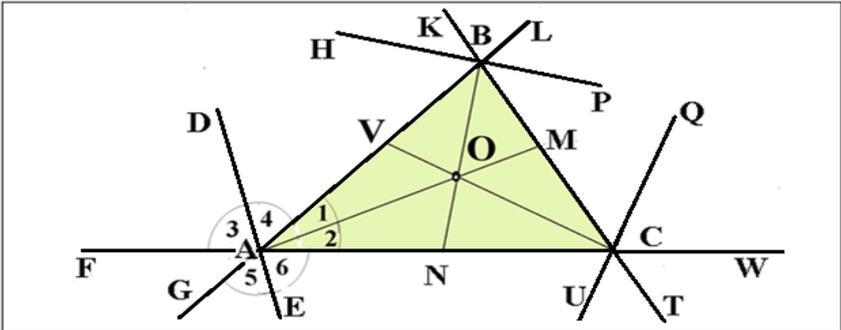


Рис.2. Внутренние и внешние биссектрисы углов треугольника

Доказательство:

I способ

Пусть BD – биссектриса угла ABC , т.е. $\angle ABD = \angle DBC$, тогда справедливо соотношение:

$$\frac{AD}{DC} = \frac{AB}{BC}$$

Проведём $CF \parallel BD$ до пересечения в точке F с продолжением стороны AB . При этом из чертежа легко видеть, что $\angle 2 = \angle 3$ - внутренние накрест лежащие при параллельных прямых BD и FC , $\angle 1 = \angle 4$, \implies подобие треугольников $\triangle ABD \sim \triangle AFC$ имеет место быть.

Тогда, по теореме Фалеса Милетского, из подобия $\triangle ABD \sim \triangle AFC$ справедливо соотношение:

$$\frac{AD}{DC} = \frac{AB}{BF}$$

Теорема доказана.

II способ

Пусть BD – биссектриса $\triangle ABC$ (рис.). Треугольники ABD и DBC с основаниями a_1 , b_1 имеют общую высоту h . Пусть их площади соответственно равны S_1 , S_2 . Тогда справедливо соотношение:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{a_1 \cdot h}{b_1 \cdot h} = \frac{a_1}{b_1}$$

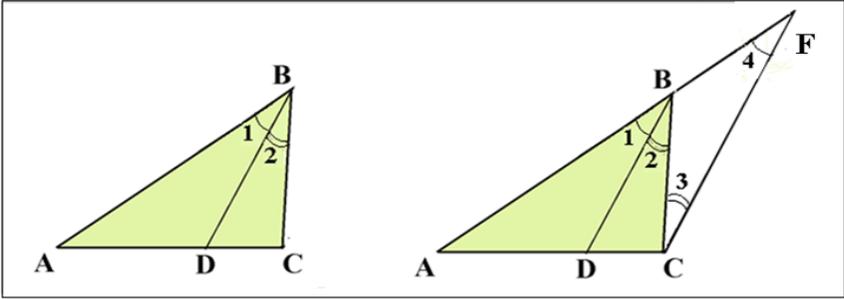


Рис. 3. Биссектрисы треугольника. Дополнительные построения

Но, с другой стороны, применяя теорему синусов, можно записать:

$$S_1 = \frac{1}{2} a \cdot BD \cdot \sin\left(\frac{\angle B}{2}\right), \quad S_2 = \frac{1}{2} b \cdot BD \cdot \sin\left(\frac{\angle B}{2}\right)$$

Подставляем далее:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot a \cdot BD \cdot \sin\left(\frac{\angle B}{2}\right)}{\frac{1}{2} \cdot b \cdot BD \cdot \sin\left(\frac{\angle B}{2}\right)} = \frac{a}{b}, \quad \Rightarrow \quad \frac{a}{b} = \frac{a_1}{b_1}$$

что и требовалось доказать.

III способ

Пусть $\angle BDA = \beta$, тогда $\angle BDC = \pi - \beta$. Далее, согласно теореме синусов, для $\triangle ABD$ и $\triangle BDC$ запишем соответственно:

$$\frac{a_1}{a} = \frac{\sin\left(\frac{B}{2}\right)}{\sin \beta}, \quad \frac{b_1}{b} = \frac{\sin\left(\frac{B}{2}\right)}{\sin(\pi - \beta)} = \frac{\sin\left(\frac{B}{2}\right)}{\sin \beta} \Rightarrow \frac{a}{b} = \frac{a_1}{b_1}$$

что и требовалось доказать.

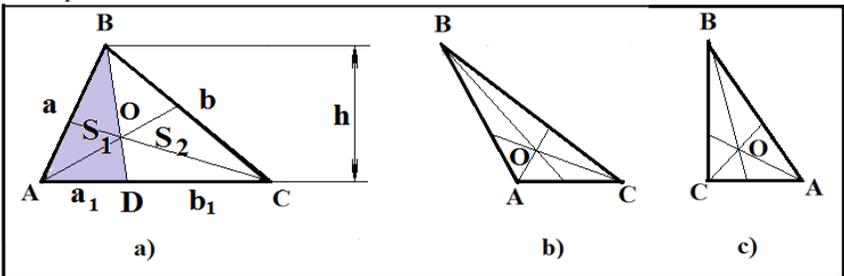


Рис. 4. Выделение элемента площади треугольника.

Теорема 2

Квадрат биссектрисы треугольника равен произведению сторон, её заключающих, без произведения отрезков третьей стороны, на которые она разделена биссектрисой, т.е. справедливо соотношение:

$$l_c^2 = ab - a_1 b_1$$

где a , b – длины двух сторон треугольника ABC , a_1 , b_1 – отрезки третьей стороны.

Доказательство:

I способ:

Применяя теорему косинусов к $\triangle ACD$, $\triangle DCB$ с равными углами $\angle 3 = \angle 4$, запишем:

$$a_1^2 = (l_c)^2 + a^2 - 2 \cos(\angle 3) \cdot a \cdot l_c, \quad b_1^2 = (l_c)^2 + b^2 - 2 \cos(\angle 4) \cdot b \cdot l_c.$$

Отсюда получаем соотношение:

$$\begin{aligned} \frac{(l_c)^2 + a^2 - a_1^2}{2a \cdot l_c} &= \frac{(l_c)^2 + b^2 - b_1^2}{2b \cdot l_c} \Rightarrow \\ \Rightarrow a \cdot ((l_c)^2 + b^2 - b_1^2) &= b \cdot ((l_c)^2 + a^2 - a_1^2) \end{aligned}$$

Выполнив ряд элементарных алгебраических преобразований, получаем:

$$(l_c)^2(b-a) - ab \cdot (b-a) = (a_1 b) \cdot a_1 - (ab_1) \cdot b_1$$

Используя далее равенство $ab_1 = a_1 b$, вытекающее из доказанной выше теоремы, получаем:

$$(b-a) \cdot ((l_c)^2 - ab) = ab_1 a_1 - a_1 b b_1 \Rightarrow (b-a) \cdot ((l_c)^2 - ab) = -a_1 b_1 (b-a)$$

Допуская далее, что $a \neq b$ и разделив почленно на $(b-a)$, получаем соотношение: что и требовалось доказать.

II способ

Опишем около $\triangle ABC$ окружность (рис. 5), продолжим биссектрису $CD = l_c$ до пересечения с окружностью в точке F , и соединим точки BF . Тогда $\triangle ADC \sphericalangle \triangle FBC$ по двум углам ($\angle 1 = \angle 2$ - вписанные, опирающиеся на общую дугу, и $\angle 3 = \angle 4$ - по условию биссектрисы). Тогда справедливо соотношение

$$l_c^2 = ab - a_1 b_1$$

$$\frac{CD}{AC} = \frac{BC}{CD + DF} \Rightarrow \frac{l_c}{b} = \frac{a}{l_c + DF} \Rightarrow ab = l_c \cdot (l_c + DF)$$

Учитывая, что по теореме о пересекающихся хордах $l_c \cdot DF = a_1 b_1$, запишем последнее равенство в виде:

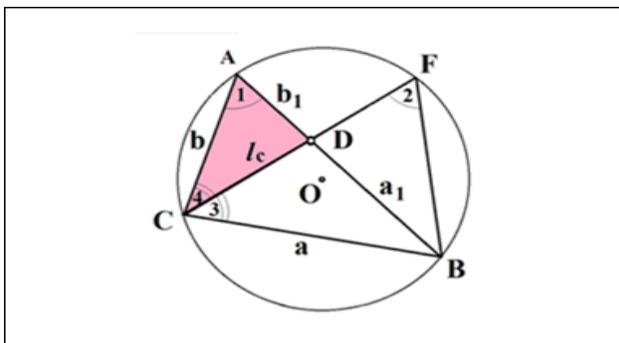


Рис. 5. Доказательство свойств биссектрис.

$$ab = l_c^2 + a_1 b_1 \quad \Rightarrow \quad l_c^2 = ab - a_1 b_1, \quad l_c = \sqrt{ab - a_1 b_1}$$

что и требовалось доказать.

Теорема 3.

Длина биссектрисы треугольника выражается через длины его сторон a , b , c по формуле:

$$l_c = \frac{\sqrt{ab \cdot (a+b+c) \cdot (a+b-c)}}{a+b}$$

Доказательство:

Запишем ранее полученное равенство в другом виде:

$$l_c^2 = ab - a_1 \cdot (c - a_1)$$

Далее, используя доказанные выше формулы, запишем:

$$\frac{a}{b} = \frac{a_1}{c - a_1} \quad \Rightarrow \quad a_1 = \frac{ac}{a+b}$$

Отсюда получаем:
$$l_c^2 = ab - \frac{ac}{a+b} \cdot \left(c - \frac{ac}{a+b} \right) = \frac{ab \cdot (a+b+c) \cdot (a+b-c)}{(a+b)^2}$$

что и требовалось доказать.

Теорема 4

Если через точку пересечения биссектрис внутренних углов треугольника провести прямую MN , параллельную основанию, то отрезок этой прямой, расположенной между сторонами треугольника, равен сумме отрезков боковых сторон, прилежащих к основанию.

Доказательство:

1) Углы $\angle 1 = \angle 2$ - вертикальные, и углы $\angle 1 = \angle 3$ - соответственные при $AC \parallel MN$, следовательно, углы $\angle 2 = \angle 3$. Но, с другой стороны, $\angle 3 = \angle 4$, - по условию биссектрисы, тогда $\angle 1 = \angle 2 = \angle 3 = \angle 4$, следовательно, $\triangle ONC$ - равнобедренный. Следовательно, $\angle ON = NC = q$.

2) Аналогично, углы $\angle 7 = \angle 8$ - вертикальные, а углы $\angle 5 = \angle 8$ - соответствующие при $AC \parallel MN$, поэтому $\angle 5 = \angle 7 = \angle 8$. Но $\angle 5 = \angle 6$, поэтому углы $\angle 5 = \angle 6 = \angle 7 = \angle 8$. Следовательно, $\triangle AMO$ - равнобедренный, но тогда и $AM = MO = m$;

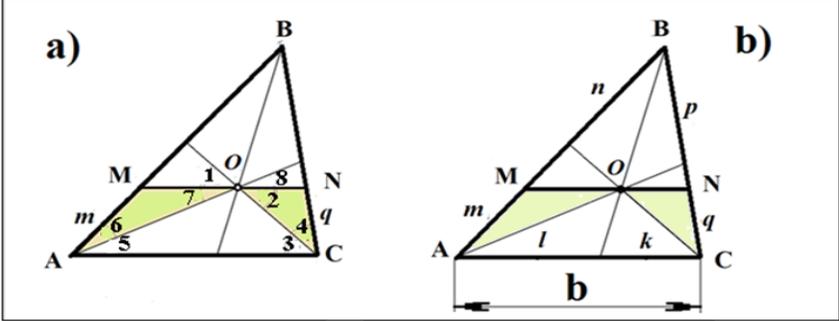


Рис. 6. Иллюстрация к теореме 4

3) $MO + ON = m + q = AM + NC$, что и требовалось доказать.

Теорема 5

Если в $\triangle ABC$ со сторонами a, b, c через точку пересечения биссектрис внутренних углов провести прямые, параллельные сторонам AC, AB, BC , то длины этих отрезков, ограниченных сторонами треугольника, будут выражаться длинами:

$$t_a = \frac{a \cdot (b+c)}{a+b+c}, \quad t_b = \frac{b \cdot (a+c)}{a+b+c}, \quad t_c = \frac{c \cdot (a+b)}{a+b+c}.$$

Доказательство:

- 1) Из рисунка видно, что $m + n = c, p + q = a, l + k = b$.
- 2) $\triangle MBN \sim \triangle ABC$, следовательно, используем то свойство, что отношение сторон треугольника пропорционально отношению их периметров:

$$\frac{MN}{AC} = \frac{m+q}{b} = \frac{(m+n)+(p+q)}{a+b+c} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m+q = \frac{b[(m+n)+(p+q)]}{a+b+c} \Rightarrow MN = \frac{b \cdot (a+c)}{a+b+c}$$

3) Аналогично доказываются два остальных соотношения. Теорема доказана.

Теорема 6

Если в треугольнике ABC со сторонами a, b, c через точку пересечения биссектрис внутренних углов проведены прямые, параллельные сторонам этого треугольника, то длины отрезков этих прямых, ограниченных сторонами треугольника, принимают значения, приведённые в таблице.

Доказательство:

1) Пусть $AM = k$, $MC = (b - k)$, $NB = f$, $CN = (a - f)$, а биссектриса – DC . Тогда, используя рассмотренные выше теоремы, а также свойства подобия треугольников, запишем:

$$\begin{cases} \frac{k}{b-k} = \frac{f}{a-f} \\ \frac{k+f}{c} = \frac{b-k}{b} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} ak - fk = bf - fk \\ bk + bf = bc - kc \end{cases} \Rightarrow ak = bf$$

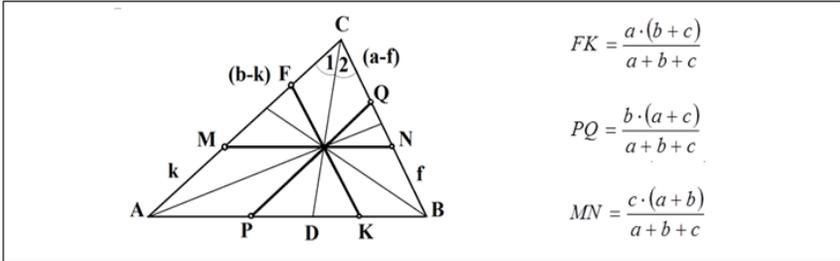


Рис. 7. Иллюстрация к доказательству свойств биссектрис.

$$k \cdot (a+b) = bc - kc \Rightarrow k \cdot (a+b+c) = bc \Rightarrow k = \frac{b \cdot c}{a+b+c}, \quad f = \frac{a \cdot c}{a+b+c}$$

$$k + f = MN = \frac{c \cdot (a+b)}{a+b+c}$$

$$FK = \frac{a \cdot (b+c)}{a+b+c}, \quad PQ = \frac{b \cdot (a+c)}{a+b+c}$$

2) Аналогично рассматриваются два остальных случая что и требовалось доказать.

III способ

Продолжим биссектрису CD до пересечения в точке F с прямой $AF \parallel CB$. Так как по условию $\angle \alpha = \angle \beta$ и $\angle \alpha = \angle \gamma$ (углы при параллельных CB и AF и секущей CF). Сопоставляя эти равенства, получаем $\angle \beta = \angle \gamma$. Следовательно, $\triangle ACF$ - равнобедренный, $AF = AC = b$. Кроме того, легко видеть, что $\triangle ADF \sim \triangle BDC$ (вследствие равенства углов), откуда получаем соотношение:

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{a}{b},$$

что и требовалось доказать.

Теорема 7

Длина биссектрисы треугольника может быть вычислена по формуле:

$$l_c = \frac{2ab \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)}{(a+b)}$$

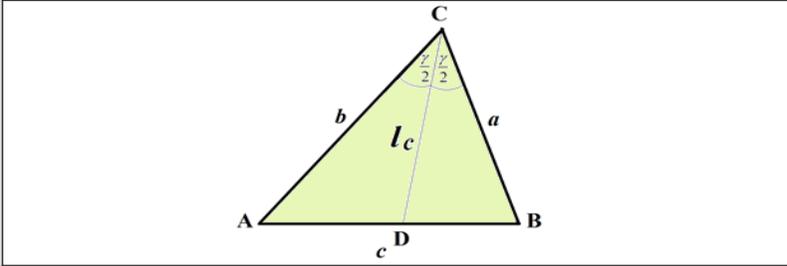


Рис.8. Доказательство свойств биссектрис треугольника

Доказательство:

1) Используем формулу синусов для вычисления площади треугольника:

$$\begin{cases} S_{\Delta ACD} = \frac{1}{2} AC \cdot CD \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) = \frac{1}{2} b \cdot l_c \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \\ S_{\Delta DCB} = \frac{1}{2} CD \cdot BC \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) = \frac{1}{2} a \cdot l_c \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \end{cases}$$

Но площадь всего треугольника $S_{\Delta ABC} = \frac{1}{2} ab \sin(\gamma)$, равна сумме площадей треугольников $S_{\Delta ABC} = S_{\Delta ACD} + S_{\Delta DCB}$, поэтому получаем следующее соотношение:

$$\begin{aligned} S_{\Delta ABC} = \frac{1}{2} l_c \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)(a+b) &\Rightarrow l_c = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) ab \sin \gamma}{\frac{1}{2} a \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) + \frac{1}{2} b \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)} \Rightarrow \\ \Rightarrow l_c = \frac{2ab \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)}{(a+b) \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)} &= \frac{2ab \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)}{(a+b)} \end{aligned}$$

что и требовалось доказать.

Теорема 8. Чевы (для случая пересечения биссектрис). Все три биссектрисы треугольника пересекаются в одной точке.

Доказательство:

Применяя свойства биссектрис, доказанные выше, запишем:

$$\lambda_1 = \frac{BA_1}{A_1C} = \frac{AB}{CA}, \quad \lambda_2 = \frac{CB_1}{B_1A} = \frac{BC}{AB}, \quad \lambda_3 = \frac{AC_1}{C_1B} = \frac{CA}{AB}$$

Но тогда легко получить соотношение:

$$\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 = 1,$$

что требовалось доказать.

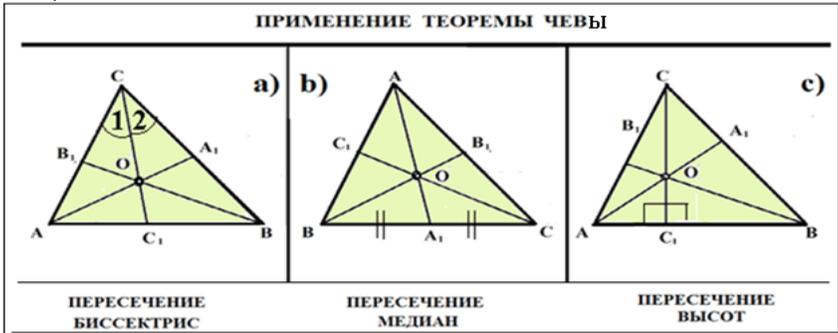


Рис.9. Теорема Чевы

Теорема 9

Если в треугольнике два угла равны соответственно α , β , а биссектриса, проведенная к третьей стороне, равна l_c , то стороны и площадь этого треугольника выражаются соотношениями, приведёнными в таблице на расположенном ниже рисунке.

Доказательство:

1) Пусть $BC = a$, $AC = b$, $AB = c$, тогда по теореме косинусов можно выразить третью сторону через две остальные:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos[180^\circ - (\alpha + \beta)]} = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos(\alpha + \beta)};$$

2) Пусть $AD = t$, $DB = (c - t)$, тогда по свойствам биссектрисы (теорема 1) можно записать:

$$\frac{b}{t} = \frac{a}{c - t} \Rightarrow t = \frac{bc}{a + b}$$

3) Используя свойства биссектрисы (теорема 2), запишем:

$$\begin{aligned}
 l_c &= \sqrt{ab - t \cdot (c - t)} = \sqrt{ab - \frac{bc}{a + b} \cdot \frac{ac}{a + b}} = \sqrt{\frac{a^3b + ab^3 + 2a^2b^2 - abc^2}{(a + b)^2}} = \\
 &= \sqrt{\frac{a^3b + ab^3 + 2a^2b^2 - ab \cdot (a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos(\alpha + \beta))}{(a + b)^2}} = \frac{ab}{a + b} \sqrt{2(1 - \cos(\alpha + \beta))} \\
 &= \frac{2ab \cdot \sin\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)}{a + b}
 \end{aligned}$$

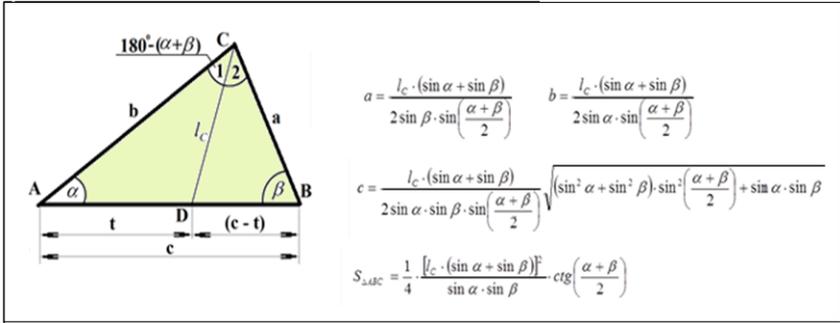


Рис. 10. Доказательство свойств биссектрис треугольников.

4) Используя теорему синусов, запишем:

$$\frac{a}{b} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad \Rightarrow \quad b = \frac{a \cdot \sin \beta}{\sin \alpha};$$

5) Подставляя значение b , получаем:

$$l_c = \frac{2a \cdot \left(\frac{a \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} \right) \cdot \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)}{a + \left(\frac{a \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} \right)} = \frac{2a \cdot \sin \beta \cdot \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)}{\sin \alpha + \sin \beta}$$

$$a = \frac{l_c \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)}{2 \sin \beta \cdot \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)}, \quad b = \frac{l_c \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)}{2 \sin \alpha \cdot \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)}$$

$$c = \sqrt{a^2 + \left(\frac{a \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} \right)^2} + 2a \cdot \left(\frac{a \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} \right) \cdot \cos(\alpha + \beta) =$$

$$= \sqrt{\frac{l_c^2 \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)^2}{4 \sin^2 \beta \cdot \sin^2 \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)} + \frac{l_c^2 \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)^2}{4 \sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)} + \frac{2l_c^2 \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)^2 \cdot \cos(\alpha + \beta)}{4 \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin^2 \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)}} =$$

$$= \frac{l_c \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)}{2 \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)} \sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta + 2 \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos(\alpha + \beta)}$$

6) находим выражение для площади треугольника:

$$S_{\triangle ABC} = \frac{1}{2} ab \cdot \sin(\alpha + \beta) = \frac{1}{2} \cdot \frac{l_c \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)}{2 \sin \beta \cdot \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)} \cdot \frac{l_c \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)}{2 \sin \alpha \cdot \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)} \cdot \sin(\alpha + \beta) =$$

$$= \frac{1}{8} \cdot \frac{[l_c \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)]^2 \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \left[\sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) \right]^2} = \frac{1}{4} \cdot \frac{[l_c \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)]^2 \cdot \cos \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)} =$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \frac{[l_c \cdot (\sin \alpha + \sin \beta)]^2}{\sin \alpha \cdot \sin \beta} \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)$$

что и требовалось доказать.

Теорема 10

Если стороны треугольника равны a, b, c соответственно, то биссектрисы l_a, l_b, l_c принимают значения, представленные в таблице:

Доказательство:

1) Пусть $AD = t, DB = (c - t)$, тогда, используя теорему 1, запишем:

$$\frac{t}{b} = \frac{c-t}{a} \quad \Rightarrow \quad t = \frac{bc}{a+b} \quad \Rightarrow \quad c-t = \frac{ac+bc-bc}{a+b} = \frac{ac}{a+b}$$

2) Используя доказанную выше теорему 2, запишем:

$$\begin{aligned} l_c &= \sqrt{ab - t \cdot (c-t)} = \sqrt{ab - \frac{bc}{a+b} \cdot \frac{ac}{a+b}} = \sqrt{\frac{a^3b + b^3a + 2a^2b^2 - abc^2}{(a+b)^2}} = \\ &= \frac{\sqrt{ab}}{a+b} \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab - c^2} = \frac{\sqrt{ab}}{a+b} \sqrt{(a+b)^2 - c^2} = \frac{\sqrt{ab}}{a+b} \sqrt{(a+b+c)(a+b-c)} \end{aligned}$$

Аналогично доказываются и две остальные формулы.

Теорема доказана.

Теорема 11

Площадь треугольника, имеющего стороны a, b и биссектрису угла между

ними l_c , равна: $S_{\triangle ABC} = \frac{l_c \cdot (a+b)}{4ab} \sqrt{4a^2b^2 - l_c^2 \cdot (a+b)^2}$

Доказательство:

1 способ

1) Пусть все стороны соответствуют значениям, как показано на рис.11. Тогда, применяя теорему синусов, можно записать:

$$S_{\triangle ABC} = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot \sin(2\alpha) = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha = S_{\triangle ADC} + S_{\triangle DCB} = \frac{1}{2} a \cdot l_c \cdot \sin \alpha + b \cdot l_c \cdot \sin \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{l_c \cdot (a+b)}{2ab} \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{l_c^2 \cdot (a+b)^2}{(2ab)^2}} = \sqrt{\frac{4a^2b^2 - l_c^2 \cdot (a+b)^2}{4a^2b^2}}$$

$$2a \cdot b \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = l_c \cdot \sin \alpha \cdot (a+b)$$

2) Подставляя найденные значения синуса и косинуса в формулу для площади треугольника, получаем:

$$S_{\triangle ABC} = \frac{1}{2} a \cdot b \sin(2\alpha) = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{l_c \cdot (a+b)}{4ab} \cdot \sqrt{4a^2b^2 - l_c^2 \cdot (a+b)^2}$$

что и требовалось доказать.

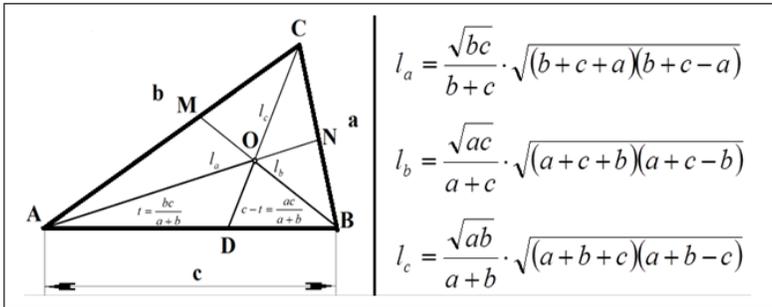


Рис. 11. Доказательство свойств биссектрис

II способ

1) Для доказательства используем полученную ранее формулу:

$$l_c = \frac{\sqrt{ab \cdot (a+b+c)(a+b-c)}}{(a+b)} \Rightarrow l_c^2 \cdot (a+b)^2 = ab \cdot [(a+b)^2 - c^2] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow l_c^2 \cdot (a+b)^2 - ab \cdot (a+b)^2 = -abc^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow c^2 = \frac{(ab - l^2) \cdot (a+b)^2}{ab} \Rightarrow c = \sqrt{\frac{(ab - l^2)(a+b)^2}{ab}}$$

2) Применяем формулу Герона:

$$S = \sqrt{\frac{a+b+c}{2} \cdot \frac{a+b-c}{2} \cdot \frac{a+c-b}{2} \cdot \frac{b+c-a}{2}} = \sqrt{\frac{(a+b)^2 - c^2}{4} \cdot \frac{c^2 - (a-b)^2}{4}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(a+b)^2 - \frac{(a+b)^2 \cdot (ab - l^2)}{ab}}{4} \cdot \frac{(a+b)^2(ab - l^2) - (a-b)^2}{4}} =$$

$$= \sqrt{\frac{ab \cdot (a+b)^2 - (a+b)^2 \cdot (ab - l^2)}{4ab} \cdot \frac{(a+b)^2 \cdot (ab - l^2) - ab \cdot (a-b)^2}{4ab}} =$$

$$= \frac{l \cdot (a+b)}{4ab} \sqrt{(a^2 + 2ab + b^2)(ab - l^2) - ab(a^2 - 2ab + b^2)} =$$

$$= \frac{l(a+b)}{4ab} \sqrt{a^3b - a^2l^2 + 2a^2b^2 - 2ab l^2 + ab^3 - b^2l^2 - a^3b + 2a^2b^2 - ab^3} =$$

$$\Rightarrow S = \frac{l \cdot (a+b)}{4ab} \cdot \sqrt{4a^2b^2 - l^2 \cdot (a+b)^2}$$

что и требовалось доказать.

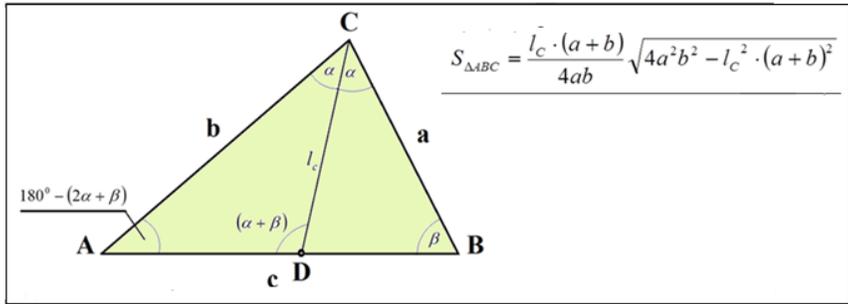


Рис. 9.Свойства биссектрис треугольников

Рассмотренные теоремы о свойствах биссектрис имеют широкое применение к решению задач геометрии.

Из всех школьных предметов *геометрия* несправедливо считается одним из самых сложных и запутанных. Но вместе с тем, это едва ли ни древнейшая наука, известная человечеству. Уже в глубокой древности люди умели строить геометрические фигуры и выполнять сложные расчёты. Чего только стоят пирамиды Египта! Высочайшая степень точности в расчётах и вычислениях центра тяжести, объёмов, площадей поверхности объектов неправильной геометрической формы, расчёты Многочисленные памятники архитектуры древности в мире свидетельствуют о знаниях основ геометрии и тригонометрии, без которых добиться подобной степени точности построений было бы невозможно.

ЕГЭ в настоящее время предлагает богатый арсенал задач, решение которых требует знания многих теоретических свойств элементов геометрии. Разумеется, мелом на доске можно выполнить великолепные по красоте и точности исполнения чертежи и рисунки. Однако на это уходит значительная часть времени урока. Использование же богатого арсенала ИКТ позволяет сделать эти теоретические наработки наглядными и при необходимости - рассматривать в движении, в различных комбинациях или под разными углами, экономя при этом и время урока.

Литература:

1. Д.Д. Ефремов. Новая геометрия треугольников. Из серии Физико-математическое наследие. Геометрия. URSS, ISBN 978 – 5 – 9710 – 2163 – 9. Москва, 2015.
2. И.Ф. Шарыгин. Задачи по геометрии. Планиметрия. Из серии «Библиотечка «Квант». Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. М., 1986.
3. Г.И. Шарыгин. Лекции по элементарной геометрии. ISBN 978 – 5 – 4439 –0136 – 7. Москва, 2014.
4. Под ред. М.И. Сканави. Сборник задач по математике. М., ОНИКС, 2006.

ИНЕРЦИОННАЯ ВИБРАЦИОННАЯ МАШИНА НЕЛИНЕЙНОГО ТИПА С АСИММЕТРИЧНЫМИ УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

В. Н. Беловодский, С. Л. Букин

Донецкий национальный технический университет, Донецк, РФ

83001, г. Донецк, ул. Артёма, 58

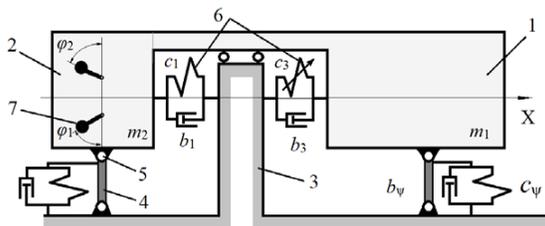
Тел.: (+7 949)334-91-50, e-mail: v.belovodskiy@gmail.com

Введение

Вибрационные машины широко используются в промышленности для интенсификации процессов грохочения, транспортирования, уплотнения и т.д. Более полувека назад экспериментально показано, что полигармонические вибрации в таких процессах более эффективны по сравнению с гармоническими. С тех пор выполнен большой цикл работ и предложен ряд способов формирования полигармонических вибраций в вибромашинах с моногармоническим возбуждением. Одним из наиболее обещающих подходов в этом направлении является реализация комбинационных резонансов нелинейных систем [1] и данная работа выполнена в русле этих представлений. В статье рассматривается одномассовая горизонтальная вибромашина, в которой нелинейность в упругих связях формируется путем комбинации цилиндрических и конических пружин сжатия, проводится построение её математической модели и анализ поведения системы в различных резонансных зонах.

Принципиальные схемы, модель, уравнения

Принципиальные схемы вибромашины и её упругой системы представлены на рис. 1. Вибромашина горизонтального типа и жёсткость опорных элементов много меньше жёсткости основных и поэтому в модели не учитывается. Основные упругие связи формируются путем комбинации металлических пружин сжатия: слева – линейной цилиндрической, справа – нелинейной конической (рис. 1б), графическая форма представления силовой характеристики которой приведена в работе [2].



а)

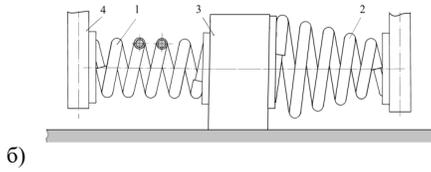


Рис. 1. Принципиальные схемы: а - вибродвижителя; б - её упругой системы

Она имеет вертикальную касательную в крайней своей точке, и её математическая аппроксимация выполнена нами с использованием линий Безье 2-го порядка [3]. Предполагается, что при сборке в статическом положении осуществляется поджатие пружин основной упругой системы на величину, равную линейной части упругой характеристики конической пружины, возбуждение колебаний осуществляется с помощью идеального дебалансного вибровозбудителя, а учёт сопротивления в системе ограничивается оценкой сопротивлений в упругих связях, что соответствует традиционным допущениям при динамических расчетах вибромашин технологического назначения [4].

При этих ограничениях движение системы в безразмерной форме описывается дифференциальным уравнением второго порядка

$$\frac{d^2\xi}{d\tau^2} + b \frac{d\xi}{d\tau} + \begin{cases} \xi, & -28 \leq \xi \leq 0; \\ \frac{\xi}{2} + 0.028 \left(2500 - 3291.2 \sqrt{\frac{20-\xi}{20}} + 1291.2 \frac{20-\xi}{20} \right) - 14, & 0 \leq \xi \leq 20; \end{cases} = P\eta^2 \sin \eta\tau, \quad (1)$$

а вид её упругой характеристики представлен на рис. 2.

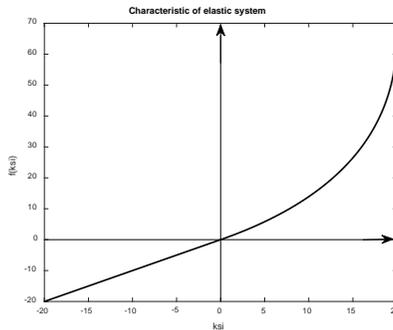


Рис. 2. Упругая характеристика системы

Значение коэффициента сопротивления в (1) при проведении расчётов было принято равным $b=0.1$, а силовой параметр, характеризующий относительную величину статического момента дебалансов, выбирался из диапазона $P < 5$, что соответствует известным вибромашинам технологического назначения. Численное значение ζ равно перемещению рабочего органа в мм.

Исследование, результаты

В силу иррациональной нелинейности системы (1) основным инструментом её исследования являлось численное моделирование в среде Matlab. Для решения локальных задач - определения стационарных режимов движений, проведение их спектрального анализа, построения областей притяжения и т.д., были составлены специальные программные модули, реализующие известные подходы и алгоритмы.

Ниже ограничимся рассмотрением колебаний в зоне основного резонанса ($\eta \approx 1$) и одного наиболее интенсивного из субгармонических ($\eta > 2$).

В зоне основного резонанса (рис. 3) колебания, в силу асимметричности упругой характеристики (рис. 2), также несимметричны. В спектре колебаний доминирующими, не считая постоянной составляющей, является основная и кратная ей вторая гармоника, величина которой находится в пределах 3-5% основной. Несмотря на выраженную нелинейность системы амплитудно-частотные характеристики отличаются крутизной, в этом плане поведение системы напоминает линейную, колебания достаточно интенсивны и коэффициент усиления в этой зоне составляет 15 единиц и более (см. рис. 3б).

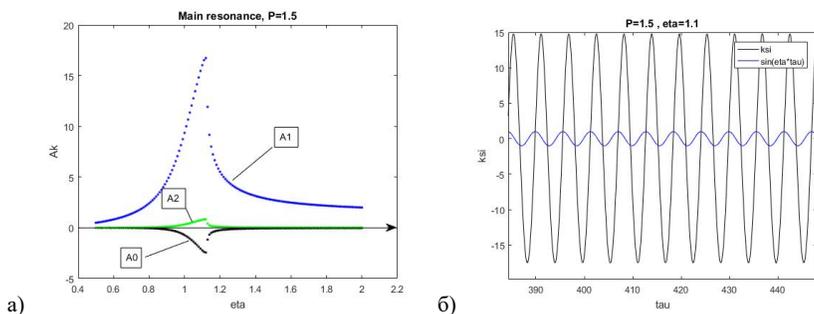


Рис. 3. Основной резонанс: а - частотные характеристики; б – закон перемещений

Из субрезонансов, их поиск осуществлялся методом мультитарата, наиболее легко возбуждался субрезонанс порядка 1:2, результаты его исследований приводятся на рис. 4. Обращает на себя внимание интенсивность субгармонической составляющей и многорежимность в данном частотном диапазоне (рис. 4а), возможные из устойчивых режимы движений показаны на рис. 4б,в и самовозбуждение резонансных колебаний – этот факт иллюстрируется построением фрагмента их областей притяжения (рис. 4г).

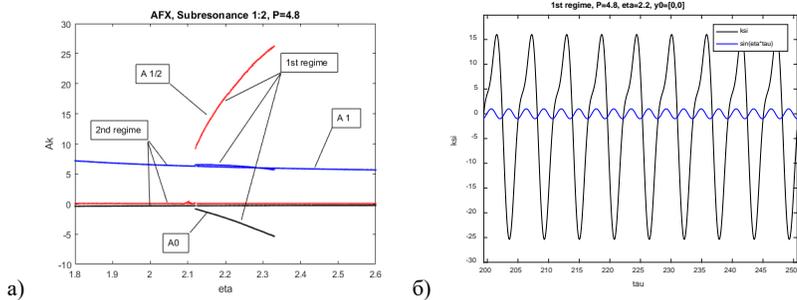
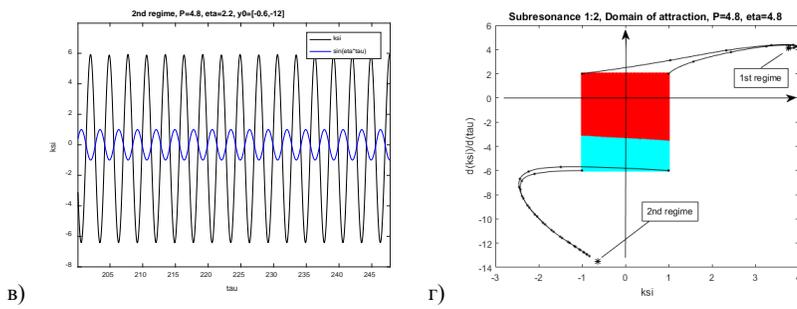


Рисунок 4 – Субгармонический резонанс порядка 1:2: а - амплитудно-частотные характеристики гармонических составляющих; б - возможный стационарный закон движений этой зоны;



Продолжение рисунка 4 – Субгармонический резонанс порядка 1:2: в - возможный стационарный закон движения этой зоны; г - фрагмент областей притяжения и орбиты их угловых точек

Заключение

Проведенные исследования демонстрируют, в целом, перспективность использования нелинейности рассмотренного вида в вибрационных машинах для реализации полигармонических колебаний. В частности, субгармонический резонанс порядка 1:2 даёт возможность выбором частоты возбуждения изменять относительные величины гармонических составляющих в широком диапазоне. К числу достоинств, также, следует отнести самовозбуждение этих режимов в определённых частотных диапазонах и достаточно высокую их интенсивность, что позволяет, по сравнению с линейными машинами резонансного типа, рассчитывать на снижение необходимых возмущающих усилий не менее чем в три раза и энергоёмкости вибромашин в целом. С другой стороны, крутизна амплитудных характеристик свидетельствует о том, что стабильность рабочих режимов может быть обеспечена лишь в случаях, когда изменение массы полезной нагрузки невелико по сравнению с массой рабочего органа.

Литература:

1. Цыфанский, Семён. Использование нелинейных эффектов в вибрационных, электрогидравлических и кавитационных технологиях, вибродиагностике, разработке надводных и подводных биороботов. Инновационные предложения. / Семён Цыфанский. – Санкт-Петербург: ООО «СУПЕР.Издательство», 2021 – 196 с.
2. FED 5. Software zur Berechnung von Kegelstumpffedern. - Режим доступа: http://www.hexagon.de/fed5_d.htm (06.06.2018).
3. Farin, G. Curves and Surface for CAGD. A Practical Guide / Gerald Farin. - Arisona State University, 2002. - 521 p.
4. Аснер, В. И. Конструкции и расчёты фильтрующих центрифуг/ В. И. Аснер, В.С.Каминский, Г. П. Клочко, В. К. Пресняков, А. В.Шлау. – Москва: Недра, 1976. – 216 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ НА МАЛОМ ПРЕДПРИЯТИИ

М.В.Бурлакова¹, А.Ю. Бекмешов^{1,2}, О.А. Фомина¹, Н.М. Кузнецова¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН». 127055, Москва, Вадковский пер., д.3а

²Федеральное государственное автономное учреждение науки Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук 127055, Москва, Вадковский пер., д. 18, стр. 1А

Тел.: 8-(926)-582-34-35, E-mail: b-a-y-555@yandex.ru

Аннотация. С целью совершенствования качества производства изделий малое предприятие нуждается в повышении эффективности производственных процессов, в результате чего возрастает уровень конкурентоспособности фирмы на региональном рынке.

Данная статья посвящена решению вопроса повышения эффективности на основе цифровизации производства с учетом производственных процессов на малом предприятии.

Ключевые слова: цифровизация, производственный процесс, управление качеством, технология, малое предприятие, изделие.

На сегодняшний день любое производство трансформируется, происходит плавный переход в четвертую промышленную революцию. «Индустрия 4.0 — это новый уровень автоматизации, основанный на интегрировании всех этапов производства в единое информационное пространство».

Одним из составляющих четвертой промышленной революции является создание на производстве цифровых двойников. Понятие цифрового двойника обширно, его можно применить как к какому-то конкретному изделию, так и к целой производственной системе.

Технология изготовления металлоконструкций на предприятии включает в себя:

1. Проектирование изделия. На данном этапе определяют материал, из которого будет выполняться изделие, его специфические особенности и места крепления других деталей.

2. Заготовка. Происходит определение массы будущей конструкции, дорабатывают его форму и оценивают качество.

3. Обработка будущих деталей. Приступают к доработке формы детали, используя различные процессы: шлифовка, обточка, обработка швов и прочее.

4. Сборка конструкции. Сварщики собирают изделия, скрепляя детали между собой при помощи сварочного аппарата.

5. Покрытие изделия антикоррозийными средствами.

6. Проверка качества готового изделия.

7. Отгрузка изделия.

8. Установка (доставка) у заказчика.

По данным, представленным предприятием, видно, что последовательность действий выполнения заказа, существующая на сегодняшний день, достаточно убыточная.

После обращения заказчика на проект, инженер сначала проектирует желаемое изделие, создавая эскиз от руки, на листе бумаги, затем, совместно с группой рабочих выезжает на объект, снимает все необходимые размеры, в результате завершает чертёж будущего изделия.

Далее выполненный чертёж направляется заказчику для утверждения заказа и оформления сметы и сопровождающей документацией.

В случае, когда заказчика всё устраивает, он подписывает всю необходимую документацию и вносит предоплату в размере 50% стоимости заказа, остальная часть выплачивается после завершения установки изделия и полной сдачи объекта.

Сроки выполнения заказа зависят от сложности конфигурации изделия.

До создания информационной системы малое предприятие не обладало никакой информационной базой и упорядоченным осмысленным использованием программного обеспечения.

Благодаря проведению FMEA-анализа производственного процесса и составлению диаграммы Ишикава удалось выяснить, что сами рабочие оказывают большое влияние на снижение скорости производства и качества изготавливаемой продукции.

Производимые изменения осуществляются в несколько этапов:

1. Проектирование;
2. Заготовка.

Данные этапы производственного процесса были определены как самые убыточные.

В связи с этим было принято решение внедрить на предприятие программное обеспечение, позволяющее создавать 3D-модели будущих изделий.

3D-моделирование - это одно из составляющих цифровизации производства. Любая цифровая трансформация направлена на оптимизацию уже существующих процессов.

Цифровизация - это внедрение современных технологий в бизнес-процессы фирмы с целью повышения эффективности деятельности.

Основными направлениями цифровизации на предприятиях являются:

- Анализ всех баз данных предприятия;
- Машинное обучение;
- Роботизация производства;
- Виртуальная реальность;
- Создание 3D-моделей.

3D-модель создается на компьютере в специальных программах, адаптированных под трехмерную графику. Чтобы создать 3D-модель изделия необходимо наличие всей технической документации, а так же зарисовки, эскизы этого изделия.

Малые предприятия в основном не занимаются многосерийным производством, практически все поступающие заказы являются единичными и, как правило, типовыми.

Множество клиентов заказывают те изделия, которые представлены на сайте фирмы. Единственные изменения, которые вносятся в изделия, это размеры, необходимые для каждого клиента, а также элементы, не влияющие на функциональность продукта.

Создание 3D-моделей типовых конструкций позволит фирме:

- Моделировать будущее изделие в виртуальной среде;
- Вносить изменения в изделие до момента его создания;
- Сократить сроки изготовления конструкций;

- Сократить затраты на изготовление;
- Затраты на переделку изделия минимизируются.

При создании изделия по чертежу, созданному от руки, существует высокий риск возникновения ошибок. Наличие цифровой модели будущего продукта позволит устранить все недочеты ещё в ходе моделирования, а так же продемонстрировать заказчику будущее изделие до момента производства.

Для реализации 3D-моделирования можно выбрать отечественное программное обеспечение, решающее задачу автоматизированного проектирования.

Ключевой особенностью продукта является обеспечение сквозного процесса проектирования от реализации идеи в 3D до подготовки полного комплекта документации.

Особенность заключается в разработке собственного математического ядра и параметрических технологий, что позволяет подготовить полноценную электронную модель изделия.

Пример готовой цифровой модели изделия приведён на рисунке 1.

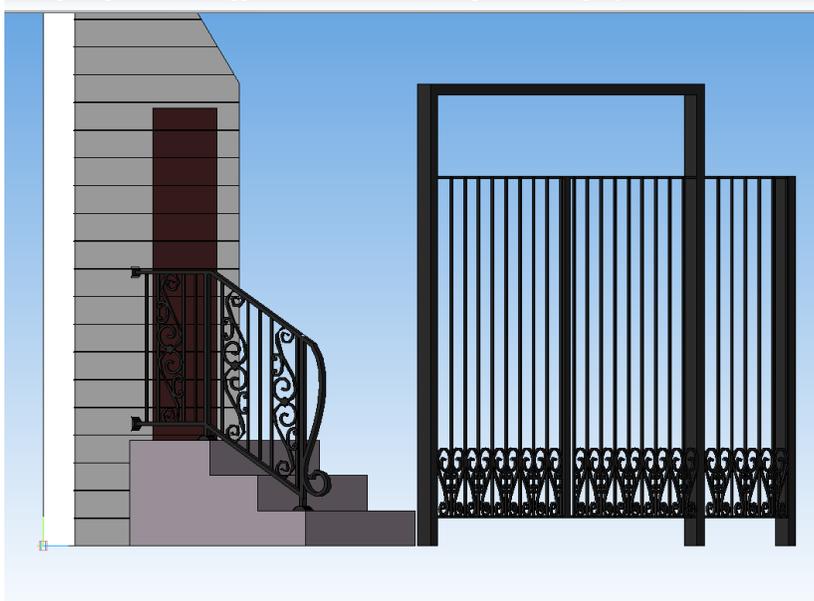


Рис. 1. Готовая 3D-модель (вид сбоку).

Цифровой двойник создается на компьютере в виртуальной среде, это позволяет смоделировать изделие или производственную систему, указав все реальные характеристики объектов: точность, прочность и иные параметры. С помощью такой визуализации мы можем проанализировать и смоделировать изменение характеристик продукта при малейшем воздействии на него.

«Цифровой двойник изделия включает в себя: геометрическую и структурную модели объекта; набор расчетных данных деталей, узлов и изделия в целом (математические модели, описывающие все происходящие в объекте физические процессы); информацию о технологических процессах изготовления и сборки отдельных элементов; систему управления жизненным циклом изделия. Цифровой двойник изделия

может использовать модифицированную численную модель с измененными характеристиками износа или производительности. Информация от датчиков, подключенных к реальному объекту, может передаваться цифровому двойнику изделия в качестве граничных условий в режиме реального времени с целью моделирования, анализа и прогноза поведения объекта в рамках его служебного назначения». [1]

По сути, цифровой двойник - это полная копия в виртуальной среде изделия или системы, которая существует в реальном времени или идентичный прототип, по которому будет происходить создание изделия или системы.

Так, создание цифрового двойника любого типового изделия малого предприятия даёт возможность управлять всеми факторами, влияющими на качество и стоимость продукта еще в тот момент, когда изделие не было отправлено на производство. Это значительно снижает затраты предприятия, а также ускоряет сроки изготовления продукта.

Выделяют три основных вида цифровых двойников:

1. «Информационные. Такие цифровые двойники подключены к реальному оборудованию и получают от него информацию о состоянии и процессах. В онлайн-режиме передают данные оператору либо самостоятельно отслеживают, анализируют и записывают инциденты в работе. Нужны для диагностики текущего состояния объекта, например, автоматизированного станка или буровой установки.

2. Предиктивные. Двойники этого типа способны сформировать условия эксплуатации и предсказать поведение объекта в разных ситуациях. Используются при проектировании новых продуктов, модернизации уже имеющихся и прогнозировании эффективности процессов в зависимости от условий.» [2]

3. Операционные. Такие цифровые двойники моделируют виртуальную работу компании, влияя на слаженность команды, прозрачность и эффективность ведения бизнеса. Сюда относятся виртуальные офисы (типа Битрикс24) и комплексное программное обеспечение (пакет ПО Microsoft).

На малом предприятии не рационально создавать цифровой двойник производственной системы, поскольку это требует больших вложений. Окупаемость подобных нововведений будет затяжной. Поэтому было принято решение сделать цифровые двойники из уже созданных цифровых моделей типовых изделий фирмы.

Виртуализация типовых изделий позволяет смоделировать прочность или эффективность конструкций. Цифровой двойник даёт возможность проводить анализ изделия на долговечность, тестировать прочность конструкций и реакцию при разных климатических изменениях. Вся полученная информация путем тестирования цифрового прототипа даёт базы для модернизации изделий.

Выводы

Таким образом, применение цифровых двойников изделий на малых предприятиях позволяет работать над улучшением качества предоставляемых услуг, не тратя больших денежных вложений, поскольку любое тестирование продукции проводится с помощью информационной симуляции и не требует затрат ресурсов фирмы на физические тесты.

Помимо всего этого значительно сокращается время на проектирование изделия, период выполнения заказа сокращается, поскольку правки и корректировки вносятся в виртуальный прототип изделия еще до момента его изготовления. Уменьшается влияние человеческого фактора на возникновение ошибок в момент производства, что позволяет создать изделие для клиента за короткие сроки.

Литература:

1. Фролов, Е. Б. MES - основа для создания "цифрового двойника" производственной системы / Е. Б. Фролов, А. С. Климов, М. Х. Зин // Цифровая экономика: оборудование, управление, человеческий капитал : материалы всероссийской научно-практической конференции, Вологда, 25 декабря 2018 года. – Вологда: ООО «Маркер», 2018. – С. 102-105. – EDN VLRTLTV.
2. Цифровой двойник: что это такое, технология, внедрение, концепция и виды цифровых двойников системы. <https://www.ramax.ru/press-center/articles/tsifrovoy-dvovnik-cto-eto-takoe-vidy-tekhnologiya/>
3. Фролов, Е. Б. Цифровой двойник производственной системы на основе программного обеспечения категории mes / Е. Б. Фролов, А. С. Климов, М. М. Зин Мин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 12(73). – С. 66-73. – DOI 10.30987/article_5c0f808e9b29f7.40393956. – EDN YPZNR.
4. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Построение цифрового двойника основных автоматизированных систем промышленного предприятия с целью определения уровня информационной безопасности ЭРГОДИЗАЙН Учредители: Брянский государственный технический университет (Брянск) №2(12) 2021, с.97-102 eISSN: 2658-4026, DOI: 10.30987/2658-4026-2021-2-97-102;

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНКУРЕНЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ

Е.А. Девятерикова, А.Р. Преображенская

ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1, edev-va@yandex.ru

Развитие любого предприятия невозможно без использования современных информационных и коммуникационных технологий. Естественно, процесс внедрения этих технологий, замещение этими технологиями прежних, традиционных, должен происходить с максимальной эффективностью, минимальными потерями и, по возможности, быстро. В этой связи становится особенно актуальным создание прогностических математических моделей конкуренции с целью разработки методов оптимального управления и критериев принятия решений. Среди таких моделей наиболее распространенными являются классическая динамическая система Лотки-Вольтерры и ее различные модификации. Вместе с тем, поскольку эти модели являются детерминистическими и непрерывными, их использование для отображения реальных систем не всегда оправдано. Поведение взаимодействующих сторон часто не является строго рациональным и определенным; существует лишь некоторая вероятность действия того или иного фактора. Более правильным в этих ситуациях может быть построение дискретных стохастических моделей.

Процесс конкуренции и замещения технологий рассматривается как случайный марковский процесс гибели и размножения. При ограниченном числе потребителей технологий такой процесс будет иметь конечное число состояний. Для случая двух конкурирующих технологий (например, традиционная и дистанционная технологии в образовании) и различных видов функций, описывающих взаимное влияние технологий, определены финальные вероятности состояний и проведены оценки времени перехода системы в стационарное состояние. Рассмотрен предельный переход к случаю неограниченного числа потребителей технологий. Проведено сравнение результатов с решениями аналогичных задач на основе дифференциальных моделей.

Литература:

1. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. — 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2001. — 320 с.
2. Математическое моделирование: учеб. пособие / Г. С. Хакимзянов, Л. Б. Чубаров, П. В. Воронина; Новосиб. гос. ун-т. — Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. — 263 с.
3. Кельберг М. Я., Сухов Ю. М. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Т. II: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения. М.: МЦНМО, 2009. — 588 с.: ил.

ПРОЕКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ВУЗЕ НА ПРИМЕРЕ КОЛЛАБОРАТИВНЫХ РОБОТОВ (КОБОТОВ)

В.С. Дрякина

ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»
127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1
e-mail: vadryakina@yandex.ru

Современное производство – это автоматика и поточные линии. Промышленная робототехника — это отрасль современного предприятия, которая занимается разработкой и производством промышленных роботов-манипуляторов и систем, направленных на автоматизацию производственных процессов и замену ручного труда механическим. Современные государственные программы развития производства показывают, что предприятия будут наращивать объем использования роботов в течение продолжительного времени. При развитии промышленной робототехники нужно учитывать не только новые технологии, но и компетентность сотрудников, работающих с роботами, их обслуживание и внедрение новых устройств в производство. В результате развития робототехники общество получает возможность решать принципиально новые научные и производственные задачи.

Главная особенность современных роботов – их способность работать рядом с людьми, не причиняя им вреда. Необходимость появления такого оборудования способствовало созданию новой технологической линейки с общим названием – «коллаборативные роботы». Промышленные коллаборативные роботы, обладают множеством различных функций, которыми инженер-робототехник должен уметь правильно пользоваться.

В связи с увеличением потребности в промышленных роботах, требуется и современный подход для обучения персонала для работы с оборудованием. Для максимального использования потенциала занятий, необходимо уделить самое пристальное внимание подготовке учебной аудитории и используемых материалов.

В зависимости от рассматриваемого варианта, представлены предложения по созданию идеальной обстановки в классе. Таким образом может быть предложена следующая организация аудиторий для обучения управления роботом. Для того, чтобы не перемещать устройство необходимо подготовить специальный стол с колёсами, на котором можно правильно расположить робота и рабочую поверхность. Подготовка требует времени и должна производиться с осторожностью и вниманием.

Для правильного выполнения задания учащиеся должны быть разделены на пять рабочих групп (рекомендуемое количество), созданных преподавателем. Советуется учитывать различные личностные качества и особенности учащихся, для создания разнородных равносильных групп. Работа в группах позволяет молодым людям почувствовать работу команды, реальные задачи производства, развить навыки сотрудничества, дискуссии и лидерства. Следует обратить внимание, что для использования содержания занятия необходимо, чтобы устройства, используемые преподавателем и учащимися, были подключены к Интернету.

Если в аудитории находятся один или два кобота, то в первую очередь, в используемой аудитории должно быть рабочее место для преподавателя, оборудованное столом с размещённым коботом на рабочей поверхности. Для проекции содержания

урока рекомендуется использовать IWB или видеoprojector с динамиками. Каждая группа учащихся должна быть обеспечена столом для работы. Преподаватель будет использовать робота для проведения демонстраций в классе, затем каждая группа учеников будет повторять операции самостоятельно с назначенным им роботом (одна из групп, если необходимо может использовать рабочее место преподавателя).

Выводы:

Образовательная робототехника в школе позволяет: провести инновационное обучение и приобретение STEM и социальных навыков, что является основой многих конкретных профессий будущего; материализовать школьные дисциплины в мире новых технологий и робототехники; способствовать контекстуализации школьных дисциплин в реальности; поощрять участие, сотрудничество и вовлеченность.

Внедрение робототехники в школах означает приобретение и закрепление на практике этих навыков; это позволит кардинально изменить ситуацию в области цифровой экономики и Индустрии 4.0.

В заключении стоит отметить, что предложенный вариант изучения робототехники в рамках курса имеет инвариантный характер и предполагает определенную доработку, которую учитель может совершить исходя из своих профессиональных возможностей, особенностей состава учащихся и выбранного профиля обучения.

Литература:

1. BIS Research
Global Collaborative Robot (Cobot) Market. Focus on Payload, Application Sales Channel, Component, and Industry – Analysis & Forecast, 2020-2025 [Electronic resource] / BIS Research. – 2020. - . - Режим доступа: <https://bisresearch.com> – Загл. с экрана.
2. Robotics & Automation NEWS
Edwards, D. Universal Robots develops interface for Siemens engineering portal [Electronic resource] / D. Edwards // Robotics & Automation NEWS. – 2021 - . - Режим доступа: <http://roboticsandautomationnews.com> – Загл. с экрана.
3. ГАЗПРОМБАНК Инвестиции
Аналитический отдел ГПБ Инвестиции Робототехника: фантастика, которая станет реальной [Электронный ресурс] / Аналитический отдел ГПБ Инвестиции // ГАЗПРОМБАНК Инвестиции. – 2021 - . - Режим доступа: <https://gazprombank.investments> – Загл. с экрана

ВЛИЯНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ НА ЭДС САМОИНДУКЦИИ ВНУТРИ ТОНКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКИ ИЗ МЕТАЛЛА

Э.В. Завитаев¹, О.В. Русаков², А.И. Уткин², К.Е. Харитонов²

¹Мытищинский филиал ФГОУ ВО «МГТУ им. Н. Э. Баумана», Мытищи, Россия
141005, ул. 1-я Институтская, 1
EduardZavitaev@yandex.ru

²ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет»,
Орехово-Зуево, Россия
142611, ул. Зелёная, 22
olegrusmail@mail.ru, aiutkin@yandex.ru, kirillharitonov1@mail.ru

Аннотация. Выполнен расчет ЭДС самоиндукции внутри тонкой цилиндрической проволоки из металла на основе решения кинетического уравнения Больцмана для электронов в металле. Рассмотрен общий случай, когда отношение длины свободного пробега электронов к радиусу проволоки может принимать произвольные значения. В качестве граничных условий задачи принято условие, учитывающее зависимость коэффициента зеркальности от дефектов поверхности и угла падения электронов на внутреннюю поверхность проволоки

Ключевые слова: тонкая проволока, ЭДС самоиндукции, магнитный поток.

Электрические и магнитные свойства проводников, линейный размер которых сравним с длиной свободного пробега электронов L , существенно отличается от свойств «массивных» проводящих объектов.

Вопросы, касающиеся расчета электрической проводимости тонкой цилиндрической проволоки из металла, обсуждались в работах [1, 2]. Расчеты магнитной индукции внутри тонкой цилиндрической проволоки из металла были получены в работах [3, 4]. Зависимость самоиндукции внутри такой проволоки от механизма поверхностного рассеяния электронов определялась в работе [5]. В упомянутых работах применяется подход, основанный на решении кинетического уравнения Больцмана, для электронов в металле.

В данной работе рассматривается цилиндрическая проволока из немагнитного металла (относительная магнитная проницаемость $\mu \approx 1$) радиуса R и длины D (будем считать, что $D \gg R$), к концам которой приложено переменное электрическое напряжение частоты ω . Принимается, что направление электрического поля совпадает с осью цилиндра. Скин-эффект не учитывается (предполагается, что $R < \gamma$ – глубины скин-слоя).

Однородное периодическое по времени t электрическое поле, вектор напряженности которого $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \exp(-i\omega t)$, воздействует на электроны проводимости внутри проволоки и вызывает появление внутри нее высокочастотного тока с плотностью \mathbf{j} .

Проведем расчет ЭДС самоиндукции, обусловленной изменением силы тока I внутри проволоки.

Как известно, применяя к явлению самоиндукции закон Фарадея, получим, что ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{dI}{dt}, \quad (1)$$

где L – самоиндукция – это коэффициент пропорциональности между магнитным потоком Φ и силой тока I , создающей магнитное поле.

Так как электрическое поле E однородное и периодическое по времени t , следовательно, то же самое можно сказать и про силу тока I , которая возникает под действием данного электрического поля

$$I = I_0 \exp(-i\omega t) \Rightarrow \frac{dI}{dt} = -i\omega I_0 \exp(-i\omega t) = -i\omega I. \quad (2)$$

Поэтому ЭДС самоиндукции можно переписать в виде

$$\mathcal{E}_s = i\omega LI,$$

а с учетом того, что $L = \Phi/I$, получаем

$$\mathcal{E}_s = i\omega\Phi. \quad (3)$$

Выражение для магнитного потока Φ , где в качестве граничного условия используется зависимость коэффициента зеркальности q от дефектов поверхности H и угла падения электронов θ на внутреннюю поверхность проволоки (модель Соффера), получено в работе [5]. Данное граничное условие можно записать в следующем виде:

$$q(H, \cos \theta) = \exp(-(4\pi H)^2 \cos^2 \theta), \quad \cos \theta = \rho \cos \alpha, \quad H = \frac{h_s}{\lambda_F},$$

где h_s – среднеквадратичная высота поверхностного рельефа, λ_F – длина волны де-Бройля электрона на поверхности Ферми.

Тогда

$$\Phi = \frac{3\mu_0 n e^2 R^3 E_z D}{\pi v_F m} \int_0^1 \int_0^1 \int_0^\pi \frac{\xi \rho \sqrt{1 - \rho^2}}{\delta v} \cdot \left(\frac{(\exp(-(4\pi H)^2 \cos^2 \theta) - 1) \exp(-v\eta/\rho)}{1 - \exp(-(4\pi H)^2 \cos^2 \theta) \exp(-v\eta_0/\rho)} + 1 \right) d\delta d\xi d\rho d\alpha. \quad (4)$$

где

$$\xi = \frac{r_\perp}{R}, \quad \rho = \frac{v_\perp}{v_F}, \quad \delta = \frac{r_{\perp B}}{R}, \quad v = \left(\frac{1}{\tau} - i\omega \right) \frac{R}{v_F},$$

$$\eta = \xi \cos \alpha + \sqrt{1 - \xi^2 \sin^2 \alpha}, \quad \eta_0 = 2\sqrt{1 - \xi^2 \sin^2 \alpha}.$$

Здесь μ_0 – магнитная постоянная вакуума; n , e , m – соответственно, концентрация, заряд и масса электронов; v_F – скорость Ферми; τ – электронное время релаксации.

Подставив (4) в формулу (3) получаем искомую ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_s = \frac{3i\omega\mu_0 n e^2 R^3 E_z D}{\pi v_F m} \int_0^1 \int_0^1 \int_0^\pi \frac{\xi \rho \sqrt{1 - \rho^2}}{\delta v} \cdot \left(\frac{(\exp(-(4\pi H)^2 \cos^2 \theta) - 1) \exp(-v\eta/\rho)}{1 - \exp(-(4\pi H)^2 \cos^2 \theta) \exp(-v\eta_0/\rho)} + 1 \right) d\delta d\xi d\rho d\alpha. \quad (5)$$

Литература:

1. Завитаев Э.В. Высокочастотная проводимость тонкой цилиндрической проволоки из металла / Э.В. Завитаев, А.А. Юшканов // Микроэлектроника. 2008. Т. 37. № 6. С. 429-438.
2. Кузнецова И.А. Влияние механизма поверхностного рассеяния электронов на высокочастотную проводимость тонкой металлической проволоки / И.А. Кузнецова, А.В. Чапкин, А.А. Юшканов // Микроэлектроника. 2011. Т. 40. № 1. С. 45-51.
3. Завитаев Э.В. Расчет магнитной индукции внутри тонкой цилиндрической проволоки из металла / Э.В. Завитаев, О.В. Русаков, К.Е. Харитонов // Вестник Московского

государственного областного университета. Серия «Физика-Математика». 2016. № 2. С. 74-84.

4. Завитаев Э.В. Зависимость магнитной индукции внутри тонкой цилиндрической проволоки из металла от механизма поверхностного рассеяния электронов / Э.В. Завитаев, О.В. Русаков, А.И. Уткин, К.Е. Харитонов // Микроэлектроника. 2022. Т. 51. № 2. С. 1-7.
5. Завитаев Э.В. Зависимость самоиндукции тонкой цилиндрической проволоки из металла от механизма поверхностного рассеяния электронов / Э.В. Завитаев, К.Е. Харитонов, А.А. Юшканов // Журнал технической физики. 2019. Т. 89. № 5 С. 643-645.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖУЩЕГОСЯ
МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПРИ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ С НАГРУЖЕНИЕМ**
А.С. Желнов

МГТУ “СТАНКИН”, Москва, Россия

127055, Вадковский переулок, 3а

Tel.: (+7 977)638-44-3, e-mail: andreizhelnov21@gmail.com

Аннотация:

В наше время существует большое число мобильных роботизированных систем. Мобильный робот, в широком смысле – это автоматический механизм, способный перемещаться в окружающем пространстве [1]. Такая интеллектуальная, не привязанная к одной локации, техническая система выполняет заданные действия согласно интегрированной в нее базе знаний.

В зависимости от программы, заложенной в блок управления, мобильный робот действует автономно или управляется удаленно оператором. Механизм передвигается по заданному алгоритму или самостоятельно определяет траекторию перемещения [2]. При разработке таких роботизированных систем следует учитывать различные условия, а также опираться на заранее проверенные модели.

Достаточно важным условием готовой системы является предварительная проверка её грузоподъемности, а также исследование поведения робота при различных нагрузениях. Для предотвращения лишних затрат на разработку следует прибегать к различного рода математическим моделям, которые идеально подходят для анализа роботизированных систем.

**MATHEMATICAL MODELING OF THE SPEED OF A MOVING MOBILE ROBOT
UNDER INITIAL CONDITIONS WITH LOADING**
A.S. Zhelnov

MSTU “STANKIN”, Moscow, Russia

127055, Vadkovskii lane, 3a

Tel.: (+7 977)638-44-3, e-mail: andreizhelnov21@gmail.com

Abstract:

A large number of mobile robotic systems exist these days. A mobile robot, in a broad sense, is an automatic mechanism capable of moving in the surrounding space [1]. Such an intelligent, location-independent technical system performs specified actions according to its integrated knowledge base.

Depending on the software in the control unit, the mobile robot can be operated independently or remotely by an operator. The machine moves according to a pre-defined algorithm, or determines its own trajectory [2]. When designing such robotic systems, various conditions have to be taken into account, and pre-proven models have to be relied upon.

It is important that the load capacity of the system is verified beforehand, and that the behaviour of the robot is investigated under a range of different loading conditions. To avoid

unnecessary development costs, various types of mathematical models should be used, which are ideal for the analysis of robotic systems.

1. Проектирование и разработка мобильной роботизированной системы

Идея исследования роботизированной системы при различных условиях возникла в ходе создания учебного мобильного робота. Изначально для разработки была смоделирована схема подключения внутренних компонентов. При подборе элементной базы были проведены соответствующий расчеты на совместимость, а также тепловые и энергетические расчеты, опираясь на которые была сформулирована общая схема представленная на рисунке 1. Для отображения схемы использовалась кросс-платформенная веб-ориентированная среда автоматизации проектирования электроники EasyEDA.

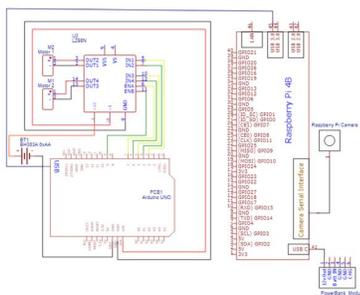


Рис. 1. Схема подключения внутренних компонентов

В состав схемы входят следующие компоненты:

- Плата Arduino UNO на базе микроконтроллера ATmega328;
- Микрокомпьютер Raspberry Pi 4 Model B;
- Драйвер двигателя L298N;
- 2 мотора-редуктора MG-6-48;
- Модуль камеры Raspberry Pi Camera.

Для дальнейшей разработки была спроектирована оболочка мобильного робота, используя среду проектирования T-FLEX CAD 17. Для лучшего понимания того, как выглядел созданный прототип была сконфигурирована сборочная модель с указанием внутренних компонентов, изображенная на рисунке 2.

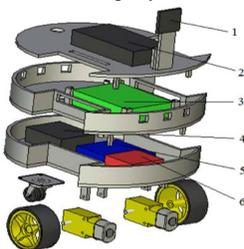


Рис. 2. Сборочная модель с указанием внутренних компонентов.

В качестве программного обеспечения для представленного робота использовалась система ROS. ROS (Robot Operation System) — это операционная система для роботов, которая обеспечивает всю необходимую функциональность для

распределённой работы всех узлов робота. ROS предоставляет стандартные возможности операционной системы, такие как аппаратная абстракция, низкоуровневое управление устройствами, реализация часто используемых функций, передача сообщений между процессами и управление пакетами [3].

2. Анализ и исследование поведения машины при различных сторонних условиях

После того, как была разработана модель, требовалась проверка скоростных характеристик, исходя из основных параметров робота. Кроме того, эта проверка показала значимость влияния нагрузки на роботизированную систему. Номинальная постоянная скорость робота равнялась 3 м/с, моделирование проводилось с помощью инструментов и возможностей среды RQt.

У представленной модели мобильного робота всего 3 колеса: 2 из которых подсоединены непосредственно к моторам, одно же является направляющим. В пятне контакта колеса движущегося прототипа с поверхностью действуют продольные, боковая и вертикальная силы. В продольном направлении работают: сила тяги, сила торможения, сила сопротивления качению (сила сопротивления подъему не рассматривалась). Вертикальная нагрузка, приходящаяся на колесо, создает в зоне контакта вертикальную реакцию R_z . Действие сил, на каждое колесо, представлено на рисунке 3.

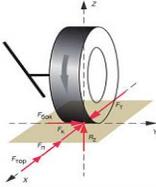


Рис. 3. Силы, действующие на колесо

Учитывая воздействия сил на колеса, была выбрана точна нагружения так, чтобы вносимые в движущуюся систему условные нагрузки распределялись равномерно по каждому колесу. После добавления всех условий в систему проводилось моделирование, в котором выводимая скорость изменялась при нагружении мобильной робототехнической системы.

3. Механизм оценки полученных результатов

Для оценки полученных результатов программно выводились графики зависимости скорости от расстояния. Исходя из графика, представленного на рисунке 4 видно, что в момент нагружения робота после того, как он достиг максимальной скорости, скорость начинает нелинейно убывать (красная линия). Синяя линия показывает абсолютные значения скорости, которой робот достигает в определенную единицу времени.

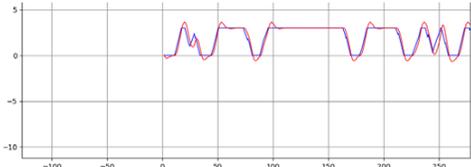


Рис. 4. Скорость в моменты нагружения

Причинами таких резких изменений скоростных характеристик робота при нагружении может быть влияние материала, из которого сделана конструкция робота. Так можно с уверенностью говорить, что при замене материала с твердого пластика на облегченную фанеру, показатели улучшаются, кроме того, уменьшается деформирование верхней части робота в связи с прочностными характеристиками пресованной фанеры.

Литература:

1. Момот М. В. Мобильные роботы на базе Arduino. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 336 с.: ил.
2. Егоров О. Д., Буйнов М. А. Механические преобразователи мехатронных модулей – М: ГОУ ВПО МГТУ “Станкин”, 2019
3. ROS – Robot Operating System – OpenRobotics, 2021 URL: <https://www.ros.org/>

МЕТОДЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

М.Ю. Ибатулин

ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН», Москва, Россия, 127055, Москва, Вадковский пер., д. 3а
Тел. (+7 926) 341-13-47, e-mail: uits_stankin@mail.ru

Эффективное управление на промышленном предприятии обеспечивает конкурентоспособность производимой продукции за счет разработки и принятия грамотных управленческих решений. Обеспечение конкурентоспособности промышленного предприятия очень часто обеспечивается за счет повышения эффективности управления интеллектуальными ресурсами. Актуальность решения такой задачи связана, во-первых, с оптимизацией компетентностной структуры в рамках цифровизации предприятия, а во-вторых, с исследованием воздействия инновационных изменений на систему управления интеллектуальной деятельностью предприятия.

Для формализации бизнес-процессов предприятия, в различных исследованиях, довольно часто используется теория кибернетических систем. Среди существующих методов описания структур кибернетических систем обычно выделяют две группы методов, основанных на использовании структурных систем и теории графов. В работе, в качестве инструмента для решения задач эффективного управления интеллектуальными ресурсами предприятия автором использованы методы теории графов. В частности данные методы позволяют оптимально распределять компетенции персонала предприятия и обеспечивать их эффективное соответствие паспорту задач предприятия. С помощью ориентированных графов бизнес-процессы можно описать как на уровне на уровне отдельных задач, так и предприятия в целом. С теоретической точки зрения дуга такого графа характеризует процесс выполнения конкретных действий с паспортами задач предприятия, а его вершины образуют моменты начала и окончания этих действий. Таким образом, графический способ отображения взаимосвязи паспорта задач производственных процессов и компетенций работников можно рассматривать как сетевое моделирование задач, обеспечивающих эффективное функционирование предприятия. При организации управления интеллектуальными ресурсами графы могут быть применены для формализации исходной информации с целью построения экономико-математических моделей, используемых в процессе разработки и принятия управленческих решений предприятия.

От рационального использования интеллектуальных ресурсов во многом зависит эффективность деятельности предприятия. В первую очередь это касается человеческих ресурсов, т.е. ресурсов, зависящих от загрузки специалистов и использования их компетенций. Потребность в человеческих ресурсах, необходимых для нормального функционирования предприятия, характеризуется дефицитом высококвалифицированных кадров для решения различного рода интеллектуальных задач. В различных режимах функционирования предприятия потребность в человеческих ресурсах как правило, различна в разные моменты времени и зависит от паспорта задач предприятия. На практике же человеческие ресурсы в процессе функционирования предприятия, как правило, ограничены. Поэтому возникает задача оптимального распределения ограниченного объема человеческих ресурсов между подразделениями предприятия и

отдельными работами, выполняющимися в этих подразделениях. В этом случае управление человеческими ресурсами должно быть направлено на достижение системы стратегических целей деятельности предприятия, обеспечивающих получение максимальных конечных результатов.

Опишем алгоритм разработки системы управления интеллектуальными ресурсами предприятия, на основе графовой модели:

1. В виде одного или нескольких ориентированных графов опишем процессы использования интеллектуальных ресурсов предприятия.

2. Для каждого ориентированного графа рассчитываются параметры (паспорт задач), событиями при этом будут являться вершины графа, а задачами сетевой модели - его дуги.

3. В случае, если существуют компетентностные ограничения на имеющиеся в распоряжении предприятия человеческие ресурсы, то мы можем построить систему эвристических предпочтений.

4. Продолжительность расписания каждой задачи будет отображаться в виде графической карты, а продолжительность работы из паспорта задач будет представлять собой цикл выполнения комплекса работ ориентированного графа.

5. Интенсивность потребления человеческих ресурсов изобразим в виде графика изменения во времени работ ориентированного графа.

6. На основании полученных результатов проанализируем продолжительность выполнения комплекса работ сетевой модели, а затем проведем оценку эффективности использования ресурса.

В зависимости от полученных, в результате анализа количественного значения ограничений на имеющиеся ресурсы, вносим коррективы в основные процессы управления персоналом, такие как планирование потребностей, адаптацию, обучение и развитие и ротации.

Практическая разработка механизма управления интеллектуальными ресурсами предприятия начинается с описания бизнес-процессов (формирования паспорта задач), реализуемых при функционировании предприятия в целом и отдельных его подразделений. В результате проведенного анализа и полученных на его основе результатов составляется перечень работ, которые необходимо выполнить для достижения стратегических и тактических целей, поставленных перед предприятием. В дальнейшем эти работы будут объединены в один или несколько ориентированных графов. Таким образом, использование описанного выше алгоритма обеспечивает высокую эффективность процесса управления интеллектуальными ресурсами предприятия. Практическая реализация алгоритма представлена на рисунке 1.

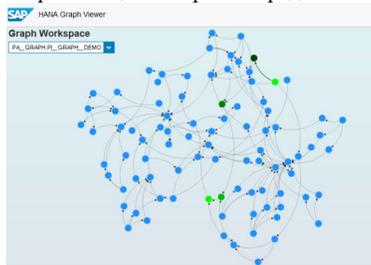


Рис.1. Сетевая модель, характеризующая процесс оптимизации компетентностной структуры

Литература:

1. Заложнев, А. Ю. Теория графов в управлении организационными системами : учебное пособие / А. Ю. Заложнев, Д. А. Новиков, В. Н. Бурков. – Москва : Синтег-Гео, 2001. – 124 с.
2. Create an SAP HANA Graph Workspace : сайт – URL: <https://developers.sap.com/tutorials/hana-graph-overview-setup.html> (дата обращения: 26.08.2021).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОЛИСЛОЙНОЙ АДсорбЦИИ ГАЗОВ НА ПЛОСКОЙ ОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКА

И.В. Иванов¹, О.К. Иванова²

¹РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, Калужский филиал, Калуга, Россия
248007, г. Калуга, ул. Вишневого, 27
тел. (8-4842)72-50-27, e-mail: mcxa_iv@inbox.ru

²МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия
127055, г. Москва, Вадковский пер., 3а
тел. (8-499)972-42-55, e-mail: oksivgor@mail.ru

В настоящее время не существует какого-либо единственного уравнения, адекватно описывающего изотерму адсорбции вещества из газовой фазы на поверхность с определенными свойствами во всем диапазоне относительных давлений p/p_0 (p – парциальное давление газа, p_0 – давление его насыщенных паров) адсорбируемого газа, т.е. от 0 до 1. Для описания изотерм полислойной адсорбции газов на непористых поверхностях твердых тел используется уравнение Брунауэра–Эммета–Теллера (БЭТ) [1]. Однако при анализе экспериментальных изотерм адсорбции некоторых веществ установлено их расхождение с изотермой БЭТ в области заполнения, заметно превышающей область формирования монослоя, т.е. в диапазоне $0,4 < p/p_0 < 1$ [2]. В этой связи предпринимаются попытки построения моделей полислойной адсорбции, корректных в области высоких значений относительных давлений. Так, выражения, полученные в работах [3, 4], и аппроксимационные изотермы из [5] имеют достаточно простой вид и широкий диапазон соответствия экспериментальным данным. В то же время детальный анализ показывает, что в некоторых случаях согласие с экспериментом достигается посредством использования физически недопустимых значений параметров системы, а теоретический метод получения уравнений не вполне пригоден в полислойной области.

В данной работе в рамках термодинамического подхода, последовательно развитого в работах [6-9] и дополненного, получена изотерма адсорбции второго типа, имеющая асимптотику $\sim (1 - p/p_0)^{-1/2}$ при $p/p_0 \rightarrow 1$, хорошо соответствующую экспериментальным данным. Аналогичная аппроксимационная зависимость, полученная из уравнения БЭТ, имеет вид $\sim (1 - p/p_0)^{-1}$.

Предложенная в работе модель полислойной адсорбции молекул из газовой фазы на плоской однородной поверхности диэлектрика заключается в следующем. В силу различия химических потенциалов заряженных частиц, входящих в состав вещества адсорбированной пленки и твердого тела, происходит ионизация состояний вблизи поверхности и перенос заряда через границу раздела. В результате процесс адсорбции неизбежно сопровождается формированием двойного электрического слоя (ДЭС). При этом адсорбированное вещество уже не может рассматриваться как чистая жидкость, – скорее его можно считать раствором, состоящим из нейтральных молекул и ионов. Поэтому математическая модель адсорбции построена на основе минимизации полного термодинамического потенциала системы, который складывается из термодинамического потенциала молекул адсорбированной пленки и потенциала ионной подсистемы, входящей в состав ДЭС. Основной вклад во второй потенциал вносит ионизация

поверхностных состояний диэлектрика, в результате чего происходит разделение зарядов: заряды одного знака остаются на поверхности, а заряды противоположного знака переходят в пленку, образуя своеобразный раствор, состоящий из одинаково заряженных ионов. Кроме энергии ионизации этот потенциал учитывает электростатическую энергию ионов, находящихся в адсорбированной пленке, а также возможные способы размещения заряженных частиц в объеме и на поверхности.

В результате получена система уравнений, описывающих адсорбцию молекул газа на плоской однородной поверхности диэлектрика. Численное решение этой системы дало возможность построить изотермы второго типа, свойственные для адсорбции газов непористыми твердыми телами [1]. Полученные модельные изотермы вполне соответствуют экспериментальным изотермам адсорбции данного типа в достаточно широком диапазоне относительных давлений адсорбируемого газа: $0,2 < p/p_0 < 1$. Для этого диапазона выявлена тесная связь между величиной адсорбции и зарядом ДЭС: с увеличением толщины адсорбированной пленки растет количество носителей заряда в ней. Для построения изотермы в области низких относительных давлений ($0 < p/p_0 < 0,2$), когда идет формирование первого слоя адсорбированных молекул, и никакого ДЭС нет, можно пользоваться уравнением БЭТ. При этом изотерма БЭТ совпадает с модельной изотермой в области $0,2 < p/p_0 < 0,4$, которая соответствует процессу формирования второго слоя адсорбированных молекул.

Кроме того, в результате численного модельного эксперимента удалось получить предельное значение плотности поверхностных электронных состояний, ниже которой ДЭС практически не влияет на адсорбцию, и модельная изотерма совпадает с изотермой БЭТ в диапазоне относительных давлений от 0,2 до 1.

В заключение следует еще раз отметить, что полученная в рамках предложенной модели изотерма вполне адекватно описывает экспериментальные данные, например, адсорбцию азота на непористых образцах кремнезема и оксида алюминия [1].

Литература:

1. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984. 306 с.
2. Gupta A. // Indian Journal of Chemistry. 1985. V. 24A. P. 368.
3. Аранович Г.Л. // Журнал физической химии. 1988. Т. 62. № 11. С. 3000.
4. Аранович Г.Л. // Журнал физической химии. 1994. Т. 68. № 1. С. 110.
5. Товбин Ю.К. // Журнал физической химии. 1992. Т. 66. № 8. С. 2162.
6. Агафонов В.М., Иванов И.В. // Журнал физической химии. 1996. Т. 70. № 8. С. 1490.
7. Иванов И.В. // Журнал физической химии. 2005. Т. 79. № 3. С. 534.
8. Иванов И.В. // Журнал физической химии. 2021. Т. 95. № 12. С. 1893.
9. Иванов И.В., Иванова О.К. Математическое моделирование изотерм адсорбции в полимерных ионитах. // В сборнике: Самарские чтения (в память об академике А.А. Самарском). Материалы международной конференции. Москва, 2022. С. 265.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО СТЕСНЕННОЙ ОСАДКЕ ТОНКОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО СЛОЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

В.А. Кадымов¹, Е.Н. Сосенушкин², Е.А. Яновская²

¹Российский Университет транспорта «МИИТ»,

²Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Ключевые слова: вязкопластическое течение, тонкий слой, стесненное растекание полосы, давление на контакте.

Аннотация. В данной работе приводятся и анализируются результаты экспериментов по осадке и растеканию между сближающимися жесткими плитами тонких образцов из модельного материала первоначально имеющего форму прямоугольника в плане. Течение ограничено неподвижными стенками инструмента, расположенными вдоль длинных сторон прямоугольника. Выявлены количественные закономерности рассматриваемого течения, и, в частности, показано, что профиль скоростей перемещений является выпуклым в направлении течения. Результаты проведенных экспериментов принципиально невозможно описать с помощью решения задачи в упрощенной постановке. Найденное в рамках общей постановки аналитическое решение в рамках модели «вязкой жидкости» хорошо согласуется с результатом эксперимента вдали от свободной границы и центральной части образца. Ниже приводятся результаты экспериментов, проведенных с помощью исследовательского комплекса на базе испытательной машины INSTRON с компьютерной регистрацией параметров технологического процесса. Измерение координат искаженной сетки проведено на инструментальном микроскопе УИМ-21, оснащенный комплексом компьютерной обработки измеряемых характеристик.

Experiments on Restricted Settling of a Thin Rectangular Plastic Layer

V.A. Kadymov¹, E.N. Sosenushkin², E.A. Yanovskaya²

¹*Russian University of Transport "MIIT",*

²*Moscow State Technological University "STANKIN",*

Key words: viscoplastic flow, thin layer, constrained strip spreading, contact pressure.

Annotation. In this paper, we present and analyze the results of experiments on settling and spreading between converging rigid plates of thin samples from a model material, initially having the shape of a rectangle in plan. The flow is limited by the fixed walls of the tool located along the long sides of the rectangle. Quantitative regularities of the flow under consideration are revealed, and, in particular, it is shown that the velocity profile of displacements is convex in the direction of the flow. The results of the experiments performed cannot be described in principle by solving the problem in a simplified formulation. The analytical solution found within the framework of the general formulation within the framework of the "viscous fluid" model is in good agreement with the experimental result far from the free boundary and the central part of the sample. Below are the results of experiments carried out using a research complex based on the INSTRON testing machine with computer registration of process

parameters. The coordinates of the distorted grid were measured using a UIM-21 instrumental microscope equipped with a complex for computer processing of the measured characteristics.

С целью оценки влияния касательных напряжений, осредненных по толщине слоя, на кинематику течения, и, в особенности, вблизи неподвижных границ поставлены эксперименты и анализируются результаты по осадке между сближающимися жесткими плитами тонкого пластического образца, ограниченного неподвижными стенками и, первоначально имеющего форму прямоугольника. Неподвижные стенки инструмента расположены вдоль длинных сторон прямоугольника. Установлены экспериментальные закономерности, которые позволяют корректно выбрать математическую модель для описания рассматриваемых течений. Для осуществления первого эксперимента была сконструирована и изготовлена специальная штамповая оснастка (рис.1), подготовлены исходные образцы в виде полос из свинца марки С0 ГОСТ 3778-98 [*] следующих размеров: длиной $2l_0 = 70$ мм, шириной $2b_0 = 25$ мм, и суммарной толщиной $h_0 = 4$ мм (рис.2). Проведены две серии экспериментов.



Рис. 1. Штамповая оснастка для проведения экспериментов по пластической осадке тонкой полосы

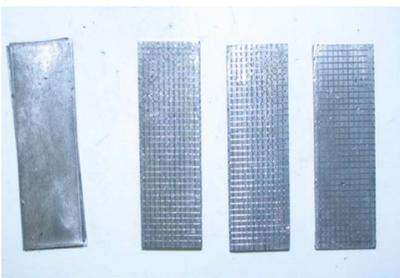
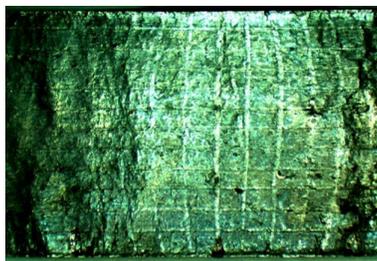
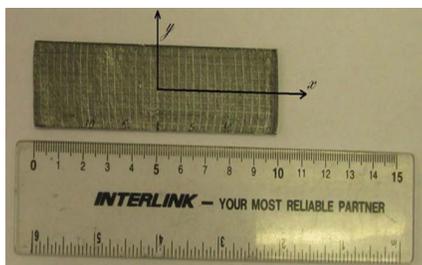


Рис. 2. Исходные образцы свинцовых полос с нанесенной координатной сеткой (длиной $2l_0 = 70$ мм, шириной $2b_0 = 25$ мм, и толщиной $h_0 = 4$ мм)

Полоса деформировалась в оснастке так, что в процессе осаживания размер b_0 оставался неизменным. Для того, чтобы нанести координатную сетку на одну из плоскостей полосы, были изготовлены пары тонких полос с толщинами $l_{01} = l_{02} = 2$ мм, и на поверхность одной из них наносилась координатная сетка с шагом $\Delta l = 2$ мм. В результате эксперимента в каждом отмеченном (рисками) сечении $X = const$ отслеживали поле перемещений. Проводили измерения минимального значения перемещения $u_b(X) = u\left(X; Y = \frac{b_0}{2}\right)$ вблизи неподвижной границы $\left(Y = \frac{b_0}{2}\right)$ и максимального значения $u_m(X) = u(X; Y = 0)$ в средней по ширине точке $(Y = 0)$ (рис. 3). Вычисляли абсолютную $\Delta u = u_m(X) - u_b(X)$ и относительную $\frac{\Delta u(X)}{u_m(X)}$ величины перемещений в сечении $X = const$, которые представлены в табл. 1 и табл. 2.



a)

б)

Рис. 3. Полоса после деформации ($\frac{\Delta h}{h_0} = 0,3$): а – система координат (линейка показывает только масштаб); б – сетка с 4-х кратным увеличением

Таблица 1

Перемещения в сечении $X = const$: $h_1 = 2.8$ мм; $\Delta h_1 = h_0 - h_1 = 1.2$ мм; $F = 200$ кН

| X | $u_m(X)$ | $u_\delta(X)$ | $\Delta u(X) =$ $= u_m(X) - u_\delta(X)$ | $\frac{\Delta u(X)}{u_m(X)}$ |
|-----|----------|---------------|---|------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | | |
| 4 | 2.43 | 1.92 | 0.52 | 0.21 |
| 8 | 3.93 | 3.29 | 0.64 | 0.16 |
| 12 | 6.16 | 4.95 | 1.21 | 0.19 |
| 16 | 8.10 | 6.68 | 1.42 | 0.17 |
| 20 | 9.93 | 8.07 | 1.86 | 0.19 |
| 24 | 11.90 | 9.54 | 2.36 | 0.20 |
| 28 | 14.05 | 10.60 | 2.45 | 0.24 |
| 32 | 16.05 | 11.51 | 4.64 | 0.28 |

Анализ экспериментальных результатов подтверждает заметное отставание продольного перемещения частиц вблизи неподвижной границы: вертикальные в начальном состоянии риски ($X = const$) перестают быть вертикальными в процессе осадки полосы.

Экспериментальные закономерности невозможно корректно описать с помощью модели «идеальной жидкости», в которой пренебрегают касательными напряжениями. Задача в модели «идеальной» жидкости описывается уравнениями (1) – (3):

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{2\tau_s}{h_1} \cdot \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}}; \quad (1)$$

Таблица 2

Перемещения в сечении $X = const$: $h_2 = 2.6$ мм; $\Delta h_2 = h_0 - h_2 = 1.2$ мм; $F = 310$ кН

| X | $u_m(X)$ | $u_\delta(X)$ | $\Delta u(X) =$ $= u_m(X) - u_\delta(X)$ | $\frac{\Delta u(X)}{u_m(X)}$ |
|-----|----------|---------------|---|------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | | |
| 4 | 3.05 | 2.64 | 0.41 | 0.13 |
| 8 | 5.40 | 3.92 | 1.48 | 0.28 |
| 12 | 7.98 | 6.08 | 1.90 | 0.24 |
| 16 | 8.38 | 7.03 | 1.35 | 0.16 |
| 20 | 12.27 | 10.34 | 1.93 | 0.16 |
| 24 | 14.35 | 12.04 | 2.31 | 0.16 |
| 28 | 16.94 | 14.06 | 2.88 | 0.17 |
| 32 | 19.12 | 17.45 | 2.54 | 0.13 |

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -\frac{2\tau_s}{h_1} \cdot \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{d\lambda}{dt} = 0. \quad (3)$$

Для рассматриваемого случая воспользуемся граничными условиями:

$$y = 0; v = 0;$$

$$y = b_0; v = 0; \quad (4)$$

$$x = 0; u = 0,$$

а на свободной границе

$$p = \sigma_s, \quad (5)$$

где p, u, v - осредненные по толщине слоя контактное давление и компоненты скорости течения. Решение системы уравнений краевой задачи имеет следующий вид.

Кинематические параметры:

$$v \equiv 0;$$

$$u = -\frac{1}{h} \frac{dh}{dt} x; \quad (6)$$

Контактное давление:

$$p = -\frac{2\tau_s}{h} \left(x - \frac{h_0 l_0}{h} \right) + \sigma_s. \quad (7)$$

Однако оно не согласуется с экспериментальными данными, т.к. в теории получено одномерное течение, а в эксперименте мы имеем дело с двумерным течением, которое меняет напряженно-деформированное состояние и приводит к искривлению координатной сетки. Представим подробный анализ проведенного сравнения. Определим положение сечения ($X = X_0 = const$) для осредненного по толщине, двумерного в плане, слоя в состоянии $t = t_1$ ($h = h_1 = 2.8$ мм) по теории «идеальной жидкости» и по результатам эксперимента. Согласно теории, закон движения, а также соответствующее перемещение находятся из решения следующей задачи Коши:

$$\frac{dx}{dt} = u(x, t) = -\frac{1}{h} \frac{dh}{dt} x; \tag{8}$$

$$x(X, t = t_0) = X,$$

решение которой, имеет вид:

$$x(X, t_1) = X \frac{h_0}{h_1}; \quad \bar{U}(X, t_1) = x(X, t_1) - X. \tag{9}$$

Для сечения полосы $X = 12$ мм:

$$x(X, t_1) = \frac{12 \cdot 4}{2,8} = 17,1(\text{мм}); \quad \bar{U}(X, t_1) = 17,1 - 12 = 5,1 (\text{мм})$$

Анализ результатов эксперимента показал следующее:

$$X = 12 \text{ мм} \Rightarrow \begin{cases} X_{max}(X, t_1) = X + U_m = 12 + 6,16 = 18,6 \\ X_{min}(X, t_1) = X + U_\delta = 12 + 4,95 = 16,95 \end{cases} ,$$

$$\Delta U(X, t_1) = 6,16 - 4,95 = 1,21;$$

Наибольшее относительное изменение перемещения по сечению $X = 12$ мм:

$$\left| \frac{\Delta U}{U_{max}} \right| = \frac{1,21}{6,16} = 0,19 (19\%)$$

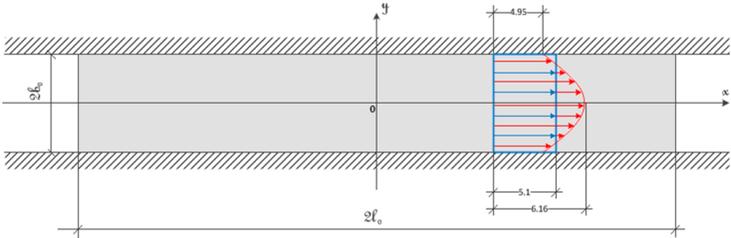


Рис.4. Распределение перемещений по ширине срединной плоскости в задаче о стесненной осадке плоского слоя прямоугольной формы

Проведем расчеты таких же величин для сечения $X = 20$ мм. Согласно теории:

$$x(X, t_1) = X \frac{h_0}{h_1} = \frac{20 \cdot 4}{2,8} = 28,6(\text{мм}) ;$$

$$\bar{U}(X, t_1) = x(X, t_1) - X = 28,6 - 20,0 = 8,6 \text{ (мм)}.$$

По результатам эксперимента:

$$X = 20 \text{ мм} \Rightarrow \begin{cases} X_{max}(X, t_1) = X + U_m = 20 + 9,93 = 29,93 \\ X_{min}(X, t_1) = X + U_\delta = 20 + 8,07 = 28,07 \end{cases} ,$$

$$\Delta U(X, t_1) = 9,93 - 8,07 = 1,86;$$

Наибольшее относительное изменение перемещения в сечении $X = 20 \text{ мм}$

$$\left| \frac{\Delta U}{U_{max}} \right| = \frac{1,86}{9,93} = 0,19 \text{ (19\%)}$$

Проведем теперь аналогичные расчеты для сечения $X = 12 \text{ мм}$ в состоянии $t = t_2$ ($h = h_2 = 2,6 \text{ мм}$) по теории «идеальной жидкости» и по эксперименту. Согласно теории:

$$x(X, t_2) = X \frac{h_0}{h_1} = \frac{12 \cdot 4}{2,6} = 18,5 \text{ (мм)} ;$$

$$\bar{U}(X, t_2) = x(X, t_2) - X = 18,5 - 12,5 = 6,5 \text{ (мм)}.$$

По результатам эксперимента:

$$X = 12 \text{ мм} \Rightarrow \begin{cases} X_{max}(X, t_2) = X + U_m = 12 + 7,98 = 19,98 \\ X_{min}(X, t_2) = X + U_\delta = 12 + 6,08 = 18,08 \end{cases} ,$$

$$\Delta U(X, t_2) = 7,93 - 6,08 = 1,90;$$

Наибольшее относительное изменение перемещения по сечению $X = 12 \text{ мм}$

$$\left| \frac{\Delta U}{U_{max}} \right| = \frac{1,90}{7,98} = 0,24 \text{ (24\%)}$$

И, наконец, представим расчеты для сечения $X = 20 \text{ мм}$ в состоянии $t = t_2$ ($h = h_2 = 2,6 \text{ мм}$). Согласно теории:

$$x(X, t_2) = X \frac{h_0}{h_1} = \frac{20 \cdot 4}{2,6} = 30,8 \text{ (мм)} ;$$

$$\bar{U}(X, t_2) = x(X, t_2) - X = 30,8 - 20,0 = 10,8 \text{ (мм)}.$$

По результатам эксперимента:

$$X = 20 \text{ мм} \Rightarrow \begin{cases} X_{max}(X, t_2) = X + U_m = 20 + 12,27 = 32,27 \\ X_{min}(X, t_1) = X + U_\delta = 20 + 10,34 = 30,34 \end{cases} ,$$

$$\Delta U(X, t_2) = 12,27 - 10,34 = 1,93;$$

Наибольшее относительное изменение перемещения по сечению $X = 20 \text{ мм}$

$$\left| \frac{\Delta U}{U_{max}} \right| = \frac{1,93}{12,27} = 0,16 \text{ (16\%)}$$

В результате проведенных исследований можно сформулировать следующие выводы. Растекание образцов происходит ожидаемо – по прямым линиям тока, параллельным

длинной стороне прямоугольника. Продольные перемещения вблизи неподвижных стенок заметно отстают от перемещений вдали от границы, а максимальные перемещения наблюдаются на линии симметрии образца. Этот факт говорит о наличии ненулевых сдвиговых напряжений и скоростей угловых деформаций в рассматриваемых течениях тонкого пластического слоя. При сравнении результатов экспериментов с точным решением краевой задачи в рамках математической модели «идеальной жидкости» выявлено, что они находятся в противоречии. Корректное описание течения удастся выполнить только в рамках общей математической модели «вязкой жидкости», полученной осреднением по толщине пластического слоя.

Литература:

1. Ильющин А.А. Труды (1946-1966). Т. 2. Пластичность/ Составители Е.А. Ильющина, М.Р. Короткина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. –480 с.
2. Кийко И.А., Кадымов В.А. Обобщение задачи Л. Прандтля об осадке полосы на случай сжимаемого материала// Вестник Московского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Изд-во Моск. ун-та. (М.), 2003. №4. С. 47-52.
3. Кийко И.А. О форме пластического слоя, сжимаемого параллельными плоскостями// Прикладная математика и механика. 2011. Т. 75. Вып. 1.С. 15-26.
4. Кадымов В.А., Сосенушкин Е.Н., Белов Н.А. Контактная задача о несвободном растекании пластического слоя на плоскости: эксперимент и теория// Сб. науч. трудов Упругость и неупругость. – М.: МГУ, 2016. – С.180–185.
5. Кадымов В.А., Сосенушкин Е.Н., Яновская Е.А. Некоторые точные решения эволюционного уравнения растекания пластического слоя на плоскости// Вестник Московского ун-та. Сер.1. Математика, механика. –2016. – №3. – С.61–65.
6. Сосенушкин Е.Н., Кадымов В.А., Яновская, Е.А., Гуреева Т.В. Механика выдавливания алюминиевого сплава при штамповке поковки с продольными рёбрами// Цветные металлы. – 2019. – №3. – С.69–75.

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ СХЕМЫ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ЗАДАННЫХ СЕЧЕНИЙ

А.А. Капитонова, Т.Д. Нагиев, В.А. Дегтярёв, Е.Е. Сурма

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия

127055, Вадковский переулок, 3а

e-mail: t.nagiev@stankin.ru

Аннотация

В статье уделяется внимание решению прямой задачи профилирования дискового инструмента для обработки винтовой канавки концевой фрезы и сверла на базе схемы численного метода заданных сечений. Реализован алгоритм решения прямой задачи профилирования численным методом заданных сечений, который может быть реализован в программе на ЭВМ.

Ключевые слова Метод заданных сечений, прямая задача профилирования, численный метод, винтовая канавка, алгоритм

Проблематика

Повсеместно в машиностроении используются фасонные дисковые фрезы, применяемые, в частности, для обработки винтовых стружечных канавок различных режущих инструментов.

Один из наиболее сложных вопросов инструментального производства – проектирование инструментов для обработки винтовых поверхностей – т.к. не существует однозначного соответствия между профилем инструмента и профилем винтовой поверхности. Поэтому при проектировании данного инструмента необходимо определение профиля инструмента и получаемой поверхности, а также создание специального алгоритма для решения прямой задачи профилирования инструментальной поверхности.

В данной работе используется алгоритм реализации численного метода определения профиля инструментальной поверхности: метод заданных сечений, рассмотренный Ю.Е. Петуховым [6]. В алгоритме, разработанным Ю.Е. Петуховым, используется метод половинных делений для расчета формы профиля, сам профиль представляется в виде непрерывной линии с помощью окружностей, причем при расчете используется аппроксимация винтовой поверхности путем поворота на центральный угол Q_i . Уточнение точности профиля производится путем задания дополнительных секущих плоскостей Z .

Расчетная схема представлена на рис. 1. В каждой секущей плоскости T_i , перпендикулярной к оси Z_k инструмента радиус точки профиля круга по условию отсутствия среза находится как наименьшее расстояние до оси Z_k точек пересечения $i, 2, 3, \dots, j$ профиля детали с данной плоскостью T_i . Положение каждой из плоскостей T_1, T_2, \dots, T_i определяется координатой $Z_k=i$. Находясь в каждой отдельной плоскости T_i радиус R_i , тем самым определяется профиль производящей поверхности инструмента.[3]

Ось инструмента может быть развернута в двух плоскостях, причем после разворота неподвижная система координат, жестко связанная с инструментом, будет иметь минимальную ординату y_i .

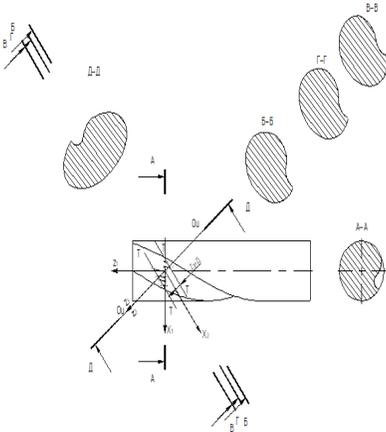


Рис. 1. Расчетная схема определения профиля винтовой поверхности в заданных сечениях

В качестве исходных данных для расчета профиля производящей поверхности вращения по заданной винтовой поверхности принимаются узловые точки профиля режущего инструмента, а также количество точек, которое необходимо получить на профиле винтовой поверхности.

Отличие представленного алгоритма заключается в том, что в данном случае профиль винтовой канавки рассчитывается как массив точек между узловыми точками (рис. 2 блоки 6-7, 46-50), далее вычисленный массив разделяется на три участка для расчета массива точек.

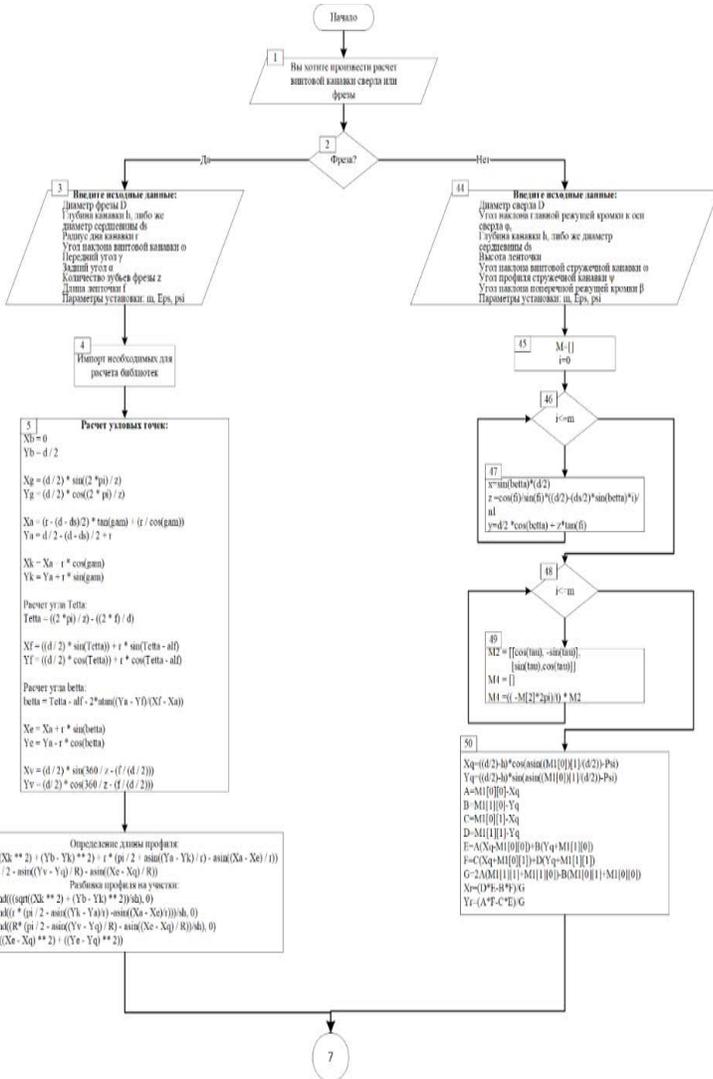


Рис. 2. Блок-схема алгоритма (расчет массива точек для концевой фрезы и сверла) Далее блоки 6 и 50 (рис. 2) переходят к подпрограмме 7-17 (рис. 3), которая заполняет массив точек X, исходя из определенного количества точек в блоках 6 и 50. В блоках 18-28 (рис. 4) происходит заполнение массива точек Y. В блоке 29 массивы X и Y объединяются в единую матрицу для удобства дальнейшего расчета.

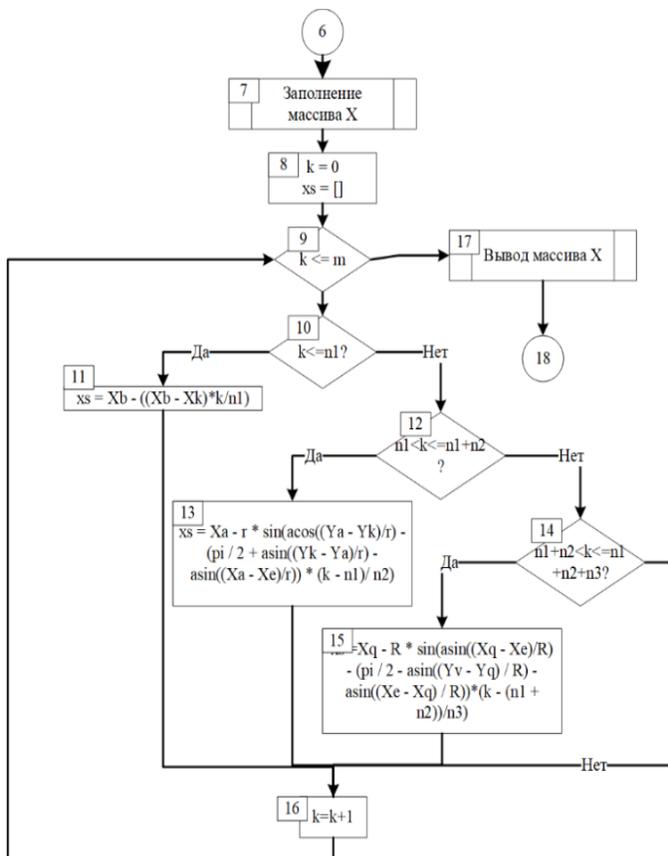


Рис. 3. Блок-схема алгоритма (заполнение массива координат X между участками профиля)

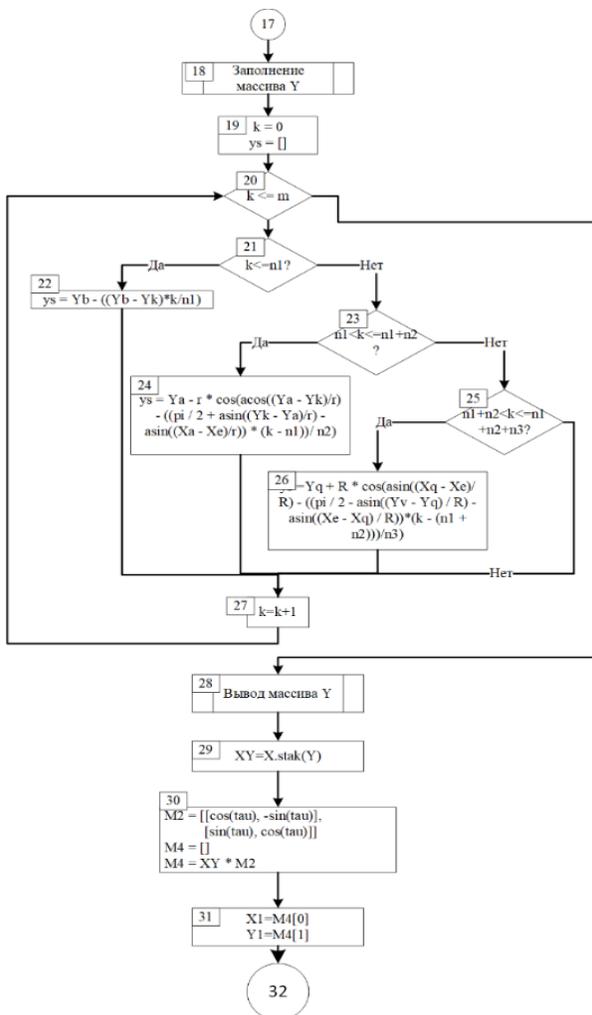


Рис. 4. Блок-схема алгоритма (заполнение массива координат Y между участками профиля).

Блоки 32-43 (рис. 5) являются подпрограммой по расчету заданных сечений: В блоке 33 задаются исходные данные, необходимые для дальнейшего расчета, это заданная точность delta, поворот винтовой канавки на угол gamma, пустые массивы X и Y, которые позднее будут заполнены вычисленными точками, а также количество сечений p и точка нулевого сечения t.

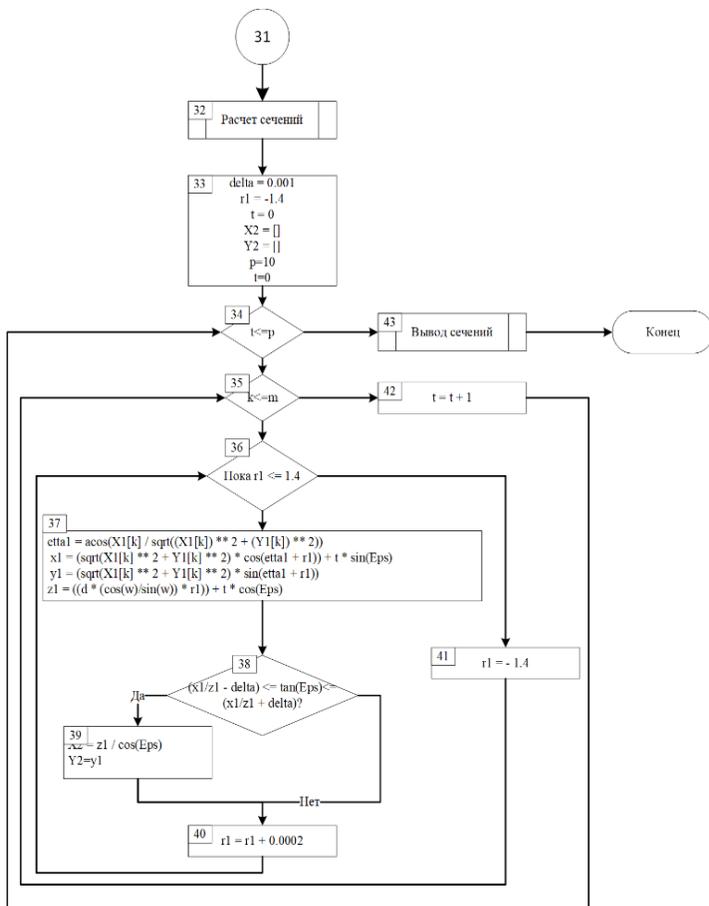


Рис. 5. Блок-схема алгоритма (расчет профиля инструмента методом заданных сечений)

На основе данного алгоритма была разработана программа расчета на языке Python, в качестве переноса полученного изображения в Python в dxg файл использовалась библиотека ezdxg. Данный алгоритм является универсальным и позволяет использовать его при разработке различных программ, точность расчета и быстрдействие программ зависит от пользователя, который самостоятельно может задать необходимую величину расчета.

Литература:

1. Петухов Ю. Е., Домнин П.В. Математическое моделирование винтовой канавки концевой фрезы с помощью средств математического программирования в среде Mathcad/ Вестник МГТУ Станкин №4 (43), 2017.

2. Домнин П.В. Математическое моделирование винтовых поверхностей сверла в среде mathcad / Вестник МГТУ Станкин. 2021. № 1 (56). С. 106–110.
3. Юликов М.И., Горбунов Б.И., Колесов Н.В. Проектирование и производство режущего инструмента//М: Машиностроение, 1987. – 297 с.
4. Петухов Ю.Е., Колесов Н.В. Численные модели режущего инструмента для обработки сложных поверхностей // Вестник машиностроения. 2003. № 5. С. 61–63.
5. Петухов Ю.Е. Формообразование численными методами. - М.: Янус-К, 2004. - 200 с.
6. Петухов Ю.Е., Домнин П.В. Профилирование фасонных дисковых фрез для нарезания стружечных канавок с использованием САПР: Монография – М: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНИКИН», 2019. – 121с.: ил.
7. Гречишников В.А., Домнин П.В., Косарев В.А., Петухов Ю.Е. Современные методы решения задач формообразования сложного режущего инструмента // СТИН. 2013. № 12. С. 6–11.
8. Воробьев В.М. Профилирование фрез для изделий с винтовыми канавками: Учебно-методическая инструкция по проектированию фрез. – М.: Мосстанкин, 1962. – 42 с.
9. Гречишников В.А., Кирсанов Г.Н., Петухов Ю.Е., Щербаков В.Н. Исследование и разработка подсистемы САПР-сверло. –В сб. Автоматизация расчетов металлорежущих инструментов с помощью ЭВМ. –Челябинск: УДНТП, 1984. – С.33–34.
10. Гречишников В.А. Системы автоматизированного проектирования режущих инструментов. – М.: ВНИИТЭРМ. 1988. –50 с.
11. Домнин П.В., Петухов Ю.Е. /Точность профилирования при обработке винтовой фасонной поверхности / Журнал СТИН №7-2011, Москва.–С. 14–17.
12. Домнин П.В., Петухов Ю.Е. /Способ формообразования фасонной винтовой поверхности стандартным инструментом прямого профиля.// Вестник МГТУ “Станкин” № 3 (15), 2011,Москва. С.102–106.
13. Домнин П.В.,Петухов Ю.Е./ Решение обратной задачи профилирования на базе схемы численного метода заданных сечений / "Инженерный журнал СПРАВОЧНИК" №11 2011,Москва.С. 26–29.
14. Колесов Н.В. Решение на ЭВМ некоторых задач профилирования режущих инструментов. Научные труды ВЗМИ. – М.: ВЗМИ, т II, вып.1, 1974. – С.54–59.
15. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1969. – 372с
16. Петухов Ю.Е., Колесов Н.В. Численные модели режущего инструмента для обработки сложных поверхностей //Вестник машиностроения, №5,2003. М.– С.61–63.

**ВОПРОСЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР С ФЕДЕРАЛЬНЫМИ ЦЕНТРАМИ
НА ПРИМЕРЕ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА**

**Т.В. Карлова¹, А. Ю. Бекмешов¹, Н.М. Кузнецова¹, М.В. Михайлова¹,
О.А. Фомина¹, А.Э. Тихомиров², А.Н. Запольская²**

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН». Москва, Вадковский пер, д. 1
Тел.: 8-(903)-776-90-78, E-mail: karlova-t@yandex.ru

²Федеральное государственное автономное учреждение науки Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук. Москва, Вадковский пер, д. 18, стр. 1А
Тел.: 8-(962)-959-99-96, E-mail: alexey.tikhomirov@list.ru

Аннотация. Статья посвящена решению задач по качеству и полноте информационного взаимодействия образовательных структур с федеральными центрами и государственными органами власти на основе создания единой интегрированной информационной платформы в рамках стратегии развития Арктического региона России, предполагающего реализацию местного образовательного потенциала.

Ключевые слова: управление, информационное взаимодействие, мониторинг, образовательная структура, защита информации.

Проблема заключается в отсутствии на сегодняшний день единой информационной платформы по мониторингу баз данных отраслевых направлений научных исследований в сфере высшего образования Арктической зоны Российской Федерации.

Сегодня взаимодействие между образовательными структурами и государственными ведомствами осуществляется в рамках пяти-шести автоматизированных информационных систем, не связанных единой архитектурой.

Сложности в предоставлении данных заключаются в отсутствии единой степени интеграции и технологических возможностей реализации информационно-аналитических средств.

Избыточность требуемой информации не только загружает систему, но и не даёт возможности уделять внимание научным аспектам, связанным с достижением основной профессиональной цели.

Низкий уровень развития информационно-коммуникационной инфраструктуры не позволяет осуществлять полноценное взаимодействие с органами, осуществляющие управление в рамках реализации государственных заданий.

На рисунке 1 представлен фрагмент структуры управления взаимодействием федеральных служб и организаций, осуществляющих образовательную деятельность.



Рис. 1 – Фрагмент структуры управления взаимодействием федеральных служб и организаций, осуществляющих образовательную деятельность

На рисунке 2 представлена краткая структура взаимодействия федеральных служб с образовательными структурами. Анализируя структуру, можно сделать вывод, что потребность в организации единой информационной платформы, объединяющей базу данных по совершенствованию технологических, социокультурных, экономических и медицинских областей даст возможность повысить эффективность управления реального взаимодействия государства и промышленных корпораций. Кроме того, позволит повысить степень подготовки интеллектуального ресурса, обеспечив достойный уровень жизни квалифицированных специалистов в условиях Крайнего Севера.

Определяя приоритеты выполнения проектов в соответствии со Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года [1], именно проблема подготовки высококвалифицированных кадров для решения задач собственного региона в условиях севера является наиболее актуальной.

Рассматривая функциональную схему управления сетевым взаимодействием с точки зрения активного привлечения государственных корпораций для формирования технологических платформ, поддерживающих развитие сетевых технологий.

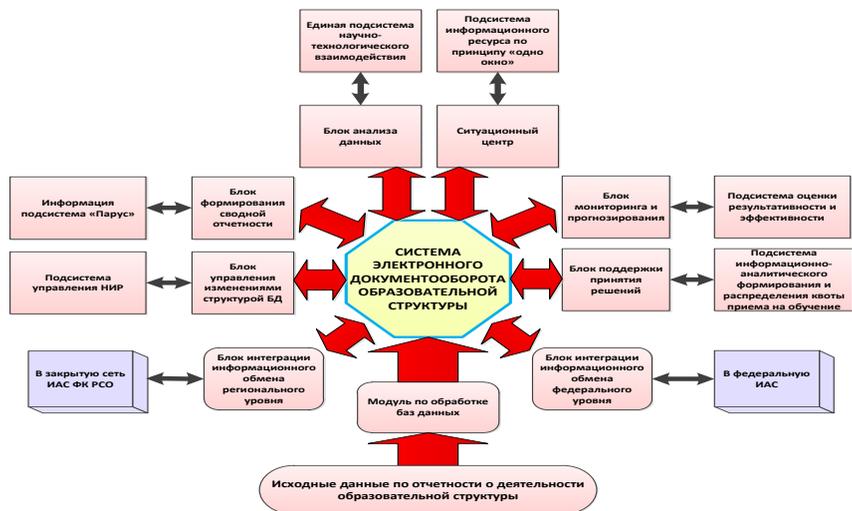


Рис. 2 - Функциональная схема организации сетевого взаимодействия (фрагмент платформы взаимодействия государственных ведомств с образовательными структурами)

Данная платформа разрабатывается по системным принципам блоков обработки данных с разной иерархической структурой, включающей:

- единая подсистема научно-технологического взаимодействия (блок анализа данных);
- подсистема информационного ресурса по принципу одного окна (ситуационный блок);
- информационная подсистема «Парус» (блок формирования сводной отчетности);
- подсистема управления НИР (блок управления изменениями структурой БД);
- подсистема оценки результативности и эффективности (блок мониторинга и прогнозирования);
- подсистема информационно-аналитического формирования и распределения квоты приёма на обучение;
- блок интеграции информационного обмена регионального уровня;
- модуль по обработке баз данных;
- блок интеграции информационного обмена федерального уровня;
- исходные данные по отчётности образовательной структуры.

Местный образовательный потенциал, как развитие собственного ресурса Арктического региона, должен быть учтен в общей структуре взаимодействия с государственными ведомствами.

Выводы

Решение задач по проблеме информационного взаимодействия образовательных структур с федеральными центрами и государственными органами власти на основе создания единой интегрированной информационной платформы является одним из важнейших этапов освоения и стабильного развития Арктического региона, предполагающего реализацию местного образовательного потенциала.

Литература:

1. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года / Url: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102888023>
2. Карлова Т.В., Егорова М.С. Социально-экономические аспекты промышленного развития российских регионов Арктики / Раздел «Экономические и социальные проблемы в машиностроении» // Вестник МГТУ «СТАНКИН». Научный рецензируемый журнал. М.: МГТУ «СТАНКИН», №1(28), 2014. – с. 160-163. ISSN 2072-3172
3. Карлова Т.В., Алешко Р.А., Бекмешов А.Ю., Васендина И.С., Гурьев А.Т., Шошина К.В., Щеников В.С. Система мониторинга и управления пространственными гетерогенными объектами (на примере Соловецкого архипелага) / Научно-технический журнал «Вестник Брянского государственного технического университета» июль-сентябрь №3 (43) 2014 // Изд-во Брянского государственного технического университета, 2014, с. 104-107. ISSN 1999-8775
4. Т.В. Карлова, М.С. Егорова Проблемы экономического освоения Арктики и методы управления ими / Всероссийская конференция «Информационные технологии, менеджмент качества, информационная безопасность» // журнал «Качество. Инновации. Образование» - №5 том II, 2015. – М.: ФГУП Издательство «Известия» УД ПРФ, 2015. – с. 344 – 347. ISSN 1999-513X
5. Алешко Р.А., Батраков Н.М., Гурьев А.Т., Карлова Т.В., Шептунов С.А., Шошина К.В. Современные подходы к изучению арктических экологических систем / Научно-технический журнал «Вестник Брянского государственного технического университета» №4 (48) 2015 // Изд-во Брянского государственного технического университета, 2015, с. 155 – 159. ISSN 1999-513X
6. Карлова Т.В., Надыкто А.Б., Плетнёв Л.В., Михайлова М.В., Бекмешов А.Ю., Егорова М.С., Казарова Т.В., Гурьев А.Т., Лапушкина Л.И., Романова Е.Ю. Проблемы экологической безопасности и совершенствования качества жизни населения Арктики / Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2018г. - М.: Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технологии развития», 2018. – с. 163-166. ISBN 978-5-7688-1149-5
7. N.M. Kuznetsova, T.V. Karlova, S.A. Sheptunov Automation of Data Defence Processes in the Corporation Information Systems / Proceedings of the 2017 International Conference “Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies” (IT&QM&IS) September, 24-30, 2017 – Proceedings Edited by S.Shaposhnikov 2017 St.Peterburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», с. 199-202. ISBN 978-1-5386-0703-9.
8. Tatyana V. Karlova, Alexander Y. Bekmeshov, Natalia M. Kuznetsova. Protection the Data Banks in State Critical Information Infrastructure Organizations / Proceedings of the 2019 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), Sochy, Russia // Proceedings Edited by S. Shaposhnikov, St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2019, ISBN 978-1-7281-2594-7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОПИВАКАИНА В СЛЕЗНОЙ ЖИДКОСТИ У ДЕТЕЙ ПРИ ПРОВОДНИКОВОЙ АНЕСТЕЗИИ МЕТОДОМ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

И.И.Колесниченко

ФГБУ Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н.Фрумкина Российской академии наук

119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4

Tel. (8 916)885-98-51, kolesnichenko-ii@mail.ru

. В ИФХЭ РАН разработан метод, позволяющий проводить электрохимический мультисенсорный экспресс-анализ алкалоидов в режиме инверсионной вольтамперометрии. Разработана электрохимическая мультисенсорная тест-система, обеспечивающая проведение экспресс-анализа алкалоидов в формате «Электронный язык» на единичном электроде. [1]. Представлен новый подход к анализу алкалоидов органических веществ – мультисенсорная инверсионная вольтамперометрия.

Ключевые слова: электрохимия, офтальмология, мультисенсорная инверсионная вольтамперометрия, ропивакаин,

Для выяснения эффективной дозировки вновь разрабатываемых анализирующих офтальмологических препаратов требуется оценка динамики изменения их концентрации в слезной жидкости во времени. Целью данной работы является исследование методом мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии фармакокинетики поведения в слезной жидкости у детей ропивакаина

Ранее экспресс-диагностики биологических объектов с использованием мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии был опробован нами для ранней диагностики глаукомы по сыворотке крови [2,3]. В дальнейшем работоспособность и эффективность метода была показана нами, в частности, при определении ряда офтальмологических препаратов – визомитина [4, 6], бетоптика и его дженериков [5], а также местноанальгезирующих препаратов – наропина, хирокаина и лидокаина [7]. Для выяснения эффективной дозировки вновь разрабатываемых офтальмологических препаратов требуется оценка динамики изменения их концентрации в слезной жидкости во времени.

Анестезиологическое пособие для детей и взрослых отличается, поскольку дети и взрослые по сути разные биологические объекты со свойственным их возрасту гомеостазом. Анестетик ропивакаин является препаратом выбора, поскольку менее токсичен по сравнению с другими и при выходе из наркоза дает меньше побочных реакций при достаточной глубине анестезии. Химическое название ропивакаина – (S)-N-(2,6-диметилфенил)-1-пропил-2-пиперидинкарбоксамид, его брутто-формула – C₁₇H₂₆N₂O, По фармакологическому действию относится к местноанестезирующим препаратам. Ропивакаин обратимо блокирует потенциал-зависимые натриевые каналы,

препятствует генерации импульсов в окончаниях чувствительных нервов и их проведению по нервным волокнам. При попадании в системный кровоток оказывает угнетающее действие на центральную нервную систему и миокард (уменьшает возбудимость и автоматизм, замедляет проводимость). Применяется для местной анестезии – эпидуральной, проводниковой (включая крупные нервы и сплетения), инфильтрационной; используется также для купирования острого болевого синдрома. Ропивакаин усиливает токсическое действие других местных анестетиков и препаратов, по структуре схожих с местными анестетиками амидного типа, а также усиливает (взаимно) действие средств, угнетающих центральную нервную систему. Всего было прооперировано 36 глаз у 34 больных (50% мальчиков и 50% девочек), из них у 32 больных парные глаза не оперировались. Инъекции анестетика со стороны парных (контрольных) глаз не проводились. Были использованы различные виды проводниковой анестезии на фоне ингаляционного введения севофлурана (который практически не обнаруживается в слезной жидкости): у детей в возрасте от 3 месяцев до 17 лет – парабульбарная (10 пациентов), а после 15 лет – ретробульбарная анестезия (2 пациента), инфраорбитальная анестезия (7 пациентов), палатинальная анестезия (7 пациентов) и смешанная инфраорбитальная с палатинальной (10 пациентов). Для детей до полутора лет использовали только парабульбарную анестезию. Палатинальное введение применялось у детей старше четырех лет в связи с закладкой зубов. Методики введения были стандартные с применением правила циферблата. Расчет дозы вводимого анестетика проводили по общепринятым методам для детей,

Для изучения влияния на тест-систему слезной жидкости после инстилляциии ропивакаина в конъюнктивальный мешок глаза помещали диск диаметром 8 мм из предварительно обработанного пористого материала. Через определенное время (1 мин) этот бумажный диск извлекали из конъюнктивального мешка и помещали на электрод с нанесенной на него тест-системой. Измерения проводили через 10 и 20 мин после введения препарата.

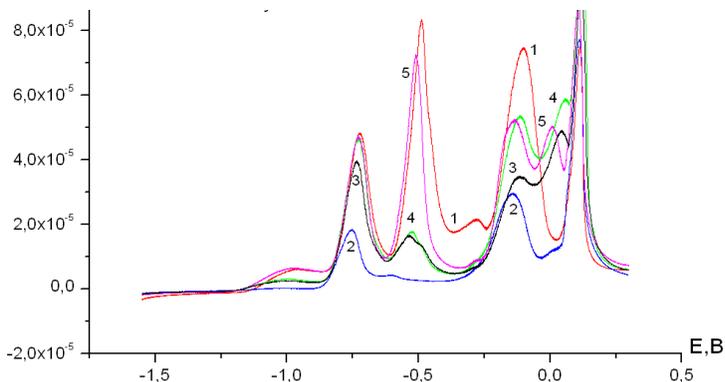


Рис.1 Инверсионные вольтамперограммы тест-системы с концентрацией ропивакаина (%): 1-0; 2- $0,125 \cdot 10^{-3}$; 3- $0,25 \cdot 10^{-3}$; 4- $0,375 \cdot 10^{-3}$; 5- $0,5 \cdot 10^{-3}$.

Влияние ропивакаина на инверсионную вольтамперограмму тест-системы показано на рис.1 (кривые 2-5). Исходные вольтамперограммы, полученные в тест-системе методом инверсионной вольтамперометрии, имеют определенный вид (рис. 1) и хорошо воспроизводимы. Введение в тест-систему анализируемых органических веществ, приводит к изменению спектра вольтамперограмм. Эти изменения характерны для каждого из органических веществ (или смеси веществ), основанный на регистрации и количественном учете влияния комплексообразования органических лигандов на мультисенсорную тест-систему, представляющую собой раствор солей металлов что позволяет проводить их дискриминацию.

Статистическая обработка результатов.

Вольтамперограмма – многомерный образ первичных данных. Результатом работы прибора является вольтамперограмма (рис. 1) – зависимость тока от потенциала рабочего электрода, меняющегося по линейному закону во времени. Пики соответствуют окислению металлов тест-системы. Цифровые значения (453 точки) поступают в программу для последующей обработки в виде файла, из которого извлекаются значения тока. Вольтамперограмма разбивается на N участков, количество которых зависит от сложности исследуемой системы. Таким образом формируется N -мерный образ объекта. Ропивакаин уменьшает количество всех электроосаждаемых на электроде металлов. В интервале концентраций $0.12 \cdot 10^{-3} - 0.50 \cdot 10^{-3}\%$ с увеличением концентрации ропивакаина в растворе тест-системы на вольтамперограммах существенно уменьшаются токи растворения кадмия и свинца. Количество электроосаждаемых цинка, кобальта и ртути в рассмотренном интервале концентраций ропивакаина меняется незначительно, что может быть связано с прочностью образуемых комплексов этих металлов. Таким образом, ропивакаин взаимодействует с металлами тест-системы, что позволяет вести его определение в слезной жидкости методом мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии. Определение возможно либо по изменению токов кадмия и свинца, либо по интегральному изменению тока вольтамперограммы.

Влияние ропивакаина (при разных способах его введения) на инверсионные вольтамперограммы слезной жидкости у оперированных пациентов сравнивали со слезной жидкости здоровых глаз пациентов. В течение 20 мин пики токов Pb^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} и Hg^{2+} увеличиваются соответственно с 40.4 до 48.0 мкА, с 26.0 до 35.0 мкА, с 26.6 до 35.0 мкА и с 18.6 до 29.0 мкА.

Выводы

1. Показано, что методом мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии возможно определение ропивакаина в слезной жидкости.
2. Показано, что после введения ропивакаина его концентрация в слезной жидкости постепенно уменьшается независимо от способа введения препарата.
3. Показано, что при введении ропивакаина парабульбарно его действие на пики токов, а следовательно, на слезную жидкость сильнее, чем при инфраорбитальном и палатинальном введении (с достоверностью $p < 0.05$). Лучшее обезболивание по клинической картине получено при сочетанном инфраорбитальном и палатинальном введении (с достоверностью $p < 0.05$) по сравнению с другими методами введения

Литература:

1. Андреев В.Н., Ганшин В.М., Доронин А.Н., Луковцев В.П. Способ электрохимического мультисенсорного обнаружения и идентификации алкалоидов. Патент РФ №2375705, Опубл. 10.12.2009.
2. Колесниченко И.И., Клочев А.Л., Ганшин В.М., Кантаржи Е.П. и др. Экспресс-скрининг биологических объектов с использованием мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии с распознавания образов//Методы исследования физико-химических систем по защите металлов и физической химии поверхностей. 2014, Т.50, №4, С.543-547.
3. Kolesnichenko I.I., Balachova L.M, Kantarzhi E.P. Express Screening of Biological Objects Using Multisensor Stripping Voltamperometry with Pattern Recognition // American Journal of Analytical Chemistry, 2016, №7, P. 588-596.
4. Колесниченко И.И., Кантаржи Е.П., Доронин А.Н. Балашова Л.М. Использование метода мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии для определения антиоксиданта визомитина в слезной жидкости. Сборник научных трудов 6-й Всероссийской научно-практической конференции «Измерения в современном мире-2017», СПб., ФГБОУ ВПО СПб ГПУ, 2017, С.33-37.
5. A Multisensory Stripping Voltammetry Method for Analysis of the Generic Anti-Glaucoma. Drug Betoptic. L. M. Balashova, I. I. Kolesnichenko, V. A. Namiot, A. N. Doronin, Biophysics, 2019, Vol. 64, No. 6, pp. 885–889.
6. Определение визомитина методом мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии. Балашова Л.М. Колесниченко И.И., Кантаржи Е.П. // Клиническая геронтология. 2017г, Т.23 № 9-10, с.6-8.
7. Использование метода мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии для определения в слезной жидкости. Противоглаукомного препарата бетоптик у пожилых людей. Колесниченко И.И. Балашова Л.М., Кантаржи Е.П. 2017г, Т.23 № 9-10, с.36-37

ОБЗОР МЕТРИК И ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗГРУЗКИ

М.Д. Коновалов

Федеральное государственное автономное учреждение науки Институт
конструкторско-технологической информатики Российской академии наук

127055, г. Москва, Вадковский переулок, д. 18, стр. 1А

Аннотация: в данной статье проведен обзор метрик, внешних и внутренних характеристик информационной системы, связанных с проблемой разгрузки системы краевых и туманных вычислений. Целью работы является на основании обзора публикаций определить основные метрики и характеристики системы, необходимые для постановки задачи разгрузки работы информационной системы краевых, туманных и облачных вычислений. На данный момент технологии интернета вещей широко используются в промышленности, в проектировании умных городов и цифровых двойников. Но при таком увеличении количества источников информации встаёт вопрос о рациональном использовании ресурсов для хранения и обработки информации. В связи с этим встаёт вопрос о разработке методов разгрузки информационных систем.

Ключевые слова: задача разгрузки, метрики оценки разгрузки, интернет вещей, туманные вычисления, облачные вычисления, краевые вычисления.

На сегодняшний день, в связи с ростом количества данных, получаемых от различных устройств: смартфоны, компоненты системы интернета вещей, беспилотные автомобили, системы дополненной и виртуальной реальности, системы телематики и т.п. возникают новые требования к системам хранения и обработки данных. Технологии и методы разгрузки данных систем позволяют справиться с теми ресурсными ограничениями, которые характерны для данных систем. На данный момент предложены различные подходы, помогающие принимать более обоснованные решения в отношении того, следует ли, где, когда и в каком объеме производить разгрузку, а также для повышения эффективности процесса разгрузки. В данной статье будут разобраны метрики оценки разгрузки информационной системы, внешние и внутренние характеристики разгрузки информационной системы, необходимые для дальнейшей разработки стратегии разгрузки информационной системы.

Описание метрик

При разгрузке вычислений важные показатели, влияющие на общую эффективность и затраты системы, включают в себя: потребление энергии, задержку, качество обслуживания QoS (Quality of Service), качество опыта пользователя QoE (Quality of Experience), время отклика и стоимость.

Потребление энергии

Для локальных вычислений предполагается, что центральный процессор на каждом устройстве работает с рабочей частотой процессора f . Потребление энергии для каждого цикла процессора можно представить с помощью формулы 1:

$$E_{cyc} = \xi f^2, \quad (1)$$

где ξ константа, зависящая от типа платы [1].

Также можно определить рабочую частоту процессора для выполнения одной задачи в течении одного интервала времени можно определить с помощью формулы 2:

$$f = wC/\tau, \quad (2)$$

где w – количество циклов процессора, необходимых для обработки одного бита данных, C – количество входных битов данных для одной задачи.

Количество потребляемой энергии в течении выполнения одной задачи на локальном устройстве можно выразить с помощью формулы 3:

$$E_{loc} = wCE_{cyc} = wC\xi f^2 = \xi w^3 C^3/\tau^2. \quad (3)$$

В процессе разгрузки вычислений доступность восходящих линий связи для передачи битов кода на удаленный вычислительный сервер является случайной для локальных устройств. Скорость передачи данных на сервер можно представить с помощью формулы 4:

$$R_i(t) = W \log_2(1 + p_i h_i(t)), \quad (4)$$

где $h_i(t)$ – состояние канала для i -ого устройства в момент времени t , p_i – мощность канала i -ого устройства, W – ширина канала передачи данных.

Следовательно, потребляемая энергия разгрузки для успешной передачи этих битов устройством i может быть сформулирована следующим образом с помощью формулы 5:

$$E_{off}(h_i(t)) = \frac{p_i C}{R_i(t)}. \quad (5)$$

Кроме того, итоговое потребление энергии для каждого устройства в определеннный временной промежуток может быть сформулировано следующим образом с помощью формулы 6:

$$E_i(t) = \begin{cases} w^3 C^3/\tau^2, & u_i(t) = loc, \\ p_i C/R_i(t), & u_i(t) = off, \\ 0, & u_i(t) = no. \end{cases} \quad (6)$$

Здесь $u_i(t)$ обозначает действие обновления статуса для i -ого устройства в момент времени t . В данной модели $E_i(t) \leq E_i^{max}$, где E_i^{max} максимальная потребляемая энергия для выполнения одной задачи на i -ом устройстве.

Задержка

Задержка выполнения задачи определяется как сумма задержки, вызванной локальным выполнением, удаленным выполнением, задержкой разгрузки, которая представляет собой время, затраченное на получение запроса на выполнение удаленным сервером, и задержкой получения ответа сервера локальным устройством. Подробное

описание и формулировки представлены в [2]. Кроме того, в некоторых статьях представлен компромисс между потребляемой энергией и задержкой системы [3].

Качество сервиса (QoS) и качество опыта использования (QoE)

В некоторых случаях могут возникать сложности в расчёте данных метрик. QoE является качественным показателем, ориентированным на пользователя в контексте предоставления необходимого набора услуг и уровня сервиса. Для определения качества обслуживания пользователей в настоящее время существуют различные методы, такие как среднее мнение MOS (Mean Opinion Score), стандартное отклонение оценок общественного мнения SOS (Standard deviation of Opinion Scores) и чистая оценка промоутера NPS (Net Promoter Score) [4].

Время отклика

При разгрузке вычислений время отклика, представляющее собой величину производительности, представляется как общее время для загрузки задачи с локального устройства на удаленный сервер и получения правильного ответа на локальном устройстве. Разница между временем отклика и задержкой в системе заключается в том, что в первом случае это общее время отправки команды и получения ответа, а во втором - это время, затраченное на получение переданного запроса в пункте назначения. Подробное описание и формулировки представлены в [3, 5].

Стоимость

В рамках задачи разгрузки системы стоимость определяется как суммарная стоимость локального и удаленного выполнения каждой задачи. Этот показатель зависит от местоположения использования задачи, времени отклика задачи и количества запросов на выполнение задачи [6]. В вычислительных средах общие затраты на выполнение включают стоимость локального выполнения и стоимость удаленного выполнения с учетом задержки обработки и буферизации [7].

Внешние характеристики разгрузки

В качестве внешних характеристик можно выделить выгоду от использования, состояние канала беспроводной связи, путь распространения, зависимость от задержки.

Выгода использования

Выгода от разгрузки может быть выражена как выгода пользователя, в виде экономии энергии, удовлетворенность пользователя и масштабируемости. Разгрузка может увеличить прибыль пользователя за счет оптимизации затрат, понесенных устройствами-посредниками для пользователей от источника запросов к месту назначения, т.е. удаленному серверу. Кроме того, пользователи могут делегировать свои ресурсоемкие операции удаленным серверам и, таким образом, улучшать показатели QoS и QoE. Из-за делегирования ресурсоемких задач с высоким энергопотреблением удаленным и локальным серверам, пользователи могут продолжать запускать свои приложения, не заботясь о сроке службы батареи своих устройств. Кроме того, с помощью масштабируемости можно легко обрабатывать существующие приложения и платформы, а также новые растущие требования.

Состояние канала беспроводной связи

Положение беспроводного канала является важным фактором, который можно учитывать при разгрузке моделей. Шаблон доступности типичного канала можно рассматривать как стохастический или детерминированный. Первый иногда доступен, в то время как второй должен быть доступен всегда [8].

Путь распространения

Маршрутизация разгрузки может быть классифицирована на прямую и непрямую маршрутизацию. В первом случае вычисления проходят полностью на удалённом сервере в полном объёме без использования вычислительных ресурсов локального хранилища. Такой тип маршрутизации является самым простым в реализации, но неэффективным. В случае не прямой маршрутизации мы используем ресурсы промежуточных участников, ресурсы локальных серверов.

При значительном количестве запросов и увеличении нагрузки на локальный сервер, происходит перераспределение задач на другие сервера. Вычисления происходят на уровне локальных серверов, что можно считать примером краевых и туманных вычислений, или более высокого уровня, т.е. вычисления происходят на удалённых серверах, что является примером облачных вычислений.

Зависимость от задержки

Учитывая ограничения по задержке запросов, запросы на разгрузку можно классифицировать на чувствительные и нечувствительные к задержке. В первом случае время отклика рассматривается как самый приоритетный показатель. В последнем случае время отклика не имеет большого значения, но во внимание берутся уже другие показатели, такие как потребляемая энергия [9].

Внутренние характеристики

В качестве внутренних характеристик процесса разгрузки системы можно выделить: динамику и глобальность принятия решений о разгрузке, тип алгоритма, гранулярность, архитектура системы, тип расписания и содержание запроса.

Уровни принятия решения

Процесс принятия решения о разгрузке может осуществляться локально или глобально. В локальной схеме решение принимается с учетом состояния мобильных пользователей. В глобальной схеме решение принимается с учетом состояния всей системы. В этой схеме решение о разгрузке может быть выполнено с помощью реактивных, проактивных или гибридных методов. В реактивных методах разгрузка происходит на основе существующей ситуации с мобильными пользователями, приложениями и сетью; в проактивных методах разгрузка происходит в соответствии с как существующими, так и предстоящими ситуациями с пользователями, приложениями и сетью [10].

Виды алгоритмов

Алгоритмы могут быть классифицированы на эвристические и метаэвристические. В литературе по разгрузке предполагается, что эвристические алгоритмы, как правило, имеют проблемные зависимости, что способствует поиску оптимального решения. Напротив, метаэвристические алгоритмы с высокоуровневыми структурами обладают независимостью от поставленной проблемы и пытаются представить общие подходы, в которых предполагается, что решение представляет собой черный ящик. К метаэвристическим методам относят алгоритмы разгрузки оптимизации на основе генетических алгоритмов и эволюционных алгоритмов [11–13]. Алгоритмы оптимизации также подразделяются на непрерывную оптимизацию, многоцелевую оптимизацию и стохастическую оптимизацию [11].

Гранулярность

Гранулярность является характеристикой разбиения задачи или процесса для выполнения. Существует двойная разгрузка и частичная разгрузка, т.е. разгрузка по

частям. При двоичной разгрузке передаваемое приложение обрабатывается как целое или не обрабатывается ничего. Из-за некоторых ограничений, таких как затраты на разгрузку, безопасность, интенсивность, возникает потребность в частичной разгрузке [14].

Архитектура системы

Что касается архитектуры, методы разгрузки можно разделить на централизованные, распределенные и гибридные. Различные типы оптимизации, распределения задач и планирования распределения ресурсов могут быть выполнены с использованием централизованных стратегий, в которых центральный объект выступает в качестве лица, принимающего решения для выполнения задания [15]. Учитывая некоторые ограничения, такие как конфиденциальность, иногда, мобильные пользователи экосистемы не заинтересованы в том, чтобы делиться своими стратегиями принятия решений с другими. В таких ситуациях принятие решений и составление расписания выполняется каждой стороной распределенным образом [16,17].

Тип расписания

Разгрузка может осуществляться в автономном, онлайн и стохастическом режиме. В автономном режиме расписание разгрузки формируется заранее до начала выполнения приложения. Прежде всего это связано с тем, что скорость поступления запросов известна заранее. При использовании онлайн расписания мы формируем расписание разгрузки в процессе выполнения приложения. При поступлении запросов в случайном порядке необходимо использовать гибридный тип расписания, включающий принципы автономного и онлайн расписания [18].

Содержания запроса

Запрос может содержать в себе данные, которые необходимо сохранить, или приложение, которое необходимо выполнить. Приложения могут поступать в виде кода, контейнера или виртуальной машины. Контейнер представляет собой платформу для создания приложений для виртуализации на уровне операционной системы. Подход, при котором используются виртуальные машины, применим, когда инициализация сервиса занимает значительное время. Тем не менее, подходы к разгрузке виртуальных машин и контейнеров сопряжены с дополнительными накладными расходами и влияют на эффективность системы, что следует тщательно учитывать при реализации модели [19].

Заключение

В данной статье были представлены метрики необходимые для оценки оптимизации работы информационной системы, т.е. её разгрузки. В качестве метрик были выделены: потребление энергии, задержку, качество обслуживания QoS, качество опыта пользователя QoE, время отклика и стоимость.

Также были выделены внешние и внутренние характеристики разгрузки информационной системы. Внешними характеристиками являются: выгода от использования, состояние канала беспроводной связи, путь распространения, зависимость от задержки. Внутренними характеристиками процесса разгрузки системы можно назвать: динамику и глобальность принятия решений о разгрузке, тип алгоритма, гранулярность, архитектура системы, тип расписания и содержание запроса.

Все приведённые метрики оценки разгрузки, а также характеристики разгрузки дают возможность построить стратегию проектирования алгоритмов разгрузки на основе методов оптимизации, а также сравнения алгоритмов разгрузки.

Литература:

1. Liu, L., Qin, X., Zhang, Z., Zhang, P.: Joint task offloading and resource allocation for obtaining fresh status updates in multi-device MEC systems. *IEEE Access* 8, 38248–38261 (2020). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.2976048>
2. Huang, L., Feng, X., Zhang, C., Qian, L., Wu, Y.: Deep reinforcement learning-based joint task offloading and bandwidth allocation for multi-user mobile edge computing. *Digit. Commun. Netw.* 5(1), 10–17 (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dcan.2018.10.003>
3. Zhang, J., Hu, X., Ning, Z., Ngai, E.C.H., Zhou, L., Wei, J., Cheng, J., Hu, B.: Energy-latency tradeoff for energyaware offloading in mobile edge computing networks. *IEEE Internet Things J.* 5(4), 2633–2645 (2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JIOT.2017.2786343>
4. Mahmud, R., Srirama, S.N., Ramamohanarao, K., Buyya, R.: Quality of Experience (QoE)-aware placement of applications in Fog computing environments. *J. Parallel Distrib. Comput.* 132, 190–203 (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.03.004>
5. Wu, S., Xia, W., Cui, W., Chao, Q., Lan, Z., Yan, F., Shen, L.: An efficient offloading algorithm based on support vector machine for mobile edge computing in vehicular networks. In 2018 10th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP) (pp. 1–6). IEEE (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WCSP.2018.8555695>
6. De Maio, V., Brandic, I.: Multi-objective mobile edge provisioning in small cell clouds. In *Proceedings of the 2019 ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering* (pp. 127–138). ACM (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3297663.3310301>
7. Li, L., Siew, M., Quek, T.Q., Ren, J., Chen, Z., Zhang, Y.: Learning-based priority pricing for job offloading in mobile edge computing. *arXiv preprint arXiv:1905.07749* (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3297663.3310301>
8. Hu, M., Wu, D., Wu, W., Cheng, J., Chen, M.: Quantifying the Influence of Intermittent Connectivity on Mobile Edge Computing. *IEEE Trans. Cloud Comput.* (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCC.2019.2926702>
9. Samanta, A., Chang, Z.: Adaptive service offloading for revenue maximization in mobile edge computing with delay-constraint. *IEEE Internet Things J.* 6(2), 3864–3872 (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JIOT.2019.2892398>
10. Gu, F., Niu, J., Qi, Z., Atiqzaman, M.: Partitioning and offloading in smart mobile devices for mobile cloud computing: State of the art and future directions. *J. Netw. Comput. Appl.* 119, 83–96 (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2018.06.009>
11. Sörensen, K., Glover, F.: Metaheuristics. *Encyclopedia of operations research and management science*, 62, pp. 960–970 (2013). DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-1153-7_1167
12. De Maio, V., Brandic, I.: Multi-Objective Mobile Edge Provisioning in Small Cell Clouds. In *Proceedings of the 2019 ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering* (pp. 127–138). ACM (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3297663.3310301>
13. Liu, J., Zhang, Q.: Code-partitioning offloading schemes in mobile edge computing for augmented reality. *IEEE Access* 7, 11222–11236 (2019). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2891113>
14. Huang, L., Bi, S., Zhang, Y.J.: Deep reinforcement learning for online computation offloading in wireless powered mobile-edge computing networks. *IEEE Trans. Mob. Comput.* (2019). DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.01977>

15. Tout, H., Talhi, C., Kara, N., Mourad, A.: Smart mobile computation offloading: Centralized selective and multiobjective approach. *Expert. Syst. Appl.* 80, 1–13 (2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2017.03.011>
16. Chen, Z., Wang, X.: Decentralized computation offloading for multi-user mobile edge computing: A deep reinforcement learning approach. arXiv preprint arXiv:1812.07394 (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13638-020-01801-6>
17. Jošilo, S., Dán, G.: Decentralized scheduling for offloading of periodic tasks in mobile edge computing. In 2018 IFIP Networking Conference (IFIP Networking) and Workshops (pp. 1–9). IEEE (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.23919/IFIPNetworking.2018.8696507>
18. Atoui, W.S., Ajib, W., Boukadoum, M.: Offline and online scheduling algorithms for energy harvesting RSUs in VANETs. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 67(7), 6370–6382 (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TVT.2018.2797002>
19. Wu, S., Niu, C., Rao, J., Jin, H., Dai, X.: Container-based cloud platform for mobile computation offloading. In 2017 IEEE international parallel and distributed processing symposium (IPDPS) (pp. 123–132). IEEE (2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IPDPS.2017.47>

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Е.М. Красикова, Г.Е. Смышляев

ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 3а

Создание и использование искусственных нейронных сетей (ИНС) способствует стремительному развитию таких областей науки и техники, как: робототехника, машинное зрение, искусственный интеллект, математика и др. Данная технология позволяет разрабатывать алгоритмы для управления роботами, создавать новые химические элементы с заданными свойствами, решать задачи параллельных вычислений, а также решать различные сложные математические задачи.

В основе современных ИНС лежит упрощенная математическая модель биологического нейрона. Она состоит из некоторого количества входных сигналов, каждый из которых имеет своё значение (вес), сумматора этих сигналов, передаточной функции нейрона и выходного значения этой функции.

В современной науке существует несколько основных типов нейронных сетей, каждая из которых лучше всего подходит для решения определённых задач.

Основные типы ИНС:

- Свёрточные нейронные сети;

Свёрточные сети являются одним из самых популярных типов искусственных нейронных сетей. Они показали свою эффективность в распознавании визуальных образов (видео и изображений), рекомендательных систем и языковой обработки.

- Рекуррентные нейронные сети;

Важной отличительной чертой рекуррентной нейронной сети является наличие так называемой «зоны внимания», когда машине могут быть назначены определенные фрагменты данных, которые требуют улучшенной обработки.

Рекуррентные нейронные сети в основном используются при распознавании и обработке текстовых данных. В частности, на их основе работает гугл-переводчик.

- **Нейронная сеть Хопфилда.**

Сеть Хопфилда представляет собой разновидность нейронных сетей с обратной связью. Использоваться такая сеть может для решения задач с ассоциативной памятью (восстановление искажённых данных), для распознавания образов, для решения задач комбинаторной оптимизации (например, задача о нахождении кратчайшего пути).

Литература:

1. Иванько А.Ф., Иванько М.А., Сизова Ю.А. Нейронные сети: общие технологические характеристики, журнал Научное обозрение. Технические науки. – 2019. – № 2 – С. 17-23
2. Хайкин, Саймон Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006 -1104 с. : ил. – Парал. Тит. англ. ISBN 5-8459-0890-6(рус.)
3. Ёлкин С.С., Ёлкин С.В., Клышинский Э.С., Максимов В.Ю., Мусаева Т.Н. Модель бионической нейронной сети и ее применения, ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, Москва, 2008 -29 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Г.В. Кошкина, К.Э. Кошкина, В.А. Никольская

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия

170023, г. Тверь, проспект Ленина, д.25

Тел. e-mail: gkoshkina@mail.ru

Жесткая конкуренция на рынке заставляет бизнес использовать последние достижения науки, которые позволяют грамотно и эффективно решать возникающие проблемы. Одним из таких современных средств работы с экономическими данными является технология нейронных сетей, которая позволяет анализировать информацию, прогнозировать развитие бизнеса и минимизировать риски при принятии решений. [1].

Использование нейросетевых моделей и методов обработки данных в конкретных управляемых или исследуемых объектах при решении различных экономических задач, требующих обработки больших объемов данных, дает хорошие результаты. [2]. Следует отметить недостаточное внимание к вопросам теоретического и методологического развития нейромоделирования для больших хозяйственных структур.

Использование нейросетевых методов позволяет разрешить проблемные ситуации экономико-статистического моделирования, адаптировать математические модели к реальной экономике. Основная задача моделирования – нахождение скрытых зависимостей в базах данных, особенно для объектов с трудно формализуемыми закономерностями.

Необходимо разработать правила, которые позволят выбрать из некоторого множества наиболее подходящую модель:

- учитывающую при анализе данных факторы влияния рисков;
- позволяющую оценивать и прогнозировать финансовые возможности и кредитоспособность в условиях влияния фактора неопределенности при работе с задачами обработки больших экономических данных.

Особого внимания требует решение вопросов, возникающих при реализации выбранной модели инструментальными средствами существующих технологий обработки информации.

Модели, созданные на основе нейронных сетей, при постановке задачи используют минимум требований и предварительных знаний об объекте. При этом они позволяют быстро реагировать на меняющиеся условия экономической системы, тесно взаимодействовать с информационной системой предприятия [3]. Это создает преимущество перед другими вычислительными методами.

Литература:

1. Гайнуллин Р. Н. и др. Прогнозирование бизнес-процессов на основе нейронных сетей // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20. – №. 3.
2. Сидоренко Е.В. Средства визуализации и отображения взаимосвязей финансовых показателей в системах поддержки принятия управленческих решений / Е. В. Сидоренко, А. Н. Тихомирова; рец. А. И. Гусевой // Аудит и финансовый анализ. - 2010. - N 2. - С. 354-357
3. Кальченко Д. Нейронные сети на пороге будущего «КомпьютерПресс». - 2005.

МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО В ПОСТРОЕНИИ ИНС-МОДЕЛИ

К.Э. Кошкина, С.А. Никитин, Е.Е. Фомина, Г.В. Кошкина, Н.А. Стукалова

ФГБОУ ВО “Тверской государственный технический университет”, г. Тверь, Россия

170023, г. Тверь, проспект Ленина, д.25

Тел. e-mail: kris22t@rambler.ru

Искусственные нейронные сети (ИНС) являются мощным инструментом анализа данных и решения трудноформализуемых задач в различных областях знания. Первым этапом решения той или иной задачи с использованием ИНС является этап их обучения, который заключается в настройке весов по набору входных данных[1]. В настоящий момент разработан большой набор методов подбора весовых коэффициентов, однако задача настройки весовых коэффициентов является актуальной, так как ее решение зависит от структуры нейронных сетей. Одним из методов выбора весовых коэффициентов, адаптированных к специфической структуре нейронной сети является метод Монте-Карло [2]. В работе рассматривается модификация метода Монте-Карло для параллельных машин.

При обучении нейронной сети требуется производить расчеты выходных сигналов, их дальнейшее сравнение с данными обучающей выборки, которые в свою очередь необходимы для вычисления погрешности [3]. Обучающая выборка чаще всего состоит из большого массива данных, а количество процессоров не превышает нескольких десятков. Исходя из этого, имеет смысл в равномерном распределении строки обучающей выборки по процессорам таким образом, чтобы после передачи с управляющего узла структуры сети, все процессоры одновременно вычисляли выходные сигналы, сравнивали их со значениями из обучающей выборки и передавали обратно на ведущий процессор только значение погрешности. Процессор управляющего узла суммирует эти погрешности и в результате получает значение целевой функции. Для вычисления этой функции управляющий узел рассылает на все узлы входную информацию и получает от них погрешность той части обучающей выборки, которая была затребована с вычислительного узла.

Параллельное вычисление целевых функций с использованием n процессоров почти в n раз быстрее последовательного вычисления, так как обучения сети занимает более половины времени, соответственно этот метод значительно сокращает время, затрачиваемое на обучение. Количество обучающих выборок, реализованных в сети любой архитектуры, чаще всего на порядок больше, чем количество процессоров, поэтому важно распределять их равномерно.

Таким образом, с каждой итерацией все весовые коэффициенты уточняются. Выбор завершается при выполнении условия остановки.

Модификация этого метода заключается в том, что генерируются n случайных чисел, вычисляется значение весовых коэффициентов, выбирается минимальное значение, и если это значение меньше текущего, весовой коэффициент не изменяется, в противном случае он возвращается в предыдущее состояние. Каждый процессор независимо генерирует весовые коэффициенты, вычисляет и посылает их на ведущий. Ведущий процессор сравнивает их, в зависимости от результата устанавливает новое значение и посылает его на все узлы.

Литература:

1. Сараев П.В. Использование псевдообращения в задачах обучения искусственных нейронных сетей // Электронный журнал «Исследовано в России». С. 308-317. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/029.pdf>. Загл. с экрана.
2. Крючин О.В. Параллельные алгоритмы обучения искусственных нейронных сетей. // Материалы 15 междунар. конф. по нейрокибернетике. Т. 2. Симпозиум «Интерфейс "Мозг-Компьютер"», 3 Симпозиум по нейроинформатике и нейрокомпьютерам. Ростов н/Д: Изд-во ЮСУ, 2009. С. 93-97.
3. Арзамасцев А.А., Зенкова Н.А., Крючин О.В., Квашенкин Д.О., Неудахин А.В. Автоматизированная технология и программно-технологический комплекс для построения экспертных систем с интеллектуальным ядром, основанным на нейросетевых моделях, поддержкой распределенного ввода данных и параллельных вычислений // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 3. С. 948-978.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н.М.Кузнецова¹, Т.В. Карлова^{1,2}, А.Ю. Бекмешов^{1,2}, А.С. Шептунов^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» 127055, Москва, Вадковский пер., д.3а

²Федеральное государственное автономное учреждение науки Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук

127055, Москва, Вадковский пер., д. 18, стр. 1А

Тел.: 8-(926)-582-34-35

E-mail: b-a-y-555@yandex.ru

Аннотация. Современные автоматизированные системы защиты, применяемые на промышленных предприятиях, являются сложными по структуре объектами. Их сложность определяется разнообразием способов хранения, передачи и обработки защищаемых информационных ресурсов, а также сложностью основных автоматизированных систем предприятия. В связи с этим, задача определения и оценки эффективности работы данных систем является актуальной. Статья посвящена разработке методики оценки эффективности работы автоматизированных систем защиты с помощью методов математического моделирования.

Ключевые слова: математическое моделирование, защита информации, интеллектуальный ресурс, информационная безопасность, модель нарушителя.

Наиболее рациональным решением является построение автоматизированных систем защиты одновременно с проектированием основных автоматизированных систем промышленного предприятия. Кроме того, целесообразным является своевременная модернизация системы защиты при любых изменениях структуры и принципов работы основных автоматизированных систем. Таким образом обеспечивается максимальный уровень информационной безопасности предприятия. Однако применение данного принципа влечет за собой увеличение сложности структуры и функционирования автоматизированной системы защиты, что в свою очередь, влияет на эффективность ее работы.

Для оценки эффективности работы автоматизированной системы защиты информационных ресурсов предприятия (далее – АСЗИРП) необходимо применение надежных и удобных методов определения текущего уровня информационной безопасности. Применение методов математического моделирования позволит проводить наиболее точный расчет степени защиты информационных ресурсов предприятия, а также оценить эффективность работы АСЗИРП [1-5].

Для оценки эффективности работы АСЗИРП необходимо:

- построить математическую модель основных автоматизированных систем предприятия;
- построить математическую модель АСЗИРП;

- построить модели нарушителей:
 - а) внешнего нарушителя;
 - б) внутреннего по отношению к основным автоматизированным системам нарушителя;
 - в) внутреннего по отношению к АСЗИРП нарушителя.

При построении моделей автоматизированных систем (АСЗИРП и основных автоматизированных систем предприятия) необходимо учитывать:

- потоки данных (входной, выходной, внутренние);
- особенности функционирования модулей, в том числе особенности их взаимодействия;
- список и диапазон корректных значений параметров работы модулей (например, загруженность процессора, сетевой трафик и т.д.).

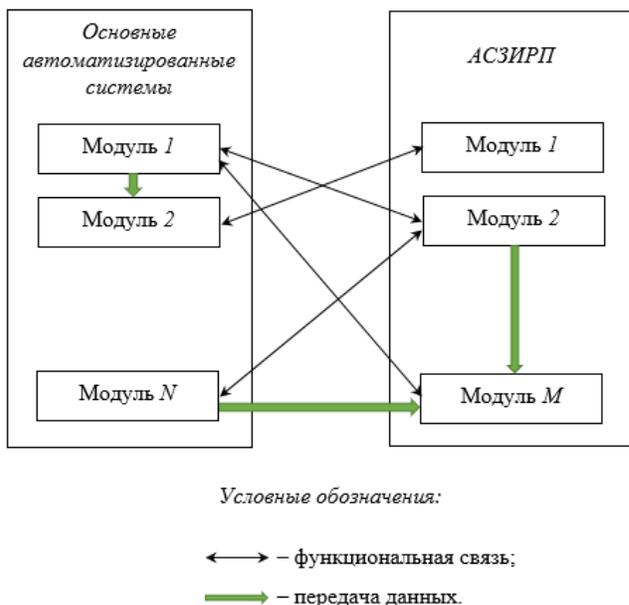


Рис. 1 Пример схемы математической модели работы АСЗИРП

Важно отметить, что в связи со сложностью и иерархичностью описываемых структур для моделирования взаимодействия модулей АСЗИРП и модулей основных автоматизированных систем предприятия возможно применение методологий IDEF0, IDEF3, UML и т.д.

Моделирование работы автоматизированной системы защиты информационных ресурсов предприятия

Для математической модели работы АСЗИРП входными данными являются:

- действия нарушителей;
- изменения параметров окружающей среды (влажность, температура и т.д.);

- изменение параметров основных автоматизированных систем предприятия (параметров «внутренней» среды).

При моделировании работы АСЗИРП является важным перебор всех возможных комбинаций входных параметров.

Для формирования набора действий нарушителей необходимо определить множество векторов атак [6-8].

Кроме того, важно не просто сформировать множество векторов атак, но и «сгенерировать» из них последовательности. Далее для каждой последовательности необходимо также предусмотреть множество изменений параметров внешней среды, а также множество модификаций параметров основных автоматизированных систем предприятия. Формула 1 описывает расчет всех вариантов комбинаций входных параметров атаки.

$$W = \sum_{i=0}^m AttackVector_i \times \sum_{j=0}^n Env_j \times \sum_{k=0}^p Mod_k \quad (1)$$

где:

- $AttackVector_i$ – вектор атаки i ;

- Env_j – модификация параметра внешней среды j ;

- Mod_k – модификация параметра основной автоматизированной системы предприятия k .

На рисунке 2 представлена схема формирования входных данных для модели работы АСЗИРП.



Рис. 2. Схема формирования входных данных для модели работы АСЗИРП

Выходными данными будут являться параметры уровня защиты ресурсов предприятия, в том числе основных автоматизированных систем предприятия. По данным параметрам легко качественно и количественно определить эффективность работы АСЗИРП.

Выводы

Приведенные в статье способы применения методов математического моделирования для оценки эффективности работы автоматизированной системы защиты информационных ресурсов промышленного предприятия позволяют своевременно

определять уровень информационной безопасности и степень защищенности стратегически важных ресурсов предприятия.

Литература:

1. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Построение цифрового двойника основных автоматизированных систем промышленного предприятия с целью определения уровня информационной безопасности ЭРГОДИЗАЙН Учредители: Брянский государственный технический университет (Брянск) №2(12) 2021, с.97-102 eISSN: 2658-4026, DOI: 10.30987/2658-4026-2021-2-97-102
2. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Решение задачи автоматизации процессов защиты стратегически важных ресурсов предприятия от комплексных кибер-атак на основе анализа тактик злоумышленников. Научно-технический журнал «Вестник Брянского государственного технического университета» №7 (92) 2020 // Изд-во Брянского государственного технического университета, 2020. – С. 48 – 53. <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-7-48-53>
3. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Автоматизированное моделирование распространения инфекционных заболеваний среди населения мегаполиса с помощью метода Монте Карло с учётом аспектов информационной безопасности. Периодический научно-практический журнал «Качество. Инновации. Образование» - № 5 (169) сентябрь октябрь 2020. – М.: ФГУП Издательство «Известия» УД ПРФ, 2020. – С. 96 – 102. ISSN: 1999-513X
4. N.M. Kuznetsova, T.V. Karlova, S.A. Sheptunov Automation of Data Defence Processes in the Corporation Information Systems / Proceedings of the 2017 International Conference “Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies” (IT&QM&IS) September, 24-30, 2017 – Proceedings Edited by S.Shaposhnikov 2017 St.Peterburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, с. 199-202. ISBN 978-1-5386-0703-9.
5. Tatyana V. Karlova, Alexander Y. Bekmeshov, Natalia M. Kuznetsova. Protection the Data Banks in State Critical Information Infrastructure Organizations / Proceedings of the 2019 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), Sochy, Russia // Proceedings Edited by S. Shaposhnikov, St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2019, ISBN 978-1-7281-2594-7
6. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Классификация компьютерных атак на автоматизированные системы промышленных предприятий Периодический научно-практический журнал «Качество. Инновации. Образование» - №4 (162) июль август, 2019. – М.: ФГУП Издательство «Известия» УД ПРФ, 2019. – С. 54 – 59. ISSN: 1999-513X. DOI: 10.31145/1999-513x-2019-4-54-59
7. Хорев П.Б. Программно-аппаратная защита информации: учеб. пособие / П.Б. Хорев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ : ИНФА-М, 2019. 352с. – (Высшее образование) ISBN 978-5-00091-709-1 (ФОРУМ)
8. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В. Основные принципы защиты автоматизированных систем крупных промышленных предприятий от комплексных кибер-атак Научно-технический журнал «Вестник Брянского государственного технического университета» №4 (57) 2017 // Изд-во Брянского государственного технического университета, 2017, с. 84-89. DOI: 10.12737/issue_5a02f9f7150658.06648590.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА, ХРАНЕНИЯ И АНАЛИЗА СВЕДЕНИЙ,
СВЯЗАННЫХ С РАЗРАБОТКОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ
ПРОДУКЦИИ ПОВЫШЕННОГО РИСКА**

Н.М. Кузнецова¹, Т.В. Карлова^{1,2}, А.Ю. Бекмешов^{1,2}, М.В. Михайлова¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» 127055, Москва, Вадковский пер., д.3а

²Федеральное государственное автономное учреждение науки Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук 127055, Москва, Вадковский пер., д. 18, стр. 1А

E-mail: knm87@mail.ru

Аннотация. Современное общество сталкивается с проблемой обеспечения безопасности. Крайне важным является решение актуальной задачи своевременного детектирования и распознавания опасности применения новейших технологий. В статье представлена методика обнаружения угроз, основу которой составляет автоматизация сбора, хранения и обработки данных, связанных с разработкой высокотехнологичной продукции повышенного риска.

Ключевые слова: автоматизация, безопасность, социология, сбор информации, базы данных.

В случае, когда новейшие технологии используются современными предприятиями, большинство бизнес-процессов являются контролируруемыми. Однако при этом также возможны ситуации при которых:

- группа работников планируют реализацию угрозы информационной безопасности (внутренние нарушители);
- «обиженные» уволенные работники пытаются навредить (внешние нарушители) [1-4];
- помимо основной деятельности организация занимается «теневыми» разработками (в том числе использует основную деятельность как «легенду»).

Кроме того, новейшими технологиями могут воспользоваться так называемые «кустарные производства», которые вовсе не являются юридическими лицами.

На рисунке 1 представлена схема использования новейших технологий предприятиями, сформированная с помощью нотации IDEF0.

Важными особенностями схемы являются:

- независимость от типа используемых новейших технологий;
- применимость абсолютно ко всем перечисленным ситуациям.

В случае, если предприятие (организация) скрывает использование новейших технологий, выявить данный факт возможно путем анализа данных о:

- материалах, потребляемых предприятием;
- оборудовании, используемом на предприятии;
- работниках предприятия.

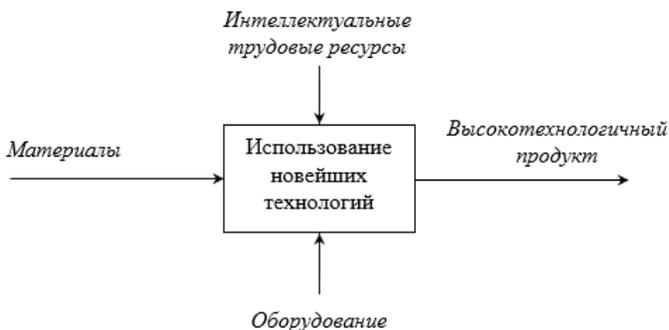


Рис. 1. Схема использования новейших технологий предприятиями

Для каждой технологии характерно использование специфических материалов и оборудования. Кроме того, необходимо привлечение специалистов, обладающих знаниями в соответствующей предметной области.

Таким образом для выявления фактов использования новейших технологий необходим мониторинг и анализ данных:

- рынка материалов;
- рынка оборудования;
- рынка труда.

Мониторинг и анализ данных рынков материалов и труда возможно обеспечить путем:

- ведения базы данных (далее – БД) рынка материалов и БД рынка оборудования;
- получение сведений из Федеральной таможенной службы (далее – ФТС) [5];
- получение сведений из Федеральной налоговой службы (далее – ФНС) [6];

На рисунке 2 представлена схема сбора и обработки информации о рынках материалов и оборудования автоматизированной системы анализа сведений, связанных с разработкой высокотехнологичной продукции повышенного риска (далее – АСАСРВПР).

Согласно рисунку 2, АСАСРВПР получает информацию от внешних источников, в качестве которых могут быть:

- открытые данные от ФТС и ФНС;
- открытые данные от рынков материалов и оборудования и т.д.

Далее данные от модулей сбора поступают в БД материалов и БД оборудования.

Поля главной таблицы БД материалов представлены в таблице 1, поля главной таблицы БД оборудования представлены в таблице 2.

Материал и оборудование являются объектами интереса. Субъектами интереса выступают в обоих случаях юридические лица (организации, предприятия и т.д.) или физические лица (люди). В БД для объектов и субъектов интересов предусмотрен тип данных – комплексный. В таблице 3 представлены поля таблиц БД «Субъекты интересов», в таблице 4 – поля таблиц БД «Объекты интересов».

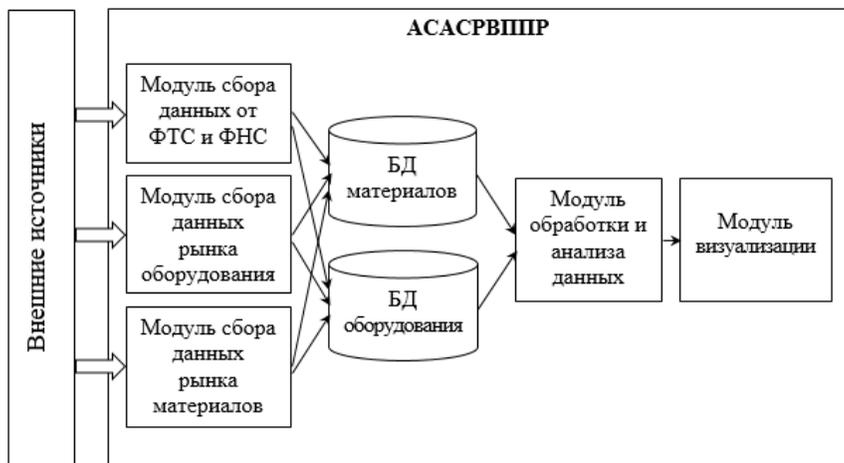


Рис. 2 . Схема сбора и обработки информации о рынках материалов и оборудования АСАСРВППР

Т а б л и ц а 1 – Поля главной таблицы БД материалов

| | Ключ | Название | Тип | Описание |
|---|------|---|-------------|---|
| 1 | + | Уникальный идентификатор факта интереса к материалу | UID | Краткое описание факта интереса к материалу |
| 2 | | Тип материала интереса | Комплексный | Описание материала интереса |
| 3 | | Субъект интереса | Комплексный | Юридическое или физическое лицо, предъявляющее интерес к материалу |
| 4 | | Адрес интереса | Текст | Локализация интереса (территориальное расположение субъекта интереса) |
| 5 | | Время интереса | Дата | Дата и время детектирования факта интереса к материалу |

Т а б л и ц а 2 – Поля главной таблицы БД оборудования

| | Ключ | Название | Тип | Описание |
|---|------|--|-------------|--|
| 1 | + | Уникальный идентификатор факта интереса к оборудованию | UID | Краткое описание факта интереса к оборудованию |
| 2 | | Тип оборудования интереса | Комплексный | Описание оборудования интереса |

| | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---|
| 3 | | Субъект интереса | Комплексный | Юридическое или физическое лицо, предъявляющее интерес к оборудованию |
| 4 | | Адрес интереса | Текст | Локализация интереса (территориальное расположение субъекта интереса) |
| 5 | | Время интереса | Дата | Дата и время детектирования факта интереса к оборудованию |

Т а б л и ц а 3 – Поля таблицы «Субъекты интересов»

| | Ключ | Название | Тип | Описание |
|---|------|--|-------|--|
| 1 | + | Уникальный идентификатор субъекта интереса | UID | Краткое описание субъекта интереса |
| 2 | | Имя субъекта интереса | Текст | ФИО / Название организации |
| 3 | | Тип субъекта интереса | Текст | Организация / Физическое лицо |
| 4 | | Описание субъекта интереса | Текст | Подробное описание субъекта интереса (дата рождения для типа «Физическое лицо», история организации для типа «Организация» и т.д.) |
| 5 | | Адрес субъекта интереса | Текст | Локализация интереса (территориальное расположение субъекта интереса) |

Т а б л и ц а 4 – Поля таблицы «Объекты интересов»

| | Ключ | Название | Тип | Описание |
|---|------|---|---------------|--|
| 1 | + | Уникальный идентификатор объекта интереса | UID | Краткое описание объекта интереса |
| 2 | | Имя объекта интереса | Текст | Название материала / Название оборудования |
| 3 | | Тип объекта интереса | Текст | Материал / Оборудование |
| 4 | | Описание объекта интереса | Текст | Подробное описание объекта интереса (в какой отрасли может быть применим, сроки годности и т.д.) |
| 5 | | Список адресов источников объектов интереса | Список<текст> | Локализация источников (территориальное расположение источников объектов интереса) |

В качестве источников объектов интересов могут выступать поставщики материалов/оборудования, которые в свою очередь могут состоять в таблице «Субъекты интересов».

На рисунке 3 представлена схема взаимосвязи главных таблиц БД материалов, БД оборудования с таблицами «Субъекты интересов», «Объекты интересов».



Рис. 3. Схема взаимосвязи главных таблиц материалов, оборудования с таблицами «Субъекты интересов», «Объекты интересов»

Важно отметить, что для повышения эффективности работы АСАСРВПР в целом, таблица «Субъекты интересов» должна быть единой для обеих БД. В данном случае анализ фактов интересов будет более точным. Кроме того, возможно сопоставление фактов интересов материалами и оборудованием одними и теми же субъектами интересов.

Выводы

Приведенные в статье методы сбора, хранения и обработки информации о поставщиках оборудования и материалов для разработки высокотехнологичной продукции повышенного риска позволят максимизировать уровень безопасности, своевременно выявить нарушения законодательства, а также детектировать и предотвращать попытки реализации комплексный целенаправленных угроз [7].

Литература:

1. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Решение задачи автоматизации процессов защиты стратегически важных ресурсов предприятия от комплексных кибер-атак на основе анализа тактик злоумышленников. Научно-технический журнал «Вестник Брянского государственного технического университета» №7 (92) 2020 // Изд-во Брянского государственного технического университета, 2020. – С. 48 – 53. <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-7-48-53>
2. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Построение цифрового двойника основных автоматизированных систем промышленного предприятия с целью определения уровня информационной безопасности ЭРГОДИЗАЙН Учредители: Брянский государственный технический университет (Брянск) №2(12) 2021, с.97-102 eISSN: 2658-4026, DOI: 10.30987/2658-4026-2021-2-97-102
3. Tatyana V. Karlova, Alexander Y. Bekmeshov, Natalia M. Kuznetsova. Protection the Data Banks in State Critical Information Infrastructure Organizations / Proceedings of the 2019 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), Sochy, Russia // Proceedings Edited by S. Shaposhnikov, St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2019, ISBN 978-1-7281-2594-7
4. N.M. Kuznetsova, T.V. Karlova, S.A. Sheptunov Automation of Data Defence Processes in the Corporation Information Systems / Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS) September, 24-30, 2017 – Proceedings Edited by S.Shaposhnikov 2017 St.Peterburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", с. 199-202. ISBN 978-1-5386-0703-9.
5. Федеральная таможенная служба [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: customs.gov.ru (дата обращения: 01.12.2022)
6. Федеральная налоговая служба [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: palog.gov.ru (дата обращения: 01.12.2022)
7. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Классификация компьютерных атак на автоматизированные системы промышленных предприятий Периодический научно-практический журнал «Качество. Инновации. Образование» - №4 (162) июль август, 2019. – М.: ФГУП Издательство «Известия» УД ПРФ, 2019. – С. 54 – 59. ISSN: 1999-513X. DOI: 10.31145/1999-513x-2019-4-54-59

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ МАССОПЕРЕНОСА НА ДЕФОРМАЦИЮ В НАНОСТРУКТУРАХ

А.В. Куницина, Л.А. Уварова

MSTU "STANKIN", Moscow, Russia

127055, Moscow, Vadkovsky lane, 3a

e-mail: k2av@mail.ru

В настоящее время растет интерес к научным исследованиям процессов в наноструктурах с различными механическими, физическими и химическими свойствами. Особый интерес представляют углеродные нанотрубки. Такой интерес обусловлен широкими возможностями для использования в различных областях техники. При различных внешних воздействиях происходит деформация трубок. Можно выделить следующие виды упругой деформации: осевое растяжение, осевое сжатие, симметричный и асимметричный изгиб, радиальное сжатие, упругое отклонение. При большой силе сжатия может произойти резкое изменение структуры трубки. Эта деформация называется эйлеровой деформацией. Трубки могут быть заполнены различными веществами или находиться во взаимодействии с некоторой внешней средой. Массоперенос и фазовые переходы могут происходить в различных технологических процессах. В частности, это могут быть процессы испарения или сублимации. Увеличение давления за счет массопереноса вблизи нанотрубки приводит к увеличению действующей на нее внешней силы, что в свою очередь приводит к деформации нанотрубки.

Пусть наноструктура расположена в замкнутом пространстве. Для уверенности считаем, что это нанотрубка. Взаимосвязь между напряжением и деформацией может быть описана с помощью уравнения Айфантиса [1,2]:

$$\sigma = \lambda (\text{tr } \varepsilon) \mathbf{1} + 2G\varepsilon - c\nabla^2 [\lambda (\text{tr } \varepsilon) \mathbf{1} + 2G\varepsilon] \quad (1)$$

где тензоры деформации и напряжения σ, ε ,

$$\lambda = \frac{E\eta}{(1+\eta)(1-2\eta)}, \quad G = \frac{E}{2(1+\eta)},$$

где E — модуль Юнга, η — коэффициент Пуассона. Обобщенную силу, обусловленную массопереносом, можно найти с помощью закона Фика. Обобщенную силу F_P массопереноса можно найти, используя закон Фика. Запишем следующим образом:

$$F_P = \frac{-D\beta S \nabla P}{q}, \quad (2)$$

где P — давление, D — коэффициент диффузии, q' — временная производная от обобщенной координаты, S — площадь поверхности трубки или части трубки, на которую действует сила. β — коэффициент. Вводится, что поток концентрации молекул в наносистемах может немного отличаться от закона Фика. Соответственно, уравнение (1) преобразуется в вид:

$$\sigma_M + \sigma_P = \lambda(tr\varepsilon)I + 2G\varepsilon - c\nabla^2(\lambda(tr\varepsilon)I + 2G\varepsilon) \quad (3)$$

Здесь есть σ_M механическое натяжение и $\sigma_P = \frac{F}{S}$. градиент давления может быть установлен для конкретного процесса. Если значение градиента давления не известно заранее, его можно найти в процессе решения задачи. Если закон изменения температуры известен, то значение ∇P можно найти с помощью уравнения состояния. Например, для уравнения Ван-дер-Ваальса градиент давления равен

$$\nabla P = \frac{R}{V-b} \nabla T + \left(\frac{2a}{V^3} - \frac{RT}{(V-b)^2} \right) \nabla V, \quad (4)$$

где a, b — параметры, R — универсальная газовая постоянная, V — молярный объем. Объем (V) изменяется из-за испарения или сублимации. При рассмотрении многокомпонентного массопереноса значение градиента давления каждого из газовых компонентов можно найти из системы уравнений Максвелла - Стефана.

Таким образом, деформация определяется по уравнению (3) после подстановки выражения (2). Если градиент определяется в процессе ∇P решения задачи, то общий алгоритм может быть дополнен итеративной процедурой:

- шаг 1. Определение давления и ∇P в зависимости от проблемных условий;
- шаг 2. Определение деформации из уравнения (3);
- шаг 3. Определение геометрии деформированной структуры;
- шаг 4. Определение давления и ∇P с учетом измененной геометрии конструкции;
- шаг 5. Определение деформации из уравнения (3) с учетом изменившейся геометрии конструкции.

В данной работе мы предлагаем алгоритм для описания влияния массопереноса на деформацию в наноструктурах. Эффект зависит от градиента давления (градиент может зависеть от потока молекул вследствие испарения или сублимации или другого массопереносного механизма), свойств материала и типа наносистемы (например, это может быть нанотрубка или система нанотрубок). Расчеты показали, что деформация под напряжением для нанотрубок может составлять около нескольких процентов деформации, вызванной механическим воздействием. На первый взгляд, величина не велика. Однако такие небольшие значения становятся все более важными в нанотехнологиях.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 18-11-00247-П от 21.04.21.

Литература:

1. E.C. Aifantic, International Journal of Fracture, 95, 299–314, 1999.
2. E.C. Aifantis, International Journal of Engineering Science, 49, 1367–1377, 2011.

О ПРОБЛЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

PROBLEMS OF CONTROL IN MULTICOMPONENT SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

Т.А. Ла, Т.А Ла

МГТУ “СТАНКИН”, Москва, Россия

127055, Вадковский переулок, 3а

Тел.: (+7 900) 014-46-38, e-mail: latuananh0407@gmail.com

В настоящее время при изучении подобных систем основные усилия математиков направлены на обобщение понятия решения системы дифференциальных уравнений, описывающей модель управляемого процесса. Это влечет усложнение не только применяемого математического аппарата, но и построенных на этой основе алгоритмов оптимизации и их реализации в вычислительных процедурах.

При рассмотрении систем с распределенными параметрами возникают такие проблемы как проблемы оптимизации, идентификации, управляемости, наблюдаемости, устойчивости, финитного управления, синтеза, моделирования и приближенных вычислений при помощи ЭВМ и т. д. В системах с распределенными параметрами все эти задачи значительно более являются сложными. Прежде всего это связано с тем, что состояние объектов с распределенными параметрами описывается дифференциальными уравнениями не в обыкновенных, а в терминах уравнений с частными производными, интегро-дифференциальных, а подчас и более сложных функциональных уравнений. Все это приводит к трудностям в выборе метода для построения системы управления с распределенными параметрами, т.е. для поиска метода решения оптимизационных задач. Более того, существует большое разнообразие видов этих уравнений, которое адекватно описывают те или иные процессы, происходящие во времени и пространстве.

В работах [1, 2] посвящены задачам синтеза оптимального управления параболической системой на основе метода динамического программирования. В них на основе работы [3], получаются интегро-дифференциальные краевые задачи, обобщающие известные уравнения Риккати для конечномерных систем. По этому пути может в ряде случаев получить решение задачи синтеза оптимального управления при интегральном квадратичном критерии оптимальности [4]. В работе [2] описываются способы приближенного решения задач синтеза оптимального управления путем приближенного решения соответствующих интегро-дифференциальных краевых задач типа Риккати.

Проблема приближенного решения различных задач оптимизации на основе принципа максимума занимала значительное место в исследованиях по управлению процессом теплопроводности. Часть работ на эту тему основана на использовании метода сеток и прямых с целью конечномерной аппроксимации задачи [6, 7, 8]. В этих же работах исследовались задачи оптимального управления для дискретных и конечномерных систем, порождаемых соответствующими системами с распределенными параметрами. Другой принцип исследования проблемы приближенного решения задач оптимального управления описывается на основе конечномерной аппроксимации управляемой системы путем разложения

соответствующих решений в ряды Фурье. По такому принципу в [9] была исследована задача об оптимальном быстродействии. В ней указываются достаточные условия, при выполнении которых конечномерные аппроксимации сходятся к точному решению исходной задачи оптимального управления. Также работы [5, 10] посвящены приближенному решению нелинейных задач оптимального управления.

В [12] конкретные задачи минимизации теплообмена и поверхностного трения на пористой пластине рассмотрены в рамках теории пограничного слоя. Движение газа в пограничном слое описывается системой уравнений в форме Прандтля. Кинетическая энергия системы управления охлаждением определяется некоторым изопериметрическим условием. В качестве управляющей функции используется скорость вдува в пограничный слой.

Вариационное исчисление широко применили при решении оптимизационных задач газодинамик. Одной из основных вариационных задач газодинамики является построение оптимальных форм тел, обтекаемых газом, и оптимального управления пограничным слоем, образующимся вблизи тела. При этом минимизируется или сопротивление тела или количество тепла, передаваемого через поверхность в единицу времени в тело. В работе [11] дается развитие метода множителей Лагранжа и наискорейшего спуска применительно к оптимальным задачам газодинамики (минимизации поглощаемого телом тепла или сопротивления). В этой же работе предлагается метод последовательного спуска для решения вариационных задач в системах с распределенными параметрами при наличии изопериметрических связей, при котором изопериметрические условия удовлетворяются последовательно и достигается экстремум функционала. Метод является развитием метода наискорейшего спуска.

В статье [13] рассмотрен численный вариант синтеза регуляторов систем автоматического управления объектами с РП. В ней показывается возможность реализации метода завершающей дискретизации, позволяющего сохранять особенности объекта управления при получении модели регулятора. Вариант в значительной мере повторяет классический метод передаточных функций, сочетая его с численным выполнением отдельных процедур. На этапе оптимизации решения имеется возможность представления результатов в виде, позволяющем анализировать решения по принятому критерию точности и находить рациональные пути снижения погрешности. Можно также вычислить оценку погрешности решения, удобную для автоматизированного синтеза регуляторов. Так же в [14] на основе принципа отрицательной обратной связи, с помощью метода численной оптимизации решают задачу проектирования регулятора для системы с РП, в которой имеется запаздывание. Этот метод позволил снизить перерегулирование до величины около 11 %, что может оказаться предпочтительным для некоторых применений даже несмотря на то, что длительность переходного процесса в системе при этом увеличилась [14].

В настоящее время важные проблемы, имеющие предложения в разных областях науки техники являются проблемы неоднородных систем. Это касается многокомпонентных сред и структур. Пред тем целевые функции, они сами зависят от концентраций этих компонентов. Поэтому тот что в настоящее время востребованно но не достаточно рассмотренно. Поэтому в настоящей работе, мы рассматриваем влияние воздействия концентраций (компонентов), составляющих систему на возможность достижения целей. Для математической формулировки таких задач и вопросы их корректности как правило, требуют специального рассмотрения. Прежде всего, Трудности, связаны с нелинейностью уравнений и сложностью граничных условий, содержащих обыкновенные дифференциальные уравнения. В то же время, данные сложности обусловлены многомерностью задач, так как технологические процессы обладают огромным количеством теплофизических и конструктивных величин.

Определение оптимальной методики решения проблем моделирования и управления полагается считать главной задачей в проблеме моделирования необычных режимов управляемых процессов в многокомпетентных системах. Для того чтобы проектировать технологических процессов и систем управления главным средством представляет собой вычислительный эксперимент, заключающий в себе рассмотрение различных технологических режимов, формирование их физических и математических моделей, разработку и изучение вычислительных алгоритмов.

Переход к точным формулировкам в целях получения конкретных решений подобных задач оказывается возможным только при наличии исходных данных, конкретизирующих «нечеткие» определения их содержательной интерпретации.

Во-первых, должна быть задана математическая модель объекта управления в форме его описания соответствующими дифференциальными уравнениями в частных производных, интегральными уравнениями или их совокупностью.

Во-вторых, должна быть заранее выбрана конкретная формальная оценка критерия качества, фигурирующая в роли критерия оптимальности.

В-третьих, должны быть выбраны на множестве возможных вариантов подлежащие реализации управляющие воздействия и заданы стесняющие их ограничения, без учета которых постановка во многих типовых ситуациях теряет смысл ввиду достижения экстремальных значений критерия оптимальности именно на предельно возможных величинах используемых управлений.

В-четвертых, должны быть заданы ограничения на поведение управляемого выхода объектов (фазовые ограничения), конкретизирующие понятие «допустимого» процесса перевода объекта из начального в конечное состояние.

В-пятых, должны быть формализованы требования к «желаемому» состоянию объекта в конце процесса управления.

Здесь указаны лишь самые общие характеристики основных факторов, представляющих в совокупности необходимый объем априорной информации для решения задач оптимального управления многокомпонентными системами. В заключение остановимся на общей оценке роли и значимости задач оптимизации для теории управления системами с распределенным параметром и ее приложений.

Во многих отдельных случаях глубокое понимание физической сущности управляемых процессов, практический опыт и интуиция позволяют разработчикам получить конкретные инженерные решения, близкие к оптимальным по рассматриваемым критериям качества, не прибегая к специальным методам теории оптимального управления, требующим применения нетрадиционного математического аппарата и достаточно сложных вычислительных алгоритмов.

Однако при этом остаются неизвестными границы применимости подобных решений за рамками каждого конкретного результата; остается открытым вопрос о «потолке возможностей» системы управления по исследуемому критерию оптимальности, позволяющем количественно оценить степень близости реализуемых алгоритмов к действительно оптимальным, и, что может быть, является самым главным, таким путем нельзя установить представляющие большой самостоятельный интерес для приложений качественные и количественные закономерности зависимостей характеристик оптимального поведения объекта управления от вариации значений базовых конструктивных и режимных параметров систем.

Ответ на эти принципиально важные вопросы в достаточно общей форме для целого класса управляемых процессов дают именно решения задач оптимального управления, существенно углубляя и расширяя, а иногда и качественно изменяя первоначальные интуитивные представления об алгоритмах оптимального управления.

В то же время накопленный практический опыт и знание физических закономерностей исследуемых явлений могут и должны быть использованы, прежде всего, в целях правильной, корректной и в то же время предельно упрощенной постановки оптимальной задачи, позволяющей избежать на последующем этапе многих теоретических затруднений принципиального характера.

Управление и контроль на микроскопическом уровне химическими процессами требуются для решения многих проблем нанотехнологий, прежде всего тиражирования наносистем. Для этого, очевидно, достаточно разработать методы, позволяющие получать точные копии интересующих нас наносистем. В статье [15] рассматривается алгоритмический подход к проблеме управления структурой наносостояния вещества. Нельзя получить искомую структурную модификацию многоатомной детали микроскопического механизма информационного взаимодействия.

Статья [16] описывается о роли добавок в процессах трения конструкционных материалов, когда плакирующий металлический слой (пленка) на сопряженных поверхностях не образуется и явление избирательного переноса при трении не возникает. В рассмотренных работах показано, что при интенсивном (адгезионном) изнашивании, наночастицы меди, латуни и цинка механически натираются на стальную основу в виде агломератов различного размера. Укажем, что данные исследования носят экспериментальный характер и, как следствие, не могут объяснить всех фундаментальных процессов лежащих в основе взаимодействия наночастиц с поверхностью трения, тем более с микротрещиной. В этой связи компьютерное моделирование сложных многофазных наносистем позволит дополнить экспериментальные исследования детализацией процессов взаимодействия в двухфазной среде, включающей твердые компоненты: поверхность и наночастицы, и жидкую смазывающую среду.

В [17] с помощью численного моделирования проведено исследование процессов тепломассопереноса в микрофлюидном тепловом датчике потока. На основе результатов моделирования решена задача оптимизации конструкции микрофлюидного теплового датчика потока и предложен инновационный гибридный метод проведения измерений, позволяющий расширить рабочий диапазон калориметрических датчиков более чем в 3 раза. Кроме того, согласно результатам моделирования микрофлюидного теплового датчика потока, основанные на гибридном методе, обладают максимальной чувствительностью на всем указанном диапазоне скоростей, при этом не требуется существенного усложнения конструкции и электрической схемы датчика.

В настоящее время стремительное развитие нанотехнологий привело к возникновению нового класса задач прикладной математики, где важными становятся обменные взаимодействия не только между частицами, но также между наночастицами и поверхностями наноматериалов. Математическое моделирование процесса переноса примесей в замкнутых нанобъемах с использованием современных методов играет важную роль при решении задач в нанoeлектронике, биофизики, моделировании и получении новых лекарственных средств, конструировании мезо и нано механизмов, разработке новых материалов с необходимыми физико-химическими свойствами. Системы частиц, которые можно изучать с помощью данных методов великое множество – от изолированных изотропных систем до сложных полимеров, протеинов, аминокислот и молекул ДНК. Современные методы компьютерного моделирования широко применяются при решении задач с использованием всех типов фундаментальных взаимодействий. Многие задачи молекулярного моделирования успешно могут быть решены с использованием современных прикладных пакетов математического моделирования таких, как MatLAB,

MathCAD, Maple, Gaussian, Hyperchem, Gromacs, Gaussian. Однако в задачах эволюции и процессов переноса примесей в нанобъемах требуется использование неперiodических граничных условий с учетом обменных взаимодействий частиц с внутренними поверхностями стенки объема, учета шероховатости поверхности и возникновения нелинейных квантовых эффектов. Таким образом, возникает новый комплекс задач о распространении примесей в нанобъемах, нелинейном переносе атомов и молекул под действием потенциальных сил, задач проектирования высокотехнологичных наноматериалов с заданными свойствами, поиск новых лекарственных средств, анализ физико-химических характеристик молекулярных систем при использовании в нанотехнологических разработках, многих задач биофизики, биохимии, что является актуальными направлениями развития современной науки. В прошлом были разработаны различные упрощенные модели для прогнозирования эффективной теплопроводности в тонких пленках и нанопроволоках, зависящей от размера. Маджумдар вывел уравнение переноса фононного излучения из уравнения переноса Больцмана. На основе уравнения переноса фононного излучения и приближения Грея разработана упрощенная формула для прогнозирования эффективной теплопроводности как в баллистической, так и в диффузионной областях переноса. комплексная величина, зависящая от частоты, в этой модели затрудняет понимание [18]. Макгоги и его коллеги разработали алгебраическую модель для прогнозирования зависящей от размера теплопроводности в тонких пленках и нанопроволоках на основе уравнения переноса Больцмана без подгонки параметров. По сравнению с результатами модели уравнения переноса фононного излучения наблюдается лучшее согласие между экспериментальными данными и предсказаниями модели Макгоги [19]. Цзоу разработал модель теплопроводности для нанопроволок, основанную на нелокальном (в пространстве) и запаздывающем (во времени) поведении фононов. Эта модель может отразить линейную зависимость эффективной теплопроводности от радиуса нанопроволоки [20]. Используя фононное гидродинамическое уравнение и граничное условие теплового скольжения, Альварес и его коллеги обнаружили, что эффективная теплопроводность наноструктуры уменьшается линейно с размером материала [21], но есть подгонка параметр из сложного граничного условия теплового скольжения. В этом письме мы намерены вывести аналитическую модель для предсказания эффективной теплопроводности в наноструктурах на основе фононной гидродинамики без подгонки параметры.

Статья [22] посвящена переносу тепла, а не потоку вещества, и особое внимание в ней уделено нелокальному переносу тепла. Анализ основан на фононной гидродинамике, в которой фононный поток описывается уравнениями, которые имеют близкую формальную аналогию с уравнением Стокса-Бринкмана гидродинамики в резистивных средах, таких как пористые среды. Фононная гидродинамика усиливает параллелизм между потоком жидкости и тепловым потоком в наносистемах; в частности, он обеспечивает хороший инструмент для понимания сложности теплопередачи в малых системах, которая стала центральной темой в современной теории переноса. В статье [23] использовали фононную гидродинамику для изучения теплопереноса в нанопроволоках и тонких слоях, принимая во внимание эвристические феноменологические уравнения на границах, описывающих взаимодействие фононов со стенками. Таким образом, мы рассмотрели некоторые проблемы управления системами с распределенными параметрами. Они играют важную роль во многих областях науки и техники, поэтому решение этих задач требует современных методов с высокой эффективностью.

Литература:

1. Алиферов В. В. О приближенном решении задачи синтеза точечного управления. Изв. АН КиргССР, № 2, стр.16-25, 1976
2. Егоров А. И., Бачой Г. С, Метод Беллмана в задачах управления системами с распределенными параметрами. В сб. «Прикладная математика и программирование», вып. 12, стр. 33-39. «Штиинца», Кишинев, 1974.
3. Егоров А. И. Оптимальная стабилизация систем с распределенными параметрами. Материалы Международной конференции IFIP по технической оптимизации. Препринт 9, стр. 28-32. Изд-во СО АН СССР, Новосибирск, 1974.
4. Egorov A. I., Rahimov M. About the Problem of Synthesis of Optimum Control by Elastic Oscillations. Lecture Notes in Computer Science, v. 27, pp. 211-213, 1975;
5. Егоров А. И., Алиферов В. В. Об оптимальном управлении процессом теплопереноса в химическом реакторе. В сб. «Математические методы оптимального управления системами с распределенными параметрами», стр. 14-18. «Илим», Фрунзе, 1973.
6. Абдикеримов Т. Принцип максимума для дискретных систем с распределенными параметрами. Материалы I конференции молодых ученых АН КиргССР, стр. 21-23. «Илим», Фрунзе, 1970.
7. Абдикеримов Т., Евсеенко Т. П. Решение задачи оптимального управления процессом теплопроводности при наличии последействия. В сб. «Математические методы оптимизации систем с распределенными параметрами», стр. 28-33. «Илим», Фрунзе, 1975.
9. Керимбеков А. Приближенное решение одной оптимальной задачи для системы телеграфных указателей. В сб. «Приближенное решение задач оптимального управления системами с распределенными параметрами», стр. 49–52. «Илим», Фрунзе, 1976.
10. Плотников В. И. Об одной задаче оптимального управления стационарными системами с распределенными параметрами. Докл. АН СССР, № 2, стр. 115-117, 1970.
11. Леончук М. Н. О численном решении задач оптимальных процессов с распределенными параметрами. Ж. вычисл. матем. и матем. физ., т. 4, № 6, стр. 992-1001, 1964.
12. Сирзетдинов Т. К. Метод последовательного спуска для оптимизации систем с распределенными параметрами. Материалы I Поволжской конференции по автоматическому управлению. Кн. 1, стр. 59-63. Таткнигоиздат, Казань, 1971.
13. Афанасьев А. А. Оптимальный выдув инородной жидкости в пограничный слой. Тр. Казанского авиационного ин-та, вып. 147, стр. 19—22, 1972.
14. Аляксандров И. А., Гончаров В. И., Нгуен Ф. Д. Синтез регуляторов систем автоматического управления объектами с распределенными параметрами и оценивание погрешности решения, стр. 9, 2011
15. Пякилия Б.И., Жмудь В.А., Управление объектом с распределенными параметрами. Ж. Автоматика и программная инженерия, №3(13), стр.8, 2015
17. Бальмаков М.Д., Алгоритмический подход к проблеме управления структурой наносостояния вещества, Вестник Санкт-петербургского университета, сер.4, стр. 15
18. Вахрушев А.В., Андреев В.В., Моделирование процессов взаимодействия наночастиц с микротрещиной, Химическая физика и мезоскопия. том 12, №3, стр. 307.
19. Рыжков В.В., Зверев А.В., Родионов И.А., Численное моделирование процессов тепломассопереноса в микрофлюидном тепловом датчике потока, Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, № 5, стр. 70, 2017.

20. F. X. Alvarez and D. Jou, *J. Appl. Phys.* 103(9), 094321 (2008).
- A. J. H. McGaughey, E. S. Landry, D. P. Sellan, and C. H. Amon, *Appl. Phys. Lett.* 99(13), 131904 (2011).
22. D. Y. Tzou, *Int. J. Heat Mass Transfer* 54(1-3), 475 (2011).
23. F. X. Alvarez, D. Jou, and A. Sellitto, *J. Appl. Phys.* 105(1), 014317 (2009).
24. Jou, Lebon, And Criado-Sancho, *Physical Review E* 82, 031128 (2010).
25. F. X. Alvarez, D. Jou, and A. Sellitto, *J. Appl. Phys.* 105, 014317 (2009).

Л.И. Лапушкина

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

«Возможно перед нами сложная проблема,
и неизвестно, сколько времени отведено
на ее решение, однако от ее решения
может зависеть будущее человечества»

Ник Бостром

Что такое искусственный интеллект? Существует на этот счет две точки зрения. Первая заключается в том, что искусственный интеллект это суперкомпьютер способный выполнить функцию мозга всего человечества. Вторая-искусственный интеллект -это созданная искусственная ткань, по функции схожая с тканью человеческого мозга.

Размер клетки человека составляет около 10 квадратных микронов, а сам мозг от массы тела 2%, при этом он потребляет 20% энергии человека. Для создания мозга человека потребуется создание искусственной нервной ткани, а так как мозг живого существа представляет собой сеть клеток-нейронов, соединенных отростками аксонами через контакты-синапсы, которые служат для передачи нервного импульса между двумя клетками, а их в мозге около 90 миллиардов. Нейронов и около 10 в пятнадцатой степени синапсов между ними, то не трудно посчитать количество мемристоров, необходимых для памяти мозга. Разными учеными для их изготовления использовались разные материалы, причем очень дорогостоящие. Недавно учеными из Кореи были изготовлены пластины с использованием наноматериалов, что значительно сократило затраты. Если количество нейронов в мозге человека примерно равно 100 миллиардам, у каждого нейрона в среднем 7000 связей и 100 триллионов синапсов, то можно представить, насколько сложна эта задача. И тем не менее следует отметить тот факт, что компьютер может выполнять до 1000 триллионов операций в секунду. За одну единицу времени может выполняться только одну операцию. Мозг человека выполняет лишь 1000 операций в секунду, но он способен производить миллион операций одновременно. Для создания потребуется 4,5 миллиарда транзисторов с 256 эмалированных синапсов, сети нейронов должны быть собраны в кластеры, которые осуществляют контакт через нанотрубки. Такая упорядоченная искусственная нейросеть может послужить основой биосенсеров, нейрочипов, а в будущем -нейрокомпьютеров.

Литература:

1. И.В. Разумовская. Нанотехнология. М.: Дрофа, 2009.
2. Дж. П. Мюллер, Л. Массорон. Искусственный интеллект. С.-Петербург: Диалектика, 2019.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «СРЕДНЯЯ СТОЙКА АВТОМОБИЛЯ» СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ С ПОДОГРЕВОМ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЗАКАЛКОЙ В ШТАМПЕ

В.Н. Леонов

ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», Москва, Российская Федерация

127055, Вадковский переулок, За

e-mail: v.leonov@stankin.ru

Все более широкое распространение в современной автомобильной промышленности получают технологии листовой штамповки с подогревом. Это связано с интенсивным повышением требований к прочности структурных деталей кузова автомобиля. Зачастую обеспечить требуемые механические характеристики этих деталей методами традиционной листовой штамповки, без термической обработки не представляется возможным. Именно поэтому совмещенный специализированный процесс листовой штамповки и закалки в штампе является актуальной и перспективной технологией для конкурентоспособного производства автомобилей.

Данная технология (рис. 1) позволяет получить деталь той же формы, что и средствами обычной листовой штамповки, но при этом с более высокими механическими характеристиками (твердость, предел текучести и предел прочности) и более легкой по массе.

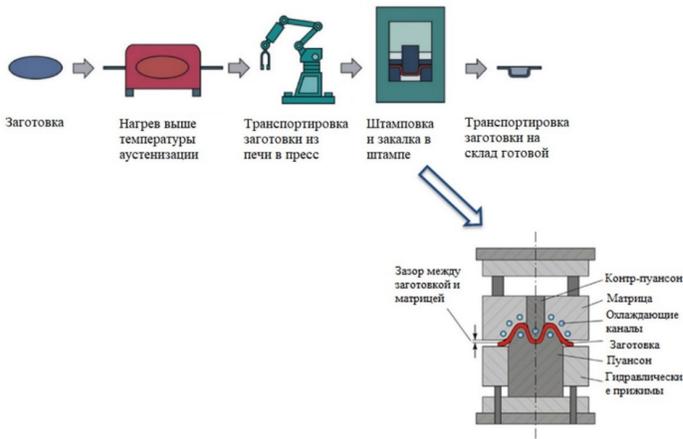


Рис. 1. Схема технологии производства детали «Средняя стойка автомобиля»

Изначально материал имеет ферритно-перлитную микроструктуру с пределом прочности на разрыв около 600 МПа, после вышеизложенного процесса сталь получает мартенситную структуру с общей прочностью 1500 МПа. Чтобы достичь такой трансформации микроструктуры и твердости заготовку необходимо нагревать выше

температуры аустенизации в нагревательном устройстве, затем заготовка отправляется в пресс и штампуется, сразу после штамповки деталь закаливается в штампе с помощью водяного охлаждения в течении 20 – 25 секунд. Закалка происходит из-за контакта между горячей заготовкой и охлажденным инструментом. Если скорость охлаждения превышает минимальную скорость охлаждения (приблизительно 27 °C/сек), то при температуре в районе 400°C будет проявляться бездиффузионное мартенситное превращение, которое, в конечном итоге, и является основной причиной для получения высокой прочности детали.

Стоит отметить, что необходимо очень внимательно подойти к вопросу выбора материала для изготовления. На основе большинства литературных источников и многочисленных результатов компьютерного моделирования, наибольшее распространение получили боросодержащие стали (например, 22MnB5) и более традиционная сталь 08кп. В результате сравнения термокинетической диаграммы 22MnB5 и более традиционной стали 08кп (рис. 2) видно, что боросодержащая сталь полностью переходит в мартенситную структуру, а сталь 08кп ни при каких скоростях охлаждения не сможет избежать выпадения феррита и бейнита, что негативно сказывается на механических свойствах.

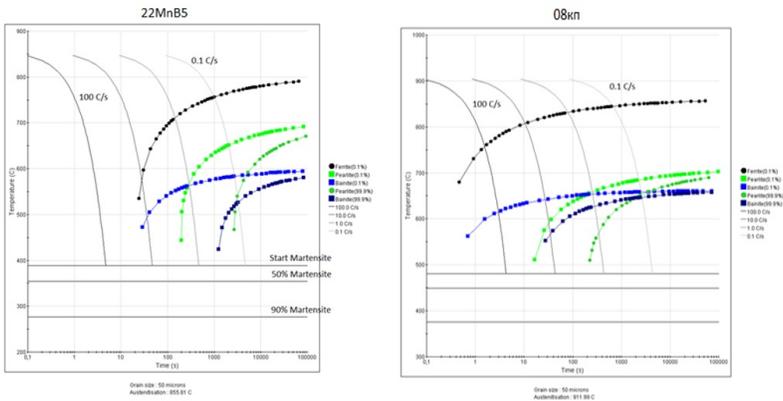


Рис. 2. Термо-кинетические диаграммы фазовых превращений

При проведении компьютерного эксперимента была рассчитана кривая деформационного упрочнения при высоких температурах по химическому составу стали 22MnB5 и импортирована в программный комплекс при моделировании специализированного процесса листовой штамповки.

Результаты, которые были получены показали (рис. 3), что получилось выйти почти на 100% мартенситную структуру по всему сечению детали, а следовательно, на твердость порядка 70 по Роквеллу.

Заключение. Можно сделать вывод, что использование вышеуказанной технологии позволяет повысить механические свойства детали путем закалки прямо в штампе, это подтверждено компьютерным моделированием процесса.

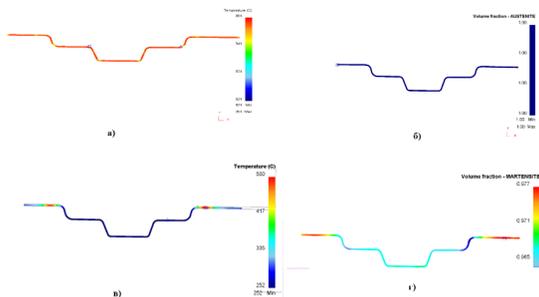


Рис. 3. Состояние материала после штамповки и закалки в штампе

Литература:

1. Н. Karbasian, А.Е. Tekkaya / Journal of Materials Processing Technology 210 (2010) 2103–2118
2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496с.: ил. – (Б-ка конструктора)
3. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов по специальности "Машины и технология обработки металлов давлением"/ А. Н. Банкетов [и др.]: под ред. А. Н. Банкетова, Е. Н. Ланского 2-е изд.

ВЛИЯНИЕ МОРФОГЕНЕЗА ПЕПТИДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ИХ СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

А.И. Лоскутов

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,

Москва, 127994 Российская Федерация

Синтез нанокompозитов из водорастворимых компонентов имеет много преимуществ. Однако при этом неизбежно возникает вопрос о сохранении функциональных свойств таких композитов при длительном хранении в условиях окружающей среды. Исследован синтез наночастиц Ag и Au в водных растворах гептапептида и процессы структурных превращений на разных стадиях кристаллизации. Исследовано также влияние различных факторов: температуры, влажности, природы подложки, ее смачивания на морфологию поверхности композитов, конформацию молекул пептидов, их вторичную структуру и электрические свойства. Аналогично полимерам были обнаружены две стадии кристаллизации. Повышение температуры не влияет на этот процесс. Несмотря на значительные изменения морфологии поверхности композитов, конформация молекул и электрические свойства не меняются. Повышение влажности ускоряет процессы их посткристаллизации, но не влияет на электрофизические свойства композитов.

Ключевые слова: пептиды, кристаллизация, морфогенез, композиты, наночастицы серебра и золота.

В 1990-х годах появилось новое направление исследований под названием «зеленая химия». Новые схемы химических реакций и процессов, разработанные в многочисленных лабораториях мира, призваны резко снизить вредное воздействие многотоннажных химических производств на окружающую среду. Основные принципы зеленой химии были впервые сформулированы в [1].

В последнее время стали появляться принципиально новые возможности для создания материалов с заданными функциональными свойствами. В первую очередь это связано с развитием нанотехнологий и появлением задачи молекулярного дизайна. Большое разнообразие органических молекул и возможность целенаправленного изменения их физических и электрических свойств позволяют использовать методы молекулярного дизайна для получения функциональных твердых слоев с заданными свойствами. Также можно настраивать свойства таких материалов, например, фотонную ширину запрещенной зоны, электронные и оптические свойства.

Молекулярная инженерия — это синтез молекул с заданными функциональными свойствами. Но функциональные свойства вещества чаще всего задаются на макроскопическом, а не на молекулярном уровне. Однако связь между строением молекул и надмолекулярной организацией обычно очень сложна и очень часто недостаточно изучена. Поэтому задача выяснения связи строения элемента с формами или свойствами макросистемы имеет большое научное и практическое значение. Не менее важны процессы самосборки и самоорганизации молекул и НЧ за счет образования межмолекулярных нековалентных связей [2].

Ранее биомететический подход применялся при синтезе дипептида (ДПТ), являющегося меметиком NGF [3]. Позднее на его основе был синтезирован композит с НЧ золота, который может быть использован не только в медицине и фармакологии, но и для создания новых твердотельных интеллектуальных материалов для органической микроэлектроники [3-5]. Эти исследования показали, что композиционные материалы ДПТ и покрытия с НЧ золота действительно обладают разнообразными структурными, электрическими и трибологическими свойствами, что делает их перспективными для масштабного практического применения в технике.

Изучение морфологии кристаллов в тонких полимерных пленках стало важной темой исследований в последние годы в связи с развитием нанотехнологий и необходимостью получения сверхтонких (порядка десятков нанометров) полимерных пленок. Об этом свидетельствует гораздо большее количество публикаций по сравнению с биоматериалами. Поскольку кристаллизация в замкнутом пространстве протекает медленнее, чем в объеме, она приводит к образованию двумерных плоских кристаллов вместо характерных объемных сферолитов (морфогенез). Разнообразие форм таких кристаллов определяется анизотропией роста различных кристаллических плоскостей, которая, в свою очередь, зависит от многих факторов (пересыщение, методы осаждения, смачивание поверхности и т. д.).

Связь между морфологией поверхности твердых слоев и их электрическими свойствами в органической электронике имеет принципиальное значение, особенно с учетом процессов самосборки и самоорганизации молекул и НЧ, а также создания квантовых точек на основе НЧ. Пока нет достоверных данных о наличии или отсутствии такой связи. Поскольку все наши реагенты и продукты синтеза водорастворимы, что является их несомненным преимуществом, то вопрос об устойчивости твердых слоев на их основе и сохранении их свойств в условиях окружающей среды весьма актуален с практической точки зрения. Но основная цель данной работы – установить наличие или отсутствие прямой зависимости между изменением морфологии поверхности нанокомпозитов РТ и их электрофизическими свойствами. В настоящее время имеющиеся в литературе очень немногочисленные и крайне противоречивые сведения не позволяют достоверно судить об этом.

Для исследований был взят амилонидный олигопептид. Его химическая формула: Asp - Glu - Val - Asp - Trp - Phe - Asp, молекулярная масса 924, рН 0,1% водного раствора 5,0. Изображения поверхности композиционных покрытий получали с помощью универсального высоковакуумного атомно-силового микроскопа (АСМ) и сканирующего туннельного микроскопа (СТМ-СТС) «Солвер ХВ-МФМ» (НТ-МДТ, Россия) и лазерного интерференционного микроскопа МИМ. -321 («Амфора», Россия) с разрешением по высоте ~0,1 нм в НИЦ МГТУ «СТАНКИН». Все измерения проводили при комнатной температуре на воздухе или в вакууме 10–5 Па. ИК-спектры регистрировали в режиме пропускания на спектрометре Nicolet 6700 с разрешением 2 см–1. НЧ золота синтезировали в водном растворе РТ, карбоната калия (K₂CO₃) и NaAuCl₃·3H₂O при температуре 95 0С. НЧ серебра также были синтезированы в водном растворе РТ, (K₂CO₃), NaNO₃ и таннина при температуре 95 0С. Детали синтеза представлены в [7,8]. Размеры синтезированных НЧ золота определены методом динамического рассеяния света (ДРС) на приборе Zetasizer Nano ZS (Malvern, Великобритания). Размеры НЧ золота и серебра составляли 40 нм и 56 нм соответственно. Синтезированные нанодисперсии наносились при комнатной температуре на поверхности поликристаллических пленок золота и алюминия, стекла, кремния, слюды и полированной нержавеющей стали.

На рис.1 представлены ИК-спектры исходного ПТ (спектр 1 на рис. 1) и дисперсий НЧ золота (спектр 3). Известно, что ионизация α-амино и α-карбоксильной группы (как

в концевых, так и в боковых цепях ПТ) и, соответственно, реализация поворотных изомеров в различных конформациях цепи ПТ зависит от pH [3]. Также известно, что при высоких значениях pH и температуры ФТ склонны к гидролизу. Поэтому дополнительно был измерен ИК-спектр слоя РТ, полученного из его раствора (спектр 2 на рис. 1), содержащего K_2CO_3 (pH 8,75) и подвергнутого такой же термообработке (95 $^{\circ}C$), что и образец 3, на той же фигура. ИК-спектр композиции РТ с НЧ серебра также представлен на рис. 1 (спектр 4). Анализ спектра 1 показывает, что исходный ФП имеет дипольную цвиттер-ионную структуру. Наличие групп ПТ и ионизированных α -амино- и α -карбоксильной групп в молекуле ПТ создает условия для формирования кристаллической упаковки. Восстановление ионов серебра при ФТ сопровождается небольшой деградацией основной цепи ФТ. Однако основное отличие спектров исследованных образцов от исходного ФП состоит в следующем. Практически все ФТ, кроме циклических, существуют в виде транс-изомеров, и изученный ФТ не является исключением. Восстановление ионов серебра и стабилизация образующихся НЧ сопровождаются не только разрывом РТ-связей в молекулах, но и реализацией другой изомерной формы (цис-конфигурации), которая, как уже упоминалось выше, характерна для циклических ПЦ. Формирование нанокompозитов сопровождается структурными перестройками молекул ПТ и изменением вторичной структуры твердых слоев. При этом водородные связи играют существенную роль и свидетельствуют о наличии системы очень прочных водородных связей. Именно эти связи трансформируют конформацию молекул ФТ и, соответственно, влияют на все последующие уровни организации системы. При образовании водородных связей между карбоксильными группами и поверхностью НЧ заряд этих групп заметно уменьшается. Различия вторичной структуры ФП с НЧ золота и серебра не очень значительны и обусловлены в основном разной степенью их упорядоченности.

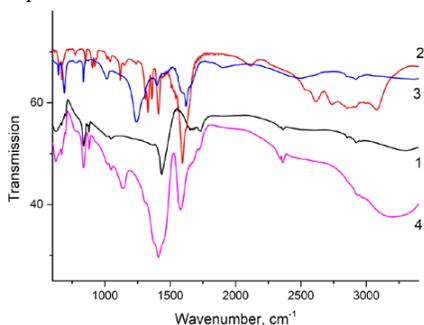


Рис. 1. ИК спектры пептида и композитов с НЧ золота (а): 1 – исходный пептид (pH 5,0), 2 – термообработанный пептид с карбонатом калия (pH 8,75), 3 – пептидный композит с НЧ золота, 4 - пептидный композит с НЧ серебра

На рис. 2 представлены результаты измерений локальных туннельных вольт-амперных характеристик (ЛТВАХ). Все ВАХ имеют нелинейную форму, а наибольшая ширина запрещенной зоны соответствует самому ФП. ВАХ композитных слоев с НЧ серебра и золота имеют практически одинаковую форму и ширину запрещенной зоны. Таким образом, ФП и его нанокompозиты являются органическими полупроводниками. Ранее было установлено, что прямой зависимости между формой ВАХ и морфологией поверхности в тонких слоях ДПТ обнаружить не удалось [4,5]. Нам также не удалось

обнаружить такой зависимости при изучении этого ПТ, имеющего более сложную химическую структуру.

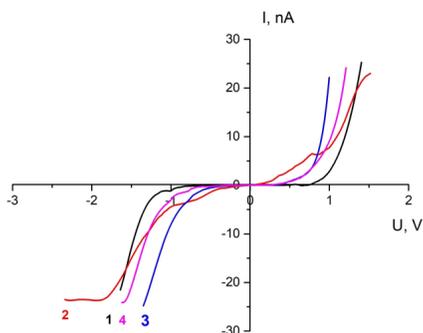


Рис. 2. ЛТВАХ твердых слоев, сформированных из раствора пептида. 1 – исходный пептид, 2 – термообработанный пептид с карбонатом калия (рН 8,75), 3 – пептидный композит с НЧ золота, 4 – пептидный композит с НЧ серебра

Для установления механизма структурных переходов в тонких слоях ФП и РТ нанокompозитов, мы исследовали влияние температуры и влажности на эти процессы (рис. 3,4). Синтез НЧ серебра и золота в растворах происходит с участием нескольких реагентов; поэтому при рассмотрении процессов кристаллизации ПТ-композитов необходимо учитывать особенности кристаллизации многокомпонентных растворов [5].

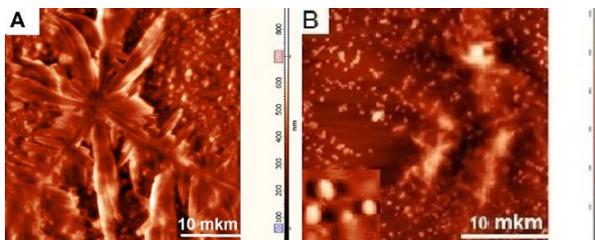


Рис. 3. АСМ-изображения слоев пептидного композита с НЧ золота на поверхности стекла: свежесажденные (А) и после экспозиции при (ОВ (30-40%), (23°C) в течение 1 месяца (В).

На первой быстрой стадии, протекающей в существенно неравновесных условиях, формируются метастабильные фрактальные структуры. Затем во влажной атмосфере начинается более длительный процесс образования более устойчивых структур с разрушением первоначально образовавшихся фрактальных структур. Повышение температуры до 100 °C и выше негативно влияет на этот процесс в отличие от полимеров.

Первая стадия кристаллизации пептидных композитов хорошо описывается механизмом диффузионно-контролируемой агрегации, а вторая хорошо описывается механизмом плотного разветвления и протекает только в присутствии адсорбированной влаги на поверхности. Несмотря на значительные изменения морфологии поверхности пептидных слоев и композитов, конформация молекул и вторичная структура, а также

электрические свойства не меняются. Наличие НЧ в пептидной матрице фиксирует линию контакта и существенно изменяет морфологию слоев композита. Повышение влажности ускоряет процессы их посткристаллизации, что влияет только на сам пептид. В то же время на втором этапе посткристаллизации состав стабилизирующей оболочки вокруг НЧ серебра и золота (корона) и их расположение на поверхности не меняются. Это позволяет использовать данные нанокompозиты в качестве функциональных материалов для органической электроники.

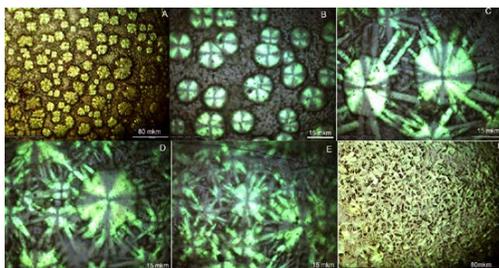


Рис. 4. Оптические изображения композитных слоев, полученных из дисперсии наночастиц серебра (а) и золота (б): а, б - свежеприготовленные, в, г, д, е - последовательные стадии морфогенеза при месячной экспозиции при условия окружающей среды (относительная влажность 40%)

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства высшего образования и науки Российской Федерации НФФС-07-07-2020-0025.

Литература

1. Anastas P and Warner J (1998) *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press. New York, ISBN: 9780198506980
2. Grzybowski, B.A. Charged nanoparticles crystallizing and controlling crystallization: from coatings to nanoparticle surfactants to chemical amplifiers. *Cryst Eng Comm*. 2014, 16, 9368-9380
3. Loskutov A, Guskova O, Grigor'ev S, Oshurko Vet al (2016) Influence of the synthesis conditions of gold nanoparticles on the structure and architectonics of dipeptide composites. *J Nanopart Res*, v.18, pp.238-254, DOI 10.1007/s11051-016-3548-1.
4. Loskutov A, Lokshin B, Gudasheva T et al (2018) Role of the interfaces and the charge of a molecule in the non-equilibrium crystallization of dipeptide nanomaterials onto solid substrates. *Cryst Eng Comm*, v.20, pp.7688-7699, DOI: 10.1039/c8ce01468j
5. Loskutov A, Lokshin B, Sazonova N et al (2021) Features of the crystallization of multicomponent solutions: a dipeptide, its salt and potassium carbonate. *CrystEngComm*, v.23, pp. 6427-6441, DOI: 10.1039/d1ce00491c.
6. Loskutov, A.I. Bio-Memristor Based on Peptide and Peptide Composite with Gold Nanoparticles. *EPJ Web of Conferences, (MNPS-2019 2019)*.v. 224, 03003, pp.1-8
7. A.I. Loskutov, O. Ya. Uryupina, S. N. Grigor'ev, V. B. Oshurko, and V. I. Roldughin, ISSN 1061_933X, *Colloid Journal*, 2013, Vol. 75, No. 3, pp. 332–342
8. A.I. Loskutov, O. Ya. Uryupina, S. N. Grigor'ev et al 2015, *Protection of metals and physical chemistry of surfaces*, v. 51 (4), pp. 411–419, DOI: 10.7868/S0044185615040221

ТОЧНОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНХРОНИЗАЦИИ РЕЛАКСАЦИОННЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ. РАБОТЫ АКАД. В.И. АРНОЛЬДА ПО СИНХРОНИЗАЦИИ

М.Е. Мазуров

Некоторые приложения синхронизации

Типичные релаксационные колебания: а) сверху вниз колебания генератора с опрокидыванием, генератора Ван-дер-Поля, генератора импульсов в цифровой радиоэлектронике; б) сверху слева – потенциал действия нейрона, справа – пачка нейронных импульсов – берст, снизу – искусственные нейронные сети, сети прямого распространения и сети с обратной связью; в) электрические потенциалы различных частей сердца – релаксационные колебания

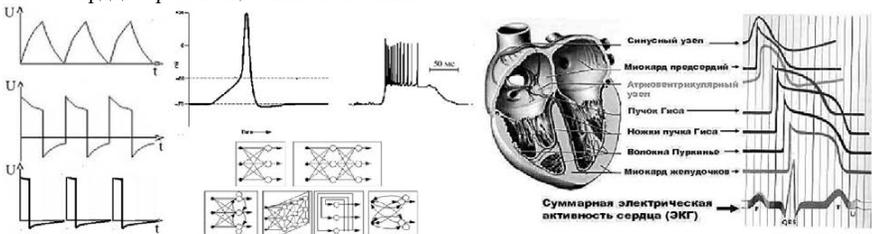


Рис.1. Типичные релаксационные колебания.

Синхронизация релаксационных автоколебаний используется в компьютерах, телевизорах и другой современной электронной технике.

Различные виды синхронизации

Рассмотрены различные виды синхронизации. Для исследования синхронизации гармонических систем с решениями близкими к синусоидальным используются системы нелинейных дифференциальных уравнений в виде [1]

$$\frac{dx}{dt} = f(x) + \varepsilon \varphi(x, a(t)),$$

где $x = (x_1, \dots, x_n)$; $f = (f_1, \dots, f_n)$; $\varphi = (\varphi_1, \dots, \varphi_n)$; $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)$ - малый параметр; $a(t) = (a_1, \dots, a_n)$ - внешний синхронизирующий сигнал. Аналитических методов исследования этих уравнений не существует. Для исследования синхронизации релаксационных автоколебаний используются нелинейные дифференциальные уравнения с малым параметром при производных [2]

$$\begin{cases} \varepsilon \frac{dx}{dt} = f(x, y, \beta_1(t)) \\ \frac{dy}{dt} = g(x, y, \beta_2(t)) \end{cases},$$

где $x = (x_1, \dots, x_k)$, $y = (y_1, \dots, y_l)$, $f = (f_1, \dots, f_k)$, $g = (g_1, \dots, g_l)$, $\beta_1(t), \beta_2(t)$ - синхронизирующее воздействие. Фазовое пространство R^n ($n = k + l$) системы (1) естественно распадается в прямую сумму k -мерного подпространства X^k и l -мерного подпространства Y^l . Для фазовой картины уравнения характерно наличие "быстрых" и

"медленных" движений. Если в результате чередования медленных и быстрых движений возникнет замкнутая траектория, тогда соответствующее ей периодическое решение уравнения представляет релаксационное колебание. Частным случаем легендарное нелинейное уравнение, которое Ван дер Пооль получил более полувека раньше и так и не решенное.

$$\frac{d^2x}{dt^2} - \mu(1-x^2)\frac{dx}{dt} + x = 0,$$

Математические модели процессов в автоволновых системах

Автоволновые процессы в распределенной среде описываются системами нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа

$$\frac{\partial E_i}{\partial t} = F_i(E_1, \dots, E_n) + D_i \Delta E_i \quad (i = 1, \dots, n),$$

где E_i - переменные, F_i - нелинейные функции, D_i - коэффициенты диффузии,

$$\Delta E_i = \frac{\partial^2 E_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial z^2}.$$

Уравнению соответствует точечная система обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{\partial E_i}{\partial t} = F_i(E_1, \dots, E_n) \quad (i = 1, \dots, n)$$

В ряде исследований используется система из двух уравнений

$$\frac{\partial E_1}{\partial t} = F_1(E_1, E_2) + D_1 \Delta E_1, \quad \frac{\partial E_2}{\partial t} = F_2(E_1, E_2) + D_2 \Delta E_2.$$

Уравнения Фитцхью – Нагумо

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C \varepsilon^{-1} \left(u - \frac{u^3}{3} - v \right) + \Delta u, \quad \frac{\partial v}{\partial t} = \varepsilon (u + \beta - \gamma v),$$

с параметрами $\varepsilon = 0.03$, $\beta = 0.7$, $\gamma = 0.8$.

Теория нелинейных колебаний развивалась в серии работ Российских и зарубежных ученых, работавших в этой области, далеко не все показаны на рис. 2.



Рис. 2. Российские и зарубежные ученые, работавшие в области нелинейных колебаний

Новый метод исследования релаксационных автоколебаний и их синхронизация

В 1946 г. Н Винером и А. Розенблютом предложена простая математическая модель нелинейной системы, когда «быстрое» колебание синхронизировалось прямоугольным импульсом, а возбудимость «медленных» колебаний аппроксимировалась постоянным порогом.

Эта модель была усовершенствована путем более точной аппроксимации «быстрого» и «медленного» колебания либо алгебраическими или линейными дифференциальными уравнениями. Различие частот синхронизируемого и синхронизирующего колебаний учитывалось применением неравенства Кронекера, используемого при исследовании почти-периодических функций [4].

Модифицированная аксиоматическая модель синхронизированной релаксационной системы с учетом свойств равномерных почти-периодических функций [5-11] задается в виде

$$f(t) = \begin{cases} f_1(t) & 0 \leq t \leq t_1 \\ f_2(t) & t_1 < t \leq T \end{cases}; \quad f_c(t) = \begin{cases} \infty & 0 \leq t \leq t_1 \\ f_3(t) & t_1 < t \leq T \end{cases}; \quad (1)$$

$$f(R) + U_c \geq f_o(R); \quad R = t - \text{mod}(t, T_c); \quad (2)$$

$$-\varepsilon < (mT_c - nT) < 0; \quad \varepsilon = f_o^{-1}(U_c), \quad (3)$$

где: $f(t)$ — функция, характеризующая форму релаксационного автоколебания; $f_1(t)$, $f_2(t)$ — функции в интервале «быстрого» и «медленного» изменения релаксационного автоколебания; $f_o(t)$ — динамический порог возбуждения; $f_3(t)$ — функция, характеризующая динамический порог возбуждения для «медленной» фазы; R — функция остаток от деления t на T_c ; $R = t - \text{mod}(t, T_c)$ — функция частное от деления t на T_c ; (3) — неравенство Кронекера, T_c , T — периоды синхронизирующего сигнала и релаксационного осциллятора, $\varepsilon = f_o^{-1}(U_c)$; U_c — амплитуда переднего фронта импульса возбуждения.

Уравнения (1-3) позволили получить точные аналитические решения нелинейной задачи синхронизации релаксационных колебаний, показаны на рис.3

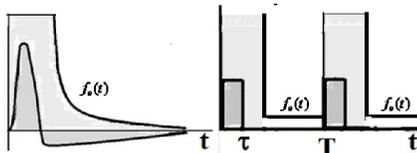


Рис. 3. Форма колебаний в аксиоматической модели Н. Винера и А. Розенблота - справа и в предлагаемой математической модели – слева [3].

На рис.3 показаны типы синхронизации m/n (отношение частот синхронизирующего сигнала к синхронизируемому) $1/1$ – синхронизация на основной частоте, $2/1$ – деление частоты, $3/1$ – синхронизация на кратных частотах. Полученная система позволяет адекватно описать ряд физических свойств процесса синхронизации релаксационных автоколебаний, а именно: 1) получить амплитудно-периодные характеристики во всем диапазоне частот для всех видов синхронизации типа m/n ; 2) впервые получить адекватную зависимость частоты релаксационных колебаний от

амплитуды входного воздействия; 3) реализовать возможность аппроксимации суммой синхронизирующих воздействий и другие.

Успешность предлагаемого метода определяется априорной аксиоматической аппроксимацией (построение математической модели) «быстрых» колебаний исходного уравнения и последующего исследования решения во время «медленной» фазы релаксационного колебания. При этом можно аппроксимировать медленную фазу алгебраически или с помощью линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.

Неравенства Кронекера (3) позволяет построить базовые амплитудно-периодные характеристики синхронизации в широком диапазоне изменения периода синхронизирующих колебаний. Амплитудно-периодные характеристики были исследованы в работах проф. М.Е. Мазурова в 1989 году [6,7]. Эти характеристики показаны на рис.4.

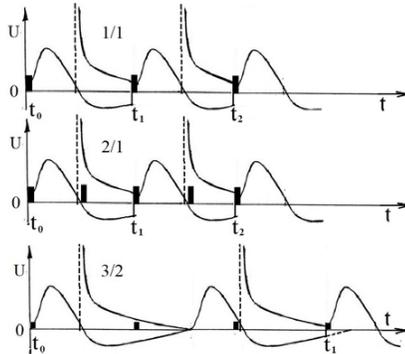


Рис.4. Точные аналитические решения нелинейной задачи синхронизации релаксационных колебаний, показаны типы синхронизации m/n .

Исследования акад. В. И. Арнольда

Это преобразование вида

$$x_{n+1} = x_n + \mu + \varepsilon \sin x_n$$

было предложено В. И. Арнольду академиком И.М. Гельфандом. Геометрическая иллюстрация преобразования Арнольда, называемая отображение окружности, принесшая ему всемирную известность и называемая языками Арнольда, показана на рис. 5.

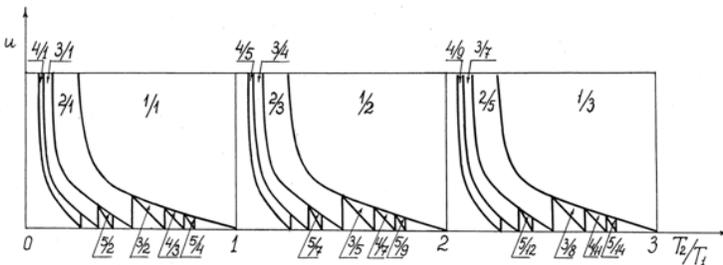


Рис.5. Базовые амплитудно-периодные характеристики синхронизации релаксационных автоколебаний

Амплитудно-периодные характеристики были исследованы в работах акад. В. И. Арнольда в 1991 году [12,13]. Эти характеристики показаны на рис.6.

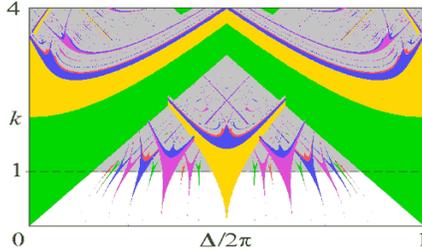


Рис. 6. Геометрическая иллюстрация отображения окружности Арнольда

Амплитудно-периодные характеристики, полученные с помощью уравнений (1-3) на основе аксиоматической модели, более точно отражают базовые свойства синхронизации релаксационных колебаний, поскольку реально учитывают форму динамического порога возбуждения и используют неравенства Кронекера, отражающие свойства синхронизации релаксационных колебаний в широком диапазоне изменения частоты синхронизирующих колебаний.

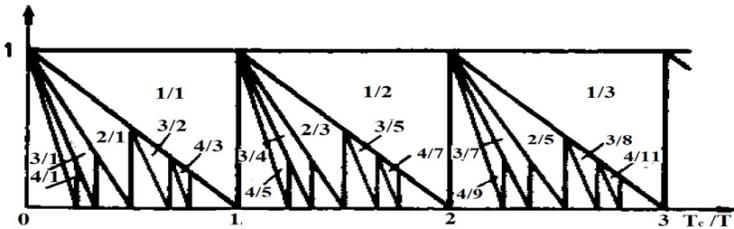


Рис.7. Амплитудно-периодные характеристики, получены в работах акад. В. И. Арнольда в 1991 году [12,13] как следствие свойств синус преобразований.

Литература:

1. Пиковский А., Розенблом М., Куртс Ю. Синхронизация, фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера, 2003. 508 с.
2. Мищенко У.Ф., Розов Н.Х. Дифференциальные уравнения с малым параметром и релаксационные колебания. М.: Наука. 1975. 247 с.
3. Wiener N., Rosenblueth A. The mathematical formulation of the problem of conduction of impulses in a network of connected excitable elements, specifically in cardiac muscle // Arch. Inst. Cardiologia de Mexico. 1946. V. 16, № 3-4. P. 205-265
4. Левитан Б. М. Почти-периодические функции // ГИТТЛ. 1953. 396 с.
5. Мазуров М. Е. Нелинейная синхронизация и ритмогенез в электровозбудимых системах сердца. Диссертация на соискание ученой степени д.ф.-м.н. Пущино. 2007. 273 с.
6. Мазуров М. Е. Геометрический метод исследования решения диофантовых неравенств в задачах о синхронизации релаксационных колебаний // ИВУЗ. сер. Математика. 1989. №7. С.13-20.

7. Мазуров М. Е. Решение диофантовых неравенств в задачах о синхронизации релаксационных колебаний //ЖВМ и МФ АН СССР. 1991. Т.31. №11.С. 1619-1636.
8. Мазуров М. Е. Новые периодические решения неавтономных систем нелинейных дифференциальных уравнений с малым параметром перед производными и их устойчивость, Доклады Академии наук. 2012. Т. 442. № 1. С. 33.
9. Мазуров М. Е. Синхронизация релаксационных автоколебательных систем, синхронизация в нейронных сетях. Изв. РАН Серия физическая 2018 т.82 № 1 с. 83-87.
10. Мазуров М.Е. Явление существования множества видов синхронизации в релаксационных автоколебательных системах при импульсной синхронизации с неизменным отношением частот синхронизирующего и синхронизируемого сигналов//. Диплом № 414 от 25.04.2011 г. Приоритет от 16.04.2007.
- 11.Мазуров М. Е. Новые периодические решения неавтономных систем нелинейных дифференциальных уравнений с малым параметром перед производными и их устойчивость. // Минск Дифференциальные уравнения. 2011. Т. 47. №8
12. Арнольд В.И. Малые знаменатели. //Изв. Акад. Наук. Сер. Мат. 1961. Т. 25. №1. С. 21-86. Arnold VI. Cardiac arrhythmias and circle mappings // Chaos. 1991. Vol. 1, № 1.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ ПЕРЕГРЕТЫХ ЖИДКОСТЕЙ ИЗ ПОЛОСТЕЙ

В.Л.Малышев

«Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий»

Могилёв, Беларусь

212027, пр.Шмидта, 3

Тел.: (8-0222) 64-90-11, e-mail: mail @ bgut.by

1 Термометрическая модель

В пористых материалах одной из распространённых периодических структур является система полостей (каверн) связанных между собой микро- или макрокапиллярами. Период такой системы в [1] моделируется прямым цилиндрическим капилляром, переходящим в заполненный жидкостью сферический объём.

Полая сфера, из которой осуществляется испарение через тонкий капилляр, представляет собой конфузорную систему [2,3] термометрического типа.

2 Бинарная термометрическая модель

Испарение жидкости из сферического объёма через смежные соосные цилиндрические капилляры рассматривается в качестве базовой модели. Характерной особенностью данной модели является встречное движение менисков в каналах через общую полость. Каждый из капилляров с полостью образуют элемент термометрической формы [1].

Ввиду симметрии модели движение межфазной границы в каждом из капилляров полагается независимым друг от друга, а затем синхронизируется по характерным точкам системы. Учитывая одинаковое время прохождения отрезков с разных сторон, верхним пределом при интегрировании в обоих капиллярах должна стать координата, являющаяся максимальной для каждого из них.

3 Модель испарения жидкости из сферического объёма через одноуровневые противолежащие капилляры в поле сил тяжести

Данная модель массопереноса отличается от базовой учётом влияния силы тяжести. Физический смысл модели состоит в учёте стекания жидкости в нижнюю часть объёма после завершения осушения капилляров. Освобождающееся пространство в верхней части объёма заполняется молекулами воздуха, всегда имеющегося в растворенном виде в жидкости, а также молекулами самой испаряющейся жидкости до состояния насыщенного пара. Таким образом, образуется пузырь с паровоздушной смесью, называемый в дальнейшем для краткости газовым [4].

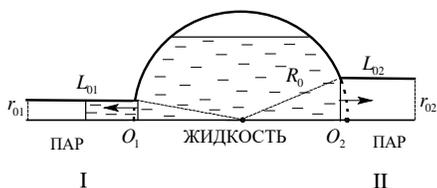


Рис. 1 – Схема возникновения газового пузыря в полости при испарении жидкости в поле сил тяжести через бинарную систему горизонтальных соосных капилляров

4 Испарение перегретой жидкости из сферической полости через разноуровневые капилляры

Разработанная модель является наиболее общей из предложенных и рассматривает процесс интенсивного испарения жидкости из сферы через бинарную систему капилляров, расположенных во взаимоперпендикулярных направлениях.

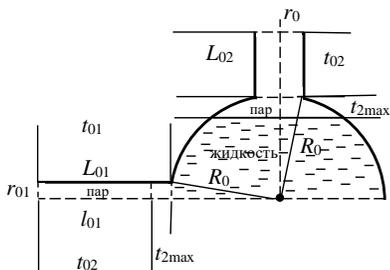


Рис. 2 – Состояние системы после завершения осушения I капилляра

Основываясь на теории, разработанной согласно приведённой модели, были проведены численные оценки времени испарения воды из полости радиуса R_0 в воздушную среду.

Вязкость паровоздушной газовой смеси определялась путём усреднения по парциальным давлениям компонентов [5,6].

Таблица 1 – Линейные характеристики модели

| $R_0, \text{м}$ | $r_{01}, \text{м}$ | $r_{02}, \text{м}$ | $L_{01}, \text{м}$ | $L_{02}, \text{м}$ |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $5 \cdot 10^{-3}$ | $2 \cdot 10^{-6}$ | $5 \cdot 10^{-6}$ | $5 \cdot 10^{-3}$ | $2 \cdot 10^{-3}$ |
| | | | | |

Таблица 2 - Зависимость времени испарения (сут)
от температуры для различных R_0

| T, K | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,002 |
|--------|----------|---------|---------|----------|
| 388 | 235,1194 | 106,553 | 39,1631 | 9,90927 |
| 393 | 140,2882 | 63,5767 | 23,3674 | 5,912542 |
| 398 | 99,95037 | 45,2961 | 16,6484 | 4,212477 |
| 403 | 69,78262 | 31,6245 | 11,6235 | 2,941037 |
| 408 | 51,48306 | 23,314 | 8,57537 | 2,169789 |
| 413 | 35,47098 | 16,075 | 5,90829 | 1,494949 |

Проведён сравнительный анализ времени испарения на различных этапах процесса, позволяющий установить вклад каждого из них в общую продолжительность осушения полости.

В частности, согласно полученным расчётным данным для исследованной геометрической модели интенсификация массопереноса путём нагревания для полостей $R_0 \geq 0,004$ м малоэффективна.

References:

1. Малышев В.Л. // Весці НАНБ. Серыя фізіка-тэхнічных навук. № 3. 2014, с.73 – 42.
2. Малышев В.Л. // Вестник Белорусско-Российского университета. №3. 2008, с.127-134.
3. Малышев В.Л. // Весці НАНБ. Серыя фізіка-тэхнічных навук. № 1. 2010, с.71 – 76.
4. Малышев В.Л. // Веснік Магілеўскага дзяржаўнага ўніверсітэта ім. А.А. Куляшова. Серыя В, прыродазнаўчыя навукі: Матэматыка. Фізіка. Біялогія. №2(52). 2018, с.70-78.
5. Гамаюнов Н.И., Малышев В.Л., Фельдблом А.С. // ИФЖ. Т. 44. № 2. 1983, с. 231 - 235.
6. Малышев В.Л., Гамаюнов Н.И. // ТВТ. Т. 22. № 1. 1984, с. 184 -186.

МНОГОУРОВНЕВЫЙ АНАЛИЗ В ХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

Мохаммад Р.

МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия
127055, Вадковский пер., 3а

E-mail: rasha.ossama.mohammad@gmail.com

Аннотация

Современное математическое моделирование проводится на различных масштабах пространства и времени (включая микро-, мезо- и макромасштабы), которые могут быть связаны и интегрированы, чтобы улучшить понимание и прогнозирование сложных явлений физической химии, таким образом создавая глобальный или многомасштабный анализ. Многомасштабное моделирование становится некоторой альтернативой континуальному представлению таких явлений. Это адекватное представление может помочь в разработке и оптимизации химических, физических и других процессов. Здесь мы представляем краткий обзор по методам многомасштабного моделирования.

Ключевые слова Молекулярное моделирование, многомасштабное моделирование, квантовая механика

Введение

Ввиду сложности и усложнения во времени окружающего мира в настоящее время в настоящее время стал все более активно применяться многомасштабный анализ. При этом размерные и временные масштабы связаны с различными подходами моделирования динамики и взаимодействия тел, которые необходимо учитывать при разработке систематических методик проектирования и оптимальной эксплуатации химических и других производств. Традиционно технологический процесс использует свой инструментарий в макромире. Однако такие потребности, как новые характеристики продуктов и экологические ограничения, побудили инженеров-химиков рассматривать процессы и явления на микро- и наноровнях, то есть в различных масштабах и включать молекулярные модели в уравнения для их описания. Изучение взаимосвязи между масштабами и включение молекулярных моделей может предоставить химической отрасли и другим отраслям новые «инструменты» для разработки и эффективного управления процессами таким образом, чтобы они могли оказаться успешными в сегодняшней конкурентной коммерции. В настоящей статье сделан обзор по современным методам моделирования с применением многомасштабного анализа.

Молекулярное моделирование

Молекулярное моделирование можно определить как развитие и применение физических и химических теорий для описания явления, модель которого, решаемая исключительно с помощью компьютера, предсказывает поведение явления. Это определение включает в себя два основных вопроса молекулярного моделирования: теории и компьютерные расчеты. Разработка этих вопросов повышает качество прогнозов явления [1]. Стоит отметить, что развитие вычислительных методов произвело революцию в молекулярном моделировании до такой степени, что большинство расчетов невозможно было выполнить без использования компьютера.

Квантово-механическое описание молекулярных систем

Квантовая механика КМ, явно представляет электроны в расчетах, что позволяет получить свойства, которые зависят от электронного распределения (например, химических реакций). Постулаты и теоремы КМ утверждают, что микроскопические системы описываются волновыми функциями, полностью характеризующими все свойства системы [2]. В частности, существуют операторы КМ, соответствующие каждой физической наблюдаемой, которые при применении к волновой функции позволяют предсказать вероятность того, что система покажет определенное значение или диапазон значений для этой наблюдаемой. Типичная форма оператора Гамильтона учитывает пять вкладов в полную энергию системы: кинетическую энергию α -ядер и i -электронов, притяжение электронов к ядрам с атомным номером Z , межъядерное и межэлектронное отталкивания

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2} \sum_{\alpha} \frac{\nabla_{\alpha}^2}{m_{\alpha}} - \frac{\hbar^2}{2} \sum_i \nabla_i^2 - \sum_{\alpha} \sum_i \frac{Z_{\alpha} e^2}{r_{i\alpha}} + \sum_{\alpha} \sum_{\beta > \alpha} \frac{Z_{\alpha} Z_{\beta} e^2}{r_{\alpha\beta}} + \sum_i \sum_{i > j} \frac{e^2}{r_{ij}} \quad (1)$$

Тогда уравнение Шрёдингера в стационарном приближении можно записать операторным способом согласно формуле: $\hat{H}\psi_n(\mathbf{r}) = E_n\psi_n(\mathbf{r})$.

Здесь ψ_n представляет собой волновую функцию, которая зависит как от пространственных координат \mathbf{r} , так и от состояния n системы, E_n соответствует энергии системы в n -состоянии. Точное решение уравнения Шрёдингера является очень сложной задачей, в основном из-за двух последних членов отталкивания, в знаменатель которых входят независимые переменные. Член межъядерного отталкивания может быть обработан с использованием приближения Борна-Оппенгеймера (статические ядра), что позволяет раздельно рассматривать ядра и электроны [3]. В соответствии с этим электронный гамильтониан H_e для системы может быть получен путем сокращения первого и четвертого членов в уравнении 1.

Молекулярная механика

Метод ММ был разработан и применен к органическим и металлоорганическим соединениям, а также к координационным соединениям переходных металлов. ММ позволяет получить энергию системы, которая может быть найдена при различном взаимодействии точечных частиц (атомов), в том числе, в гетерогенных средах [4]. В модели предполагается, что эти частицы соединены пружинами, что позволяет наглядно представить взаимодействие молекул. Следовательно, вклады в потенциальную энергию связанных атомов получаются за счет вкладов растяжения связи, изгиба под углом и кручения. Тогда энергия системы может быть выражена как

$$v = \sum_{bonds} \frac{k_i}{2} (l_i - l_{i,0})^2 + \sum_{bonds} \frac{k_{\theta}}{2} (\theta_i - \theta_{i,0})^2 + \sum_{bonds} C_n \cos(\omega) + \sum_i \sum_{i=i+1} \left(4\pi\epsilon_{ij} \left[\left(\frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}} \right)^6 \right] \right) + \sum_i \sum_{i=i+1} \left(\frac{q_i q_j}{4\epsilon_0 r_{ij}} \right) \quad (2)$$

Здесь k_i соответствует постоянной силы, $l_{i,0}$ и $\theta_{i,0}$ являются равновесными значениями для связей и углов соответственно. ω — угол закручивания. Набор членов для каждого из

вкладов энергии и значений параметров в уравнение потенциальной энергии называется силовым полем (FF). Относительно простое выражение для энергии позволяет рассматривать системы из тысяч атомов. Сложный FF может иметь дополнительные члены, но неизменно содержит компоненты уравнения (2). Силовые поля классифицируют атомы в соответствии с их гибридизацией и с другими атомами, с которыми они связаны. Общая процедура получения значений параметров в силовом поле состоит в том, чтобы взять обучающий набор молекул с данными, полученными либо из экспериментов, либо из теоретических расчетов *ab initio*. Переносимость является ключевым свойством FF, поскольку она позволяет применять набор параметров, разработанных и протестированных при относительно небольшом числе случаев, к гораздо более широкому кругу задач [5]. Методы ММ доказали свою эффективность при работе с такими системами, как полипептиды или белки с большим числом атомов и стабильными конформациями как в моделировании Монте-Карло, так и в молекулярно-динамическом моделировании. В некоторых случаях FF может дать ответы, столь же точные, как и квантовые вычисления самого высокого уровня, за долю компьютерного времени. Однако, ММ не подходит для изучения реакций разрыва и образования связи.

Методы молекулярного моделирования

Молекулярное моделирование обычно состоит в компьютерной реализации системы, в которой фактические молекулярные конфигурации используются для извлечения структурной, термодинамической и динамической информации [6]. Термин «конфигурация» обозначает набор декартовых координат (и импульс в случае динамического моделирования) для всех атомов или молекул, составляющих систему. Свойства, которые могут быть получены в результате молекулярного моделирования, включают: термодинамические свойства (такие как уравнения состояния, фазовое равновесие и термодинамические константы); механические свойства (такие как соотношения между напряжением и растяжением и модули упругости); транспортные свойства (такие как вязкость, диффузия, термические свойства, проводимость) и морфологическую информацию (такую как расположение и форма участков связывания на молекулах, биомолекулах и кристаллической структурах).

Молекулярное моделирование учитывает два метода создания конфигураций системы как прямое следствие эргодической гипотезы (временное среднее параметра процесса равно пространственному среднему по статистическому ансамблю) [7]. В методе молекулярной динамики (MD) система описывается путем интегрирования ее уравнений движения Ньютона, поэтому полученные параметры являются усредненными по времени. Потенциал моделируется как сумма межатомных потенциалов с простой аналитической формой (молекулярная механика).

Многომасштабный анализ

Важная проблема в моделировании состоит в том, как связать различные доступные методы, чтобы охватить весь диапазон интересующих масштабов пространства и времени. Типичная цель мультианализа состоит в том, чтобы предсказать макроскопическое поведение, такое как селективность, конверсия, уровень загрязняющих веществ, горячие точки и т. д., исходя из первых принципов. Промышленный пример интеграции различных подходов можно найти в области присадок к маслам [8]. Эффективность и выделение противозносной химической присадки в моторном масле определяется широким спектром факторов. Каждый из этих факторов может быть оценен различными подходами к моделированию, такими как QM-

расчеты, статистическая механика (смешиваемость присадки с маслом), методы конечных элементов (влияние пленок, возникающих в экстремальных условиях эксплуатации, на механические свойства материалов) и экономическая оценка (цены и спрос). Промышленные проблемы, подобные этой, требуют применения многомасштабного анализа для разработки решений, отвечающих потребностям отрасли.

Пошаговая процедура или иерархический метод

При первом подходе, называемом пошаговой процедурой или иерархическим методом, интегрирование выполняется в различных последовательных сходящихся циклах и имеет общую характеристику, состоящую в том, что методы малого уровня генерируют необходимые входные данные для методов большого уровня. Таким образом, входные условия каждой подсистемы в пошаговом многоуровневом исследовании остаются постоянными для каждого отдельного метода моделирования. Пример пошагового моделирования можно проанализировать на примере работы [9], в которой изучался массоперенос и время пребывания частиц в неструктурированных мембранах, используемых в катализе. Исследование было сосредоточено на новых мембранах, изготовленных путем сочетания анодного окисления алюминия (AAO) и атомно-слоевого осаждения (ALD). Этот путь предлагает множество возможностей для регулировки и контроля контакта между реагентами и каталитическими центрами на стенках, и благодаря этому может быть улучшена селективность по отношению к желаемым продуктам. Понимание массопереноса внутри пор может помочь разработать оптимальный размер пор для конкретного применения [10]. В исследовании рассматривались поры диаметром до 150 nm и длиной до 5 μm , что потребовало использования различных методов иерархического моделирования.

1. Атомистический масштаб: Самодиффузия частиц внутри пор была проанализирована с помощью моделирования системы методом молекулярной динамики (MD). Стенки оксида алюминия и взаимодействие Леннарда - Джона между молекулой и порой были представлены атомами кислорода и потенциалом щели-поры соответственно. Результаты показали, что поверхностная диффузия исчезала при повышении температуры системы. Следовательно, было обнаружено, что диффузия Кнудсена является преобладающим механизмом массопереноса внутри пор в типичных условиях селективного каталитического окисления.

2. Расширенный атомистический уровень (с идентификацией режима Кнудсена): схема двойного контрольного объема гранд-канонического молекулярно-динамического моделирования в режиме диффузии Кнудсена использовалась для доступа к масштабам времени и длины, более длинным, чем на атомистическом уровне. Значения полученной вероятности прохождения показали, что частицы входят в пору несколько раз, прежде чем достичь противоположного конца поры, особенно при больших значениях соотношения длины поры к диаметру поры. Этот факт может повлиять на контакт между катализатором и диффундирующими молекулами и, следовательно, на эффективность работы реактора. Тенденции, полученные в предыдущем многоуровневом анализе, могут помочь в разработке и эксплуатации каталитических мембранных реакторов на основе неструктурированных материалов AAO/ALD.

Еще один пошаговый анализ показал, что сочетание разных уровней моделирования позволяет добиться правильного понимания осуществления реакций и, следовательно, снизить сложность математического моделирования. Процесс сульфирования метилового эфира (MES), осуществляемый в реакторе с падающей пленкой (FFR), сопряжен с многочисленными проблемами, такими как описание координаты реакции, а также прогнозирование профилей переноса количества движения, массы и тепла [11].

Моделирование FFR было выполнено с помощью иерархического моделирования следующим образом:

1. Наномасштаб для характеристик реакции MES: стадии реакции для MES были рассмотрены. Существует медленная третья стадия реакции, на которой высвобождается группа SO_3 (при старении). По мнению некоторых исследователей, эта только что высвобожденная группа SO_3 должна быть особенно активной и, следовательно, способна сульфировать непосредственно другую молекулу метилового эфира в α -положении. Эта группа SO_3 может повлиять на математическое выражение кинетики процесса. Термодинамику стабильных соединений для процесса MES анализировали на уровне V3LYP/631G(d). В соответствии с результатами термодинамических соображений было обнаружено, что промежуточные продукты, полученные на стадиях сульфирования и избыточного сульфирования, обладают одинаковой относительной стабильностью. Этот факт игнорирует включение этих интермедиатов в кинетическую модель и позволяет использовать кинетический закон второго порядка для представления хода реакции.

2. Микромасштабное моделирование реактора с падающей пленкой: модель подходит для турбулентных пленок и учитывает эффекты волнообразного пленочного течения с использованием параметра турбулентной диффузии. Микроскопические балансы массы и энергии рассчитываются путем решения уравнений в частных производных для жидкой фазы. Полученные уравнения учитывали турбулентную диффузию для поглощения с химической реакцией в соответствии с кинетическим законом второго порядка, раскрытым с помощью наномасштабного моделирования. Эта система уравнений была решена численно с использованием неявных разностных форм для производных первого и второго порядка. Результаты этой модели воспроизводят экспериментальные данные для реакторов с падающей пленкой; таким образом, область быстрой конверсии вверх (контроль газовой фазы) и область медленной конверсии вниз реактора (контроль жидкой фазы). Наиболее важными выходными данными, полученными при решении математической модели, являются конверсия метилового эфира, плотность и вязкость сульфопродукта. Предложенная модель может быть пригодна для использования при проектировании и эксплуатации промышленных реакторов с падающей пленкой даже на нефтехимических реагентах.

Гибридный или параллельный метод

При втором подходе для многомасштабного анализа, называемом гибридным или параллельным методом, интегрирование выполняется в том же основном итерационном цикле до достижения соответствующей сходимости. Параллельные методы могут включать подробные взаимодействия и системную информацию (например, пространственно-временные неоднородности на поверхности) более эффективным с вычислительной точки зрения способом, чем отдельные методы, и могут быть разделены на низкоуровневые и высокоуровневые гибриды. Разработки этих методов были сосредоточены на гибридах низкого уровня, то есть в основном на интеграции между наноскопическими и атомистическими областями [12]. Мы назвали низкоуровневыми гибридными методами те, которые интегрируются в один и тот же итерационный цикл, методы QM и классические методы атомарного масштаба. Соответственно, мы можем насчитать три подкласса низкоуровневых параллельных методов: временные, пространственные и пространственно-временные гибриды.

Методы, которые являются гибридными во временном смысле, объединяют расчеты электронной структуры (т. е. расчеты QM) с методами молекулярного моделирования. В этом гибриде система моделируется при конечной температуре с использованием метода электронной структуры, а не эмпирического силового поля [13]. Примером этого гибрида является метод молекулярной динамики Кар-Парринелло, в котором атомы

совершают движение, описываемое классической динамикой, в ответ на силы, вычисляемые на уровне DFT. Этот метод и его различные модификации оказались очень успешными при моделировании материалов и расчетах гетерогенных и гомогенных катализаторов в промышленности. Второй класс низкоуровневых гибридов связан с пространственным разделением сложной системы. Таким образом, в разных физических областях применяются разные методы. К этому классу гибридов относится так называемый метод QM/MM, соединяющий QM и MM путем представления гамильтониана в виде $H = H_{QM} + H_{MM} + H_{QM-MM}$, где H_{QM} и H_{MM} являются гамильтонианами QM и MM соответственно. H_{QM-MM} соответствует коррекции гамильтониана за счет взаимодействия между частями QM и MM. Этот метод позволяет моделировать процессы разрыва связи и образования расширенных систем, проведение вычислений для которых возможно за разумное время.

Одной из первых и основных областей применения было изучение сольватации и реакционной способности малых молекул. Другие области применения включают изучение реакционной способности поверхности, цеолитов, кристаллообразования и изучение реакционной способности ферментов. Третий класс низкоуровневых параллельных методов, называемый пространственно-временным, может быть сформирован при объединении пространственных и временных гибридных методов; т.е. движение системы анализируется с помощью молекулярного моделирования, а пространственная сфера обрабатывается путем объединения QM и MM.

Параллельные методы высокого уровня, являющиеся результатом комбинации как микроскопических, так и макроскопических уравнений, могут улучшить прогнозирование возникающих явлений при детальном условиях протекания процесса и, следовательно, они позволяют вносить соответствующие изменения в работу для удовлетворения требуемой производительности систем. Однако гибридные методы высокого уровня, которые включают комбинацию атомистического, мезоскопического и макроскопического масштабов, менее распространены, чем гибриды низкого уровня, которые сочетают наноскопический и атомистический уровни [14]. Одной из причин этого дефицита является отсутствие разработок в теориях и процедурах для надлежащей связи между этими шкалами. Другой причиной является время вычислений, которое в большинстве случаев может сделать симуляцию непомерно высокой. Стратегия применения параллельных методов высокого уровня заключается в пространственном или другом расщеплении системы в соответствии с масштабом объединяемых явлений. Метод КМС встроен в ньютоновскую итерацию модели FE в масштабе реактора, что позволяет осуществлять связь через граничное условие для поверхностного потока и способствует сходимости модели в масштабе реактора. Более того, пошаговая методология также может не отображать эти постоянно меняющиеся условия (в CVD материал постоянно обменивается между подложкой и камерой осаждения).

Заключение

Моделирование процессов и явлений, основанное на различных уровнях их описания, стало способствовать пониманию и совершенствованию различных подходов. Связь между различными масштабами моделирования возникает как полезный инструмент для разработки алгоритмов на молекулярной основе, которые могут представлять подробные пошаговые состояния систем, что не может учитываться в разных изолированных моделях. В этом обзоре были проанализированы и приведены примеры различных методов сопряжения, чтобы продемонстрировать применимость такой методологии в различных областях промышленности. Примеры продемонстрировали, что молекулярные инструменты улучшают понимание изучаемых процессов и могут предоставить подходящие исходные данные для математических моделей в

микроскопическом и макроскопическом масштабах. Будущие разработки в области теории, аппаратного и программного обеспечения могут сделать многоуровневую связь широко применимой, а молекулярное моделирование - распространенным инструментом анализа проблем.

Литература:

1. Товбин Ю.К. Молекулярно-статистическая теория и многомасштабное моделирование физико-химических процессов в нанотехнологиях // Российские нанотехнологии. 2010. Т. 5, №11–12. С. 1–22.
2. Тирский Г.А. Модели молекулярных течений внутри наноканалов и в узких порах вблизи обтекаемых поверхностей // Современные проблемы аэрогидродинамики: Тез. докл. XVI школы-семинара. Сочи, 5–15 сент. 2010 г. М.: Изд-во МГУ. 2010. С. 97–99
3. Ковалев В.Л., Крупнов А.А., Погосбекян М.Ю., Суханов Л.П. Анализ гетерогенной рекомбинации атомов кислорода на оксиде алюминия методами квантовой механики и классической динамики. Известия РАН. МЖГ, № 2, 2010, С. 153-160
4. Riyanto, B.; Zulkardi, Z.; Sriwijaya, U.; Ilma, R.; Putri, I.; Sriwijaya, U. Mathematical modelling in realistic mathematics education. J. Phys. Conf. Ser. 2017, 943, 012049.
5. Gould, H.; Murray, D.R.; Sanfratello, A. Mathematical Modeling Handbook; Columbia University: New York, NY, USA, 2012.
6. E. Mosconi, A. Selloni and F. De Angelis: The Journal of Physical Chemistry C 116 (2012), p. 5932.
7. Molina-Toro, J.F.; Rendon-mesa, P.A.; Villa-Ochoa, J.A. Research trends in digital technologies and modelling in mathematics education. Eurasia J. Math. Sci. Technol. Educ. 2019, 15, 1–13.
8. Legatiuk, D. Mathematical modelling by help of category theory: Models and relations between them. Mathematics 2021, 9, 1946.
9. K. Bonsor, and Jonathan Strickland, "sciencehowstuffworks.com/nanotechnology.html/printable" (2016).
10. U. Rafiq, M. Phil Thesis Riphah International University, Islamabad, Pakistan (2016)
11. Marshall, J.A.R.; Reina, A.; Bose, T. Multiscale modelling tool: Mathematical modelling of collective behaviour without the maths. PLoS ONE 2019, 14, e0222906.
12. Pokutnyi, S.I., et al., "Biexciton in nanoheterostructures of dielectric quantum dots," Journal of Nanophotonics 10(3), 036008-1 - 036008-8 (2016).
13. Bazant, Martin Z. "Theory of chemical kinetics and charge transfer based on nonequilibrium thermodynamics." Accounts of chemical research 46, no. 5 (2013): 1144-1160.
14. V. M. Polunin, A. M. Storozhenko, P. A. Ryapolov, and G. V. Karpova, Mechanics of Nano- and Microdisperse Magnetic Media (Fizmatlit, Moscow, 2015).

ПРИКЛАДНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ «РЕАКЦИЯ-ДИФФУЗИЯ»

Ю.А. Незнанов

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Базовой математической моделью среды, где возможны процессы пространственно-временной самоорганизации, является нелинейное уравнение «реакция–диффузия» (УРД) вида:

$$u_t = u_{xx} + f(u), \quad (1)$$

в которое входит всего одна переменная среды $u(x,t)$, изменяющаяся в одном измерении, а x и t – безразмерные координата и время. Возможные однородные состояния такой среды определяются корнями уравнения

$$f(u) = 0. \quad (2)$$

Основной интерес представляют системы, в которых имеется несколько устойчивых стационарных состояний. Ниже будут рассмотрены бистабильные среды, для которых существует два устойчивых u_1 и u_3 и одно неустойчивое u_2 состояния среды, так что нелинейная функция (2) имеет вид кубической параболы.

В уравнении (1) u может иметь смысл температуры, концентрации реагента, плотности популяции и т.д.

Уравнением бистабильной среды (1) описываются

- волны горения,
- кинетика ферментативных реакций,
- распространение волн популяций,
- автоволны в среде с реакцией Белоусова,
- распространение возбуждения по нейрону,
- волны в сообществах одноклеточных организмов,
- волны гетерогенного катализа,
- волны кипения на тепловыделяющих элементах,
- волны переключения сверхпроводников в нормальное состояние,
- распространение температурных доменов в нормальных металлах,
- локализация автоволн различной природы

Кроме того, удобно полагать, что нелинейная функция $f(u)$ зависит от некоторого управляющего параметра b , роль которого может играть какая-либо характеристика внешней среды:

- Температура охладителя
- Константа реакции
- Величина транспортного потока

Таким образом, устойчивые состояния u_1 , u_3 существуют в определенном интервале $b^- < b < b^+$. В таком случае при b^- решение u_1 сливается с u_2 и исчезает, а при b^+ , наоборот $u_2 = u_3$.

Несмотря на различную природу равновесных и неравновесных явлений, существует глубокая аналогия в описании равновесных фазовых переходов и эффектов самоорганизации в открытых системах. Из-за этого последние часто называют неравновесными фазовыми переходами. С формальной точки зрения, если отвлечься от причин, обуславливающих природу этих явлений, мы имеем дело в обоих случаях с процессами перестройки и возникновения порядка. Если уточнить интуитивное понимание порядок, то можно сказать, что порядок есть нарушение симметрии. Например, возникновение любой пространственной или временной структуры нарушает однородность среды, то есть её трансляционную инвариантность.

Для создания мультистабильных наноструктур необходимо использовать более сложные методы наносинтеза и более тонкое контролирование состава и структуры материала. Это может включать в себя использование многослойных структур, интеграцию различных материалов и использование молекулярных ключей или других специализированных механизмов для регулирования различных свойств материала.

Мультистабильные фотонные наноструктуры могут иметь значительный потенциал для разработки оптических компьютеров, поскольку они могут иметь различные состояния оптической активности, которые могут быть активированы и деактивированы независимо друг от друга.

Например, мультистабильные фотонные наноструктуры могут использоваться для создания оптических световодов, которые могут быть использованы для передачи информации между различными частями оптического компьютера. Также мультистабильные фотонные наноструктуры могут использоваться для создания оптических синергетических компонентов, которые могут изменять свои свойства в зависимости от входного света и могут использоваться для выполнения сложных оптических операций.

Оптическая мультистабильность — это свойство материала иметь несколько состояний оптической активности, которые могут быть активированы и деактивированы при внешнем воздействии одновременно, не зависимо друг от друга. Это может включать в себя различные состояния поглощения, поляризации, излучения и т.д.

В заключение, материалы с бистабильными и мультистабильными свойствами представляют собой область исследования с большим потенциалом для развития новых технологий и приложений. Методы создания материалов с бистабильными и мультистабильными свойствами, такие как нанорезание, литофотонная технология, массовая печать и синтез материалов, позволяют создавать слои с различными фотонными свойствами, которые могут быть использованы для решения широкого ряда задач в области оптоэлектроники, квантовой информации, компьютерной оптики и других.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ЗАПАХОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕХАНИЗМА КВАНТОВОЙ ТЕЛЕПОРТАЦИИ

Николаева В.Р.

МГТУ «Станкин», Москва, Россия
127055, Вадковский переулок, 3а

Tel.: (+7 977) 618-48-78, e-mail: villoll@vandex.ru

Введение

В связи с цифровизацией окружающего мира, создание «цифрового аромата», а также моделирование его передачи, становится актуальной проблемой нашего будущего. Например, сейчас все больше развивается технология виртуальной реальности, где для полного погружения запахи играют значительную роль. Исследования на тему передачи запахов начались еще в 50-х годах, однако, такие технологии не пользовались достаточным спросом. Фундаментальные проблемы включают непредсказуемость воздушных потоков, сложность запахов, сложность управления временем и интенсивностью, а также тот факт, что культура и индивидуальность играют значительную роль в том, как каждый человек воспринимает данный запах.

К настоящему времени известны эксперименты, проведенные учеными по квантовой телепортации фотонов, причем на расстоянии свыше 1200 км. Также имеются работы, показывающие возможность телепортации молекул. Это позволяет рассматривать вопрос о переносе запахов с помощью механизма квантовой телепортации.

Запах и его восприятие

«Запах — это непрерывно продуцируемое и выделяемое биологическими организмами или испаряемое физическими телами летучее вещество, обладающее

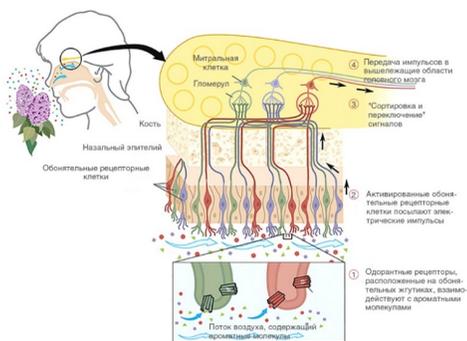


Рис. 1. Структура обонятельной системы человека

устойчивыми характеристиками, способное воздействовать на обонятельные рецепторы животных, вызывая у них определенные ощущения. Пахнущие вещества представляют собой натуральные и химические соединения различной структуры. Почти все они растительного (эфирные масла) и животного (мускус, амбра) происхождения» - такое определение понятия «запах» дали специалисты ГЭЖЦ МВД Республики Беларусь [2].

Обоняние — это способность обнаруживать и различать различные запахи. Эти запахи поступают в виде молекул, находящихся в воздухе. На рис. 1 представлена структура обонятельной системы человека: одорант (то есть ароматные молекулы) проходит через нос к жгутикам, на которых находятся рецепторы, и взаимодействует с ними. Рецепторные клетки посылают импульсы, которые обрабатываются и передаются в мозг.

Нас интересует вопрос, как именно взаимодействуют одорантные рецепторы с ароматными молекулами. Ответ на этот вопрос помог бы нам решить одну из проблем моделирования передачи запахов, а именно – проблема классификации.

Обоняние до сих пор является самой неизученной сенсорной системой человека. Сигналы, поступающие к другим органам чувств, мы можем легко разложить на компоненты и знаем, как они воспринимаются. Например, восприятие цвета связано с «красными», «синими» и «зелеными» светочувствительными клетками. Но в науке об обонянии, ученым сложно выделить не только базовые компоненты, но и определить и точный механизм восприятия запахов. В настоящее время есть несколько теорий: замок и ключ, вибрационная, теория неупругой электронной туннельной спектроскопии, и последняя – swiре-card модель, которая представляет собой гибрид теории "замка и ключа" и вибрационной теории. Дальнейшее моделирование процесса передачи запаха будет основываться на последней теории.

Квантовая теория информации

Квантовая теория информации является развивающейся наукой. Она изучает общие закономерности передачи, хранения и преобразования в системах, подчиняющиеся законам квантовой механики, используя математические модели преобразования информации. Квантовая теория сформировалась как самостоятельная область исследований в 1990-е гг. и возникла вслед за появлением основ теории информации в трудах В.А. Котельникова и К. Шеннона.

Наиболее полно часть квантовой теории изложил Эрвин Шрёдингер в своей знаменитой работе 1935 «Современное состояние квантовой механики». В ней обсуждается одна из проблем квантовой информации - что мы можем узнать о состояниях объектов квантового мира, и что происходит с объектами в процессе получения этого знания. В этой работе Шрёдингер формулирует основные положения, которые сводятся к тому, что состояния объектов квантового мира обладают следующими свойствами:

1. Суперпозиции. Состояния описываются линейной суперпозицией базисных состояний.
2. Entanglement («запутанности»). Состояние нескольких частиц может быть взаимосвязанным, и при изменении состояния одной из запутанных частиц меняется состояние второй, независимо от того, насколько далеко частицы удалены друг от друга.
3. Неклонировемости. Незвестное квантовое состояние невозможно клонировать, а также наблюдать без его возмущения.

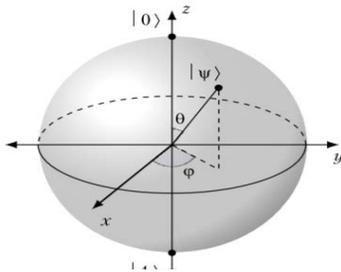


Рис. 2. Сфера Блоха

В основе классической теории информации единица измерения представлена в двоичной системе счисления понятием бит. В основе квантовой теории информации бит заменяется на кубит. На рис. 2 изображена сфера Блоха, на которой отображается состояние кубита, описанное вектором:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \text{ где } |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1, \text{ где } \alpha \text{ и } \beta - \text{ комплексные числа.}$$

Так как мы можем передать квантовое состояние? Существует способ, при котором сама система физически не пересылается, а передается лишь классическая информация. При этом существенным дополнительным ресурсом, который играет роль «катализатора» передачи, является запутанность между парами ЭПР. ЭПР – парадокс: если есть две частицы А и В с общим прошлым, то состояние частицы В зависит от состояния частицы А и эта зависимость должна проявляться мгновенно и на любом расстоянии. Такие частицы и называются ЭПР парой и говорят, что они находятся в «запутанном» состоянии. Благодаря «запутанности» и существует квантовая телепортация.

Квантовая телепортация - передача квантового состояния на расстояние, при помощи разведённой в пространстве сцеплённой пары и классического канала связи, при которой состояние разрушается в точке отправления при проведении измерения, после чего воссоздаётся в точке приёма. Впервые он был сформулирован для кубитов Беннетом в 1993 году.

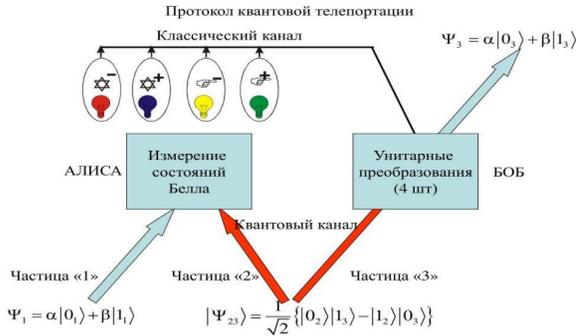


Рис. 3. Протокол квантовой телепортации

На рис. 3 изображена схема передачи неизвестного состояния $|\Psi\rangle$ от Алисы к Бобу: Алиса имеет у себя частицу в некотором неизвестном ей состоянии $|\Psi\rangle$. Производя операцию телепортации, Алиса разрушает состояние $|\Psi\rangle$ в своём местоположении, но при этом частица у Боба переходит в это ($|\Psi\rangle$) квантовое состояние. Ни Боб, ни Алиса не получают информацию о состоянии $|\Psi\rangle$, а Боб даже не знает, что на его частицу телепортировано некоторое состояние. Чтобы сообщить Бобу об акте телепортации,

Алиса должна воспользоваться классическим каналом информации. Ключевую роль в данной схеме играют фотонные пары, находящиеся в перепутанных состояниях. Именно с их помощью осуществляется квантовый канал информации между Алисой и Бобом.

Моделирование передачи запаха

Химическая теория графов (ХТГ) — это раздел химии, в котором химические объекты, такие как молекулы, кристаллы, полимеры, кластеры, и т.д. представлены в виде математических объектов, называемых графами. Граф — это набор узлов и ребер, соединяющих их. Для химического графа узлы соответствуют атомам, а ребра соответствуют связям между ними. С помощью ХТГ мы можем объединить теории замка и ключа и вибрационную следующим образом: молекула одоранта рассматривается как граф с атомами в качестве узлов. Вычисление связанных матриц затем связывает структуру графа с его функциональными свойствами, такими как частота колебаний молекулы. В итоге мы получаем динамическую матрицу, которая характеризует запах.

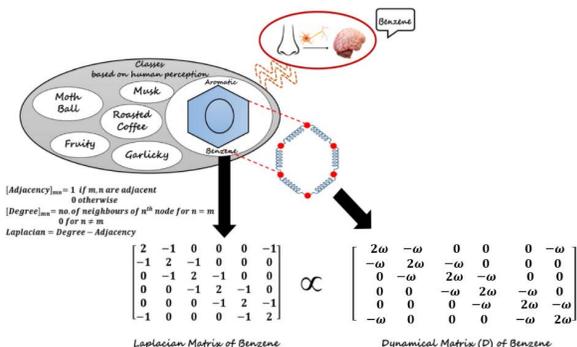


Рис. 4. Схема объединения двух теорий обоняния

На рис. 4 изображена молекула бензола, по которой строится граф. Из данного графа мы строим матрицу Лапласа, которая определяется по формуле: $L = V - A$, где V - матрица степеней, а A - матрица смежности графа. Затем строится динамическая матрица, которая связана с матрицей Лапласа следующим соотношением: $[D] = \omega[L]$, где ω - частота колебаний молекулы. Под «передачей запаха» мы будем понимать передачу динамической матрицы D , характеризующей запах.

| Название вещества | Динамическая матрица | Вектор psi | Изображение |
|-------------------|---|--|-------------------------------------|
| 0 Бензол | [[1348, -674, 0, 0, 0, -674], [-674, 1348, -67... | ((0.3570186057165092+0.3583019627228646j)), (0... | <IPython.core.display.Image object> |
| 1 Фуран | [[1492, -746, 0, 0, -746], [-746, 1492, -746, ... | ((-0.08074983342261514+0.3976028379951509j)), (... | <IPython.core.display.Image object> |
| 2 Гептаналь | [[2938, -2938, 0, 0, 0, 0, 0], [-2938, 5876, ... | ((-0.3104905372480607+0.7990226799704259j)), (... | <IPython.core.display.Image object> |
| 3 Нафталин | [[1576, -788, 0, 0, 0, 0, 0, -788], [-788, ... | ((-0.7903004130578143+0.22152119300601977j)), (... | <IPython.core.display.Image object> |

Рис. 5. Таблица база данных

На рис. 5 представлена часть базы данных. Она состоит из таких колонок как: название вещества, динамическая матрица, характеризующая это вещество, и вектора $|\psi\rangle$, который мы будем передавать по протоколу телепортации. Стоит отметить, что

вектор $|\psi\rangle$ различен для каждого вещества, что гарантирует однозначность определения.

Программа реализована на языке программирования Python, с помощью библиотеки для квантовых вычислений Qiskit. Пусть выбранное вещество будет бензол. На рис. 6 изображен его вектор.

$$|\psi\rangle = [0.35702 + 0.3583i0, \quad 02233 + 0.86236i]$$

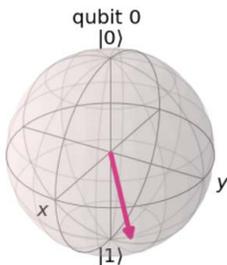


Рис. 6. Изображения вектора $|\psi\rangle$ на сфере Блоха

После окончания протокола телепортации, на выходе мы видим, что состояние $|q_2\rangle$ это то же самое, что и состояние $|\psi\rangle$, в то время как состояния $|q_0\rangle$ и $|q_1\rangle$ были свернуты до $|0\rangle$ или $|1\rangle$. Состояние $|\psi\rangle$ был телепортирован из кубита 0 в кубит 2. На рис. 7 изображен результат телепортации.

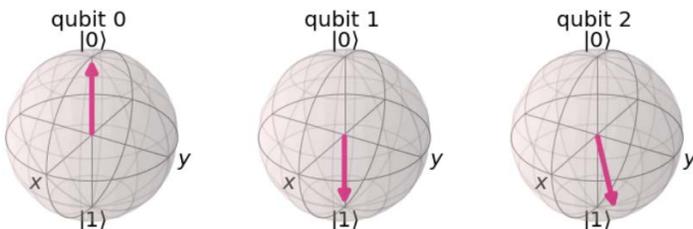


Рис. 7. Демонстрация протокола телепортации

Литература:

1. Mario Pannunzi, Thomas Nowotny Odor Stimuli: Not Just Chemical Identity, *Front. Physiol.*, 27 November 2019.
2. Pelosi, Paolo “On the Scent: A Journey Through the Science of Smell”, 2016.
3. Tirandaz, F. T. Ghahramani, and A. Shafiee, *PhysicalReview E* 92, 032724, 2015.
3. Brookes, J. C., Horsfield, A. P. & Stoneham, A. M. The swipe card model of odorant recognition. *Sensors* 12, 15709-15749, 2012.
4. А.С. Холево. Квантовые системы, каналы, информация, 2014, 62-63с.
5. Роберт С. Сатор, Танец с кубитами, 2022, 286-290с.
6. Khan, R. M. et al. Predicting odor pleasantness from odorant structure: pleasantness as a reflection of the physical world. *J. Neurosci.* 27, 10015–10023, 2007.

АНАЛИЗ МАРКИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АППАРАТА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В.К. Нуриев

МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия

127055, Вадковский переулок, 3а

Тел.: (+7 996)349-27-98, e-mail: vlad.nuriev.12@mail.ru

Аннотация. В данном материале рассматривается разработка программного модуля, нацеленного на обучение компьютерной системы. Акцентируется внимание на распознавании компьютерной системой изображений цифр с целью расшифровки маркировки изделий посредством аппарата искусственных нейронных сетей. В работе также дан анализ способов и методов распознавания маркировки изделий, разработан алгоритм программного модуля и проведено его тестирование с подведением основных итогов.

Ключевые слова: маркировка изделий, нейронные сети, программный модуль, цифробуквенная маркировка, техническое зрение.

Актуальность. В настоящее время компьютерное зрение очень востребованная отрасль, особенно в мире ИТ. Несмотря на то, что развитие компьютерного зрения происходит небольшими темпами, выбор производственных предприятий часто падает именно на него. Дело в том, что подобные системы применяются для неограниченного спектра производственных задач, в том числе для автоматизации технологических процессов.

На данный момент существует некоторое количество систем для распознавания текстов, написанных как машиной, так и человеком. Такие системы ставят перед собой задачу оптического распознавания символов, что является одной из ключевых задач распознавания технического текста.

Применение системы технического зрения для автоматизации процесса распознавания маркировки, сократит время проведения этой процедуры, кроме того, компьютерное зрение имеет большой спрос для повышения качества, например, проверки размеров и расстояний.

В сфере промышленного производства использование программного модуля, способного распознавать маркировки изделий, является особенно необходимым. Прежде всего, распознавание маркировки изделий осуществляется, непосредственно, исходя из способов маркировки. Так, выделяют следующие способы маркировки изделий:

- RFID – метки (рис.1.1);

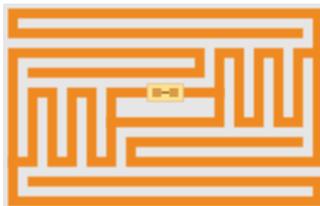


Рис 1.1. RFID-метка, используемая в торговой сети Wal-Mart.

- Штрих и QR-коды: линейные (рис 1.2.) и двухмерные (матричные) (рис. 1.3.) штрих-коды;



Рис 1.2. Линейный штрих-код.



Рис 1.3. Матричный двухмерный штрих-код.

- Цифробуквенная маркировка (рис.1.4.).



Рис. 1.4. Пример цифробуквенной маркировки изделия.

Что касается методов распознавания маркировки изделий, то в ходе исследования были выявлены такие методы как: 1) распознавание с помощью искусственной нейронной сети; 2) распознавание при помощи метрик (метрики Хэмминга).

Для успешного выполнения цели и задача исследования был проведен сравнительный анализ наиболее подходящего способа (табл. 1) и метода распознавания маркировки изделий.

Таблица 1. Анализ способов маркировки изделия

| | Стоимость | Сложность внедрения | Преимущества | Срок жизни маркировки |
|-------------------|---|--|--|------------------------------|
| RFID-метки | Средняя и высокая (от 100\$ на изделие) | Необходимо дополнительное оборудование, обучение персонала | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Возможность перезаписи ▪ Большое расстояние между метками ▪ Многоцелевое использование | Более 10 лет |

| | | | | |
|----------------------------------|----------------------------|--|---|--|
| Штрих и QR-коды | Низкая (от 5\$ на изделие) | Необходимость подготовленной базы штрих-кодов товаров, закупка оборудования и программного обеспечения | <ul style="list-style-type: none"> • Не подвержены помехам в виде электромагнитных полей • Малые габаритные характеристики | В зависимости от материала, из которого состоит изделие. |
| Цифробуквенная маркировка | Низкая (от 5\$ на изделие) | Необходимость иметь базу данных цифр и букв, закупка оборудования программного обеспечения | <ul style="list-style-type: none"> • Малые габаритные характеристики • Большое расстояние чтения • Не подвержены помехам | В зависимости от материала, из которого состоит изделие. |

В данной таблице представлены преимущества и недостатки основных способов маркировки изделия. Исходя из данного анализа, мы пришли к выводу, что маркировка изделий с помощью цифробуквенного обозначения является наиболее универсальной и доступной. Данную технологию можно использовать на любом предприятии. Для реализации необходимо иметь определенное программное обеспечение, камеру, способную фиксировать положение изделия на рабочем столе и базу данных, которая состоит из цифр и букв определенных шрифтов. Также необходима программа, написанная на языке Python с применением библиотеки OpenCV. Таким образом, мы также определили наиболее подходящий метод распознавания маркировки для цифробуквенного обозначения – распознавание с помощью нейронной сети. Выбор пал именно на этот метод ввиду того, что процесс работы с нейронными сетями является малораспространенным и имеет более выгодную позицию на промышленном производстве, чем метод распознавания с помощью метрик.

Такие способы распознавания маркировки как RFID-метки и штрих и QR-коды не соответствовали поставленным требованиям по ряду причин:

Несмотря на то, что технология RFID дает возможность экономии средств за счет сокращения рабочего персонала, а также за счет усовершенствования процесса управления запасами, для того, чтобы система внедрилась успешно необходимо доверительное отношение между сотрудниками компании и поставщиками, так как данные, которые содержат RFID-метки - это лишь серийный номер изделия, а этого недостаточно для успешной работы предприятия. Поэтому требуется дополнительная информация с базами данных, которая связывает эти номера. [4]

Также одним из главных условий является регламентация о том, каким именно образом полученная информация может распространяться. [5]

Недостатки штрих и QR-кодов заключаются в отсутствии возможности перезаписи данных и одновременной идентификации нескольких объектов, также невозможно чтение без прямой видимости метки и существенно маленький объем памяти.

В конечном итоге было принято решение о создании собственного программного модуля распознавания маркировки.

Был построен общий алгоритм работы приложения (рис. 1.5.), определены основные компоненты – библиотеки OpenCV и TensorFlow. Определив библиотеки, была проведена работа по созданию каждого модуля программы:

1. скрипта для получения изображения маркировки;
2. базы данных, состоящей из напечатанных и сфотографированных цифр;
3. графического пользовательского интерфейса для взаимодействия с пользователем.

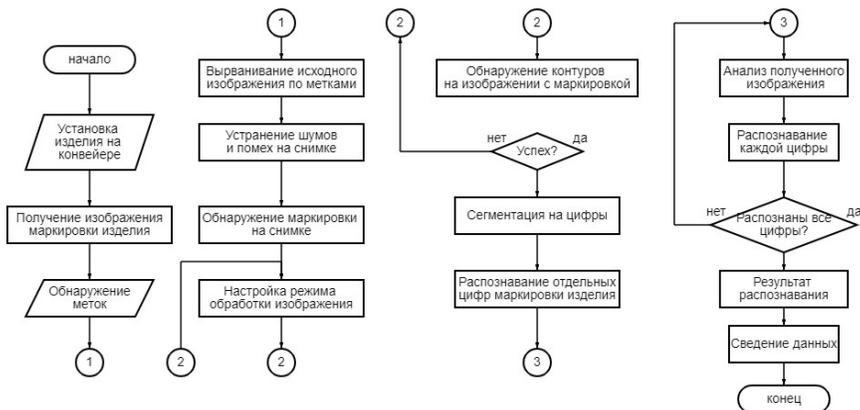


Рис. 1.5. Планируемый алгоритм работы разрабатываемого программного модуля

Приложение создавалось на Python. Созданный программный модуль успешно прошел тестирование.

В результате исследования были выполнены следующие задачи:

- проанализированы способы маркировки изделия в производстве, оценены возможности анализа маркировки с применением аппарата искусственных нейронных сетей;
- разработана структурная схема системы анализа маркировки;
- разработан алгоритм и программный модуль анализа маркировки изделий на промышленном производстве;
- протестирован разработанный программный модуль анализа маркировки изделий на промышленном производстве.

Для решения поставленных исследовательских задач были использованы следующие методы: теоретический анализ, сравнительно-сопоставительный анализ, экспериментальный метод, включающий разработку и тестирование программы.

Исходя из проделанной работы можно сделать вывод о том, что в настоящее время потребность в анализе маркировки возрастает, так как появляется все больше промышленных производств с большим количеством изделий, поэтому необходимость в данном программном модуле увеличивается с каждым днем.

Литература:

1. TADVISER. RFID Радио частотная идентификация (РЧИ) // Веб- сайт компании TADVISER: [сайт], 2017. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php>. (дата обращения: 20.11.2021).
2. Краснобаев А.А. Алгоритмы распознавания штриховых кодов // Веб-сайт компании ИПМ им. М.В. Келдыша РАН: [сайт] – М., 2014. – URL: https://keldysh.ru/papers/2004/prer84/prer2004_84.html (дата обращения: 27.11.2021).
3. WorldSkillsRussia. Алгоритмы распознавания штрих-кодов и QR- кодов // Веб-сайт компании wordskills: [сайт], 2019. – URL: <https://nationalteam.worldskills.ru/skills/algorithmy-raspoznavaniya-shtrikh-kodov-i-qr-kodov/>. (дата обращения: 30.11.2021).
4. TADVISER. Компьютерное зрение: технологии, рынок, перспективы // Веб-сайт компании TADVISER: [сайт], 2019. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php>. (дата обращения: 30.11.2021).
5. Минулинна Л.А. Сложности внедрения системы RFID в розничной торговле // Научная публикация [сайт], 2019. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/slozhnosti-vnedreniya-sistemy-rfid-v-rozничnoy-torgovle/viewer>. (дата обращения: 01.12.2021).
6. Дятлов Е.И. Машинное зрение (аналитический обзор). / Е. И. Дятлов // Математические машины и системы. - 2013. - №2. – С. 21-24.
7. Принцип и реализация калибровки камеры // [сайт]. – URL: <https://russianblogs.com/article/59361057608>. –С. 24-26.
8. Селянкин В.В., Скороход С.В. Анализ и обработка изображений в задачах компьютерного зрения – 2015. –URL: http://ntb.tti.sfedu.ru/UML/UML_5493.pdf. (дата обращения 15.01.2022).
9. Никишечкин А.П. Нейросетевые технологии: Учебное пособие для студентов вузов. – ЕТИ (филиал) ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», Егорьевск, 2010. (дата обращения 16.01.2022).
10. SICK IVP Machine Vision Introduction. - 2006 г. - https://www.academia.edu/38693358/Machine_Vision_Introduction2_2_web. (дата обращения: 25.01.2022).
11. Бессуднов А.В. Применение QR-кодов в обработке материалов // Научная публикация [сайт], 09.12.2019. – URL: <https://moluch.ru/archive/287/65026>. (дата обращения: 25.01.2022).
12. Системы технического контроля. Серия FH // Сайт группы компаний «Новые технологии». – URL: <https://omron.nt-rt.ru/images/manuals/XpectiaFZ5-Lite.pdf>. (дата обращения 15.03.2022).
13. Распознавание рукописных цифр с помощью нейросетей. // Youtube: [сайт]. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=pyZ8_P-1_SE. (дата обращения 15.03.2022).
14. OpenCV шаг за шагом. Поиск объекта по цвету. Цветовое пространство HSV. // RoboCraft.ru: [сайт], 2010 — <http://robocraft.ru/blog/computervision/402.html> (дата обращения: 18.02.2022).
15. Python //Python 3.10.4: [сайт]: URL: <https://www.python.org/downloads>. (дата обращения 18.02.2022)
16. Operations on arrays // OpenCV 4.5.5: Open Source Computer Vision: [сайт], 2021. – URL: <https://opencv.org/releases>. (дата обращения: 18.02.2022).

ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ В КЛИМАТОЛОГИИ

Э.А. Одинцова¹, Е.М. Красикова²

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1

1eve.odintsova@gmail.com, 2krasikova-cat7@yandex.ru

На протяжении существования нашей планеты безостановочно изменяются и ее климатические особенности. Данное явление является острой проблемой современности, так как она затрагивает многие сферы жизни людей, такие как: сельское и лесное хозяйство, транспорт, в том числе и авиация, строительство, энергетика и многие другие. В связи с этим обработка климатической информации становится актуальным в широком круге научных исследований и анализа. В результате наблюдений климатических изменений можно говорить о базе статистических данных которые можно представить в виде временных рядов.

Отношения между временными рядами часто изучаются на основе коэффициентов взаимной корреляции и уравнений регрессии. Такой подход некорректен для временных рядов, независимо от значения коэффициента взаимной корреляции, поскольку отношения между временными рядами зависят от частоты. Так можно говорить о том, что многомерные временные ряды предпочтительно анализировать как во временной, так и в частотной областях, включая подбор параметрического стохастического разностного уравнения к временному ряду, а затем вычисление функций частоты.

Методы многомерного анализа временных рядов следует использовать во всех случаях, независимо от значения коэффициента взаимной корреляции. Коэффициенты взаимной корреляции и уравнение регрессии в общем случае не описывают отношения между временными рядами. В частности, низкий коэффициент взаимной корреляции не обязательно означает отсутствие даже строго линейной зависимости между временными рядами.

Часто временные ряды в климатических временных масштабах коротки, их длины не превышают интересующие временные масштабы, делая непараметрический анализ в частотной области неэффективным. Кроме того, непараметрический подход не позволяет получить явные стохастические модели во временной области в отличие от параметрического анализа, что делает оценки последнего относительно точными.

Литература:

1. Victor Privalsky. Time Series Analysis in Climatology and Related Sciences (Progress in Geophysics). 2020. Springer, Berlin, Heidelberg et al. 372 p.
2. V. Privalsky On studying relations between time series in climatology 2015 Environmental Science, Earth System Dynamics Discussions
3. Иванова Т.Г., Сеницын И.С. Статистическая обработка результатов метеорологических наблюдений: учебно-методическое пособие. – Ярославль: РИО ЯГПУ, 2016. – 34 с.
4. Gulev, S. K., Latif, M., Keenlyside, N., Park, W., and Koltermann, K. P.: North Atlantic ocean control on surface heat flux on multidecadal time scales, Nature, 499, 464–467, 2013

ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБНАРУЖЕНИИ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ (ОБЗОР)

Мазен Омран

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия

127055, Вадковский пер.,1

Tel.: (+7 900)653-24-05, e-mail: M.Omran@stankin.ru

Введение

Наличие дефектов в продукции является явным нарушением стандартов качества для большинства видов продукции, так как эти дефекты возникают из-за ошибок на этапе производства или на этапах хранения, отгрузки и реализации. Царапины, отверстия, трещины, различия в цвете и дефекты текстуры поверхности являются наиболее заметными дефектами внешнего вида. Выявление дефектов с использованием человеческого фактора в большинстве случаев не является оптимальным вариантом, так как имеет множество недостатков, самый главный из которых — физическая слабость и неспособность выдерживать длительную и непрерывную работу. Поэтому пришлось прибегнуть к автоматизированным методам обнаружения дефектов, которые можно разделить на две основные категории: разрушающие и неразрушающие методы. Деструктивные методы изменяют основное состояние продукта, каким он был до процесса обнаружения. Неразрушающие методы — это методы, которые обычно выполняются без контакта с продуктом, с использованием различных датчиков и датчиков, таких как визуальное обнаружение, тепловидение, магнитно-резонансная томография (МРТ), рентгеновские лучи, электрическая спектроскопия, инфракрасная спектроскопия и т. д. на. Визуальное обнаружение очень распространено среди многих неразрушающих методов обнаружения дефектов, поскольку процесс обнаружения требует только фотографирования продукта, а затем различные алгоритмы анализируют изображение и определяют, является ли продукт бракованным или нет. Для методов обнаружения, использующих изображение продукта, будь то обычное цветное или серое изображение, или изображение с использованием инфракрасных лучей или рентгеновских лучей и т. д., методы анализа и обработки изображения являются основными принятыми методами для обнаружения. С развитием технологий искусственного интеллекта методы и алгоритмы машинного обучения заняли место традиционных методов обработки изображений, а затем методы глубокого обучения с их большими возможностями по обработке больших данных стали наиболее широко использоваться в области обнаружения дефектов.

В этой статье мы обсудим наиболее известные методы, применяемые для обнаружения поверхностных дефектов изделий. Мы начнем с методов обработки изображений, затем перейдем к традиционным методам машинного обучения и закончим методами глубокого обучения.

На рис. 1 представлена классификационная схема изучаемых методов.

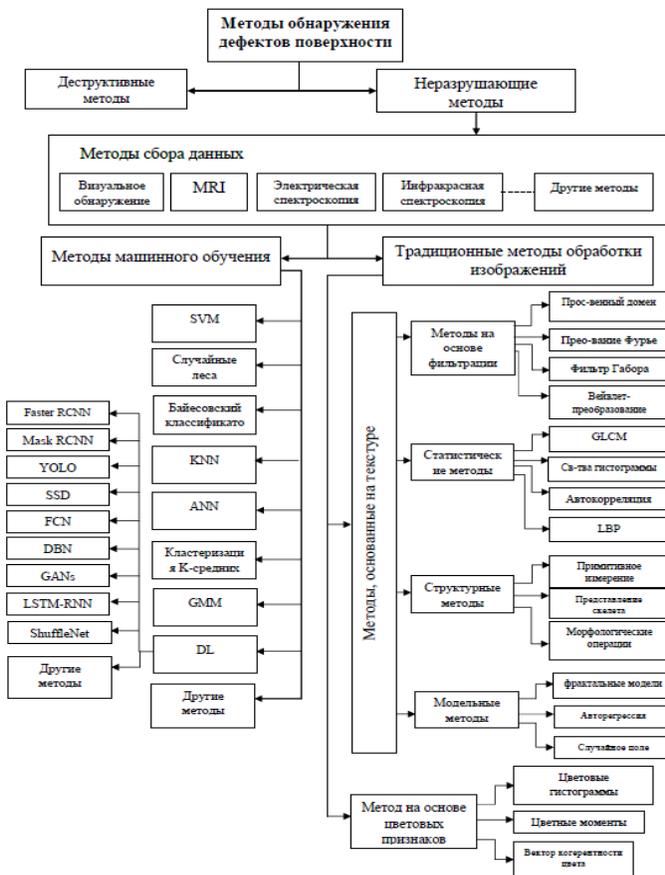


Рис.1. Представлена классификационная схема методов обнаружения поверхностных дефектов

Методы обнаружения дефектов на основе обработки изображений

Эти методы можно разделить на две основные группы: методы, основанные на текстурных признаках, и методы, основанные на цветowych признаках.

Методы, основанные на текстурных признаках:

Элемент текстуры отражает явление однородности в изображении и может отражать структуру организации и свойства расположения поверхности изображения. Методы, основанные на признаках текстуры, можно разделить на четыре категории: статистические методы, методы на основе фильтрации, структурные методы и методы моделей.

1. Статистические методы включают:
 - Матрица совпадений уровней серого (GLCM).
 - Свойства гистограммы.
 - Автокорреляция.
 - Локальный двоичный шаблон (LBP).
2. Методы на основе фильтрации включают в себя:
 - Пространственная фильтрация доменов
 - Фильтрация в частотной области
 - Преобразование Фурье
 - Фильтр Габора
 - Вейвлет-преобразование
3. Структурные методы включают:
 - Примитивное измерение.
 - Представление скелета.
 - Морфологические операции
4. Методы на основе моделей включают:
 - Фрактальные модели.
 - Авторегрессионные модели.
 - Модели случайных полей

Методы, основанные на цветовых признаках

Это методы, которые зависят от цветовых характеристик изображения, где расчетная величина цветовой характеристики невелика, а зависимость от размера, направления, угла обзора и других факторов самого изображения невелика и имеет высокую надежность. Эти методы включают в себя:

- Цветовые гистограммы.
- Цветные моменты.
- Вектор когерентности цвета.

Методы машинного обучения:

Машинное обучение — это разновидность искусственного интеллекта (ИИ), которая предоставляет системам возможность учиться и совершенствоваться на основе опыта без явного программирования. Эти методы извлекают признаки из данных (изображения объектов), а затем строят модель обучения на основе этих признаков. Многие алгоритмы машинного обучения использовались в области обнаружения дефектов, в первую очередь те, которые классифицируются как обучение с учителем или обучение без учителя. Наиболее известные из этих алгоритмов:

Машины опорных векторов (SVM), случайные леса, байесовский классификатор, К-ближайшие соседи, искусственные нейронные сети, К-средние, гауссовская смешанная модель (GMM).

Методы глубокого обучения:

Глубокое обучение — это новая ветвь машинного обучения, основанная на глубоких нейронных сетях, состоящих из множества слоев. Глубокое обучение характеризуется способностью обрабатывать большие объемы данных, но

контролируемым сетям глубокого обучения требуется большое количество размеченных данных для обучения, и это создает дополнительную нагрузку при использовании этих сетей. Наиболее важные сети глубокого обучения, которые использовались для обнаружения дефектов:

Faster R-CNN, Mask RCNN, YOLO, однократный мультибоксовый детектор SSD, полностью сверточные сети (FCN), сеть глубокого доверия (DBN), генеративно-состязательные сети (GAN), LSTM-RNN, ShuffleNet.

Метрики оценки производительности

Наиболее важными метриками для оценки производительности алгоритма обнаружения являются: аккуратность, точность, полнота, средняя точность, средняя точность. Они определяются следующими соотношениями после определения терминов, учитывая, что задача обнаружения дефектов является бинарной задачей. (образец либо дефектный, либо нормальный) и что положительная ситуация является дефектной ситуацией:

TP: истинно положительный (True Positive); Ожидаемый объект неисправен и действительно неисправен.

TN: истинно отрицательный (True Negative); Ожидаемый объект является нормальным и на самом деле является нормальным.

FP: ложный положительный результат (False Positive); Ожидаемый объект неисправен, а на самом деле является нормальным.

FN: ложно отрицательный результат (False Negative); Ожидаемый объект нормальный, а на самом деле дефектный.

$$\text{Аккуратность (Accuracy)} = (TP + TN)/(TP + TN + FP + FN)$$

$$\text{Точность (Precision)} = TP/(TP + FP)$$

$$\text{полнота (Recall)} = TP/(TP + FN)$$

$$F1 = 2 * (\text{precision} * \text{recall})/(\text{precision} + \text{recall})$$

$$\text{средняя точность (Average Precision) (AP)} = \int p(r)dr$$

Результаты и сравнение:

В следующей таблице показаны некоторые результаты производительности для ряда упомянутых алгоритмов, а также тип обнаруженного материала и тип обнаруженного дефекта.

Таблица 1. Результаты производительности некоторых методов обнаружения поверхностных дефектов

| Метод обнаружения | Тип материала | Тип дефекта | Метрика оценки |
|----------------------|---------------|-------------|------------------------------|
| Свойства гистограммы | Древесина | Дефект узла | Уровень распознавания: 99,8% |

| | | | |
|---------------------------|-------------------------------|---|--------------------------------|
| GLCM | керамическая плитка | Поверхность с дефектами или нет | Аккуратность: 92,31% |
| LBP | Стальная пластина | Трещины, царапины, вмятины, ямки, чешуйки | Аккуратность: 94,40% |
| Фильтр Габора | Стальная заготовка | Трещины | Аккуратность: 93.5% |
| Фрактальная модель | Высокопрочная сталь | Дефекты сварки | Аккуратность: 88.33% |
| Морфологические операции | Стальная заготовка | Тонкие царапины | Коэффициент обнаружения: 87,5% |
| Байесовский классификатор | Инконель 625 | Пористость, качество сплавления | Аккуратность = 89.5% |
| KNN | Инконель 718 | Пористость | Аккуратность = 90% |
| ANN | Титановый сплав | Изменение условий печати | Аккуратность = 97.14% |
| GMM | лазерная порошковая сварка | Пористость | Аккуратность = 77% |
| SVM | Нержавеющая сталь 304L | Недогрев, перегрев | Аккуратность = 89.13% |
| Faster R-CNN | Изолятор линии электропередач | Трещины, грязь | Аккуратность = 95.8% |
| Mask RCNN | Солнечные панели | Царапины, грязь | Аккуратность = 96.24% |
| YOLO | Ткань, окрашенная в пряже | дефекты ткани | Аккуратность = 86.83% |
| SSD | штопальные иглы | Крошечные дефекты | Аккуратность = 90% |
| FCN | шины | металлические примеси, пузырьки | Аккуратность = 78,91% |
| DBN | нержавеющая сталь 304 | трещины | Аккуратность = 93.63% |
| GAN | дефект сварки | трещина, неславление, непровар, пористость; | Аккуратность = 92,95% |
| LSTM-RNN | стальная пластина | следы прокатки | Аккуратность = 86,2% |

Вывод:

Выявление дефектов является важным процессом на многих этапах производственных и даже коммерческих операций, и автоматизация этого процесса является настоятельной необходимостью в настоящее время из-за его влияния на контроль производства и оповещение о причинах ошибок и повреждений в дополнение к обеспечению качества продукции. Визуальный осмотр является наиболее распространенным методом среди используемых методов обнаружения, и, в свою очередь, он в значительной степени основан на процессах обработки изображений, будь то напрямую, как в традиционных методах и методах машинного обучения, или встроенных, как в случае методов глубокого обучения. Методы глубокого обучения являются наиболее распространенными в настоящее время из-за их способности обрабатывать большие объемы данных и достигать высокоточных результатов, но их основной проблемой остается то, что они требуют большого количества обучающих данных, которые должны быть подготовлены заранее. . Что касается традиционных методов машинного обучения, то он все же доказывает свою полезность в некоторых случаях, так как не требует больших операций обучения, помимо возможности определения меньшего количества признаков, необходимых для процесса обнаружения, с использованием различных процессов обработки изображений.

Литература:

1. Yang J., Li S., Wang Z. and Yang G., "Real-Time Tiny Part Defect Detection System in Manufacturing Using Deep Learning," in *IEEE Access*, vol. 7, 2019, p.89278-89291.
2. Ding F., Zhuang, Z., Liu, Y., Jiang, D., Yan, X., & Wang, Z. "Detecting defects on solid wood panels based on an improved SSD algorithm". *Sensors*, vol. 20, 2020, p.5315.
3. Lei, Cheng-Wei, et al. "Automated surface defect inspection based on autoencoders and fully convolutional neural networks." *Applied Sciences*, vol. 11, 2021, p.7838.
4. Chen F. C., Jahanshahi M. R. "ARF-Crack: rotation invariant deep fully convolutional network for pixel-level crack detection." *Machine Vision and Applications*, vol. 31, 2020, p.1-12.
5. Ye, D., Hong, G. S., Zhang, Y., Zhu, K., & Fuh, J. Y. H. Defect detection in selective laser melting technology by acoustic signals with deep belief networks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.96, 2018, p.2791-2801.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ЗАЯВОК АБИТУРИЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ

М.Р. Палванов, Ю.В. Столярова

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН, Москва, Россия
127055, Вадковский перулок, 3а
e-mail: m.palvanov@stankin.ru

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН, Москва, Россия
127055, Вадковский перулок, 3а
e-mail: yu.stolyarova@stankin.ru

Аннотация

В статье проводится анализ процесса работы Приёмной комиссии ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» и на его основе рассчитывается оптимальное количество сотрудников, требуемых для оптимальной работы Приемной комиссии, в том числе формируются возможные пути решения задачи распределения заявок абитуриентов.

Ключевые слова: система массового обслуживания, приёмная комиссия, задача о назначениях, оптимальное количество операторов ПК

В настоящее время в Российской Федерации во все сферы общества и экономики, в том числе в высших учебных заведениях, активно внедряются информационные технологии. В документах Правительства РФ современное общество рассматривается как информационное общество, что в свою очередь предьявляет новые требования к высшему образованию в новой информационной среде. [3]

Отдельное внимание при этом следует уделить взаимосвязи российских вузов с внешней средой, то есть обеспечить взаимодействие высших учебных заведений со всеми потребителями образовательного процесса: с обучающимися, абитуриентами, выпускниками, сотрудниками, государством, обществом в целом.

Таким образом, необходимо сделать особый акцент на работе Приемных комиссий университетов, являющихся неотъемлемой частью каждого ВУЗа.

В своей работе большая часть затрат труда и рабочего времени сотрудников приемной комиссии связана с обработкой информации об абитуриентах. Таких сотрудников, как правило, называют операторами, и в их функционал входит: приём и обработка документов абитуриентов, общение с абитуриентами и их родителями, проверка документов для последующего внесения данных в единую базу данных.

Формирование единой информационной среды Приемных комиссий позволит не только сократить время на обработку информации и облегчить труд персонала, но и повысить уровень достоверности информации и исключить влияние человеческого фактора. В качестве примера будем рассматривать работу приёмной комиссии ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».

Статистика приёма в МГТУ «СТАНКИН» показывает положительную динамику роста количества поданных заявлений за последние пять лет ([рисунок 1](#)).

Анализируя данную диаграмму, можно сделать вывод о значительном приросте практически в три раза количества поданных заявлений в период с 2018 по 2022 год. Что в свою очередь колоссально увеличивает нагрузку на работу операторов приемной комиссии. Особое место в процессе приема абитуриентов занимает распределение заявок от абитуриентов. В среднем операторы обрабатывают около 300–400 человек в день, за весь период работы приёмной комиссии эта цифра зависит от размера выделенных контрольных цифр приема в ВУЗе.

Динамика роста количества поданных заявлений

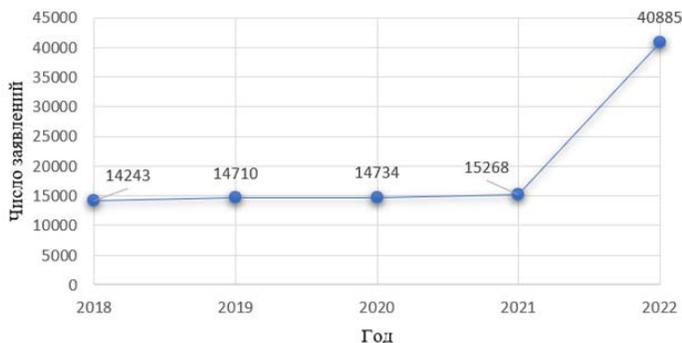


Рис. 1. Анализ приёма 2018-2022 гг.

Из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что приёмной комиссии необходимо большое количество специалистов, работающих с абитуриентами.

Выясняется, что работа с абитуриентами в приёмной комиссии, - это массовое обслуживание. Под требованием (заявкой), в приёмной комиссии, подразумевается приём документов. А вот роль каналов играют операторы. Исходя из этого можно сделать вывод, что мы имеем дело с многоканальной СМО с неограниченной очередью.

На [рисунке 2](#) изображен граф такой СМО, где имеются следующие обозначения:

n – количество каналов обслуживания;

λ – интенсивность потока заявок;

μ – интенсивность потока обслуживания;

S_0 – все каналы свободны, очереди нет;

S_l – заняты l каналов ($l = \overline{1, n}$), очереди нет;

S_{n+i} – заняты все n каналов, в очереди находится i заявок ($i = \overline{1, m}$).

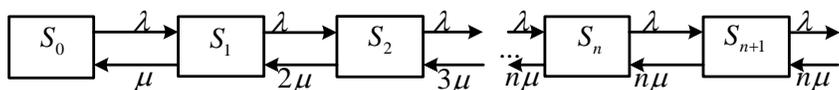


Рис.2. Граф многоканальной СМО с неограниченной очередью

Один оператор в среднем тратит 25 минут, на обслуживание одного абитуриента. В час, поступает около 45 человек, что является средним потоком абитуриентов.

Для того, чтобы найти оптимальное количество операторов, необходимо провести расчёт следующих характеристик СМО:

– интенсивность потока обслуживания $\mu = \frac{1}{t} = \frac{1}{25} = 0,04$.

– интенсивность поступления заявок: $\lambda = \frac{45}{60} = \frac{3}{4} = 0,75$ заявок в минуту.

Рассчитаем интенсивность нагрузки канала:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,75}{0,04} = \frac{75}{4} = 18,75$$

т.е. за время обслуживания одного абитуриента приходит ещё 19.

Постепенно увеличивая число каналов (операторов), будем приближаться к оптимальному результату, для этого будем использовать следующие формулы [1]:

$$\rho_0 = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} \right).$$

$$\rho_{отк} = \frac{\rho^n}{n!} \cdot \rho_0 - \text{вероятность отказа в обслуживании прибывшей в СМО заявки};$$

$$\rho_{обс} = Q = 1 - \rho_{отк} - \text{относительная пропускная способность СМО};$$

$$A = \lambda \cdot Q - \text{абсолютная пропускная способность СМО};$$

$$n_3 = \frac{A}{\mu} - \text{число занятых обслуживанием каналов};$$

$$K_3 = \frac{n_3}{n} - \text{коэффициент занятости каналов}.$$

Данные занесем в [таблицу 1](#).

Таблица 1
Расчет характеристик СМО

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 15 | 18 | 27 |
|--------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| ρ_0 | 0,051 | 0,01 | 8E-04 | 2E-04 | 4E-05 | 4E-06 | 7,1E-07 | 3E-07 | 3E-08 | 1E-08 | 7E-09 |
| $\rho_{отк}$ | 0,949 | 0,9 | 0,849 | 0,799 | 0,749 | 0,652 | 0,557 | 0,511 | 0,296 | 0,187 | 0,016 |
| $\rho_{обс}$ | 0,051 | 0,1 | 0,151 | 0,201 | 0,250 | 0,348 | 0,442 | 0,489 | 0,704 | 0,812 | 0,984 |
| n_3 | 0,949 | 1,89 | 2,833 | 3,766 | 4,691 | 6,516 | 8,297 | 9,168 | 13,2 | 15,24 | 18,45 |
| K_3 | 0,949 | 0,95 | 0,944 | 0,941 | 0,938 | 0,931 | 0,921 | 0,917 | 0,88 | 0,846 | 0,683 |
| A | 0,038 | 0,08 | 0,113 | 0,151 | 0,187 | 0,261 | 0,331 | 0,367 | 0,528 | 0,609 | 0,738 |

Выходит, что $n = 27$, это оптимальное количество операторов, которые смогут обслужить 98,4% абитуриентов.

Рассчитаем остальные характеристики СМО, используя $n = 27$.

Вероятность образования очереди:

$$\rho_{оч} = \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{n}{n - \rho} \cdot \rho_0 = \frac{18,75^{27}}{27!} \cdot \frac{27}{27 - 18,75} \cdot \rho_0 = 0,0522.$$

Среднее число посетителей в очереди:

$$L_{оч} = \frac{\rho^{n+1}}{n!} \cdot \frac{n}{(n - \rho)^2} \cdot \rho_0 = 0,01187$$

т.е. очередь не образуется. Следовательно, $\rho_{отк} = 0$, а это значит, что

$$\rho_{\text{обс}} = Q = 1.$$

Среднее число обслуживаемых абитуриентов: $L_{\text{обс}} = \rho = 18,75$ человека.

Среднее число обслуживаемых абитуриентов: $L_{\text{смо}} = L_{\text{оч}} + L_{\text{обс}} \approx 18,76$ человека.

Среднее время, затрачиваемое абитуриентом на подачу документов:

$$\bar{t}_{\text{смо}} = \frac{L_{\text{оч}}}{\lambda} + \frac{Q}{\mu} = \left(\frac{0,01187}{0,75} + \frac{1}{0,04} \right) \approx 25 \text{ минут.}$$

Таким образом, можно сделать вывод, что для эффективной работы приёмной комиссии МГТУ «СТАНКИН» необходимо 27 операторов.

Алгоритм распределения заявок абитуриентов разрабатывается на основе решения задачи о назначениях [2].

Есть n претендентов и n должностей. Если на j -ю должность назначить i -го претендента, то полезность его деятельности является числом c_{ij} .

Задача заключается в том, что необходимо определить претендентов на должности так, чтобы общая польза была максимальной (или, наоборот, вред минимальным).

Задачу можно решить перебором $n!$ перестановок, но при достаточно больших n перебор всех вариантов нереален, и задача решается «венгерским» методом.

Преимущества программного решения:

1. Автоматизированный процесс распределения электронных заявок абитуриентов позволяет облегчить нагрузку на персонал приёмной комиссии.

2. Определённый алгоритм распределения электронных заявок абитуриентов, что позволяет обрабатывать заявку максимально эффективно по временным затратам.

3. Проведение статистики из данных, полученных из приложения, к примеру, какое количество абитуриентов подали заявки конкретного числа.

4. Максимально «справедливое» распределение заявок между сотрудниками.

Под «справедливым» распределением заявок подразумевается распределение, где каждый сотрудник получает заявку один раз за цикл.

Заключение

Было проведено исследование методов, применяемых в теории массового обслуживания. Было выявлено, что структура приёмной комиссии ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» являет многоканальной СМО с неограниченной очередью. Было вычислено оптимальное количество операторов, необходимое для обслуживания абитуриентов.

Был проведен анализ метода дискретной математики «прикладные задачи о назначениях». Указаны преимущества разрабатываемого ПО.

Литература:

1. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания (практикум по решению задач)/Москва, 1966г. – 432 с. – Режим доступа: URL: <http://padaread.com/?book=35581&pg=433> (дата обращения: 01.12.2022). – Текст: электронный.
2. Леякова Л.В. Прикладные задачи о назначениях (модели, алгоритмы решения)/ Л. В. Леякова, А. Г. Харитонова, Г. Д. Чернышова. – Текст: электронный // ВЕСТНИК ВГУ, СЕРИЯ: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ –

2017 - № 2. – С. 22-27. – Режим доступа: URL:
<http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2017/02/2017-02-03.pdf> (дата обращения:
02.12.2022). – Текст: электронный.

3. Распоряжение Правительства РФ от 19.01.2022 N 28-р «Об утверждении перечня иностранных образовательных организаций, полученные образование и (или) квалификации, ученые степени и ученые звания, в которых признаются в Российской Федерации».

ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА НИПЕЛЕЙ НА ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

Н.В. Петров

ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»
127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1

На сегодняшний день станочное оборудование представляет из себя важнейшую неотъемлемую часть любого производственного предприятия. Современные специализированные станки предоставляют возможность обрабатывать различные материалы такие как: древесина, пластик, камень, металл и другие. В большинстве своём в настоящее время станочный парк оснащён станками с числовым программным управлением

Станки с числовым программным управлением – это автоматизированные станки, выполняющие операции по определенной программе без прямого участия человека. Применение таких станков является важным условием обеспечения качества выпущенной продукции. Эксплуатация такого механизма позволяет решать ранее неосуществимые работы, выполнять такие обработки, которые невозможно выполнить вручную. За счет автоматизации и компьютеризации появляется возможность избежать ошибки, вызванные непосредственным человеческим фактором.

На рынке существует огромное количество различных систем ЧПУ: Siemens, Heidehain, Fanuc, АксиОМА Контрол, с использованием которых значительно облегчается работа по изготовлению сложнопрофильных деталей. Данные системы ЧПУ используются на самых сложных процессах металлообработки, требующих высокой точности и быстродействия.

Для написания управляющей программы применяются постоянные циклы и функции, необходимые для сокращения размера управляющей программы, вследствие объединения нескольких перемещений в одну строку. Также постоянные циклы дают возможность контролировать сложные операции и формы.

Также для экономии затрат, целесообразной будет разработка гибкой производственной ячейки, в итоге получается маленькое автоматизированное производство с широким спектром деталей для обработки.

Гибким является производство, которое обеспечивает за малое время и при небольших затратах непрерывный производственный процесс и, не останавливая оборудование, переход на изготовление других деталей произвольной номенклатуры в соответствии с техническими возможностями и технологическим назначением оборудования.

Гибкие производственные ячейки позволяют оперативно переходить от обработки одной детали к другой, одновременно выполнять различные задачи. Гибкие производственные ячейки применяются в разнообразных видах, определяемых требованиями производства.

В итоге был организован технологический процесс механической обработки детали в условиях средне- и мелкосерийного производства с использованием высокопроизводительного оборудования с ЧПУ. Организация технологического процесса позволит уменьшить время обработку механическим путем путем внедрения современного оборудования.

Литература:

1. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол». Руководство программиста по созданию управляющих программ. – 05.2020. – 74 с.
2. Григорьев А.С., Мартинова Л.И., Стась А.В. Автоматизация контрольно-измерительных операций на станках, оснащенных системами ЧПУ "АксиОМА Контрол" // Автоматизация в промышленности, №5. 2016
3. СЧПУ SINUMERIK 840D sl / 840DE sl / 828D Измерительные циклы 312 Справочник по программированию, 02/2012, 6FC5398-4BP40-3PA0
4. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Пушков Р.Л. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ. Часть – I. Числовое программное управление. Учебное пособие по подготовке специалистов с высшим профессиональным образованием для кадрового перевооружения машиностроительного комплекса России. М.: МГТУ СТАНКИН. 2010. 203 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЕРЛА С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ПРОФИЛЕМ ПРОИЗВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В ОСЕВОМ СЕЧЕНИИ

*Петр Пивкин^{*1,2,3,4}, Артём Ершов^{1,2,3,4}, Никита Миронов^{1,2}*

¹ Лаборатория Технологий Микрообработки, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия;

² Кафедра Инструментальной Техники и Технологий Формообразования, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия;

³ Кафедра Высокоэффективных Технологий Обработки, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия;

⁴ Центр Когнитивных Технологий и Машинного Зрения, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия.

В статье приведены результаты исследования кинематических передних и задних углов вдоль режущей кромки спирального сверла с криволинейным профилем производящей поверхности в осевом сечении.

1 Введение

Сверление является одной из основных и распространенных операций обработки отверстий. Основными направлениями совершенствования операций сверления является повышение точности получаемых отверстий, стойкости инструмента, производительности операции и эвакуации стружки из зоны резания.

Одним из способов увеличения стойкости сверла является улучшение распределения сил резания и крутящего момента [1], одним из основных механизмов исследования корреляции эксплуатационных показателей с механизмом резания является изменение кинематических параметров режущей части сверла вдоль режущей кромки и усилий резания. При этом оптимизация формы задних поверхностей сверла может быть обеспечена путём изменения параметров установки шлифовального круга при формировании конических заточек: с плоским профилем шлифования, эллипсоидным профилем шлифования и гиперболоидным профилем шлифования.

Для высокопроизводительной обработки отверстий используются режущие кромки «S-образной формы», образованные шлифованиям по трём плоскостям [2]. Похожая схема формирования заточки используют для свёрл по композитным материалам [3]. Также для композитных материалов используется сверло с двумя канавками с двойным острием и сверло с двумя канавками ступенчатое без угла наклона спирали [4].

Используются способы формирования режущей кромки, целью которой является уменьшений поперечной режущей кромки [5]. В данном случае поперечная режущая кромка равна 3% от диаметра сверла и задний угол колеблется от 20° до 30°, что значительно уменьшает силы, действующие на инструмент.

Другим способом оптимизации формы режущей кромки является изменение формы заточки сверла в осевом сечении путём предания движения по окружности шлифовальному кругу [6 - 8]. Изменением параметров установки инструмента второго порядка можно менять форму режущей кромки не меняя форму осевого сечения инструмента [9 - 11].

При оптимизации режущей кромки должны учитываться максимально возможные факторы влияющие на процесс резания, такие как жесткость и прочность конструкции, крутящий момент и силы, действующие на рабочие поверхности инструмента, сопротивление потоку охлаждающей жидкости и возможность удаления стружки [12]. Помимо ранее перечисленных факторов, не менее важным являются кинематические геометрические параметры сверла.

2 Результаты. Обсуждение

2.1 Графический метод определения кинематических параметров

При сверлении инструмент совершает винтовое движение, где ось винтовой линии совпадает с осью инструмента. Данное движение можно разложить на два вектора, где V_s – вектор подачи и V_v – вектор вращения. Соответственно при сверлении будут возникать противодействующие данным векторам силы [1].

При этом каждая точка на режущей кромке также совершает винтовое движение и диаметр винтовой линии зависит от расстояния, на которое отдалена точка от оси инструмента. Векторы, на которые разложены данные винтовые траектории будут соответствовать силам действующих в соответствующих точках. Траектория движения каждой точки будет отличаться от траектории движения любой другой точки. В данном исследовании графически и аналитически определяется разница векторов в различных точках и угол между суммарными векторами α_v , как показано на рис. 1.

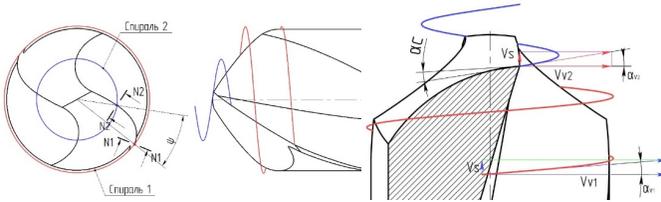


Рис. 1. Схема исследования изменения векторов движения точек режущей кромки

Исследование производилось на спиральном сверле, диаметр которого равен 12 мм. В качестве исследуемых точек выбираются точка на периферии сверла и на середине режущей кромки. Подачу принимаем $S=0,14$ мм/об.

Графическим способом определяем значения углов векторов как показано на рис. 2.

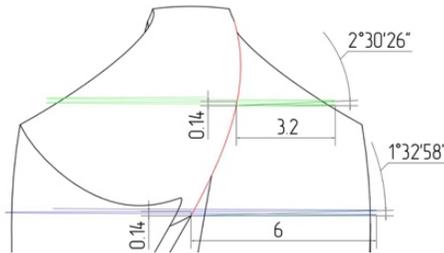


Рис. 2. Схема исследования изменения векторов движения точек режущей кромки

Разница в графическом методе составила:

$$\alpha_{v2} - \alpha_{v1} = 2^{\circ}30'26'' - 1^{\circ}32'58'' = 0^{\circ}57'28''$$

2.2 Определения кинематических параметров режущего клина

$$\alpha_{v1} = 90^\circ - \arctg\left(\frac{V_{v1}}{V_s}\right) = 90^\circ - \arctg\left(\frac{6}{0.14}\right) = 1.336659 = 1^\circ 20' 12'' \quad (1)$$

$$\alpha_{v2} = 90^\circ - \arctg\left(\frac{V_{v2}}{V_s}\right) = 90^\circ - \arctg\left(\frac{3.2}{0.14}\right) = 2.5050929 = 2^\circ 30' 18'' \quad (2)$$

$$\alpha_{v2} - \alpha_{v1} = 2^\circ 30' 18'' - 1^\circ 20' 12'' = 1^\circ 10' 16''$$

При конической заточке с радиусным профилем изменение переднего угла аналогично плоской заточки, задний же угол имеет похожий характер изменения как у переднего угла.

Рассмотрим конструкции сверла с тремя уровнями варьирования радиус кривизны профиля производящей поверхности в осевом сечении пропорционально радиусу сверла 1, 2 и 3.

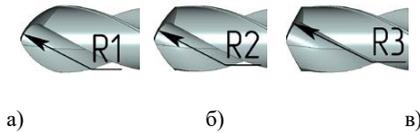


Рис.3. Варьирование радиуса кривизны профиля производящей поверхности в осевом сечении пропорционально радиусу сверла 1, 2 и 3.

Формируется рассмотрим характер изменения значений кинематических параметров режущей режущего клина сверла, описываемый графиками изменения кинематических геометрических параметров с тремя уровнями варьирования радиус кривизны профиля производящей поверхности в осевом сечении пропорционально радиусу сверла 1, 2 и 3.

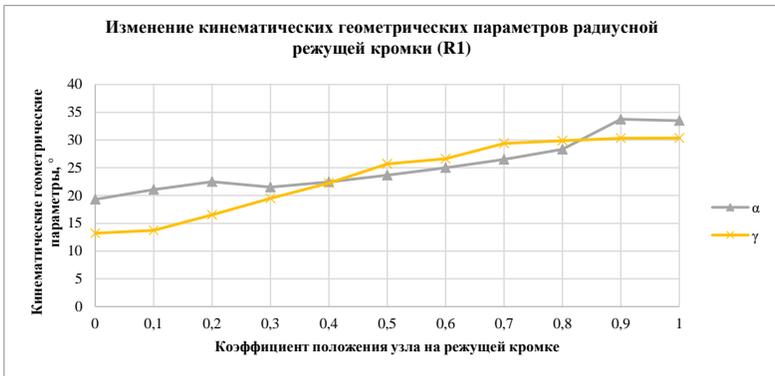


Рис. 4. Изменение кинематических геометрических параметров радиусной режущей кромки (R1)

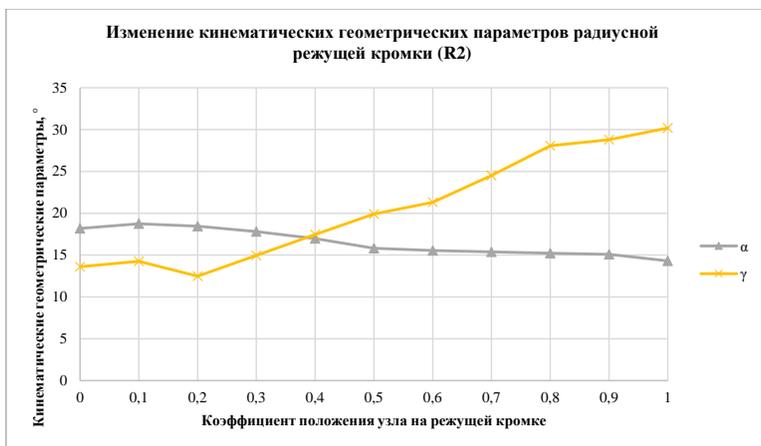


Рис. 5. Изменение кинематических геометрических параметров радиусной режущей кромки (R2)

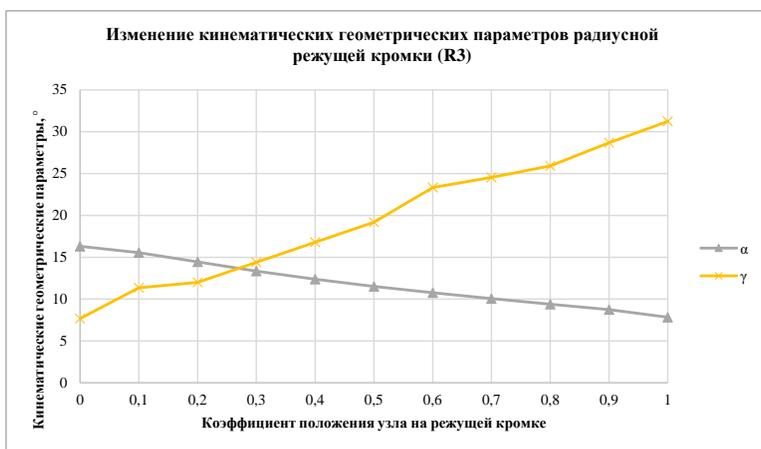


Рис. 6. Изменение кинематических геометрических параметров радиусной режущей кромки (R3)

В результате исследования характера изменения кинематических параметров режущего клина сверл с криволинейной производящей поверхностью с применением стандартной конической заточки установлено, что передний угол не критически зависит от изменения кривизны поверхности резания. Изменения кривизны производящей поверхности в большей степени оказывает влияние на изменение распределения заднего угла вплоть до образования областей вне рекомендуемого диапазона начиная от 0.8R радиуса сверла.

3 Заключение

В результате исследования установлен рациональный диапазон кривизны производящей поверхности сверла в осевом сечении. В связи с чем, применение инструмента с кривизной до $2R$ является предпочтительным и позволяет применять простой механизм заточки задней поверхности для обеспечения рациональной геометрии режущего клина сверла.

4 Благодарности

Авторы проводили исследования на оборудовании Центра коллективного пользования МГТУ "СТАНКИН".

Выполнено при финансировании гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (Конкурс - МК-2021). МК-5557.2021.4.

Литература:

1. Paul, A., Kapoor, S. G. and DeVor, R. E., "Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design," *International Journal of Machine Tools and Manufacture* **45**(4–5), 421–431 (2005) doi:[10.1016/j.ijmachtools.2004.09.010](https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.09.010).
2. Koehler, W., "Analysis of the High Performance Drilling Process: Influence of Shape and Profile of the Cutting Edge of Twist Drills," *Journal of Manufacturing Science and Engineering* **130**(5), 051001 (2008) doi:[10.1115/1.2951932](https://doi.org/10.1115/1.2951932).
3. Li, M. J., Soo, S. L., Aspinwall, D. K., Pearson, D. and Leahy, W., "Influence of Lay-up Configuration and Feed Rate on Surface Integrity when Drilling Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP) Composites," *Procedia CIRP* **13**, 399–404 (2014) doi:[10.1016/j.procir.2014.04.068](https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.04.068).
4. Jallageas, J., Cherif, M., K'nevez, J.-Y. and Cahuc, O., "New Vibration System for Advanced Drilling Composite-Metallic Stacks," *SAE Int. J. Mater. Manf.* **7**(1), 23–32 (2013) doi:[10.4271/2013-01-2078](https://doi.org/10.4271/2013-01-2078).
5. King, R. I., ed., [Handbook of High-Speed Machining Technology], Springer US, Boston, MA (1985).
6. Baroiu, N., Teodor, V., Berbinschi, S. and Oancea, N., "Multi-Flute Helical Drills - The Modeling of a Hyperboloid Sharpening Method of the Back Faces," September 2011, 37–41.
7. Baroiu, N., Teodor, V., Berbinschi, S. and Oancea, N., "The Methodology to Generate a Helical Flute for Drill with Curved Cutting Edge, Using SV& Toolbox Environment," January 2012, 85–88.
8. Пивкин, П. М., Гречишников, В. А., Ершов, А. А. and Миронов, Н. Е., "Математическая модель движения шлифовального круга при конической заточке твердого спирального сверла," Самарские чтения (в память об академике А.А. Самарском), 202–204, Издательство «Янус-К».
9. Berbinschi, S., Baroiu, N., Teodor, V. and Oancea, N., "A Profiling Method for Secondary Order Tool for Drill Manufacturing," September 2011, 57–62 (2021).
10. Baroiu, N., Berbinschi, S., Teodor, V. and Oancea, N., "COMPARATIVE STUDY OF DRILL'S FLANK GEOMETRY DEVELOPED WITH THE CATIA SOFTWARE," THE

11. Baroiu, N., & Berbinschi, N. (2013). CAD modeling of helical cylindrical surfaces with applications for helical drills. *Fascicola suplimentara*, 58(72), 31-34.
12. Abele, E., Fujara, M., & Schafer, D. (2011, January). Holistic approach for a simulation-based twist drill geometry optimization. In *International Manufacturing Science and Engineering Conference* (Vol. 44304, pp. 137-144).
13. Wan, M., Li, S. E., Yuan, H., & Zhang, W. H. (2019). Cutting force modelling in machining of fiber-reinforced polymer matrix composites (PMCs): a review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 117, 34-55.
14. P. M. Pivkin, A. A. Ershov and A. B. Nadykto, "Mathematical Modelling of the Cutting Edge of a Tri-Flute Drill," 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271547.
15. Pivkin, P. A new approach to edge modeling on the toroidal production surface of milling cutter / P. Pivkin // *The Samarskii readings (in memory of academician A. A. Samarskii)*, 22–25 декабря 2021 года. – Общество с ограниченной ответственностью Издательство «Янус-К», 2022. – P. 40-44. – EDN ETJINH.
16. A new method for the precise determination of rational geometric parameters of the helical groove and cutting part of high-performance tri-flute / P. M. Pivkin, A. A. Ershov, V. A. Grechishnikov, A. B. Nadykto // *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* : 3, Virtual, Online, 21–25 сентября 2020 года. – Virtual, Online, 2020. – P. 1154014. – DOI 10.1117/12.2574392. – EDN WMYBBZ.
17. Спиральное сверло с внутренними каналами у-образной формы для оптимальной подачи СОЖ / В. А. Гречишников, В. Б. Романов, П. М. Пивкин [и др.] // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2017. – № 8-2. – С. 15-21. – EDN ZHTQST.
18. Reverse engineering of geometric models of advanced curved edge drills using optical measuring systems / P. M. Pivkin, A. A. Ershov, M. A. Volosova [et al.] // *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*: 18, Virtual, Online, 13–17 сентября 2021 года. – Virtual, Online, 2021. – P. 118670. – DOI 10.1117/12.2602170.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ РЕЗЦОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТОРЦЕВЫХ КАНАВОК

*Петр Пивкин^{*1,2,3,4}, Владимир Гречишников^{1,2}*

¹ Лаборатория Технологий Микрообработки, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия;

² Кафедра Инструментальной Техники и Технологий Формообразования, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия;

³ Кафедра Высокоэффективных Технологий Обработки, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия;

⁴ Центр Когнитивных Технологий и Машинного Зрения, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия.

В статье представлены математической модели, лежащие в основе разработки системы автоматизированного проектирования и производства режущей части резцов для обработки торцевых канавок.

1 Введение

Повышение требований к качеству изделий и сложности их конструкции стимулирует необходимость создания новых методов и средств обработки, в том числе специальных конструкций режущих инструментов с повышенными эксплуатационными показателями [1-3]. Одной из наиболее сложных задач в современном машиностроении является формообразование торцевых канавок [4-6]. Данные конструктивные элементы выполняются на ответственных деталях двигателей различного назначения, валов, фланцев и других ответственных деталей авиастроения, автостроения, космической отрасли. Сложность доступа к зоне обработки, изменение кривизны группы обрабатываемых поверхностей, плохой отвод стружки, эти и другие сложности обосновывают необходимость создания специальных конструктивных решений в виде режущего инструмента для эффективного производства изделий с торцевыми канавками [7-11]. Вспомогательные режущие кромки образуют профилирующие вершины реза в результате их пересечения с главной режущей кромкой. Отсюда следует, что правильность назначения геометрических параметров вспомогательных режущих кромок в большой степени влияет на точность изготовления торцевых канавок. Расположение вспомогательных задних поверхностей реза в инструментальной системе координат задается вспомогательным углом в плане φ_1 и вспомогательным задним углом α_1 . Расположение вспомогательной задней поверхности со стороны внешнего диаметра зависит, так же расстояния между вершинами реза (X_k, Y_k, Z_k).

Определение расположения вспомогательных режущих кромок производится в единой системе координат инструмента, рассмотренной в разделе 3.3. Что позволяет получить результат моделирования в виде данных необходимых для создания рабочего чертежа реза. Уравнение вспомогательной задней поверхности со стороны меньшего диаметра

канавки в системе координат резца XYZO получено за счет следующих преобразований (рисунок 1): 1. поворот плоскости XOZ вокруг оси OX инструмента на величину вспомогательным задним углом α_1 ; 2. поворот плоскости вокруг оси OZ на величину вспомогательного угла в плане φ_1 .

$$Zv(t, h) = \begin{pmatrix} t \\ 0 \\ h \end{pmatrix} \tag{1}$$

$$W_{\alpha_1} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{2}$$

$$W_{\varphi_1} := \begin{pmatrix} \cos(\varphi_1) & 0 & \sin(\varphi_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\varphi_1) & 0 & \cos(\varphi_1) \end{pmatrix} \tag{3}$$

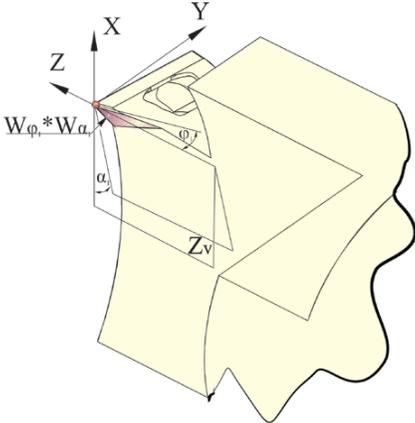


Рис. 1 Последовательные преобразования плоскости Zv при определении уравнения задней поверхности резца

В результате последовательных преобразований уравнение вспомогательной задней поверхности будет иметь вид:

$$Zvs(t, h) := W_{\varphi_1} \cdot W_{\alpha_1} \cdot Zv(t, h); \begin{pmatrix} t \cdot \cos(\varphi_1)\cos(\alpha_1) - h \cdot \sin(\varphi_1) \\ -t \sin(\alpha_1) \\ h \cdot \cos(\varphi_1) + t\cos(\alpha_1)\sin(\varphi_1) \end{pmatrix} \tag{4}$$

Уравнение вспомогательной задней поверхности:

$$Zvs(X, Y) = -\frac{X}{\tan \varphi_1} - \frac{Y}{\sin(\varphi_1) \tan \alpha_1} \quad (5)$$

Уравнение вспомогательной режущей кромки может быть получено из решения системы двух уравнений: 1. уравнение передней поверхности резца; 2. уравнение вспомогательной задней поверхности резца.

$$VRK(Y) = \left(\begin{array}{c} -Y \left(\frac{\tan \gamma \cos \varphi + \sin \lambda \sin \varphi}{\cos \lambda \tan \varphi_1} + \frac{\tan \gamma \sin \varphi}{\cos \lambda} - \tan \lambda \cos \varphi \right) \\ Y \\ -\frac{Y}{\tan \varphi_1} \end{array} \right) \quad (6)$$

Вспомогательная задняя поверхность со стороны большего диаметра в системе координат резца XYZO получена за счет следующих преобразований: 1. поворот плоскости, лежащей на плоскости XOZ, вокруг оси OX инструмента на величину вспомогательным задним углом $-\alpha_1$; 2. поворот плоскости вокруг оси OZ на величину вспомогательного угла в плане $-\varphi_1$; 3. перемещение плоскости вдоль оси вдоль оси OX на расстояние X_k ; 4. перемещение плоскости вдоль оси OY на расстояние Y_k ; 5. Перемещение плоскости вдоль оси OZ на расстояние Z_k .

$$Zvs2(t, h) = \left(\begin{array}{c} t \cdot \cos(\varphi_1) \cos(\alpha_1) - h \cdot \sin(\varphi_1) + X_k \\ t \sin(\alpha_1) + Y_k \\ h \cdot \cos(\varphi_1) + t \cos(\alpha_1) \sin(\varphi_1) + Z_k \end{array} \right) \quad (7)$$

В результате уравнение вспомогательной задней поверхности резца со стороны большего диаметра в явном виде будет иметь вид:

$$Zvs2(X, Y) = \frac{X_k Y_k - X_k Y + 2X \sin(\alpha_1) - 2X_k \sin(\varphi_1)^2 \sin(\alpha_1) - 2X_k^2 \cos(\varphi_1) \sin(\alpha_1) + 2X_k Y_k \sin(\varphi_1) \sin(\alpha_1) + 2X_k X \sin(\alpha_1) \cos(\varphi_1)}{2X_k \sin(\varphi_1) \sin(\alpha_1)} \quad (8)$$

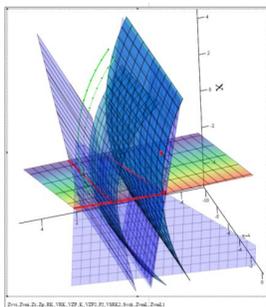


Рис. 2 Графическое представление математических зависимостей, формирующие режущие кромки в программной среде MathCAD

Уравнение вспомогательной режущей кромки может быть получено из решения системы двух уравнений: 1. уравнение передней поверхности резца; 2. уравнение вспомогательной задней поверхности резца.

$$VRK(Y) = \left(\frac{X \cdot YvsRK(X)}{\frac{X \cos \lambda + YvsRK(X) \cos \varphi \sin \lambda - YvsRK(X) \tan \gamma \sin \varphi}{\tan \gamma \cos \varphi + \sin \varphi \sin \lambda}} \right) \quad (8)$$

где $YvsRK$:

$$YvsRK(X) = \frac{X \cos(\lambda) \sin(\varphi_1) + Yk \tan(\gamma) \cos(\varphi) \cos(\varphi_1) - Zk \tan(\gamma) \cos(\varphi) \sin(\varphi_1) + Yk \sin(\lambda) \sin(\varphi) \cos(\varphi_1) + Zk \sin(\lambda) \sin(\varphi) \sin(\varphi_1)}{\tan(\gamma) \cos(\varphi) \cos(\varphi_1) + \tan(\gamma) \sin(\varphi) \sin(\varphi_1) - \sin(\lambda) \cos(\varphi) \sin(\varphi_1) + \sin(\lambda) \sin(\varphi) \cos(\varphi_1)} \quad (9)$$

Сформированная совокупность зависимостей между конструктивными параметрами вспомогательных задних поверхностей является одним из наиболее значимых элементов при формировании элементов технологической подготовки производства и нахождения элементов расчета и наладки оборудования с ЧПУ на этапе разработки технологической системы в инструментальном производстве.

3 Заключение

Математическое моделирование вспомогательных режущих кромок и прямолинейных участков вспомогательных задних поверхностей является важной частью процесса проектирования базовой конструкции резца для обработки торцевых выточек различных форм. Данная модель является основным элементом расширения технологических возможностей резцов для обработки торцевых канавок и повысить показатели технологического процесса обработки деталей с торцевыми канавками.

4 Благодарности

Авторы проводили исследования на оборудовании Центра коллективного пользования МГТУ "СТАНКИН".

Выполнено при финансировании гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (Конкурс - МК-2021). МК-5557.2021.4.

Литература:

1. Выбор шага смещения формообразующего контура при трохоидальном фрезеровании паза концевыми фрезами / В. А. Гречишников, Ю. Е. Петухов, П. М. Пивкин [и др.] // СТИН. – 2017. – № 4. – С. 21-23. – EDN YKVCZR.
2. Trochoidal slot milling / V. A. Grechishnikov, Y. E. Petukhov, P. M. Pivkin [et al.] // Russian Engineering Research. – 2017. – Vol. 37. – No 9. – P. 821-823. – DOI 10.3103/S1068798X17090106. – EDN XNPZUB.

3. Electrical discharge machining of oxide nanocomposite: Nanomodification of surface and subsurface layers / S. N. Grigoriev, M. A. Volosova, A. A. Okunkova [et al.] // *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. – 2020. – Vol. 4. – No 3. – P. 96. – DOI 10.3390/JMMP4030096. – EDN GKYPQT.
4. Гречишников, В. А. Инструментальная система для обработки торцевых канавок на станках с ЧПУ / В. А. Гречишников, А. Р. Маслов, П. М. Пивкин // *Вестник машиностроения*. – 2015. – № 8. – С. 16-19. – EDN VKEAZJ.
5. Гречишников, В. А. Система токарных резцов для обработки торцевых канавок на станках с ЧПУ / В. А. Гречишников, А. Р. Маслов, П. М. Пивкин // *Вестник МГТУ "Станкин"*. – 2015. – № 2(33). – С. 23-29. – EDN TTHWVV.
6. Sørby, K, Tønnessen, K. (2006). High-pressure cooling of face-grooving operations in Ti6Al4V. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B-journal of Engineering Manufacture - PROC INST MECH ENG B-J ENG MA*. 220. 1621-1627. 10.1243/09544054JEM474.
7. Пивкин, П. М. Технология изготовления цельной конструкции резца для обработки торцевых канавок сложной формы / П. М. Пивкин // *Вестник МГТУ "Станкин"*. – 2016. – № 4(39). – С. 40-46. – EDN XIBSYP.
8. Гречишников, В. А. Инструментальное решение для обработки торцевых канавок / В. А. Гречишников, П. М. Пивкин, В. Б. Романов // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2017. – № 8-2. – С. 75-80. – EDN ZHTQWF.
9. Wedm as a replacement for grinding in machining ceramic al2o3-tic cutting inserts / S. N. Grigoriev, M. A. Volosova, A. A. Zelensky [et al.] // *Metals*. – 2021. – Vol. 11. – No 6. – DOI 10.3390/met11060882. – EDN SWZORT.
10. Abbas, A.T., Gupta, M.K., Soliman, M.S. *et al.* Sustainability assessment associated with surface roughness and power consumption characteristics in nanofluid MQL-assisted turning of AISI 1045 steel. *Int J Adv Manuf Technol* **105**, 1311–1327 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04325-6>
11. Pivkin, P. A new approach to edge modeling on the toroidal production surface of milling cutter / P. Pivkin // *The Samarskii readings (in memory of academician A. A. Samarskii)*, 22–25 декабря 2021 года. – Общество с ограниченной ответственностью Издательство «Янус-К», 2022. – P. 40-44. – EDN ETJINH.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ РИСКА НА ФОНДОВОЙ БИРЖЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Е.М. Красикова, Г.В. Плаксунов

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1

Применение алгоритмов машинного обучения для предсказания цены любого актива позволит увеличить шансы на заключение прибыльных сделок и снизить риски потерь. Эффективность таких алгоритмов не может быть 100 процентной по причине того, что на цены всех активов влияют спрос и предложение, которые могут меняться в зависимости от различных сторонних факторов. Такими факторами могут быть события, никак не связанные с непосредственной деятельностью компании.

В современном мире зависимость различных крупных компаний, чьи акции торгуются на крупнейших фондовых биржах, между собой очень велика. Предсказать последствия нарушений деятельности одной компании на деятельность другой не всегда тривиальная задача, особенно если эти компании напрямую друг с другом не сотрудничают. В связи с этим, алгоритм машинного обучения не сможет гарантировать высокую точность предсказания поведения цены актива в ближайшем, и тем более в отдаленном будущем.

Основными игроками на фондовых биржах являются трейдеры. Это люди или даже компании, которые, используя всю доступную информацию, выдвигают предположения относительно поведения цен тех или иных активов на различных временных участках и, в соответствии с этими предположениями, заключают сделки покупки или продажи акций или любых других активов.

Трейдеры в своей деятельности часто применяют технический анализ. Этот вид анализа применяется на графиках цены актива для обнаружения разнообразных паттернов, которые выступают в роли сигналов и помогают выдвигать предположения касательно стоимости актива в ближайшем будущем.

Алгоритмы машинного обучения позволяют автоматизировать выдвижение предположений о будущем значении цен путем приблизительного подсчета вероятностей различных исходов в будущем. Для тренировки модели используются исторические данные цены (данные о том, сколько актив стоил в прошлом). От количества этих данных, их точности и полноты будет зависеть точность результатов работы алгоритма.

Алгоритм использует исторические данные, как тренировочный датасет. Обнаруживает закономерности поведения цены. Чем более плотно расположены соседние точки данных в тренировочном датасете, тем выше точность предсказания цены. Для предсказания цены, которая будет через час, датасет должен в себе содержать данные о цене, с почасовым срезом. Если же промежуток между соседними точками будет меньше, то появится возможность предсказания цены на меньшие промежутки времени в будущем.

Литература

1. Вьюгин В.В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования. Москва, издательство МЦНМО, 2018. 384 с.
2. Информационно-аналитический ресурс по машинному обучению
<http://www.machinelearning.ru/>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МОДЕЛИ СТРУЙНОГО ЭЛЕКТРОЛИТНО- ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА

А.И. Попов, С.В. Ермак, А.П. Веселовский, А.С. Фумин,
Диату Клара, Лелу Муанда, С.А. Кислицин, М.М. Радкевич

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

Tel.: (+7 812)552-93-02, e-mail: popov_ai@spbstu.ru

Введение

Результаты прикладных разработок, базирующихся на фундаментальных исследованиях, формируют базу для внедрения в промышленность инновационных решений. Они являются фактором развития производственных технологических процессов [1, 2].

Один из таких прикладных исследований является изучение механизмов развития электрического разряда, сформированного в струйной электролитной плазме. Технологически данный вид плазмы может применяться для разных возможных применений. Среди данных применений можно выделить использование плазмы для нагрева заготовок при термообработке и диффузионном насыщении, микродуговом окислении, размерной обработки и полировке поверхности деталей [3-6].

Использование электролитной плазмы в столь широком технологическом применении возможно при понимании процессов, происходящих в приповерхностном слое, построении физической модели взаимодействия электролитной плазмы с поверхностью деталей при размерной обработке и полировке поверхности и ее описании [4-6]. По сути, развитие струйного электролитно-плазменного разряда является нелинейным процессом. Многими авторами были предложены различные модели развития и формирования электролитно-плазменного разряда в разных условиях [7,8]. Однако до сих пор отсутствует приемлемая модель развития и существования струйного электролитно-плазменного разряда и ее математическое описание.

Целью работы является создание предпосылок построения математической модели струйного электролитно-плазменного разряда, основанной на результатах экспериментальных исследований.

Метод

Для проведения эксперимента была использована экспериментальная установка разработанная в Высшей школе машиностроения СПбПУ [6]. В качестве электролита использовался раствор хлорида натрия с концентрацией 5-300 г/л, сульфата аммония с концентрацией от 3-50 г/л. Температура электролита изменялась от 20-100° С. Объемный расход электролита изменялся в диапазоне от 2-90 л/ч. В качестве образцов обрабатываемого материала использовали сталь ХВГ, нержавеющей сталь 08X18H9T, материал Инконель 718, полученный методом SLM – методом, сталь L605.

Время прохождения электролита фиксировали секундомером, объем электролита контролировали мерным химическим стаканом. Видеосъемку производили на

смартфон Xiaomi Redmi. Обработку данных производили с помощью цифровой видеокамеры Canon EOS550D. Трехмерные модели получены с использованием программы Cinema4D. Для снятия частотных характеристик разряда использовался осциллограф HANTEK с полосой пропускания 100 МГц.

Исследование

Анализ экспериментальных данных показывает, что нелинейность процесса струйного электролитно-плазменного разряда формируется в нескольких видах:

- разрушение геометрии разряда в процессе обработки;
- наличие взрывного электрогидравлического эффекта;
- импульсный характер развития и поддержания разряда;
- электрические пробой;
- микровзрывы гремучего газа.

Этапы развития электрического разряда в процессе электролитно-плазменной обработки в виде трехмерных моделей показаны на рис.1.

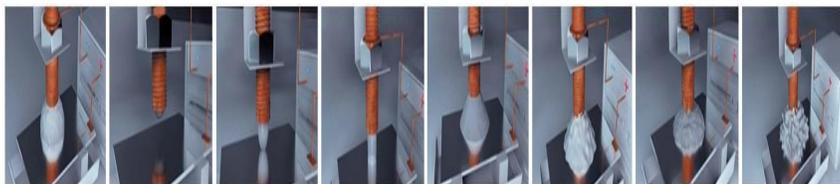


Рис. 1. Этапы развития электрического разряда [6].

Анализ расшифровки результатов видеосъемки в замедленном режиме электрического разряда сформированного объемным расходом электролита от 2-4 л/ч и напряжении от 100-300 В показывает, что в течении кратковременного периода 12000 мс форма электрического разряда многократно изменяется. Изменение формы разряда имеет нелинейный характер и по нашему мнению, во многом зависит от накопленной емкости конденсаторов. При полном заряде конденсаторов сохраняется форма разряда в виде, усеченного с двух сторон эллипса или полусферы. При разряде конденсаторов происходит деструкция разряда с полным разрушением формы разряда. Процесс имеет циклический характер.

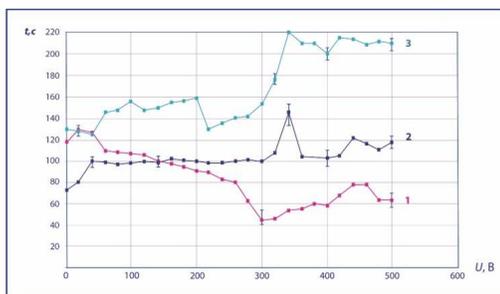
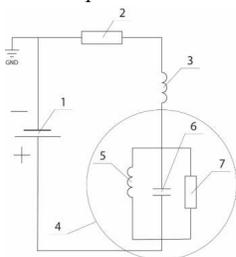


Рис. 2. Зависимость времени прохождения 0.1 кг электролита через межэлектродный промежуток от напряжения разряда, электролит с концентрацией NaCl- 4 г/л, МА-сталь ХВГ: 1 – G = 2.37 г/с, 2 – G = 1.2 г/с, 3 – G = 0.75 г/с.

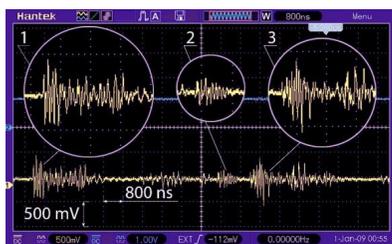
Наличие взрывного электрогидравлического эффекта фиксировалось нами при пропускании малых объемов электролита через трубку полого катода и при напряжении электрического разряда более 300 В. Исследование разряда при объемных расходах до 2 л/ч показывает, что при увеличении напряжения между электродами скорость прохождения электролита заметно снижается (рис.2.). Особенно проявляется этот эффект при уменьшении объемных расходов (скорости потока электролита). Наиболее ярко замедление скорости потока можно проследить для $G = 0.75$ г/с. В этом случае (кривая 3) имеет четко выраженный подъем. При этом время протока электролита уменьшается более чем в 3 раза.

Нами оценивается данный факт как наличие электрогидравлического эффекта в электролитно-плазменном разряде, связанного с нелинейностью процесса и замедлением прохождения электролита за счет электрогидравлических ударов, развивающихся в разрядной области. Так как электрогидравлические удары связаны с расширением объема разряда фронт ударной волны направлен внутрь трубки, что приводит к замедлению прохождения электролита в область разряда.

Принципиальная схема установки и струйного электролитно-плазменного разряда показана на рис.1.



а)



б)

Рис. 3. Принципиальная электрическая схема развития струйного электролитно-плазменного разряда: а) 1 - блок питания, 2 - общее сопротивление проводов, 3 - индуктивность проводов, 4 - электрическая модель струйного электролитно-плазменного разряда, 5 - индуктивность единичного разряда, 6 - емкость межэлектродного промежутка, 7 - сопротивление межэлектродного промежутка; б) - осциллограмма электролитно - плазменного разряда.

Предложена модель межэлектродного промежутка, в которой реализуется струйный электролитно-плазменный разряд. Очевидно, что данный процесс не является линейным разрядным процессом и представлен в виде параллельно соединенных емкости, сопротивления и индуктивности.

Данный процесс можно записать системой из дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} dL/dt + L^2 &= 0 \\ dC/dt + C^2 &= 0 \\ dR/dt + R^2 &= 0 \end{aligned} \tag{1}$$

где, L - величина индуктивности единичного разряда; C - емкость межэлектродного промежутка; R - сопротивление межэлектродного промежутка; t - время обработки.

Каждая из этих составляющих в заданный момент времени взаимно дополняют, усиливают и замедляют действие другого фактора. Емкость разрядного межэлектродного промежутка складывается из емкости электролитических полярных и неполярных конденсаторов. Сопротивление межэлектродного разрядного промежутка зависит от концентрации и температуры электролита, а также высоты межэлектродного промежутка и диаметра электролитической струи. Индуктивность зависит от проводимости электролита, его температуры, химического состава.

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что в процессе развития разряда при струйной электролитно-плазменной обработке поверхности (рис. 3, б) формируются высокочастотные пакеты импульсов от 8-9 единичных импульсов на шаг развертки 800 нс. Максимальное значение напряжения единичного импульса можно оценить 300-400 мВ. При этом происходят следующие процессы накопление потенциала за счет высокой до 10^5 - 10^7 В/м напряженности электрического поля, формирование высокочастотных пакетов импульсных разрядов в разрядной области в прианодной зоне. В процессе появления и развития каждого единичного разряда плазменный канал единичного разряда проявляет себя как индуктивность. Поэтому единичный разряд работает на максимальную мощность и ток единичного канала стремится к бесконечности. Этому явлению препятствует сопротивление межэлектродного промежутка, экспоненциально возрастающее с уменьшением расстояния до анода.

Дуговые пробои межэлектродного промежутка носят периодический характер. Как правило проявляются при загрязненной поверхности, высокой концентрации электролита и высокой напряженности электрического поля при приближении трубки токоподвода к поверхности анода ближе 2 мм. Микровзрывы гремучего газа образуются в верхней части электролитно-плазменной области, при повышении напряжения выше 360 В. Они носят не системный характер и не влияют на частотные характеристики разряда. Анализ морфологии поверхности при струйной электролитно-плазменной обработке разрядам с высокочастотной составляющей показывает распыление поверхностного слоя с низким параметром шероховатости поверхности и высокой отражательной способностью (рис.4.).

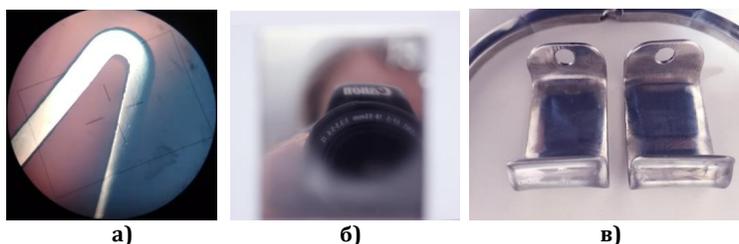


Рис.4. Примеры обработки поверхности разных материалов струйной электролитно-плазменной обработкой с высокочастотной составляющей: а) кардиохирургические стенты (материал сталь L605); б) отражательная способность образца (материал 08X18H9T); в) элементы медицинского ранорасширителя (материал Инконель 718).

Выводы

Показано, что при струйной электролитно-плазменной обработке поверхности реализуются несколько видов нелинейных процессов, связанных с потерей формы электролитно-плазменного разряда, проявлением электрогидравлического эффекта, импульсным характером развития и поддержания разряда, электрическими пробоями и микровзрывами гремучего газа. Последние два фактора носят несистемный характер и возникают при создании специальных условий.

Высокочастотная модель развития электрического разряда, может быть описана нелинейными дифференциальными уравнениями. Модель описывает передачу энергии поверхностному слою за счет реализации большого числа микроплазменных разрядов, приводящих к разогреву поверхности и снижению работы выхода электронов атомов металла, составляющих материал, повышению степени ионизации раствора в приародной области, что вместе способствует облегченному распылению поверхностного слоя с достижением заданной скорости удаления.

Благодарность Авторы выражают признательность графическому дизайнеру Поповой Д.А. за подготовку иллюстраций.

Литература:

1. Принципы построения автоматизированных систем поддержки жизненного цикла инновационных продуктов / А. И. Надеев, А. И. Попова, А. В. Сурина, Ю. К. Свечников // Датчики и системы. – 2006. – № 11. – С. 59-63. – EDN KWMQTP.
2. Институциональные аспекты инновационной экономики: монография /Т. И. Безденежных, В. В. Шапкин, О. В. Угольникова [и др.]; Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики, 2012. – 131 с. – ISBN 978-5-228-00590-7. – EDN TLVEJZ.
3. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Том 2. Монография / И. В. Суминов, П. Н. Белкин, А. В. Эльфельд [и др.]. – Москва : Техносфера, 2011. – 512 с. – ISBN 978-5-94836-268-7. – EDN RBATRZ.
4. Патент № 2656318 С1 Российская Федерация, МПК C23C 14/35. Магнетронная распылительная головка: № 2017111428: заявл. 04.04.2017: опубл. 04.06.2018 / А. И. Попов, М. М. Радкевич, В. С. Медко [и др.]; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" (ФГАОУ ВО "СПбПУ"). – EDN UQSEXB.
5. Popov, A. I. Thinnest Finishing Treatment with a Focused Jet of Electrolytic Plasma / A. I. Popov, M. M. Radkevich, V. G. Teplukhin // Advances in Mechanical Engineering: Part of the Lecture Notes in Mechanical Engineering book series (LNME), SaintPetersburg, Russia, 01–02 июня 2019 года. – Cham: Springer, 2020. – P. 139-149. – DOI 10.1007/978-3-030-39500-1_15. – EDN SSNLCQ.
6. Попов, А. И. Особенности формирования электрического разряда между струйным электролитическим катодом и металлическим анодом при атмосферном давлении / А. И. Попов, В. И. Новиков, М. М. Радкевич // Теплофизика высоких температур. – 2019. – Т. 57. – № 4. – С. 483-495. – DOI 10.1134/S004036441903013X. – EDN SJQXBG.
7. Process understanding of plasma electrolytic polishing through multiphysics simulation

- and inline metrology / I. Danilov, M. Hackert-Oschätzchen, M. Zinecker [et al.] // *Micromachines*. – 2019. – Vol. 10. – No 3. – P. 214. – DOI 10.3390/mi10030214. – EDN QPFGBH.
8. Zakharov, S. V. Electrolyte-Plasma Polishing Ionization Model / S. V. Zakharov, M. T. Korotkikh // *Advances in Mechanical Engineering: Part of the Lecture Notes in Mechanical Engineering book series (LNME)*, Saint Petersburg, Russia, 01–02 июня 2019 года. – Cham: Springer, 2020. – P. 193-208. – DOI 10.1007/978-3-030-39500-1_20. – EDN FDKQTK.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛУЖБЫ ОТОПИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Ю.С. Поздняк², Т.В. Карлова^{1,2}, А.Ю. Бекмешов^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» 127055, Москва, Вадковский пер., д.3а

²Федеральное государственное автономное учреждение науки Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук 127055, Москва, Вадковский пер., д. 18, стр. 1А
E-mail: infinitix9702@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению вопросов совершенствования экологических показателей службы отопительного комплекса на основе структурной модели путем определения ключевых показателей качества процесса выделения тепла, влияющих на устойчивое экологическое развитие предприятия.

Ключевые слова: совершенствование процесса, структурная модель, управление, дефект, ключевые показатели, стратегия.

Природоохранная деятельность занимает важное место в государственном управлении и регулировании экономики. Анализ развития промышленных производств в последние десятилетия показывает резко возрастающую роль экологического фактора при функционировании промышленного предприятия.

Степень воздействия промышленного предприятия на окружающую среду зависит в первую очередь от специализации предприятия, масштабов производства, принятой технологии. Необходимо постоянно контролировать масштабы загрязнений, следить за изменениями в природном комплексе окружающей среды, разрабатывая комплексные программы по максимальному уменьшению вредного воздействия предприятий. Это представляет собой стратегию в области экологии, которая способствует экологически безопасному и устойчивому развитию предприятия, в данный момент и в долгосрочной перспективе.

Основой отопительного комплекса является комплекс устройств, необходимых для выработки пара или горячей воды, в результате работы которых выделяется много отходов производства. Поэтому вопрос экологически безопасного развития отопительных комплексов является приоритетным, а значит, в дальнейших разработках должно уделяться особое внимание инновациям, благодаря внедрению которых удастся достичь такого развития.

Для экологически безопасного развития предприятия в долгосрочной перспективе необходимо проанализировать основные показатели качества технологических процессов, выявить уязвимые места и разработать структурную модель по совершенствованию процесса. После достижения поставленных целей получится добиться следующих результатов:

1. повысить эффективность управления и снизить риски по всем направлениям деятельности;

2. повысить эффективность продаж тепловой энергии за счет постоянного совершенствования стратегии деятельности на рынке тепловой энергии.

Воспользуемся процессным подходом, и рассмотрим более подробно основной процесс, который выполняется на отопительном комплексе - процесс выработки тепла с основными этапами его выполнения. Элементы, участвующие в данном процессе представлены на рисунке 1.

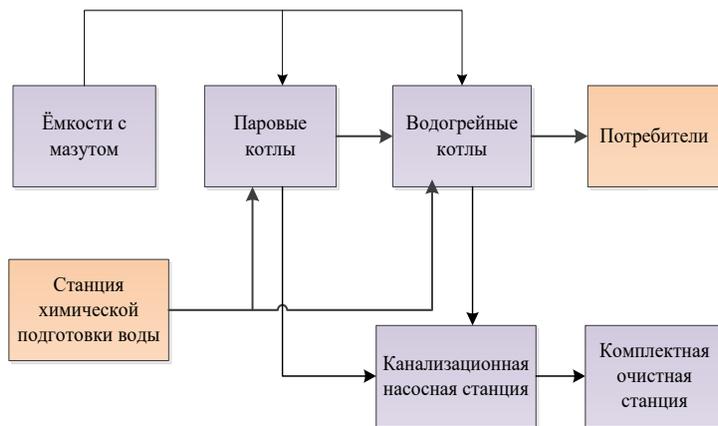


Рис. 1 – Основные элементы технологических процессов на отопительном комплексе

При детальном изучении схемы можно выделить следующие основные технологические процессы:

- подача мазута из ёмкостей в котлы;
- смешивание мазута с воздухом и горение;
- выдача тепла потребителям;
- удаление дренажных вод на комплектную очистную станцию.

Для определения основных факторов, влияющих на экологически безопасную работу предприятия, рассмотрим все показатели, требующие контроля при выделении тепла.

Для примера, проанализируем число отклонений, выявленных за последние 10 лет на отопительном комплексе (таблица 1), по отношению к показателям технологических процессов и выделим те, которые оказывали наибольшее влияние на загрязнение.

Для этого воспользуемся одним из статистических инструментов контроля качества – *диаграммой Парето*, которая позволяет выявить наиболее значимые и существенные факторы, влияющие на возникновение несоответствий, а в нашем случае, на уровень загрязнения.

Число выявленных неисправностей, связанных с показателями технологических процессов на отопительном комплексе представлено на рисунке 2.

Таблица 1

Данные по количеству неисправностей, собранные с 2010 по 2020 года на отопительном комплексе по отношению к показателям технологических процессов

| № | Показатели технологических процессов | Число неисправностей | Накопленная сумма числа неисправностей | Процент числа отказов по каждому показателю к общей сумме, % | Накопленный % |
|----|---|----------------------|--|--|---------------|
| 1 | Полнота сгорания топлива | 18 | 18 | 27,27 | 27,27 |
| 2 | Количество вредных веществ в воздухе помещений | 15 | 33 | 22,73 | 50,00 |
| 3 | Количество вредных выбросов, выделяемых в окружающую среду | 10 | 43 | 15,15 | 65,15 |
| 4 | Давление подаваемого воздуха | 5 | 48 | 7,57 | 72,72 |
| 5 | Давление мазута, подаваемого на горелку | 4 | 52 | 6,06 | 78,78 |
| 6 | Давление воды, подаваемой в котёл | 3 | 55 | 4,54 | 83,32 |
| 7 | Давление уходящих газов | 3 | 58 | 4,54 | 87,86 |
| 8 | Температура подготовленной воды | 2 | 60 | 3,04 | 90,90 |
| 9 | Отсутствие утечек тепла через уплотнения люков, технологических проёмов | 2 | 62 | 3,04 | 93,94 |
| 10 | Уровень химически подготовленной воды в расширительном баке; | 2 | 64 | 3,04 | 96,98 |
| 11 | Исправность вспомогательного оборудования | 1 | 65 | 1,51 | 98,49 |
| 12 | Прочее | 1 | 66 | 1,51 | 100 |
| 13 | Итого | 66 | 66 | 100 | 100 |

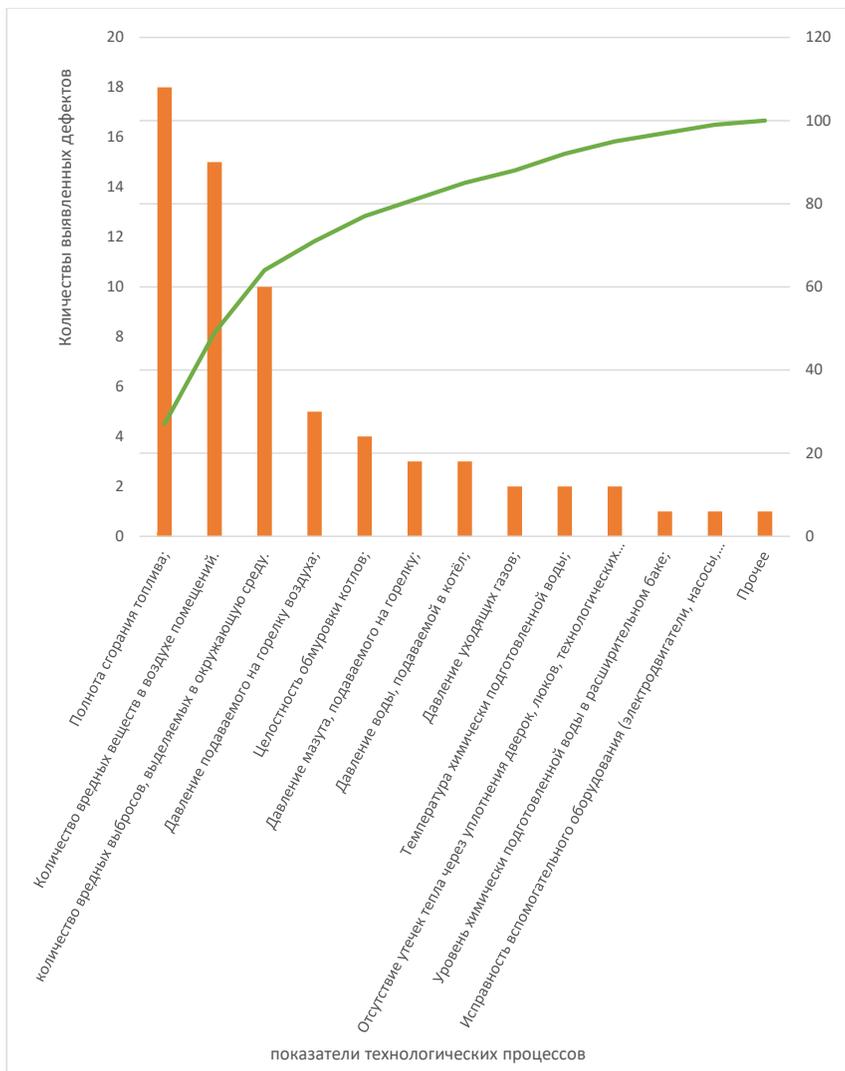


Рис. 2. Диаграмма Парето

Как видно из диаграммы, наибольшее количество экологических проблем возникает из-за следующих показателей: неполного сжигания топлива, повышенного содержания вредных выбросов в рабочей зоне помещений и в окружающей среде. Оценивая эти показатели, можно прийти к выводу, что наибольшее влияние на экологию оказывает процесс горения топлива. Рассмотрим возможные пути совершенствования технологии процесса горения.

Для повышения экологической безопасности работы предприятия, построим структурную модель технологических процессов разработанной технологии для обеспечения более полного горения мазута.

На основе выше проведенного анализа показателей, вызывающих экологические отклонения, мы определили тот процесс, который будем в дальнейшем совершенствовать и контролировать для минимизации возможного возникновения рисков.

На основе существующей технологической схемы отопительного комплекса разработаем структурные модели с применением нового оборудования, внедренного на этапе подачи топлива в котлы перед этапом горения, где топливом является мазут (рисунок 3) и водо-мазутная эмульсия (рисунок 4), что позволяет максимально повысить уровень экологической безопасности производства.

Таким образом, мы выполняем предупреждающие действия и минимизируем отклонения на выходе нашего производства.

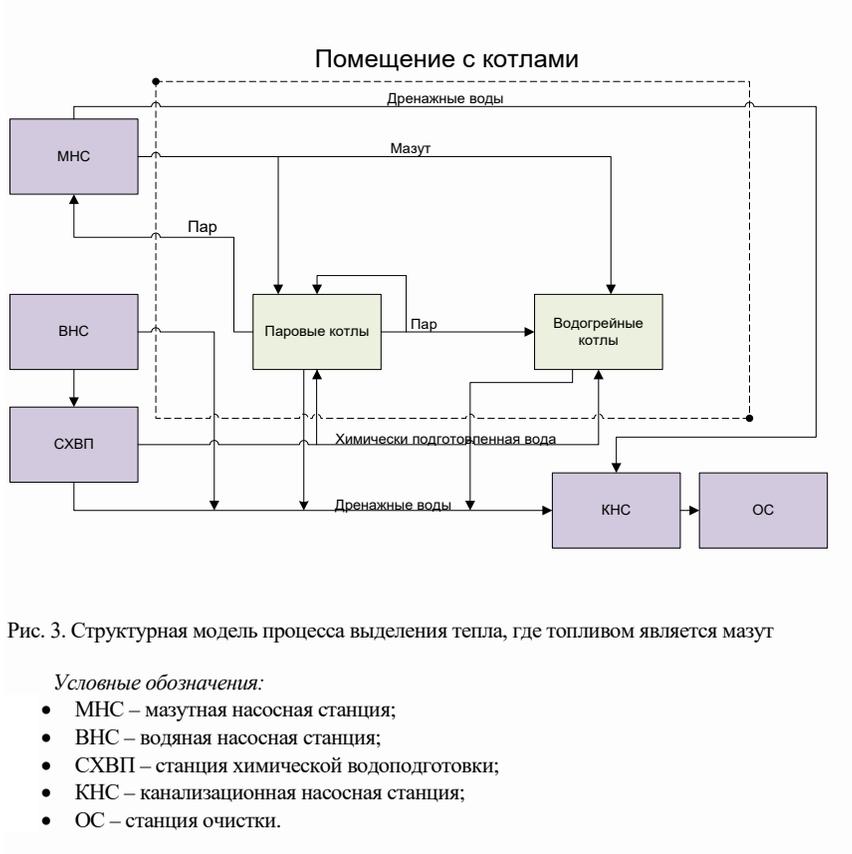


Рис. 3. Структурная модель процесса выделения тепла, где топливом является мазут

Условные обозначения:

- МНС – мазутная насосная станция;
- ВНС – водяная насосная станция;
- СХВП – станция химической водоподготовки;
- КНС – канализационная насосная станция;
- ОС – станция очистки.

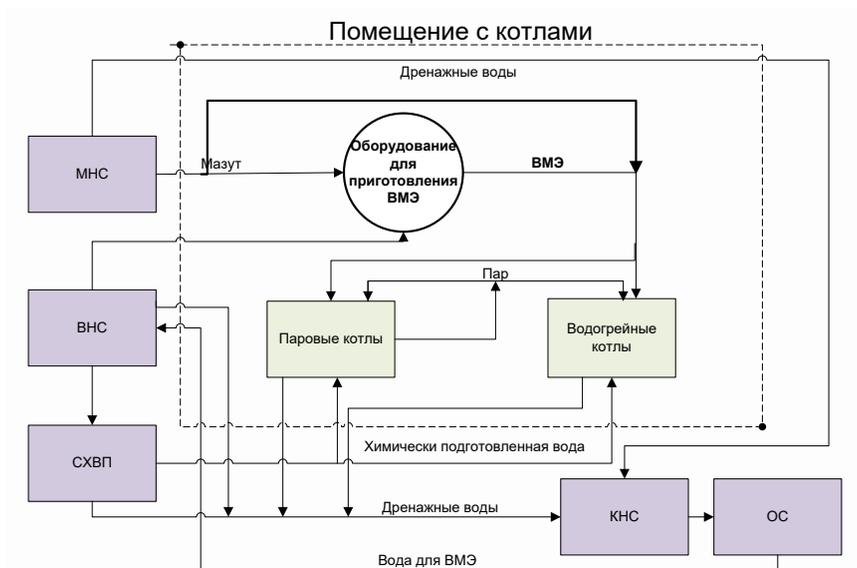


Рис. 4 – Структурная модель процесса выделения тепла, где топливом является водомазутная эмульсия (ВМЭ)

Выводы

В настоящее время на производствах недостаточно внимания уделяется экологической стратегии, не определяются ее взаимосвязь с экономической стратегией и роль экологической системы управления при разработке и внедрении экологической стратегии.

Определение ключевых показателей качества технологического процесса с помощью статистических методов, а также создание структурной модели процесса позволяют в дальнейшем разработать математическую модель и определить возможности совершенствования стратегии в области экологии. Это поможет усовершенствовать экологические показатели и безопасность работы отопительного комплекса за счет повышения качества выполняемых процессов.

Литература:

1. Хомченко Я.С., Саватеева О.А. «Теплоэнергетика, как значимый источник воздействия на окружающую среду»;
2. Вавилин Я.А. «Повышение качества машиностроительной продукции на основе обеспечения требований к ее безопасности». 2016 г.;
3. Тебекин, А. В. Управление качеством : учебник для вузов / А. В. Тебекин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021;
4. Статья, Батуев С.П. Улучшение экономических и экологических параметров котельных при сжигании водомазутных эмульсий. Источники тепловой энергии. РосТепло.ру, 2012 г.;
5. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОЛЛОКАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОЛИНОМОВ ЧЕБЫШЕВА ПЕРВОГО РОДА ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ
МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ
В МИКРО- И НАНОКАНАЛАХ**

В.Н. Попов, О.В. Гермидер

САФУ имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия

163002, набережная Северной Двины, 17

Tel.: 8(8182) 21-89-20, e-mail: v.porov@narfu.ru

Разработка и проектирование микро- и наноустройств с повышенными эксплуатационными характеристиками является одним из приоритетных направлений исследований в области динамики разреженного газа [1, 2]. Их ключевые достоинства – это миниатюрность, надежность, малое энергопотребление, низкая материалоемкость, востребованность практически во всех отраслях экономики. Большинство микро- и наноустройств, размер которых порядка от сотен нанометров до сотен микрон, на практике работают в достаточно широком диапазоне значений чисел Кнудсена в их различных частях. Например, микро сопла работают в режиме, когда в камере сгорания, трансзвуковой части и ядре потока сверхзвуковой части сопла реализуется континуальный режим течения, а вблизи стенок, на кромках среза сопла, в зонах больших градиентов ударно-волновых структур и начальной части струи реализуется режим скольжения и переходный режим. В дальнейшем же в поле струи может наблюдаться и свободномолекулярный режим течения. Разнообразие режимов течения делает более трудным моделирование течений в таких устройствах и приводит к необходимости либо использовать разные модели среды в разных зонах расчетной области с необходимостью сопряжения (состыковки) разнородных решений на границах зон, либо к использованию универсальных подходов для всей задачи. Так как в данной предметной области экспериментальные исследования затруднены, а чаще всего невозможны, то одним из основных подходов, используемых для описания течений газа в микро- и нано каналах является кинетический подход, основанный на решении уравнения Больцмана или соответствующего модельного уравнения [3, 4]. Но даже в случае использования модельных кинетических уравнений получить их аналитическое решение для каналов сложного поперечного сечения не представляется возможным. В этом случае актуальным является использование метода, основанного на разложении искомой функции распределения молекул газа по координатам и скоростям, зависящей от трех переменных, в ряд по ортогональным многочленам Чебышева первого рода для каждой переменной. Выбор данной системы многочленов обусловлен устойчиво высокой скоростью равномерной сходимости разложения при увеличении порядка разложения [5]. Выражения для частных производных искомой функции и ее интегралов, входящие в исходное модельное уравнение, удастся представить через коэффициенты частичной суммы ряда Чебышева [6]. Краевая задача, состоящая из исходного модельного уравнения и граничных условий на стенках каналов, сводится к решению системы линейных уравнений, записанной в матричной форме, где в качестве узлов интерполяции выбраны точки экстремума и нули многочленов Чебышева. Вычисление коэффициентов разложения при этом выполнено с использованием свойств конечных сумм в этих точках. При таком подходе к построению решения не только минимизируется погрешность интерполяции, но и минимизируется влияние ошибок округления при

вычислении значений искомой функции в узлах. Искомые характеристики течения записываются через найденные значения функции в узлах. С использованием предложенного метода авторами в последнее время решены задачи о течении разреженного газа между двумя параллельными плоскостями [7], о вычислении массового потока и распределения давления газа в длинном концентрическом кольцевом канале при неполной аккомодации молекул газа [8], проведена оценка влияния эффекта разрежения на число Пуазейля в длинном кольцевом канале при неполной аккомодации молекул газа [9], решена задача о вычислении числа Пуазейля в кольцевой области при неизотермическом течении газа, вычислен коэффициент трения Дарси в плоском канале с бесконечными параллельными стенками, проведена оценка константы Лебега для Чебышевского распределения узлов.

Литература:

1. Шарипов Ф.М., Селезнев В.Д. Движение разреженных газов в каналах и микроканалах. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008.
2. Rovenskaya O.I. // *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 110. 2017, P. 817-826.
3. Liu C., Yang J., Ni Y. // *Computers and Mathematics with Applications*, v. 61. 2011, P. 3528-3536.
4. Breyiannis G., Varoutis S., Valougeorgis D. // *European Journal of Mechanics B / Fluids*, v. 27. 2008. P. 609–622.
5. Baseri A., Abbasbandy S., Babolian E. // *Applied Mathematics and Computation*, v. 322. 2018, P. 55-65.
6. Mason J., Handscomb D. *Chebyshev polynomials*. – Florida: CRC Press, 2003.
7. Гермидер О.В., Попов В.Н. // *Математическое моделирование*, Т. 32, № 9. 2020, с. 3–19.
8. Гермидер О.В., Попов В.Н. // *Журнал вычислительной математики и математической физики*, Т. 62, № 9. 2022, с. 1551–1562.
9. Гермидер О.В., Попов В.Н. // *Известия РАН. Механика жидкости и газа*, № 5. 2022, с. 119–128.

ПЕРСПЕКТИВЫ ФРАКТАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИХ ОСОБЕННОСТИ: УЧЕТ ЭРЕДИТАРНОСТИ, НЕГАССОВОСТИ, СКЕЙЛИНГА И ТОПОЛОГИИ РЕАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И ПОЛЕЙ

А.А. Потапов^{1,2}

¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
ул. Моховая 11, корп.7, Москва, 125009, Россия

² Совместная китайско-российская лаборатория информационных технологий и
фрактальной обработки сигналов, Университет Цзинань, Гуанчжоу, 510632, Китай
E-mail: potapov@cplire.ru

PROSPECTS OF FRACTAL TECHNOLOGIES AND THEIR FEATURES: ACCOUNTING FOR THE HEREDITARITY, NON-GASSIANITY, SCALING AND TOPOLOGY OF REAL PHYSICAL SIGNALS AND FIELDS

A.A. Potapov ^{1,2}

¹ Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics (IREE) of Russian Academy of
Sciences, Mokhovaya 11-7, Moscow, 125009, Russia

² JNU-IREE RAS Joint Laboratory of Information Technology and Fractal Processing of
Signals, Jinan University, Guangzhou, 510632, China
E-mail: potapov@cplire.ru

1. В пленарном докладе рассмотрены основные направления внедрения автором понятий фракталов, текстур, дробных операторов, динамического хаоса и методов нелинейной динамики для создания новых информационных технологий. В данном случае кратко обозначим их как *фрактальные технологии*.

Исследования проводятся в фундаментальном научном направлении «Фрактальная радиофизика и фрактальная радиоэлектроника: проектирование фрактальных радиосистем», инициированного и разрабатываемого автором в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН с 1979 г. по настоящее время. С большой благодарностью хочу специально отметить, что без благожелательной поддержки академиков Б.В. Бункина (ЦКБ «Алмаз»), В.А. Котельникова (ИРЭ РАН), Ю.В. Гуляева (ИРЭ РАН) работа автора в области теории фракталов и текстур и их широкого применения в радиофизике, радиотехнике, радиолокации, а также в цифровой обработке информации, не была бы столь эффективной, систематической и плодотворной за более чем 40 лет работы в ИРЭ АН СССР (ИРЭ РАН).

2. Сейчас в радиофизике, радиоэлектронике, обработке сигналов, потоков разнообразных больших данных (например, цифровая Земля) и т.д. преимущественно, привычно и повсеместно используются целочисленные меры (интегралы и производные целого порядка), гауссова статистика, марковские процессы и т.п. Актуальность проведения авторских исследований связана с необходимостью более точного описания реальных процессов, происходящих в современных радиофизических и радиотехнических системах. Это, прежде всего, учет эредитарности (памяти), негассовости, скейлинга (самоподобия, автомодельности) и топологии физических сигналов и полей. Все эти понятия входят в определение фрактальных множеств или фракталов, впервые предложенных Б. Мандельбротом в 1975 году, – рис. 1.

В совокупности все это предполагает большие потенциальные возможности и новые перспективы в обработке многомерных сигналов и в родственных научных и технических областях. Другими словами, полное описание процессов современной обработки сигналов и полей невозможно с помощью подходов и формул классической

математики. Введение в научный обиход вышеупомянутых понятий позволило автору впервые в мире предложить, а затем и применить новые размерностные и топологические (а не энергетические!) признаки или инварианты, которые объединены под обобщенным понятием «топология выборки» ~ «фрактальная сигнатура». В работе рассмотрено применение созданных автором методов топологической текстурно-фрактальной обработки (ТТФО) сигналов и полей (рис. 2) для многочисленных задач радиолокации, дистанционного зондирования, мониторинга, «распределенного интеллекта» при групповом взаимодействии беспилотные летательных аппаратов, материаловедения, искусственного интеллекта и т.д. [1 - 22] - рис. 3 и рис. 4. Это своего рода вызов времени. Здесь говорят только факты! Все это обозначено автором как *фрактальная парадигма* [1 - 22].

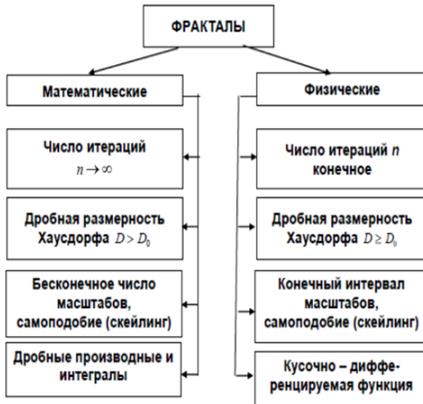


Рис. 1. Авторская классификация фрактальных множеств и сигнатур, одобренная и принятая Б. Мандельбротом в 2005 г. при личной встрече в Нью-Йорке.

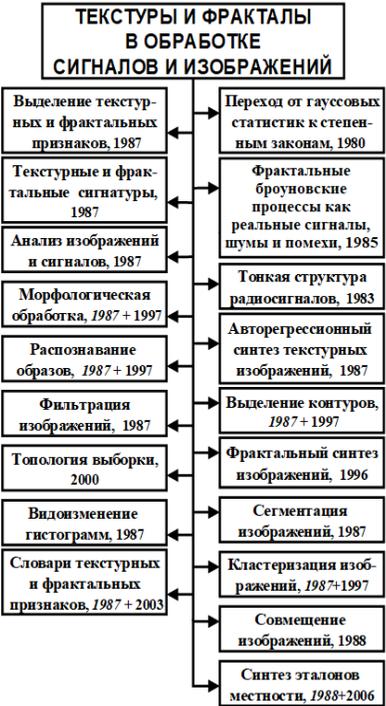


Рис. 2. Текстурные и фрактальные меры для малоcontrastных изображений и сверхслабых сигналов в интенсивных негауссовых шумах и помехах.

3. Как сказано выше, классические методы обработки многомерных сигналов принципиально выделяют лишь только ту составляющую информации, которая связана с целочисленной мерой. Фрактально-скейлинговые методы обработки сигналов, волновых полей и изображений в широком смысле основаны на той части информации,

которая при классических методах обработки не учитывалась. Применение фрактальных систем, датчиков и узлов (рис. 5) является принципиально новым решением, существенно меняющим принципы построения интеллектуальных радиотехнических систем и устройств. Фрактальные методы обработки информации дают повышение качества детализации объектов и целей в несколько раз.

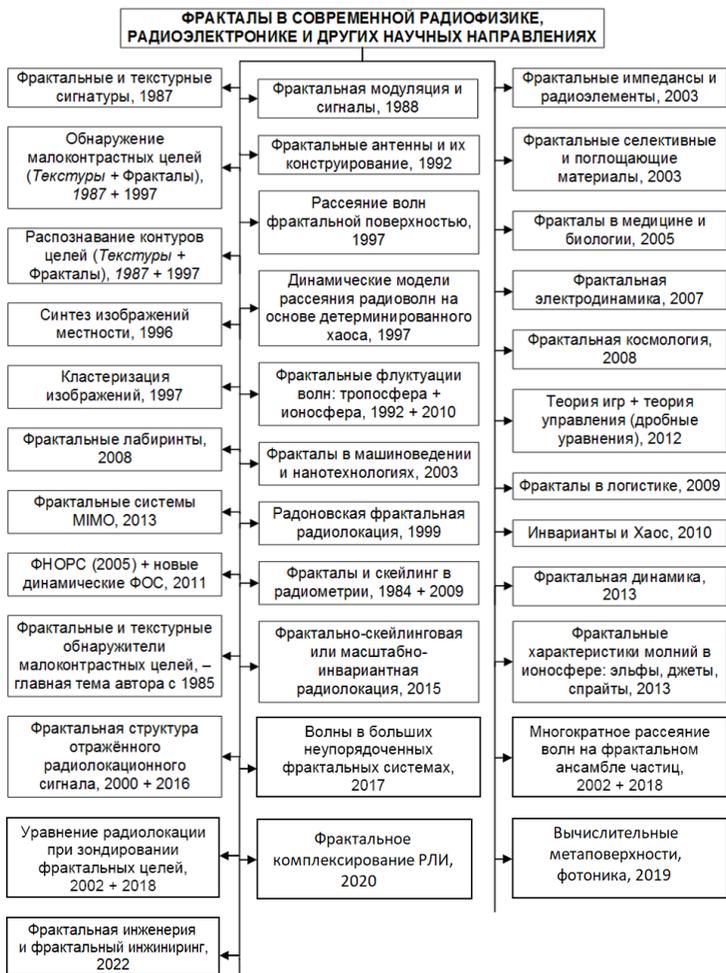
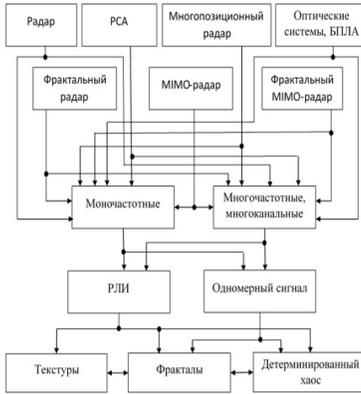


Рис. 3. Эскиз развития автором прорывных технологий на основе фракталов, эффектов скейлинга и дробных операторов для нелинейной физики и радиоэлектроники: ФНОРС – фрактальный непараметрический обнаружитель радиолокационных сигналов, ФОС – фрактальный обнаружитель сигналов.



(а)

Рис. 4. Радиосистемы исходной первичной информации (включены фрактальный радиолокатор и фрактальный МИМО-радар) (а) и новые топологические признаки и методы обнаружения малококонтрастных (малозаметных) объектов на фоне интенсивных шумов и помех (б): PCA – радиолокатор с синтезированной апертурой, БПЛА – беспилотный летательный аппарат, ТП – текстурные признаки, ЧФК – частотная функция когерентности.



(б)

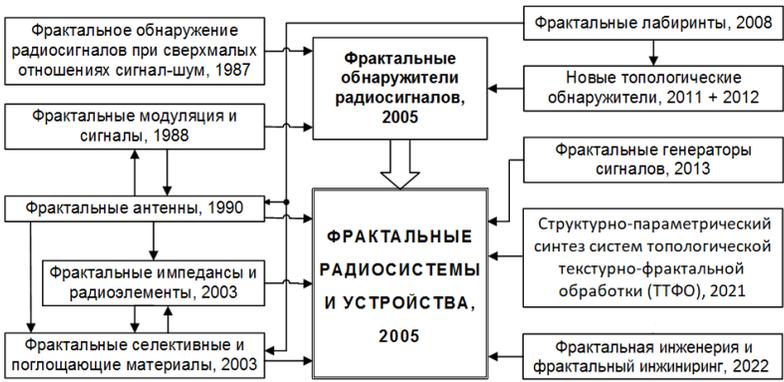


Рис. 5. Авторская концепция фрактальных радиосистем, датчиков, устройств и радиоэлементов.

При сборе, преобразовании и хранении информации в современных сложных системах мониторинга удаленных и мобильных объектов в условиях интенсивных помех большое значение приобретают новейшие методы обработки информационные потоков и многомерных сигналов. Обычно особенности таких сложных систем проявляются на разных пространственно - временных масштабах. Показано, что наиболее адекватные оценки состояний исследуемой системы и динамики изменения состояния ее подсистем реализуются при использовании теории фракталов и обработке многомерных сигналов в пространстве дробной размерности с непрерывным учетом эффектов скейлинга.

4. Непрерывное совершенствование ТТФО сигналов и полей в современной радиофизике и радиоэлектронике подразумевает постоянное улучшение скорости обработки информации и поиск новых физических принципов для ее осуществления. Здесь, несомненно, будущее принадлежит фотонным и радиофотонным технологиям. Далее кратко представлены избранные результаты (рис. 6) в области фотоники и вычислительных интеллектуальных метаповерхностей (МП), которые были получены автором с китайскими учеными в JNU-IREE RAS Joint Laboratory в Китае [23 - 25]. В [23] мы предложили МП Лапласа, которая может выполнять почти идеально операцию Лапласа для разных конфигураций падающего светового поля. Предлагаемая МП Лапласа основана на возбуждении связанного состояния в континууме и демонстрирует экзотические оптические свойства – рис. 6. Одно из применений операции Лапласа - обнаружение краев проблемных целей на изображении (рис. 7).

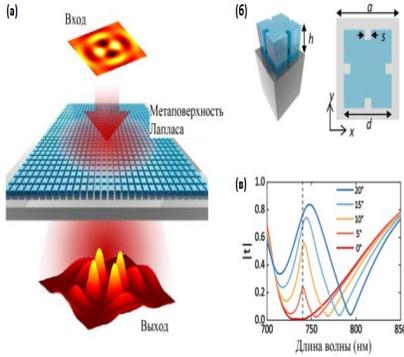


Рис. 6. (а) Диэлектрическая МП, преобразующая входную двумерную пространственную функцию в другую функцию как оператор Лапласа;

(б) Элементарная ячейка диэлектрической МП. Слева, трехмерный вид элементарной ячейки. (v) Спектры коэффициента пропускания МП Лапласа при различных углах падения вдоль направления x для p -волны.

5. Глобальный фрактально-скейлинговый метод (и ТТФО), благодаря нашим пионерским работам, разработан, существует, приобрел известную внутреннюю законченность, имеет общеизвестные мировые приоритеты, а потому в полной мере заслуживает серьезного анализа. Все это многосторонне продемонстрировано автором в [1 - 22] и непосредственно здесь в пленарном докладе. В результате в научном мире образовано новое смысловое пространство с его необычными для классической радиофизики, радиотехники и радиолокации свойствами и задачами. Полученные научные результаты являются исходным материалом для дальнейшего развития и практического применения фрактальных методов в современных областях радиофизики, радиотехники, радиолокации, электроники, информационно-управляющих систем, искусственного интеллекта.

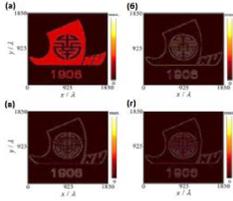


Рис. 7а. (а) Изображение логотипа университета Цзинань. (б) Выходное изображение x поляризации (в) Выходное изображение для случая y поляризации. (г) Выходное изображение для случая неполяризованного света.

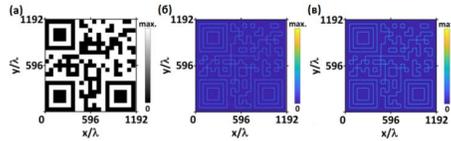


Рис. 7б. (а) Входное изображение, состоящее из QR-кода; (б) выходное изображение идеальной операции Лапласа; (в) выход из МП Лапласа. Все изображения представляют собой профиль силы света; размеры пикселей установлены как $2,88\lambda$.

Области применения ТТФО сигналов, полей и изображений постоянно расширяются, и трудно поверить, что еще около тридцати лет назад было немало скептических высказываний относительно перспективности этого нового фундаментального научного направления, связанного исключительно с фракталами и их динамикой, созданного и развиваемого автором сначала в СССР, а затем, в России. Работами автора за более чем 40 лет, практически с «нуля», преодолевая трудности идущих первыми, заложены фундаментальные основы того, что будет применено в будущем. Не результаты, не конкретные решения представляют самую большую ценность, а именно метод решения, подход к нему.

Топологическое обнаружение открывает двери в совершенно новую область теории статистических решений и позволяет скорректировать бытующие в этой области представления, и создать новые, что имеет важное теоретическое и практическое значение. Внедрение фракталов, эффектов скейлинга и дробных операторов дает «импульс» и всей современной радиоэлектронике, так как вся предыдущая и настоящая радиоэлектроника базируется исключительно (и только!) на основе теории целочисленных функций. Таким образом, это *принципиально новая радиотехника*.

В заключение следует отметить, что проблема «топологии выборки» [1 - 22] одна из важнейших во всей радиоэлектронике, и при этом автор убежден, что без учета фрактальности и скейлинга вся классическая теория обнаружения и распознавания многомерных сигналов в будущем потеряет свое каузальное значение для фундаментальных понятий сигнала и шума.

Результаты научной деятельности по фрактальной обработке информации, по фрактальным радиосистемам и радиоэлементам опубликованы в четырех отчетных докладах Президиума РАН (Научные достижения РАН.- М.: Наука, 2008, 2010, 2012, 2013 гг.) - подраздел "Локационные системы", а также в "Докладе Правительству Российской Федерации. Об итогах реализации в 2011 году Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008 – 2012 гг. В трех тт.".- М.: Наука, 2012.

По монографиям автора поставлены курсы лекций по фракталам в различных университетах России и стран ближнего зарубежья, а также, в Китае. На 2022 год результаты фундаментальных исследований автора отражены в более чем 1 200 работах и 45 книгах и главах на русском, английском и китайском языках [1 - 3, 16, 21, 22], сделаны доклады в 23 странах.

Литература:

1. Потапов А.А. Фрактальный инжиниринг и его влияние на прорывные информационные технологии // Сб. тез. пленарных докладов II Всерос. форума с междунар. участием “Академические Жуковские чтения” (г. Воронеж, 23 - 25 ноября 2022 г.). Воронеж: ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2022. С. 16–18.
2. Potapov Alexander A. Author's Approaches to Fractal Engineering and the Philosophy of Fractal Engineering: Fractal Radio Systems and International Priorities in the Study of Fractal Applications in Radio Electronics // Proc. IEEE Conf. Antenna Measurements and Applications (IEEE CAMA) (China, Guangzhou, 14-17 December, 2022). - (In the press).
3. Профессор Александр Алексеевич Потапов. Фракталы в действии: Библиографический указатель / Под ред. академика Ю.В. Гуляева. М.: ЦПУ “Радуга”, 2019. 256 с.
4. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. М.: Логос, 2002. 664 с.
5. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Университетская книга, 2005. 848 с.
6. Potapov Alexander A., Wu Hao, Xiong Shan. Fractality of Wave Fields and Processes in Radar and Control. Guangzhou: South China Univer. Technology Press, 2020. 280 p.
7. Потапов А.А. Применение принципов фрактально-скейлинговой или масштабно-инвариантной радиолокации в РСА, БЛА и МИМО-системах. – В кн.: Радиолокация. Результаты теоретических и экспериментальных исследований. В 2-х кн. Кн. 2 / Под ред. А.Б. Бляхмана. - М.: Радиотехника, 2019. – С. 15–39.
8. Бункин Б.В., Реутов А.П., Потапов А.А. и др. Вопросы перспективной радиолокации (Коллективная монография). М.: Радиотехника, 2003. 512 с.
9. Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А.А. Потапова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
10. Потапов А.А. Фрактальный метод и фрактальная парадигма в современном естествознании. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2012. 108 с.
11. Potapov Alexander A. Chaos Theory, Fractals and Scaling in the Radar: A Look from 2015. – Глава 12 в книге: The Foundations of Chaos Revisited: From Poincaré to Recent Advancements / Ed. Skiadas, C. Switzerland, Basel: Springer. 2016. P. 195–218.
12. Potapov Alexander A. Postulate “The Topology Maximum at the Energy Minimum” for Textural and Fractal-and-Scaling Processing of Multidimensional Super Weak Signals against a Background of Noises. – Глава 3 в книге: Nonlinearity: Problems, Solutions and Applications. – Vol. 2/ Ed. Ludmila A. Uvarova, Alexey B. Nadykto, and Anatoly V. Latsyshev. – New York: Nova Science Publ. 2017. P. 35–94.
13. Potapov Alexander A. On the Indicatrixes of Waves Scattering from the Random Fractal Anisotropic Surface. – Глава 9 в книге: Fractal Analysis - Applications in Physics, Engineering and Technology / Ed. Fernando Brambila. Rijeka: InTech. 2017. P. 187–248.
14. Потапов А.А. О стратегических направлениях в синтезе новых видов радиолокационных текстурно-фрактальных обнаружителей малоконтрастных объектов с выделением их контуров и локализацией координат на фоне интенсивных помех от поверхности земли, моря и осадков // Тр. IV Всерос. НТК «РТИ Системы ВКО – 2016», посв. 100-летию НИИДАР и 70-летию РТИ им. академика А.Л. Минца (Москва, ОАО «РТИ им. академика А.Л. Минца», 02 - 03 июня 2016 г.). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2017. С. 438–448.
15. Потапов А.А., Кузнецов В.А., Аликулов Е.А. Структурно-параметрический синтез систем оптимальной текстурно-фрактальной обработки многомерных

- радиолокационных изображений // Радиотехника и электроника. 2022. Т. 67. № 1. С. 51–67.
16. Потапов А.А. Фрактальные приложения в радиоэлектронике как фрактальная инженерия // РЭНСИТ. 2022. Т. 14. № 3. С. 215–232.
 17. Потапов А.А., Кузнецов В.А., Потоцкий А.Н. Новый класс топологических текстурно- мультифрактальных признаков и их применение для обработки радиолокационных и оптических малоконтрастных изображений // Радиотехника и электроника. 2021. Т. 66. № 5. С. 457–467.
 18. Патент RU 2746038 С1 G06Т 5/50 (2020.09). Способ фрактального комплексирования многочастотных радиолокационных изображений / Потапов А.А., Кузнецов В.А., Аликулов Е.А. // (Приоритет изобретения 05.09.2020 г. Дата государственной регистрации 06.04.2021 г.). Бюл. № 10.
 19. Потапов А.А., Кузнецов В.А., Аликулов Е.А. Структурно-параметрический синтез систем оптимальной текстурно-фрактальной обработки многомерных радиолокационных изображений // Радиотехника и электроника. 2022. Т. 67. № 1. С. 51–67.
 20. Potapov Alexander A., Kuznetsov Viktor A., Pototsky Anton N. New Fractal Features for Textural Morphologic Analysis // 14th Chaotic Modeling and Simulation Int. Conf. CHAOS'2021 (Athens, Greece: 08 - 11 June, 2021) / Eds.: C. Skiadas and Y. Dimotikalis (Springer Proceedings in Complexity book series - SPCOM). - Cham, Switzerland: Springer Int. Publ., 2022. P. 337–346.
 21. Потапов А.А. Фрактальные технологии: проблемы и перспективы // Сб. тез. XXVII Байкальской Всерос. конф. с междунар. участием “Информационные и математические технологии в науке и управлении”, Байкальская сессия (Байкал, остров Ольхон, 29 июня - 8 июля 2022 г.). - Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2022. С. 19.
 22. Потапов А.А. Топологическая текстурно-фрактальная обработка сигналов и полей в радиофизике, радиотехнике и радиолокации: созданные методы и технологии (1979 – 2022 гг.) - фрактальная инженерия // GraphiCon 2022: Труды 32-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению (Рязань, 19-22 сентября 2022 г., РГРТУ им. В.Ф. Уткина). М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2022. С. 741–755.
 23. Wan Lei, Pan Danping, Yang Shuaifeng, Zhang Wei, Potapov Alexander A., Wu Xia, Liu Weiping, Feng Tianhua, and Li Zhaohui. Optical analog computing of spatial differentiation and edge detection with dielectric metasurfaces // Optics Letters. 2020. V. 45. No. 7. P. 2070–2073.
 24. Tianhua Feng, Shuaifeng Yang, Ning Lai, Weilian Chen, Danping Pan, Wei Zhang, Potapov Alexander A., Zixian Liang, and Yi Xu. Manipulating light scattering by nanoparticles with magnetoelectric coupling // Phys. Rev. B. 2020. V. 102. No paper 205428.- 7 p.
 25. Lei Wan, Danping Pan, Tianhua Feng, Weiping Liu, Potapov A.A. A review of dielectric optical metasurfaces for spatial differentiation and edge detection // Frontiers of Optoelectronics. 2021. V. 14. No 2. P. 187–200.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ

Е.Ю. Романова^{1,2}

¹Тверской институт (филиал) АНО ВО МГЭУ, Тверь, Россия;
170006, Тверь, улица Дмитрия Донского, д. 37;

²ФГБУН Институт конструкторско-технологической информатики РАН
127055, Москва, Вадковский пер., д.18, стр.1А
e-mail: kati-v@yandex.ru

В последнее десятилетие активно обсуждаются реформирование, модернизация образования на всех уровнях. Появились такие термины как «электронная информационная образовательная среда», «сетевая организация образовательного процесса». В работе [1] представлен анализ сетевого подхода в системе образования и представлена модель сетевого обучения. В связи с распространением идеи сетевого обучения возникает много вопросов, многие из которых предполагается обсудить в докладе. В частности, дискуссионным является тот факт, что в сетевой организации образовательного процесса подразумевается два участника: обучающийся и сетевая структура. Некоторые авторы называют образовательный процесс производственным, эффективность которого необходимо постоянно повышать.

В заключении хотелось бы отметить, что образовательная сфера – это сложная, нелинейная самоорганизующаяся система, изображенная на рис. 1 [2]:



Рис.1. Схема – модель образовательного пространства (сферы) [2, с.59]:

Подобная система должна подстраиваться к внешним условиям с помощью высококвалифицированных преподавателей и информационно-коммуникационных технологий.

Литература:

1. Филимонов А.А. Сетевая организация образовательного процесса. Гуманитарные исследования. 2017. № 1. С. 98 – 105.
2. Романова Е.Ю. Системный анализ и обсуждение модели и эволюции.// Сб. тезисов четвертой международной конференции. – М.: Янус-К, 2019. С. 171 – 174.

**ОБОБЩЕНИЯ ИДЕЙ И КОНЦЕПЦИЙ, РАЗРАБОТАННЫХ ЗАРУБЕЖНОЙ
И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СОЦИОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКОЙ**

**THE GENERALIZATIONS OF THE IDEAS AND CONCEPTS, DEVELOPED
BY FOREIGN AND DOMESTIC SOCIAL SCIENCE**

**^{1,2}Е.Ю. Романова
E.Yu Romanova**

¹Тверской институт (филиал) АНО ВО МГЭУ
170006, Россия, Тверь, улица Дмитрия Донского, д. 37;

²ФГБУН Институт конструкторско-технологической информатики РАН
127055, Москва, Россия, Вадковский пер., д.18, стр.1А,

e-mail: kati-v@yandex.ru

Социология находится на стыке истории, психологии, философии, экономики. Социологию определяют как науку об обществе, которая оперирует такими категориями как система, социальные отношения, взаимосвязь и взаимоотношения между элементами социальных систем. Социология как наука формируется там и тогда, когда для развития общества разрушаются старые нормы и ценности и появляется необходимость в новых идеях. Анализ развития западных социологических теорий демонстрирует это. Социологические теории отражают недостатки современного общества и пытаются предсказать его будущее. Социологическая наука способствует формированию парадигм и, соответственно, картины мира соответствующего периода. Теоретические и когнитивные конфликты являются движущими силами для развития социологии. Особый интерес представляет развитие отечественной социологии.

**ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В АКТИВНЫХ ЦЕНТРАХ
БИОНАНОМЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ КОМПЛЕКСАХ**

**THE PHASE TRANSITIONS IN THE ACTIVE CENTERS OF THE
BIONANOMETALCONTAINING COMPLEXES**

**Е.Ю. Романова¹, Л.А. Уварова²
E.Yu. Romanova¹, L.A. Uvarova²**

¹ТВЕРСКОЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) АНО ВО МГЭУ,
170006, Россия, Тверь, улица Дмитрия Донского, д. 37

²ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»,
127055, Россия, Москва, Вадковский переулок, д. 3а
e-mail: uvarova@stankin.ru, kati-v@yandex.ru

¹TVER BRANCH OF MOSCOW HUMANITIES AND ECONOMICS UNIVERSITY,
170006, Russia, Tver, Dmitry Donskoy Street, 37

²MSTU «STANKIN»,
127055, Russia, Moscow, Vadkovskiy lane, 1

Рассматривается характер и природа фазовых переходов, происходящих в металлсодержащих активных центрах ферментативных систем при их взаимодействии с субстратами.

The character and the nature of the phase transitions, occurring in the metalcontaining active centers of enzymatic systems during their interaction with substrates are considered.

Ключевые слова: система, комплекс, активный центр, субстрат, фазовый переход, белковый матрикс, свободная энергия.

Keywords: system, complex, active center, substrate, phase transition, protein matrix, free energy.

Бионанометаллсодержащие комплексы – это нелинейные открытые, самоорганизующиеся, ферментативные системы, содержащие в активных центрах ионы переходных металлов (например, $Zn(II)$, $Cu(II)$, $Fe(II)$), определяющих стереохимию активных центров. Таким образом, активный центр имеет упорядоченную структуру, встроенную в белковый матрикс. Активные центры взаимодействуют с субстратами – низкомолекулярными соединениями (например, H_2O , O_2 , H_2O_2). Подобные ферментативные комплексы, участвуют, практически, во всех процессах жизнедеятельности, выполняя различные функции: окисление H_2O_2 до O_2 , перенос электронов, катализирует многие биохимические реакции и т.п. Общие представления о структуре активных центров большинства ферментов изучались с использованием физико-химических методов, но наномеханизм функционирования активных центров не рассматривался. Таким образом, при присоединении к активному центру субстрата образуется фермент – субстратный комплекс, что сопровождается конформационными изменениями, заключающимися в перемещении групп атомов и их поворотах вокруг связей. В результате происходят химические изменения субстратов и переход активного центра из одного конформационного состояния в другое, который зависит от высот активационных барьеров, т.е. запаса энергии в белковой глобуле в виде энергии упругой деформации [1 – 3].

Использование синергетического и системного подходов позволило авторам выяснить универсальный механизм функционирования активных центров и построить квантово-химические модели их «работы» с учетом природы ионов комплексообразователей [4 – 7].

Основой этих моделей являются следующие положения: 1) белковый матрикс и активный центр – единая двухкомпонентная система (ион *d*-металла, его электронное окружение – наноуровень, белковый матрикс – микроуровень); 2) взаимодействие активного центра с субстратом переводит его в возбужденное состояние, вследствие чего происходит перераспределение электронов на молекулярных орбиталях комплекса, изменение длин связей; 3) в зависимости от природы иона комплексообразователя может происходить обратимая структурная перестройка активного центра (например, октаэдр ↔ тетраэдр); 4) белковый матрикс предотвращает деструкцию активного центра и создает условия для возвращения активного центра в исходное состояние.

Как выше отмечалось, взаимодействие активного центра с субстратами приводит его в возбужденное. Взаимодействие активного центра с субстратами приводит его в возбужденное состояние, которое часто сопровождается конформационными изменениями, т.е. пространственными изменениями атомов, осуществляемых без разрыва химических связей. Необходимо также отметить, что конформационные изменения такого рода носят кооперативный характер, заключающийся в том, что перемещения отдельных групп вызывают перемещения других, связанных с ними групп. Подобный процесс не носит хаотический характер движения многих атомов, в общем случае его можно считать одномерным, т.е. он характеризуется одной степенью свободы, что указывает на аналогию с работой механизма – машины, когда в движении участвует множество отдельных деталей и атомов, связанных друг с другом. За счет этой взаимосвязи для характеристики движения достаточно знать траекторию одной какой-нибудь точки. В белковых макромолекулах кооперативный характер конформационных изменений вызван тем, что большинство ван-дер-ваальсовых сил и водородных связей насыщено, и конформационные переходы вызывают деформацию макромолекулы в целом. Конформационный переход макромолекулы может быть двух типов: собственно конформационный переход (с разрывом и образованием связи) и изменение формы макромолекулы, не превышающее её предела упругости, которое можно назвать деформацией. Конформационный переход переводит систему из исходного состояния в новое устойчивое состояние [8].

Согласно общепринятым представлениям [9 – 10] фазовые состояния в рассматриваемой системе определяются взаимным расположением атомов и молекул в компонентах системы, а фазовые превращения – перераспределение электронов, изменение длин связей, фазовые превращения в данном случае сопровождаются изменением такого параметра как свободная энергия F_{ij} . Фактически, в рассматриваемой системе можно выделить две фазы – активный центр и белковый матрикс. Взаимодействие с субстратом «включает» фазовые превращения, которые происходят по следующей схеме:

В заключение необходимо отметить, что рассмотрение функционирования активных центров, содержащих ионы *d*-металлов с точки зрения фазовых переходов лишней раз доказывает необходимость считать металлсодержащие бионаноконплексы как единое целое, как сложную самоорганизующуюся, самосогласованную систему. Фазовые переходы, с одной стороны, определяют функционирование рассматриваемых систем, а, с другой стороны, связаны с информационными процессами в ферментативных комплексах [11]. Процесс работы фермента можно представить следующей схемой:

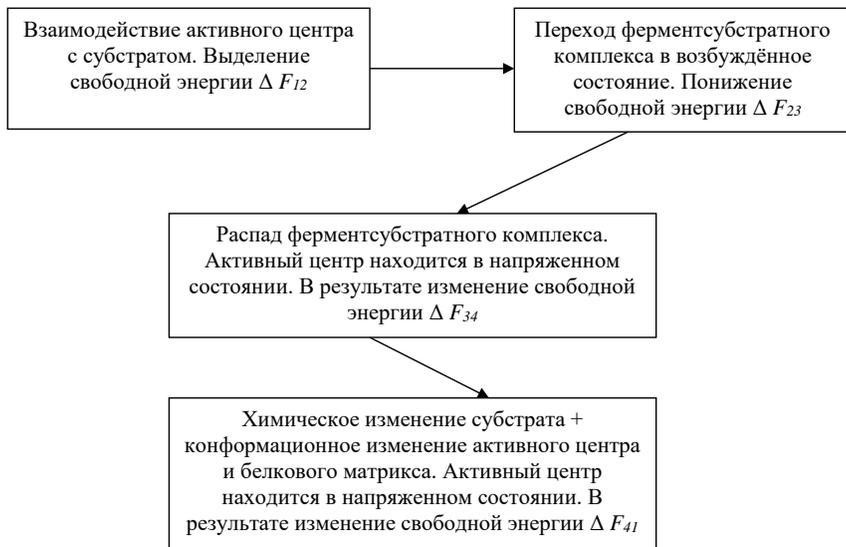
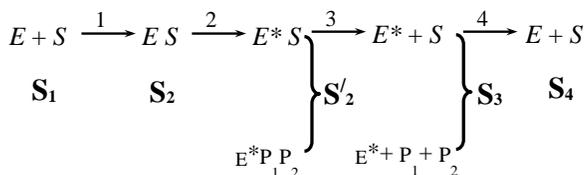


Рис. 1. Схема изменения фазовых переходов системы активный центр – белковый матрикс.



Φ₁: взаимодействие фермента с субстратом, образование фермент-субстратного комплекса (ES).

Φ₂: «напряжение» фермента, приводящее к реакции разложения субстрата.

Φ₃: десорбция продуктов реакции (P_1 и P_2).

Φ₄: фермент переходит в исходное состояние.

где Φ – это фазовые состояния.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-11-00247).

The work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 18-11-00247).

Литература:

1. Методы и достижения бионеорганической химии.// Под редакцией К. МакОлиффа. – М.: Издательство «Мир», 1978 – 416 с.
2. Чернавский Д.С., Чернавская Н.М. «Белок – машина»: Биологические макромолекулярные конструкции. – М.: Янус-К, 1999 – 256 с.

3. Волькенштейн М.В. Физика ферментов. – М.: Наука, 1975 – 198 с.
4. Васильева Л.Ю., Романова Е.Ю. Функциональные модели биологически-активных комплексов, содержащих ионы марганца и кобальта.// Сб.н.тр. «Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических системы». – М.: Янус-К, 2004. Вып.7. С. 286 – 291.
5. Васильева Л.Ю., Романова Е.Ю. Бионаноконплексы – нелинейные самоорганизующиеся системы.// Сб. н. тр. Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем. Вып.16, Т.2. – М.: Янус-К, 2013. С. 35 – 41.
6. Vasil'eva L.Yu., Romanova E.Yu. The modeling problem of the electron structure and quantum-chemical functioning mechanism of the bio-nanocomplexes active centers.// Mathematical models of non-linear phenomena, processes and systems: from molecular scale to planetary atmosphere. - N.Y., USA: Nova Science Publishers Jnl. 2013. P. 427 – 440.
7. Васильева Л.Ю., Романова Е.Ю. Математическая модель энергетических изменений в нанокластерах, участвующих в ферментативном катализе.// Сб. н. тр. Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем. Вып.9. – М.: Янус-К, 2006. С. 40 – 44.
8. Васильева Л.Ю., Уварова Л.А., Романова Е.Ю. Некоторые проблемы нанотехнологий. Исследования и моделирование наносистем: кластеров и наночастиц: Учебное пособие/ Васильева Л.Ю., Уварова Л.А., Романова Е.Ю. – М.: Янус-К, 2016 – 154 с.
9. Физический энциклопедический словарь. Т.5. – М.: Издательство «Советская энциклопедия», 1966. С. 278.
10. Белонучкин В.Е., Заикин Д.А., Ципенюк Ю.М. Основы физики. Т.2. – М.: Физматлит, 2001. С. 247.
11. Васильева Л.Ю., Уварова Л.А., Романова Е.Ю. Специфические свойства металлсодержащих ферментативных комплексов, связанных с информационными процессами.// Сб. н. тр. Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем. Вып.16, Т.2. – М.: Янус-К, 2016. С. 70 – 78.

References:

1. Methods and achievements of bioinorganic chemistry.// Edited by K. McOuliffe. – М.: Publishing House «Mir», 1978 – 416 p.
2. Chernavsky D.S., Chernavskaya N.M. «Protein – machine»: The biological macromolecular construction. – М.: Yanus-K, 1999 – 256 p.
3. Volkenstein M.V. Physics of enzymes. – М.: Science, 1975 – 198 p.
4. Vasilyeva L.Yu., Romanova E.Yu. Functional models of the biologically active complexes containing ions of manganese and cobalt.// Articles «The fundamental physico-mathematical problems and modeling of technical and technological systems». Number 7. – М.: Yanus-K, 2004. Pp. 286 – 291.
5. Vasilyeva L.Yu., Romanova E.Yu. Bionanocomplexes – nonlinear selforganizing systems.// Articles «The fundamental physico-mathematical problems and modeling of technical and technological systems». Number 16, Vol.2. – М.: Yanus-K, 2013. Pp. 35 – 41
6. Vasil'eva L.Yu., Romanova E.Yu. The modeling problem of the electron structure and quantum-chemical functioning mechanism of the bionanocomplexes active centers.// Mathematical models of non-linear phenomena, processes and systems: from molecular scale to planetary atmosphere. - N.Y., USA: Nova Science Publishers Jnl. 2013. Pp. 427 – 440.

7. Vasilyeva L.Yu., Romanova E.Yu. The mathematical model of the energy changes in the nanoclusters participating on the fermentative catalysis.// Articles «The fundamental physical and mathematical problems and modeling of technical and technological systems». Number 9. – M.: Yanus-K, 2006. Pp. 40-44.
8. Vasilyeva L.Yu., Uvarova L.A., Romanova E.Yu. Some problems of the nanotechnology. Research and modeling of the nanosystems: clusters and nanoparticles: Textbook./ Vasilyeva L.Yu., Uvarova L.A., Romanova E.Yu. – M.: Yanus-K, 2015 – 154 p.
9. Physical Encyclopedic Dictionary. Vol.5. – M.: Publishing house "Soviet Encyclopedia", 1966. P. 278.
10. Belonuchkin V.E., Zaikin D.A., Tsipenyuk Y.M. Fundamentals of Physics. Vol.2. – M.: Fizmatlit, 2001. p. 247.
11. Vasilyeva L.Yu., Uvarova L.A., Romanova E.Yu. Specific properties of metal-containing enzymatic complexes associated with information processes.// Sb. n. tr. Fundamental physical and mathematical problems and modeling of technical and technological systems. Number 16, Vol.2. – Moscow: Yanus-K, 2016. Pp. 70-78.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОНЯТИЯ «ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ» К ИЗМЕНЕНИЯМ, ПРОИСХОДЯЩИМ В СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Е.Ю. Романова¹, Л.А. Уварова²

¹Тверской институт (филиал) АНО ВО МГЭУ, Тверь, Россия; ФГБУН Институт конструкторско-технологической информатики РАН
170006, улица Дмитрия Донского, д. 37; Москва, Россия, Вадковский пер., д.18, стр.1А,

²ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия
127055, Вадковский переулок, д. 3а
e-mail: uvarova@stankin.ru, kati-v@yandex.ru

Социальные системы – сложные, многокомпонентные, открытые, нелинейные, самоорганизующиеся системы. Многоуровневость таких систем определяется следующим образом: макроуровень – система в целом; мезоуровень – подгруппы, группы, подсистемы; макроуровень – индивидуумы. Все уровни социальной системы взаимосвязаны и влияют друг на друга. Естественно, социальные системы имеют свои свойства, особенности и закономерности [1, 2]. В отличие от физико-химических систем индивидуумы (микроуровень) обладают большими степенями свободы и могут переходить из одного состояния в другое, сохраняя структуру в целом. Иногда в результате социальных фазовых переходов система дестабилизируется, попадая в точку бифуркации, может выбрать новую траекторию развития, причем, через критические состояния (войны, революции).

Интересно, что, согласно Г. Хакену [3] управляющим параметром для социальных систем является общественное мнение, с помощью которого можно воздействовать на индивидуумов. Общественное мнение формируется под внешним воздействием, которое может быть целенаправленным.

В заключении следует отметить, что для моделирования, прогнозирования, развития социальных систем необходимо исследовать социальные фазовые переходы, а, главное, – анализировать их причины с целью разработки методов защиты. Социальные фазовые переходы могут происходить на всех уровнях, чаще – на мезоуровне. Необходимо также учитывать, что социальные фазовые переходы могут, с одной стороны, иметь негативные последствия (например, разрушение системы в целом), а, с другой стороны, способствовать развитию системы.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования (Проект № 1.7706.2017/8.9).

Литература:

1. Вайдлих В. Содиодинамика: Системный подход к математическому моделированию в социальных науках. – М.: Книжный дом «ЛИБОКОМ» 2010. – С. 480.
2. Романова Е.Ю. Качественный анализ возможных изменений социальной системы и обсуждение математической модели и эволюции.// Сб. тезисов четвертой международной конференции. – М.: Янус-К, 2019. С. 171 – 174.
3. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о воздействии. – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 320 с.

ПОКАЗАТЕЛИ ЭНТРОПИИ ДЛЯ КОНТРОЛЛИНГА ФИНАНСОВОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Т.В. Рыжкова

РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

117997 Российская Федерация, г. Москва, Стремянный пер., 36,

Тел.: +7 (499) 236-7373. E-mail: Ryzhkova.TV@rea.ru

Предприятия или компания являются первичным звеном экономики. В рамках энтропийного подхода описана модель сложной системы - предприятия с подсистемами: подсистема-производство (Производство), подсистема - трудовые ресурсы (Труд), финансовая подсистема. Подсистема финансов может быть принята старшей по иерархии, затем идут равноправно подсистема трудовых ресурсов и производства. Параметры порядка, формирующиеся в системе более высокого уровня иерархии, становятся управляющими параметрами для подсистем более низкого уровня. Воздействия на управляющие параметры в моменты бифуркации могут приводить к существенным изменениям в структуре подсистем. Общая схема с точки зрения нелинейного динамического процесса самоорганизации может быть представлена следующим образом[1,2]: 1)относительно стабильное состояние системы утрачивает устойчивость (причинами потери устойчивости могут явиться изменения внутреннего состояния или внешние ограничения, воздействия); 2) бифуркация, обусловленная новым элементом в системе или воздействием на управляющий параметр, запускает динамический процесс, который приводит к дальнейшей самоорганизации системы; 3) по завершении процесса самоорганизации эволюционирующая система переходит в новое относительно устойчивое состояние. В области стратегического финансового контроллинга предприятия эффективно используются современные экономические, статистические, математические методы анализа данных. В таблице сведены применяемые и перспективные методы стратегического финансового контроллинга предприятия(перспективные методы подчеркнуты).

Авторами была применена методика энтропийного анализа к оценке инвестиционной привлекательности компании [4]. Введены энтропийные индикаторы потенциала связанных финансовых показателей. Каждый показатель связан со случайной величиной, область определения которой есть пространство событий принадлежности финансового показателя критическим интервалам значений показателя, а область значений определяется значениями статистической вероятностью попадания финансового показателя в этот интервал. Для оценки финансовой привлекательности компании использовались следующие репрезентативные группы показателей: платежеспособности (ликвидности), финансовой устойчивости, оборачиваемости, рентабельности и рыночной привлекательности. Оценка априорной неопределенности финансовой привлекательности компании определена через значение показателя энтропии случайного вектора $\bar{X}(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$. Компоненты случайного вектора: X_1 - безразмерная случайная величина со значениями, равными коэффициенту покрытия (current ratio), рассчитываемому по балансу как отношение оборотных активов к текущим обязательствам; X_2 - безразмерная случайная величина со значениями, равными коэффициенту финансового рычага, который рассчитывается как отношение собственного капитала к итогу баланса; X_3 - безразмерная случайная величина, обозначаемая обычно ROI, показатель рентабельности активов, рассчитываемая как

отношение прибыли к итогу баланса; X_4 - безразмерная случайная величина, называемая оборачиваемостью компании и рассчитываемая как отношение выручки компании к итогу баланса. Показатель X_4 описывает эффективность применения капитала компании. Когда значение показателя X_4 превышает 1, т.е. выручка превышает итог баланса, то это может означать, что компания эффективно работает, использует свой капитал и выходит на уровень крупнейших международных компаний. Значение показателя X_4 , превышающего 1 присуще нефтяным, нефтегазовым и компаниям с крупной инфраструктурой. Для торговых компаний этот показатель может быть порядка 1,5 - 2,5; X_5 - безразмерная случайная величина со значениями, равными доходности акции компании (ROC). Этот показатель может служить индикатором рыночной привлекательности компании [3,4,5].

Таблица 1. Математические методы стратегического контроллинга

| Экономические методы | Статистические Методы | Математические методы |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Метод абсолютных величин • Метод относительных величин • <u>Балансовый метод</u> • <u>Метод дисконтирования</u> | <ul style="list-style-type: none"> • Метод арифметических разниц • Факторный метод • <u>Индексный метод</u> • Метод сравнений • Метод группировок • Графические методы | <ul style="list-style-type: none"> • Корреляционный анализ • Дисперсионный анализ • Факторный анализ • Регрессионный анализ • <u>Анализ временных рядов</u> ○ <u>Энтропийный анализ</u> ○ <u>Энтропийная корреляция</u> <i>Оптимизационные методы:</i> • <u>Системный анализ</u> • <u>Линейное и нелинейное программирование</u> ○ <u>Информационная оптимизация</u> |

Автором введены и описаны вероятностные пространства случайных величин $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, (\Omega_i, A, P_i) i = 1, 2, 3, 4$ – вероятностное пространство.

Здесь каждое Ω_i – пространство элементарных событий, замкнутое относительно теоретико-множественных операций. $\Omega_i = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots\}$. При этом элементарное событие ω_j определяет интервал значений соответствующего показателя X_i . Для

первых четырех показателей $X_i | i = 1, 2, 3, 4$ полагаем, что связанные с ними случайные величины дискретны и принимают значения из интервалов, соответствующих своим характеристическим группам значений финансовых показателей. Для значений показателя из интервала $a_j \leq x_i \leq b_j$ имеем

$$\omega_{ij} = \{x_i \in [a_j, b_j]\},$$

A_i – класс всех подмножеств Ω_i со свойствами σ -алгебры. Вероятностная мера P_i есть отношение мер описанных выше дискретных множеств $P_i(\Omega_i) = 1, P_i(\phi) = 0$,

$$P_i\left(\bigcup_{i=1}^m A_i\right) = \sum_i P_i(A_i), \text{ если } A_i \cap A_j = \phi, P_i(A_i) = \frac{\text{mes}(A_i)}{\text{mes}(\Omega_i)}.$$

Показатель X_5 , связанный с доходностью акции, моделируется случайной величиной непрерывного типа и был определен на $(\Omega_5, A_5, P_5) | i = 5$ – вероятностное пространство показателя X_5 . При моделировании полагаем, что случайная величина X_5 независима по отношению к случайным величинам X_1, X_2, X_3, X_4 , которые являются взаимозависимыми. Случайный вектор $\bar{X}^*(X_1, X_2, X_3, X_4)$, характеризует структурную энтропию финансовых показателей компании. Для него было определено вероятностное пространство (Ω, A, P) как вероятностное произведение вероятностных пространств $(\Omega_i, A_i, P_i) | i = 1, 3, 4$.

$$\Omega = \prod_i \Omega_i \text{ – декартово произведение множеств } \Omega_i;$$

$$A = \prod_i A_i \text{ – произведение соответствующих } \sigma\text{-алгебр};$$

$P = P_i^3$, P – вероятностная мера, равная произведению вероятностных мер. Известно, что такая мера существует и составляет содержание теоремы Андерсена – Иессена. Тогда

$$\begin{aligned} p(x_{1i}, x_{3j}, x_{3j}, x_{4k}) &= p(X_1 < x_{1i}, X_2 < x_{2j}, X_3 < x_{3j}, X_4 < x_{4k}) = \\ &= p(X_1 < x_{1i}) \cdot p(X_2 < x_{2j} | X_1 < x_{1i}) \cdot p(X_3 < x_{3k} | (X_1 < x_{1i}) \cap (X_2 < x_{2j})) \cdot \\ & p(X_4 < x_{4k} | ((X_1 < x_{1i}) \cap (X_2 < x_{2j})) \cap (X_3 < x_{3j})). \end{aligned}$$

Взаимная энтропия $H_{\text{взаимная}}(X_1, X_3, X_4, X_5)$ случайных величин X_1, X_2, X_3, X_4 и X_5 равна сумме энтропий случайного вектора $\bar{X}^*(X_1, X_2, X_3, X_4)$ и случайной величины X_5 в силу их независимости:

$$H_{\text{взаимная}}(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) = H_0(\bar{X}^*) + H_1(X_5),$$

Считаем возможным полагать, что индикаторы энтропии финансово-инвестиционной привлекательности в рамках финансового контроллинга могут служить целостной мерой оценки неопределенности финансового состояния компании.

Литература:

1. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С. Введение в физическую экономику. М.: Радио и связь, 2001.-160 с.
2. Пригожин И., Стенгерс И. *Время. Хаос. Квант*. К решению парадокса времени. Пер. с англ. № 4. Изд. стереотип. URSS. 2021. 240 .
3. Хан Д., Хунгенберг Х. Планирование и контроль, концепция контроллинга. М.: Финансы и статистика. 2009.
4. Рыжкова Т.В. Энтропийные показатели финансовой системы предприятия // Вестник Станкин, 2012, №2(20), с.124-126.
5. Ryzhkova. T.V. Entropy Economic Model of the Company // IV International Conference “Modeling of Nonlinear Processes and Systems” (MNPS-2019). EPJ Web of Conferences 224, 06007 (2019) <https://doi.org/10.1051/epjconf/201922406007>
6. Боженко Е.В., Махина Т.Ю. Теория информации в экономико-математическом моделировании. Журнал экономических исследований, 2018, Т. 4., No 3., с. 30-38.

ПРОЕКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКОМ ВУЗЕ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Т.В. Рыжкова, Т.Ю. Махина

РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

117997 Российская Федерация, г. Москва, Стремянный пер., 36,
Тел.: +7 (499) 236-7373. E-mail: Ryzhkova.TV@rea.ru

Актуальным инновационным трендом развития высшего образования сегодня становится индивидуализация обучения. Инновационные подходы к процессу образования требуют сочетания академических методов преподавания с индивидуально-проектным методом организации самостоятельной работы. Как следствие, возникает необходимость формирования индивидуальной образовательной траектории (ИОТ), предусматривающей активное участие студентов [1,2,3] в образовательном процессе. Индивидуализация обучения как одно из стратегических направлений развития отечественного образования обозначена в нормативно-правовых документах Российской Федерации. Приоритетным проектом «Вузы как центры пространства создания инноваций» предусмотрено, что к 1 декабря 2025 года все образовательные программы инженерного, социально-экономического и отдельные программы естественно-научного и гуманитарного профилей должны содержать практико-ориентированные компоненты, предполагающие командное выполнение проектов полного цикла. Внедрение проектно-ориентированного метода позволяет студентам научиться решать проблемы, находящиеся, как правило, на стыке наук, уметь обосновывать выбор методов и средств для решения поставленных задач. Рассматривается практико-ориентированная тематика математических дисциплин, связанная с анализом временных рядов[4], предполагающая выполнение индивидуальных студенческих проектных работ практической направленности для обеспечения взаимодействия Вузов и предприятий. Авторами обсуждаются два подхода в анализе временных рядов: во временной и частотной областях, требующие серьезной математической подготовки, которая должна быть предусмотрена в учебных планах для базовых и вариативных математических дисциплин.

Литература:

1. Положение об организации проектного обучения в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова». – Москва. – URL: <https://www.rea.ru/ru/org/managements/uchmetupr/Documents>
2. ТГУ: передовые технологии для смешанного обучения // Ректор вуза. – 2021. – № 03. – С. 34-47.
3. Etzkowitz H., Leydesdorff L. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university-industry- government relations // Research Policy. – 2000. – № 29(2). – p. 109-123.
4. Журавлев В.И., Рыжкова Т.В. Фазовый анализ нерегулярных экономических циклов // Вестник МГТУ Станкин. 2019. № 1 (48). С. 128-134.
5. Сухорукова И.В., Чистякова Н.А. Содержательно-методическая концепция формирования спецкурса по приложениям Марковских процессов. Прикладная психология и педагогика 2021 , т.6 № 1. с.31-41
6. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. - М.: Экономика и финансы, 2003. – 416 с.

**НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ РАЗРЕШИМОСТИ НЕКОТОРЫХ
НЕЛИНЕЙНЫХ НЕРАВЕНСТВ С ПРЕОБРАЗОВАННЫМ
АРГУМЕНТОМ В ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ**

О. А. Салиева¹, Е. И. Галахов²

¹ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
127055, Москва, Вадковский пер., д.3а

²РУДН,
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Проблема получения необходимых условий разрешимости нелинейных неравенств в частных производных исследовалась многими авторами, в частности, в связи с прогнозом природных, технических и финансовых катастроф, в математических моделях которых возникают указанные неравенства.

В настоящем докладе рассматриваются необходимые условия существования решений некоторых полулинейных эллиптических неравенств вида

$$-\Delta u(x) = u^q(g(x)) \quad (x \in R_+^n)$$

в соответствующих функциональных классах в зависимости от соотношения между показателем нелинейности q и размерностью пространства n , а также от свойств отображений $g(x)$. Показана устойчивость критического показателя разрешимости по отношению к слабым (в определенном смысле) возмущениям тождественного отображения. Доказательства основаны на авторской модификации метода пробных функций.

РАЗВИТИЕ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СОЦИАЛЬНОЙ-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

¹М.А. Сигачева, ²С.М. Кабанова, ³Е.В. Желудков

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 127055, Москва, Вадковский переулок 3а

¹ e-mail: m.sigacheva@stankin.ru, ²e-mail: S.Kabanova@stankin.ru,

³e-mail: e.zheludkov@stankin.ru

Аннотация

С развитием четвертой промышленной революции и повышением интереса к цифровой трансформации все чаще человек встречается с искусственным интеллектом. Несмотря на популярность использования ИИ, доверие находится на низком уровне. В данной статье рассмотрены сферы использования ИИ и возможность стандартизации систем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, стандартизация, доверие, машинное обучение.

Введение.

Искусственный интеллект (ИИ) одно из популярных направлений в области научно-исследовательской деятельности, а также мы пользуемся ИИ и его элементами в повседневной жизни. Голосовые помощники, умный дом, чат-бот, процессно-аналитическое ПО – всё это способно упростить жизнь человека. Несмотря на повсеместное внедрение ИИ существует множество барьеров, связанных с его применением, один из них – отсутствие доверия к искусственному интеллекту, а также отсутствие отечественных решений для промышленности в сфере ИИ и в смежных областях.

Для преодоления таких препятствий на пути массового внедрения систем ИИ с целью повышения показателей деятельности, качества работ и снижения рисков необходимо создавать нормативно-правовую базу в данной области, включающую: стандартизацию требований к методикам испытаний интеллектуальных систем, разработку систем сертификации, защиту персональных данных, а также переход на конкурентоспособные продукты в сфере ИИ и многое другое.

Применение ИИ в различных сферах жизнедеятельности человека.

Применение искусственного интеллекта охватывает большое количество сфер. Рассмотрим некоторые виды и сферы их применения.

1. Помощники на базе искусственного интеллекта.

Чат-боты помогают улучшить пользовательский опыт при совершении покупок онлайн, при этом идет взаимодействие в режиме реального времени. Виртуальные помощники помогают пользователям ориентироваться на сайтах, а также выступают посредниками между покупателем и продавцом.

Чат-боты с искусственным интеллектом могут понимать различные языки мира, а также - человеческую речь. Обучаясь во время разговора с людьми, система может имитировать их поведение, при этом покупатель с трудом могут отличить робота от человека. Следовательно, у ИИ при дальнейшем обучении будут присутствовать не только интегрированные ответы на вопросы, но и ИИ сможет решать многие проблемы

клиентов в любое время дня и ночи, в следствие чего помочь повысить удовлетворенность покупателей.

Чат-боты с искусственным интеллектом эффективны с использованием машинного обучения и могут быть интегрированы во множество веб-сайтов и приложений, при этом в конечном итоге ИИ может создать базу данных ответов, для понимания потребностей клиентов.

2. Применение искусственного интеллекта в образовании.

Сектор образования находится под наибольшим влиянием людей, но искусственный интеллект постепенно начал проникать и в данную сферу. ИИ помогает повысить производительность среди преподавателей и позволяет им больше сосредоточиться на студентах, чем на однотипных задачах, а также расширить возможности преподавания при помощи оцифровки контента, например, видеолекций и руководств по выполнению практических работ.

Можно использовать технологии искусственного интеллекта для анализа на оригинальность, и предварительного оценивания студенческих работ, а также ведения отчетности по группам и потокам обучающихся.

Таким образом преподаватель может сосредоточиться на консультациях со студентами, их персональному развитию, а также рекомендовать программы для личного роста.

3. Фильтрация спам – сообщений.

Технологии ИИ уже применяются и в электронной почте в виде сортировки спам-сообщений на «Спам» и «Корзина», при этом убергая человека от нежелательного и рекламного контента.

4. Распознавание объектов и образов.

Самые распространенные устройства, которые есть у каждого, такие как телефоны, ноутбуки и персональные компьютеры, могут использовать технологии искусственного интеллекта для распознавания лиц, отпечатков пальцев и сетчатки глаза, таким образом система может производить идентификацию объекта.

Такие же системы распознавания образов присутствуют на паспортном контроле, так называемый «биометрический паспорт», при котором система сопоставляет введенные в нее данные с отпечатками пальцев, сданными ранее при изготовлении паспорта или визы.

Применения технологий машинного обучения и искусственного интеллекта можно использовать для детектирования различных объектов. Корректно обученная система способна определить наличие у человека оружия, что написано на ценнике, отличить текст Достоевского от Толстого, а также используется для безопасности людей на различных объектах, например, пристегнут ли у водителя ремень безопасности, надел ли рабочий на стройке каску и т.д.

5. Применение в здравоохранении.

При помощи машинного обучения можно обнаруживать различные тяжелые заболевания, например, рак мозга или пневмония, а также при помощи лабораторных и других данных, на ранних стадиях выявлять болезни людей.

Искусственный интеллект в будущем сможет использовать комбинацию исторических и медицинских данных для открытия новых лекарственных средств.

Вопрос импортозамещения или создания собственного решения в ИИ в настоящее время стоит особенно остро. Над решением данной проблемы работает множество

экспертов в области машинного обучения, на данный момент создана программа стандартизации по приоритетному направлению "Искусственный интеллект" на период 2021-2024 годы. Программа призвана преодолеть существующие нормативно-технические препятствия в реализации федерального проекта «Искусственный интеллект» в России. [3] Так же ведется разработка национальных стандартов по ИИ для применения машинного обучения в здравоохранении, что позволит минимизировать риск некорректно поставленных диагнозов, а также снизить нагрузку на медицинский персонал.

Заключение.

Исходя из вышеизложенного о преимуществах ИИ, возникает вопрос: «Так почему же люди не доверяют информации алгоритму, который поможет решить все их проблемы?». Ответ прост и одновременно сложен – устоявшийся мнение о «восстании машин», о котором повсеместно транслируют СМИ, описывают в книгах и показывают в фильмах, а также отсутствие понимания, как работает алгоритм, в каком количестве и с каким качеством, по-другому, погрешностью, он способен обрабатывает эти данные.

Создание отечественного продукта в области ИИ требует масштабного взаимодействия между всеми заинтересованными лицами от органов государственного аппарата до конечного потребителя.

Таким образом, можно прийти к выводу, что требуется разработать нормативно-правовые документы в области искусственного интеллекта, которые ограничивают сферу его задач, целей, а также проводить массовые тестирования возможностей ИИ при помощи заинтересованных пользователей.

Литература:

1. С.В. Гарбук, А.М. Губинский «Искусственный интеллект в ведущих странах мира: стратегии развития и военное применение». - Москва: "Знание", 2019. - 590 с.
2. Стандарты искусственного интеллекта // it world URL: <https://www.it-world.ru/it-news/thoughts/185632.html> (дата обращения: 30.11.2022).
3. В России появятся стандарты в области искусственного интеллекта // Министерство экономического развития Российской Федерации URL: https://www.economy.gov.ru/material/news/v_rossii_poyavyatsya_standarty_v_oblasti_is_kusstvennogo_intellekta.html (дата обращения: 30.11.2022).
4. Национальные стандарты // ТК 164 URL: <http://tc164.ru/page28499750.html> (дата обращения: 30.11.2022).
5. Национальные стандарты // ТК 461 URL: <http://tk461.stankin.ru/standartization/> (дата обращения: 30.11.2022).
6. Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации" // ГАРАНТ.РУ URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946/> (дата обращения: 30.11.2022).

МАТЕМАТИКО-СЕМИОТИЧЕСКИЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Д. М. Силантьев

ФГБОУ «МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия

e-mail: silad.micher@mail.ru

В настоящее время бурно развиваются технологии искусственного интеллекта, описанного математическими средствами. Это и неудивительно, ведь математика исторически развита очень сильно в отношении ряда прочих наук. «Отстающей» дисциплиной на фоне математики является семиотика.

Семиотика как явно выраженная наука о знаках и значениях окончательно сформировалась в прошлом веке усилиями Фердинанда де Соссюра, Чарльза Сандерса Пирса и Юрия Михайловича Лотмана. Немалый вклад оказал и небезызвестный Умберто Эко.

Математика как инструмент отлично решает задачу рефлексии деятельности (размышления над ней) со стороны условного ИИ. При помощи алгоритмов машинного обучения ИИ решает доверенную ему работу всё лучше и лучше. Здесь решается задача «самообучения».

Семиотика же как наука о знаках и значениях способна решать задачу коммуникации между несколькими ИИ, тем самым решая задачу «самоорганизации». Соответственно, связка «математика+семиотика» позволяет создавать своего рода автономные «рабочие бригады», где каждый отдельный «рабочий» совершенствуется в работе, а «бригада» в целом внутри себя совершенствует коммуникацию вокруг доверенной работы.

Чтобы лучше понять принцип, следует придумать и реализовать эдакий «hello world», решение простенькой задачки.

Пусть есть два бота. У ботов в наличии имеются три объекта (предположим: яблоко, груша, банан) и три сигнала (предположим, что имеется лампочка, сигнализирующая красным, жёлтым и зелёным светом). Боты независимо друг от друга «выбирают» один объект из своего запаса. Один бот не знает заранее, что выбрал другой, и наоборот. Когда объекты «выбраны», боты отправляют друг другу сигнал (каждый зажигает лампочку), стараясь сообщить, какой объект они взяли. Разумеется, что сигналы поначалу случайны и не согласованы.

Обучение осуществляется следующим образом:

1. Если боты дают одинаковый сигнал на одинаковые объекты, происходит «поощрение», связь знака и значения (сигнала и объекта) закрепляется.
2. Если боты дают разный сигнал на одинаковые объекты или одинаковый сигнал на разные объекты — происходит «штрафование», связь знака и значения ослабляется.
3. В иных случаях (разные сигналы и разные объекты) воздействие на ИИ каждого бота не оказывается

В конечном итоге боты согласуют между собой «словарь» знаков, закрепляя за каждым конкретный сигнал конкретный объект. Стоит заметить, что нас не интересует в данном случае, каким сигналом обозначается объект (нам не важно, что яблоко обозначено красным или зелёным светом). Важно здесь только то, что два бота в конечном итоге начинают понимать друг друга, причём понимать однозначно без разночтений.

Если усложнить и развить семиотику, разработать семиотические модели, прописать связь «семиотика+математика», можно прототипировать, а затем и производить группы роботов, среди которых возможна и обязательна самоорганизация в процессе порученной им деятельности. Это расширяет возможности автоматизации и снижает потребность в непосредственном участии человека.

Литература:

1. Семиотика: Антология / Сост. Ю.С.Степанов. Изд. 2-е, испр. и доп. - М.: Академический Проект; Екатеринбург: Деловая книга, 2001. - 702 с.
2. Eco, Umberto. Trattato di Semiotica Generale. Milano: 1975.

ОПТИМИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ, СОДЕРЖАЩИХ ЧАСТИЦЫ ВЫТЯНУТОЙ (ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ И ЭЛЛИПСОИДНОЙ) И СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМ

М.А. Смирнова, И.В. Кривенко

Тверской государственный технический университет, г.Тверь, Российская Федерация
170026, Тверь, наб. Аф.Никитина, 22
Tel.: (+7 4822)78-91-90, e-mail: krivenko-irina@mail.ru

Трудно переоценить важность изучения полидисперсных систем, как природных, так и техногенных и, тем более, возможность управления процессами в таких системах. Дисперсные системы, как правило, - это системы, где частицы (часто, многокомпонентные) распределяются в однородной или неоднородной среде. Знание свойств дисперсных систем и закономерностей физико-химических процессов в таких системах позволяет находить возможные пути управления их устойчивостью.

Ранее нами были рассмотрено воздействие электромагнитного излучения на дисперсные системы и проведены множественные вычислительные эксперименты, позволившие установить влияние размеров, форм и состава дисперсных частиц и параметров, воздействующего на них электромагнитного излучения на процессы в таких системах [1-3]. В работе [4] проанализирована возможность управления процессом переноса в системах, содержащих сферические частицы посредством электромагнитного излучения.

В настоящей работе рассмотрена задача получения определенной температуры на поверхности частиц как способа управления устойчивостью дисперсных систем с различной геометрией частиц (сферы, вытянутые цилиндры, эллипсоиды). Найдено решение соответствующей задачи оптимизации. Показано, что оптимальное значение отношения характерных размеров частиц зависит от направления воздействующего излучения, состава частиц, их оптических свойств и геометрии системы.

Литература:

1. Кривенко, И.В. Моделирование воздействия электромагнитного излучения на природные аэрозоли/ И.В.Кривенко, М.А. Смирнова// Математическая физика и компьютерное моделирование, 2019. – Т. 22, № 4. – С. 64-79
2. Уварова, Л.А. Процессы переноса в дисперсных системах и наносистемах, содержащих частицы сферической и цилиндрической формы/ Л.А. Уварова, И.В. Кривенко, М.А.Смирнова, С.А. Шептунов, Т.В.Карлова, А.Ю. Бекмешов// вестник Брянского государственного технического университета, 2020. - № 10(95). – С. 12-21.
3. Modeling of heat transfer in the system of small spherical and cylindrical particles under the action of electromagnetic radiation / Uvarova L.A., Krivenko I.V., Smirnova M.A., Ivannikov A.F. / In book: Nonlinearity: problems, solutions and applications, NY: Nova Science Publishers, Inc., 2017. V. 1, pp. 519-541.
4. Уварова, Л.А. Малые поглощающие частицы в электромагнитном поле и теплоперенос в дисперсных системах / Л.А. Уварова, И.В. Кривенко, М.А. Смирнова, А.Ф. Иванников //Монография/под редакцией Л.А. Уваровой, М.: Янус – К, 2014. – 192 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ БИСТАБИЛЬНОСТИ И МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

А.В. Соколов

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия
127055, Вадковский переулок, 3а
Тел.: (+7 499)972-42-55, e-mail: SokolovAVStankin@ya.ru

Как известно, феномен неустойчивости важен для решения различных прикладных проблем, таких как проектирование оптических переключателей, оптических компьютеров и других. Поскольку в некоторых случаях наблюдается слабый нагрев оптически активной среды, интересно рассмотреть влияние температуры на диапазон бистабильности. Это представляет наибольший интерес для системы, которая включает в себя жидкий кристалл в качестве одного из слоев, так как жидкие кристаллы существуют в узком температурном диапазоне. Помимо этого, жидкий кристалл обладает свойством нелинейности, поэтому его удобно рассматривать для моделирования явлений бистабильности и мультистабильности.

Жидкие кристаллы — это материалы, обладающие характерными свойствами жидкостей (флюидов) и кристаллических твердых тел (например, оптическая анизотропия).

Жидкокристаллическая (ЖК) фаза представляет собой состояние вещества между кристаллическим твердым телом и аморфной жидкостью. Стержнеобразные (нематические) молекулы ЖК обладают уникальными оптическими свойствами, связанными с одноосными кристаллами и диэлектрической анизотропией. Нематические жидкие кристаллы (нематики) характерны тем, что молекулы расположены параллельно друг другу, могут двигаться во всех направлениях, вращаться вокруг собственной оси, но при этом сохранять ориентацию и порядок. Ориентацией нематиков можно управлять с помощью приложенных электрических полей. Прикладывая непрерывно электрическое поле к нематикам, волновой фронт должен непрерывно модулировать. При измерении ЖК - оптические элементы можно сделать физически плоскими, и тогда волновой фронт после прохождения света через ЖК - оптический элемент может быть непосредственно измерен интерференционным методом или датчиком волнового фронта. Для задач, связанных с оптикой произвольной формы, LC-устройства можно использовать для произвольной модуляции волнового фронта падающей световой волны, когда LC-устройства подвергаются воздействию приложенных электрических полей.

В ходе работы рассматривалась трехслойная структура с жидкокристаллической пленкой в области электромагнитного излучения, как одного из основных элементов оптического компьютера.

Для моделирования эффектов би- и мультистабильности возможно применять систему уравнений Максвелла, которая описывается системой фундаментальных уравнений электродинамики:

$$\oint \text{Edl} = - \int \frac{\partial B}{\partial t} dS;$$
$$\oint \text{Hdl} = \int \left(j + \frac{\partial D}{\partial t} \right) dS;$$

$$\oint DdS = \int \rho dV;$$

$$\oint Bdl = 0,$$

где ρ – объемная плотность сторонних зарядов, j – плотность тока проводимости.

Если же поля стационарны (не зависят от времени t), то уравнения Максвелла выглядят следующим образом:

$$- \oint Edl = 0:$$

$$- \oint DdS = q;$$

$$- \oint Hdl = I;$$

$$- \oint Bdl = 0.$$

Для моделирования эффектов мультистабильности был взят один из основных элементов оптического компьютера – жидкокристаллическая пластинка. В качестве подложки были предложены материалы, имеющие оптическую линейность, такие как стекло или кварц. В качестве пленки необходимо использовать нематик, в частности жидкий кристалл. По времени t поле меняется по гармоническому закону. Зависимость амплитуды электрического поля рассматривается от z , при этом вдоль оси x происходит движение с эффективным коэффициентом преломления α по гармоническому закону.

Рассматривается распространение поверхностной электромагнитной волны вдоль оси x с -нормальной к поверхности и зависящей от времени t в соответствии с гармоническим законом. вследствие чего будет получена следующая система:

$$E_y = \begin{cases} \frac{1}{2} E_{y1}(z) e^{i(\alpha kx - \omega t)} \\ \frac{1}{2} E_{y2}(z) e^{i(\alpha kx - \omega t)} \\ \frac{1}{2} E_{y3}(z) e^{i(\alpha kx - \omega t)} \end{cases}$$

Продифференцируя систему уравнений (4.5) получим следующую систему для разных слоев описанной выше пластины:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 E_y^{(1)}}{\partial z^2} - k^2 (\alpha^2 - \varepsilon_1) E_y^{(1)} = 0; \\ \frac{\partial^2 E_y^{(2)}}{\partial z^2} - k^2 (\alpha^2 - \varepsilon_2) E_y^{(2)} = 0; \\ \frac{\partial^2 E_y^{(3)}}{\partial z^2} - k^2 (\alpha^2 - \varepsilon_3) E_y^{(3)} = 0; \end{cases}$$

Данная система может быть решена при подстановки различных начальных условий, таких как толщины слоев, диэлектрическая проницаемость пленки и др.

$$\begin{cases} E_0 \sqrt{\left(2 - \operatorname{sn}^2 \left(\mp \frac{2k \left(-\frac{l}{2} - z_0 \right)}{\sqrt{u_1 u_2}}, k_1 \right) \right)} = -u_2 \operatorname{sn}^2 \left(\mp \frac{2k \left(-\frac{l}{2} - z_0 \right)}{\sqrt{u_1 u_2}}, k_1 \right) \\ u_2 \operatorname{sn}^2 \left(\mp \frac{2k \left(\frac{l}{2} - z_0 \right)}{\sqrt{u_1 u_2}}, k_1 \right) = D \sqrt{\left(2 - \operatorname{sn}^2 \left(\mp \frac{2k \left(\frac{l}{2} - z_0 \right)}{\sqrt{u_1 u_2}}, k_1 \right) \right)} \\ E_0 k \sqrt{\alpha^2 - \varepsilon_1} = \frac{dE_y^{(2)}}{dz} \left(-\frac{l}{2} \right) \\ \frac{dE_y^{(2)}}{dz} \left(\frac{l}{2} \right) = -Dk \sqrt{\alpha^2 - \varepsilon_3}. \end{cases}$$

Таким образом, из полученной системы уравнений выражаются параметры D , l , E_0 , ξ_0 с использованием функций Якоби. Так как система нелинейна, то при варьировании начальных исходных данных имеет место эффект мультистабильности (для некоторых параметров может быть получен эффект бистабильности). Анализ формул для корней и уравнений показал, что параметр нелинейности можно приблизительно рассматривать как коэффициент масштабирования для диапазона бистабильности. Определив температуру, можно уточнить физические параметры проблемы. Прежде всего, это касается параметра нелинейности. Обычно параметр увеличивается с увеличением температуры. Используя параметр нелинейности в качестве параметра масштабирования, можно сделать оценки диапазонов нестабильности. Это может реализоваться и для других веществ. Например, явление оптической бистабильности может наблюдаться в интерферометре Фабри-Перо, заполненного средой с высоким насыщением. Помимо этого, бистабильные состояния применяются в оптических компьютерах при работе с ставшим уже классическим бинарным вычислением. Основываясь на всем вышесказанном, можно предположить, что при применении элементарных функций k -значной логики, таких как $\min(x_1, x_2)$ (минимум), $\max(x_1, x_2)$ (максимум), $x \supset y$ $x \supset y$ (импликация) или $f(x) = \bar{x} = x + 1 \pmod{k}$ (отрицание), возможно получение и использование логических и алгебраических операций в оптических вычислениях.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-11-00247).
The work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 18-11-00247).

Литература:

1. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров: определения, теоремы, формулы / Г.Корн, Т.Корн. – Москва: Наука, 1973. – 831 с.
2. Виноградов И.М. Основы теории чисел. – Москва-Ижевск: 2003, 176 стр.
3. Modeling of the Influence of Temperature on Bistability in Optical Nonlinear Structures, Liudmila A. Uvarova, Andrey A. Pleshkov, Andrey V. Sokolov and Eugene R.Shchukin
4. Х. Гиббс, Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 520с., ISBN 5-03-000952-3
5. Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Лёш, Специальные функции (Формулы, графики, таблицы) – М., 1964 г., 344 стр.

К ВОПРОСУ О СОЧЕТАНИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ДНК- КОМПЬЮТЕРЕ И P-АДИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

А.В. Соколов, Л.А. Уварова

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

127055, Вадковский переулок, 3а

Тел.: (+7 499)972-42-55, e-mail: SokolovAVStankin@ya.ru

В настоящее время достаточно активно исследуются возможности ДНК-компьютера. Впервые систематическое изложение о возможности применения ДНК-компьютера было дано в монографии [1]. Как известно, ключевую роль в ДНК-компьютере играет молекула ДНК. Дизоксирибонуклеотиды различаются своими основаниями, которых имеется четыре: аденин (А), гуанин (Г), цитозин (Ц), тимин (Т). При образовании двойных цепочек имеет место комплементарность Уотсона – Крика: связность происходит за счет попарного притяжения оснований, а именно, А – Т, Г – Ц. Для определения точной последовательности нуклеотидов, составляющих данную молекулу ДНК, что важно для ДНК-компьютера, можно использовать метод секвенирования. Используя мультимножество пробирок P над алфавитом А, Г, Т, Ц, возможные естественные операции с цепочками ДНК : *Слить*, *Размножить*, *Обнаружить*, *Разделить по длине*, *Разделить по префиксу* и комплементарность можно разрабатывать алгоритмы и программы. Используя пробирки с молекулами ДНК можно осуществлять логические операции: дизъюнкцию, конъюнкцию, отрицание и другие. В отличие от вычислительной парадигмы Тьюринга в данной вычислительной парадигме существует массиванный параллелизм молекул ДНК. Кроме того, фиксированность комплементарности Уотсона – Крика приводит к универсальности ДНК вычислений по аналогии с языком перетасованных копий. Таким образом, можно говорить об естественной парадигме вычислений, которая является инструментом для осуществления логических и арифметических операций.

При моделировании мышления может быть успешно применён другой подход – моделирование с использованием p – адического анализа [2]. При этом, благодаря ультраметрике (усиленному неравенству треугольника), представлению p – адических чисел в поле Q_p с помощью бесконечного ряда и других положений и теорем p – адического анализа [3], а также принципу иерархии для координат того или иного состояния вектора информации в ментальном пространстве и гипотезе о функционировании мозга не на принципах логического мышления, можно провести моделирование подсознательного и сознательного уровней процесса мышления. При этом ряд выявленных закономерностей работы мозга (в частности, возникновение аттракторов – устойчивых состояний процесса мышления) соответствует многочисленному человеческому опыту. Таким образом, сочетание таких различных подходов как методы математической логики (в данном случае, булевой алгебры, что, в общем случае может быть обобщено на логику Гейтинга и k – значную логику) и p – адический анализ может привести к эффективному моделированию процесса мышления, аспектов работы мозга и проектирования его производных – компьютеров, работа которых основывается на биопроцессах.

Литература:

1. Г. Паун, Г. Розенберг, А. Саломеа. ДНК-компьютер. Новая парадигма вычислений. М.: Мир, 2003.
2. А.Ю. Хренников. Моделирование процессов мышления в p – адических системах координат. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
3. А.Ю. Хренников. Архимедов анализ и его приложения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ МОДЕЛЕЙ КАЛИБРОВКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПАНИЙ

О.В. Стихова

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия

127055, Москва, Вадковский пер., 3а

Тел.: (+7 499)972-42-55, e-mail: olgast2011@mail.ru

Математические функции моделей калибровки состояния дефолта промышленных компаний продолжают оставаться актуальными благодаря своим свойствам многопараметричности. Как правило, реальная структура зависимости финансовых активов отличается от гауссовой, особенно в условиях рыночных колебаний. В работе рассмотрены подходы, необходимые для рынка производных кредитных инструментов применительно к производителям промышленной продукции [1]. Важным шагом в моделях калибровки является выбор и калибровка наиболее адекватной функции копулы на основе реальных финансовых данных. Многопараметрическая модель, основанная на обобщенной гиперболической копуле с обобщенными гиперболическими границами (CGH) учитывает различные смешанные распределения и различные распределения граничных областей, сохраняет при этом желаемые свойства одномерного распределения GH[2]. Рассмотрены функциональные характеристики, необходимые для решения задач прогнозирования поведения облигаций, обеспеченных долговыми обязательствами (CDO) и свопов на дефолт по кредиту (CDS).

Функции копулы могут быть полезным и простым инструментом для реализации эффективных алгоритмов и более реалистичного моделирования распределения доходности финансовых активов. В работе выделено понятие «производных» от стандартных финансовых активов и рассмотрены способы контроля финансового риска на вторичном рынке обязательств в промышленности. Решена задача математического моделирования поведения риска по траншам производных ценных бумаг. Копулы позволяют нам моделировать структуру зависимости независимо от предельных распределений. Таким образом, мы строим многомерное распределение с различными полями и структурой зависимости, заданной из определенного типа функции копулы.

В работе портфель синтетических долговых инструментов составлен исходя из требуемых параметров. В моделях калибровки ранние дефолты снижают требуемые суммы платежей по траншам чистой доли с высокими спредами, поздние дефолты действуют абсолютно противоположно. Представлены методы калибровки и моделирования функций копулы.

При определении цены CDO транша базового портфеля, использована модель вероятности дефолта по множеству эмитентов[4].

$$V_{prot}(0) = E \left[\begin{array}{c} T - \int_0^s r_t du \\ \int_0^T e^{-\int_0^t r_s ds} N_{tr} dL_s^{(K_1, K_2)} \\ 0 \end{array} \right]$$

В работе при оценке премиальной части учитываются накопленные выплаты, на основании котировок CDS откалибровано распределение времени дефолта и для определения цены CDS основополагающего портфеля использована модель вероятности дефолта по одному эмитенту.

Стоимость защиты определяется размером ожидаемых убытков от дефолта по траншу и стоимость премиальной части транша вычисляется как текущая цена всех ожидаемых выплат по спреду, где интервал в платежах $\Delta_i = T_i - T_{i-1}$:

$$V_{prem}(0) = \sum_{i=1}^M E \left[e^{-\int_0^{T_i} r_u du} s \Delta_i N_{Tr} \frac{2 - L_{T_{i-1}}^{(K_1, K_2)} - L_{T_i}^{(K_1, K_2)}}{2} \right].$$

Рассмотрены модели расчета риска невозврата кредита по одному эмитенту, с помощью которых оценивается возможность наступления дефолта и выход из дефолта.

При доле убытков портфеля $x \in [0, 1]$ и пороговых значениях дефолта $K(t) = F_{GH}^{-1}(p(t))$, где $p(t)$ нейтральная к риску вероятность дефолта каждого эмитента портфеля, распределение убытков портфеля имеет вид:

$$F_{\infty}(t, x) = 1 - F_{GH_d} \left(\frac{1}{a} \left(K(t) - \sqrt{(1-a^2)} F_{GH_i}^{-1}(x) \right) \right)$$

Для вычисления ожидаемых убытков транша в многопараметрической модели обобщенной гиперболической копулы [5]:

$$EL_{(K_1, K_2)}(t) = \frac{1}{K_2 - K_1} \int_{K_1}^{K_2} (x - K_1) dF_{\infty}(t, x) + (1 - F_{\infty}(t, K_2)).$$

Для разработки современных моделей финансового портфеля необходимо изучать подробно поведение математических функций калибровки. Функции калибровки были также реализованы в области комплексного измерения различных финансовых рисков путем моделирования структуры зависимости между рыночными, кредитными и операционными потерями. В работе проведены вычислительные эксперименты и верификация результатов по моделированию стоимостных показателей продуктов рынка производных кредитных ценных бумаг компаний производственного сектора, обеспеченных долговыми обязательствами и подверженных дефолту, как на искусственно сгенерированных выборках, так и с использованием реальных данных. Функции калибровки реализованы в портфеле из n финансовых активов, торгуемых на различных мировых фондовых рынках. Рассмотрены индексы iTraxx Европы, Азии, Ближнего Востока и Африки со сроками погашения 3, 5, 7 и 10 лет, новая серия определяется на основе ликвидности каждые шесть месяцев. Базовый индекс iTraxx Europe index включает 125 европейских имен с одинаковым весом по эффективности соответствующих текущих контрактов iTraxx CDS. Наши методы и модели позволяют одновременно моделировать хвостовую зависимость и различные распределения граничных областей. Последствия принятия решений для финансовых и промышленных компаний очевидны. Результаты проведенных вычислений, в том числе для предприятий различной сферы деятельности, показали высокую эффективность.

Литература:

1. Стихова О.В. Математическое моделирование поведения дефолта кредитных деривативов промышленных компаний. / Вестник МГТУ «Станкин». Научный рецензируемый журнал. М.:МГТУ «СТАНКИН», №4(23), 2012, стр.81-84
2. Стихова О.В. Математическое моделирование двойной нормальной обратной копулы гаусса и аппроксимация большого портфеля. «Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем». Ежегодный сборник научных трудов, вып.16. Под ред. Л.А.Уваровой. - М.: «Янус-К», 2014г. стр. 97-102
3. Стихова О.В. О некоторых математических моделях распределения убытков при оценке кредитных деривативов. «Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем». Ежегодный сборник научных трудов, вып.13. Материалы международной научной конференции «Моделирование нелинейных процессов и систем». Под ред. Л.А.Уваровой.- М.: «Янус-К»,2010г. стр.127-136.
4. Щетинин Е.Ю, Стихова О.В. Математическое моделирование производных ценных бумаг на дефолт по кредиту на основе моделей копул. / Научно-практический и информационно-аналитический сборник «Финансовая аналитика: проблемы и решения», «Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ», 7(49)-2011,стр.16-25.
5. Stikhova O.V. «Mathematical Estimation Methods and Models for Industrial Companies» EPJ Web of Conferences 248, 03001 (2021) MNPS-2020, <https://doi.org/10.1051/epjconf/202124803001>.

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ СЕРВИСНОГО ЦЕНТРА ПО РЕМОНТУ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

А.Э. Тихомиров², Т.В. Карлова^{1,2}, А.Ю. Бекмешов^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» 127055, Москва, Вадковский пер., д.3а

²Федеральное государственное автономное учреждение науки Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук 127055, Москва, Вадковский пер., д. 18, стр. 1А

E-mail: alexey.tikhomirov@list.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению вопросов конкурентоспособности предприятий-изготовителей, ее расчету и анализу на основе модели информационно-статистической системы сервисного центра, оказывающего ремонтные услуги в области новейших электронных устройств.

Ключевые слова: управление, информационно-статистическая модель, конкурентоспособность, экспертный метод

Для того чтобы разработать модель информационно-статистической системы для дальнейшей оценки конкурентоспособности предприятий-изготовителей необходимо разобраться в понятии конкурентоспособность предприятия.

Конкурентоспособность предприятия – это способность предприятия оказывать сопротивление для достижения преимущества другим предприятиям, предоставляющим аналогичные услуги, путем наличия у него высшего качества, более низких цен и удобства для клиентов.

Конкурентоспособность предприятий-изготовителей, осуществляющих продажу электротехнических изделий, определяется набором критериев: долговечность, безотказность, надежность, ремонтпригодность, сохраняемость, наработка на отказ, защита от воздействия внешних факторов и бюджетность ремонта. Данный набор критериев разделяет предприятия-изготовителей электротехнических изделий на 2 группы, а именно:

1. по name;
2. brand.

Если переводить дословно, то “no name” – это отсутствие названия, то есть электротехнические изделия разработаны никому не известным производителем, в большинстве случаев такая электроника произведена без использования стандартов.

Данные электротехнические изделия отличаются низкой ценой, поскольку здесь нет переплат за бренд, фирменную коробку, документы на аппарат и аксессуары к нему, которые также должны лежать в коробке и прочее, что без сомнения влияет на цену готового изделия.

Так как цена товара напрямую связана с его качеством, то и качество здесь нередко имеет низкий уровень. Люди, заказывая такие изделия, не могут быть уверены на 100%, что они получат аппарат, который будет отвечать всем требованиям. Человек может получить как отличный аппарат высокого качества с полной комплектацией, так и неработоспособное устройство или работоспособное, но не в полной мере отвечающее

всем требованиям. Тем не менее, по паве изделия имеют высокий спрос из-за порой смешного уровня цены.

Brand – популярный изготовитель, который в большинстве случаев укрепился на рынке электротехнических устройств и зарекомендовал себя как предприятие, выпускающее высококачественные электронные устройства. Здесь, в отличие от по паве предприятий, изготовитель предоставляет покупателю полный перечень комплектации, а именно: всех необходимых документов, оригинальных аксессуаров, а также коробку, в которой все это находится. Заказывая такое изделие, люди знают, что получают его в надлежащем виде, и он будет отвечать всем требованиям. Без сомнений можно утверждать, что данный товар за счет высокого уровня качества изделия, безотказности, долговечности и ремонтпригодности, имеет цену значительно выше, нежели в случае изделий по паве предприятий-изготовителей.

Мы будем рассматривать как раз предприятия второй категории, в дальнейшем называемые БПИ. На основании статистических данных, имеющихся у сервисного центра «ЕСТЬ КОНТАКТ», составлена диаграмма, отражающая частоту обращений клиентов с электротехническими изделиями БПИ (в процентном соотношении) [Рисунок 1].

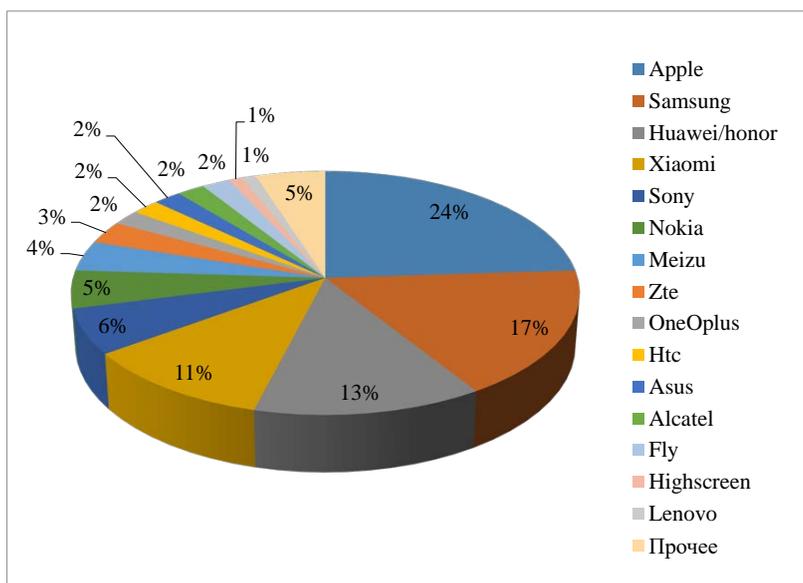


Рис. 1 – Показатели частоты обращений клиентов с электротехническими изделиями конкретных фирм

Из рисунка видно, что большая часть обращений клиентов (более 70%) приходится на следующие 5 предприятий-изготовителей, а именно:

1. Apple (24%);
2. Samsung (17%);
3. Huawei/Honor (13%);
2. Xiaomi (11%);
3. Sony (6%).

Следовательно, в дальнейшем будет осуществлена оценка конкурентоспособности именно по данным предприятиям-изготовителям. Важно отметить, что конкурентоспособность предприятий-изготовителей будет оцениваться по электротехническим изделиям одной ценовой категории.

Экспертные оценки присвоены каждому предприятию руководством сервисного центра «ЕСТЬ КОНТАКТ». Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1
Модель информационно-статистической системы
сервисного центра по ремонту электротехнических изделий

| № | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------------------|--|--------------|----------------|-------------------------|---------------|-------------|
| Предприятия-изготовители | | <i>Apple</i> | <i>Samsung</i> | <i>Huwei/ Honor</i> | <i>Xiaomi</i> | <i>Sony</i> |
| Критерии | Долговечность | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 |
| | Безотказность | 9 | 9 | 7 | 7 | 5 |
| | Надежность | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 |
| | Ремонтопригодность | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| | Сохраняемость | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| | Наработка на отказ | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 |
| | Защита от воздействия внешних факторов | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Бюджетность ремонта | 5 | 3 | 6 | 7 | 5 | |
| Σ | | 58 | 52 | 48 | 47 | 42 |
| Средний показатель экспертной оценки | | 7,25 | 6,5 | 6 | 5,875 | 5,25 |

Стадия жизненного цикла изделия, влияющая на послепродажное обслуживание, заключается в эксплуатации изделия и оказании ремонтных работ. Из этого следует, что именно на этой стадии осуществляется обратная связь с производителем изделия.

Часто встречающиеся сбои и погрешности в изделии наглядно показывают, какие производители-изготовители не обеспечивают должного уровня качества при производстве изделия и позволяют в полной мере оценить конкурентоспособность данных предприятий.

Анализируя данные таблицы 1 видно, что каждой анализируемой фирме проставлены экспертные оценки по восьми критериям, влияющим на конкурентоспособность предприятий-изготовителей, а именно:

1. долговечность;
2. безотказность;
3. надежность;
4. ремонтпригодность;
5. сохраняемость;
6. наработка на отказ;
7. защита от воздействия внешних факторов;
8. бюджетность ремонта.

Даже в случае отсутствия дальнейшего более детального рассмотрения каждого предприятия-изготовителя из экспертных оценок видно, что их разброс колоссальный.

Составим лепестковую диаграмму показателей экспертных оценок рассмотренных фирм, которая позволит выявить зависимость величины показателей экспертных оценок по определенным критериям, влияющим на конкурентоспособность, от конкретных предприятий-изготовителей электротехнических изделий [Рисунок 2].

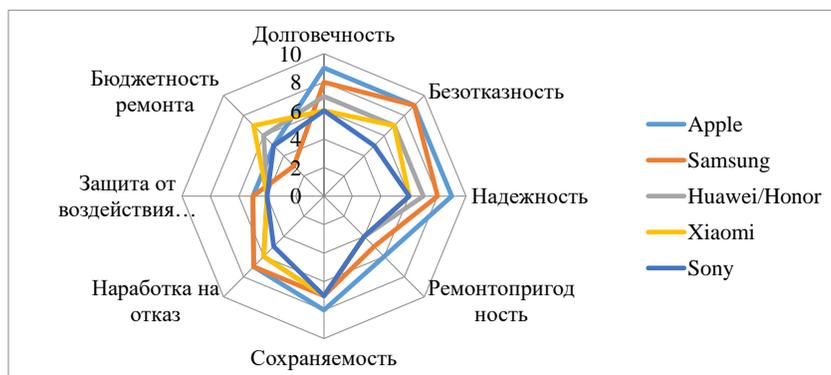


Рис. 2 – Лепестковая диаграмма показателей экспертных оценок критериев конкурентоспособности по предприятиям-изготовителям: “Apple”, “Samsung”, “Huawei/Honor”, “Xiaomi” и “Sony”

Анализируя полученную диаграмму, нетрудно заметить, что ни одна фирма, ни по одному критерию конкурентоспособности не имеет экспертные оценки равные десяти (максимальное значение). Следовательно, можно сделать вывод, что предел развития фирм на 2019 год значительно выше, и предприятия должны стремиться достичь данного предела путем обеспечения должного уровня качества для того, чтобы оказывать сопротивление с целью достижения преимущества над другими предприятиями.

Видно, что, несмотря на разброс показателей конкурентоспособности, минимального значения не достигает ни один производитель. По диаграмме заметим, что почти аналогичные низкие оценки принадлежат критерию «защита от воздействия внешних факторов».

Идея мониторинга предприятий-изготовителей, на основе которого была составлена информационно-статистическая система сервисного центра по ремонту электротехнических изделий, заключается в том, чтобы оценить, насколько сбалансированы значения критериев конкурентоспособности для последующей оценки конкурентоспособности производителей.

Анализ графика позволяет выделить те аспекты, на которые предприятиям-изготовителям необходимо обратить внимание и продумать план последующих действий.

Рассчитав суммарные экспертные значения оценок по всем критериям конкурентоспособности, мы можем определить средний показатель экспертной оценки по каждому рассматриваемому производителю-изготовителю, чтобы с легкостью произвести оценку их конкурентоспособности.

Комплексные показатели предприятий-изготовителей электротехнических изделий следующие:

1. *Apple* – 7,25;
2. *Samsung* – 6,5;

3. *Huwei/Honor* – 6;
4. *Xiaomi* – 5,875;
5. *Sony* – 5,25.

Из результатов исследования видно, что максимальной конкурентоспособностью обладает «Apple», а минимальной – «Sony». Наибольшую опасность в качестве конкурента для «Apple» представляет «Samsung». Американской корпорации «Apple» необходимо обратить внимание на то, что предельное значение показателей не достигнуто, а также провести анализ полученных результатов.

1. *Долговечность*. Благодаря высокому уровню качества комплектующих продукция компании Apple оказалось самой долговечной. Устройства способны длительно сохранять работоспособность до наступления критического состояния. Самыми слабыми по данному параметру оказались продукция фирм Xiaomi и Sony.

2. *Безотказность*. Лучшей по критерию безотказности оказалась компания Apple, а худшей фирма Sony.

3. *Надежность*. Поскольку компании Apple свойственны значительные затраты на разработку устройств и их дальнейшие проверки, именно она обладает высоким уровнем надежности. Благодаря этому Apple как минимум на шаг выше своих конкурентов. По данному критерию хуже всего показали себя устройства фирм Xiaomi и Sony.

4. *Ремонтпригодность*. Четко спроектированная и реализованная компоновка выпускаемых изделий и простота их разборки позволяет выставить корпорации Apple наивысший балл по критерию ремонтпригодности.

5. *Сохраняемость*. По критерию сохраняемости, исходя из таблицы 3.1 «Модель информационно-статистической системы сервисного центра по ремонту электротехнических изделий» незначительно обходит своих конкурентов продукция фирмы Apple.

6. *Наработка на отказ*. После одного или даже нескольких восстановлений продукция компании Apple и Samsung имеет наибольший промежуток времени работы на отказ. Это можно связать с высоким качеством запчастей, необходимых для ремонта устройств данных фирм. Тем не менее, мы можем наблюдать обратную ситуацию с компанией Sony. Оригинальные запчасти для устройств этой фирмы значительно труднее найти, а совместимые неоригинальные запчасти обладают низким уровнем качества.

7. *Защита от воздействия внешних факторов*. Электротехнические устройства всех рассмотренных фирм имеют низкий уровень защиты от воздействия таких внешних факторов, как: влажность, перепады температур и механические воздействия. Немного лучше, чем у конкурентов ситуация обстоит с продукцией Apple и Samsung.

8. *Бюджетность ремонта*. Наиболее бюджетным в плане ремонтных работ является предприятие-изготовитель Xiaomi. Запчасти для осуществления ремонта Xiaomi легкодоступны и всегда в наличии у поставщиков по приемлемым ценам, а простота конструкции аппаратов данной фирмы позволяет осуществлять большинство ремонтов в короткие сроки и по самым бюджетным ценам. Наиболее дорогостоящими в плане ремонта оказались изделия компании Samsung, поскольку практически отсутствуют совместимые запчасти сторонних производителей, а стоимость оригинальных запчастей очень высока. В первую очередь это касается фирменных дисплеев Super AMOLED.

Выводы

Современные предприятия стремятся к выпуску конкурентоспособной продукции, занимающую определенное место в сегментах отечественного и зарубежного рынка и осуществляющую эффективную конкурентную стратегию развития. Разработанная модель информационно-статистической системы позволяет оценить на основе аналитических данных конкурентоспособность предприятия-изготовителя, и с помощью полученных результатов не только способствовать совершенствованию характеристических свойств изделий, но и влиять на процессы, повышающие его конкурентоспособность.

Литература:

1. Сивачев, В.В., Третьякова Е.П. Анализ существующих подходов к оценке конкурентоспособности производственных предприятий [Текст] // Актуальные вопросы экономики и современного менеджмента 2017 – № 2;
2. Антонов, Г. Д. Управление конкурентоспособностью организации / Антонов, Г. Д. – М.: Инфра-М, 2012;
3. Горбашко, Е. А. Управление качеством: Учебное пособие / Горбашко Е. А. – СПб.: Изд-во Питер, 2008;
4. Тебекин, А. В. Управление качеством : учебник для вузов / А. В. Тебекин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021;
5. Фомичев, В. И. Управление качеством и конкурентоспособностью : учебник для вузов / В. И. Фомичев. — Москва : Издательство Юрайт, 2021;
6. Пыхов С.И., Алферова Л.В., Димитров В.И. Статистический анализ эффективности деятельности предприятия в области качества. Международный диалог: современные тенденции в гуманитарных, естественных и технических науках // Труды всероссийской научно-практической конференции преподавателей, ученых, специалистов и аспирантов (24 апреля 2012 г.). – Челябинск: УралПечать, 2012.

ЦИФРОВОЙ УНИВЕРСИТЕТ КАК ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ

Тихомирова В.Д.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический
университет «СТАНКИН»,
г. Москва

E-mail: vd.tikhomirova@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены процессы цифровой трансформации университета в области подготовки специалистов для цифровой промышленности. Рассмотрена концептуальная модель цифрового университета, отражающая взаимодействие уровней подготовки студентов с требованиями современного промышленного предприятия.

Ключевые слова: цифровая образовательно-научная среда, модель цифрового университета, цифровая промышленность, стандартизация.

Согласно [1], а также общемировым тенденциям современная промышленность переходит на качественно другой уровень формирования бизнес-процессов. Посредством современных технологий, накопленного опыта и привлечения кадров, способных выполнять работу, используя цифровые навыки, происходит постепенное преобразование промышленности от традиционного типа к цифровому. Переход университетов к новой технологической основе предоставления и накопления знаний позволит построить цифровые образовательные экосистемы. Этот подход подразумевает не только установку современного оборудования или программного обеспечения, но и фундаментальные изменения в подходах к управлению, корпоративной культуре, внешних коммуникациях. Таким образом, для подготовки кадров промышленности и университетам необходимо действовать совместно для подготовки как новых кадров, так и для своевременного освоения программ переподготовки и дополнительного образования для существующих кадров предприятия.

Цифровой университет подразумевает цифровизацию деятельности университета на всех уровнях, включая процессы управления университетом в целом, качеством процессов и услуг, образовательной деятельности, научно-исследовательской деятельности. Современные технологии делают бизнес-процессы более быстрыми и простыми. Таким образом, бизнес-процессы становятся более понятными как работникам организаций, в контексте университета профессорско-преподавательскому составу, учебно-вспомогательному персоналу, так и клиентам, то есть обучающимся и другим заинтересованным сторонам, что симулирует рост лояльности к организации.

Рассматривая вопросы интеграции образования и промышленности, особое внимание следует уделять созданию цифровой научно-образовательной среды университета, так как она наиболее сильно влияет на формирование отношения к университету обучающихся и абитуриентов, поскольку именно в этой среде они взаимодействуют каждый день как между собой, так и с преподавателями, кураторами и представителями работодателей. Создание цифровых экосистем образования становится необходимым условием формирования непрерывного обновления компетенций с учетом возможностей обучающихся. Цифровые экосистемы способны быть центром технологических инноваций, так как процесс генерации знаний невозможен без их

передачи и дальнейшего использования [2]. Помимо этого, работа в цифровой среде будет способствовать формированию цифровых компетенций у обучающихся. В процессе постоянного взаимодействия в цифровой среде обучающиеся будут вырабатывать навыки цифровой грамотности, получать опыт работы с цифровыми инструментами. Опыт, полученный во время обучения, позволит будущим специалистам создавать более грамотные проекты по цифровизации организаций как в целом, так и для внедрения цифровых процессов и технологий в различные технологические операции. Создание единой среды, в которой университеты смогут вести образовательную деятельность с применением цифровых платформ, а представители работодателей смогут проводить виртуальные эксперименты, проводить виртуальные экскурсии по предприятиям в рамках практик, стажировок, лабораторных и практических работ, позволит готовить специалистов для восполнения кадровых пробелов на промышленных предприятиях. Такая система представляет сложную техническую систему. На рисунке 1 представлена концептуальная модель цифровой среды взаимодействия образовательного и промышленного секторов для достижения общей цели – подготовки специалистов, которые смогут адаптироваться к текущим изменениям производственных и технологических процессов.



Рис. 1. Процессно-ориентированная модель общей цифровой среды университетов и промышленных предприятий

Согласно отчетам [3] в процессе работы предприятия производят большое количество данных, обрабатываются же всего около 5-10% (в зависимости от отрасли). Связано это как с устаревшими методами хранения данных на производстве, так и с недостаточным уровнем систем автоматизации технологических процессов. Далеко не

каждое предприятие и не каждый ВУЗ обладает значительным запасом ресурсов (как финансовых, так и трудовых) для проведения масштабной цифровизации всех областей [4]. Таким образом, промышленные предприятия будут являться источником реальных задач, которые преподаватели смогут использовать для подготовки будущих специалистов.

Так как современные цифровые технологии и методы (такие как управление большими данными, машинное обучение, интернет вещей, искусственный интеллект и т.д.) обновляются в течение двух-трех лет, то и подготовка кадров должна быть непрерывной на всех уровнях должностной иерархии предприятия. Помимо подготовки новых, молодых кадров, предприятия получают возможность повышать квалификацию уже существующего персонала. Также основополагающим является процесс обмена знаниями между вузами и производством для своевременного повышения квалификации преподавательского состава. Такой обмен и регулярное методическое обновление контента необходимо для доступа будущих специалистов к актуальным навыкам и знаниям.

Согласно профессиональным стандартам специалиста по управлению ИТ-инфраструктурой предприятия навыки, которые необходимы для цифровой трансформации предприятия, специалист приобретает и совершенствует как на различных уровнях образовательной подготовки, так и в зависимости от практического опыта (см. рисунок 2).



Рис. 2. Цифровые навыки специалиста цифровой трансформации предприятия

Самым трудоемким и длительным, как для ВУЗов, так и для представителей бизнеса процессом является подготовка Chief Digital Officer (CDO) – руководителя цифровой трансформации (РПЦ). CDO это сотрудник, который стимулирует работу организации по преобразованию ее основных видов деятельности, в том числе, что касается инновационных разработок, из традиционных в цифровые, используя потенциал современных технологий и данных. В задачи CDO входит разработка,

согласование и ведение проектов по цифровой трансформации как внутренних процессов организации, так и способов взаимодействия с внешней средой, а именно внедрение цифровых технологий, которые позволяют автоматизировать производственные процессы предприятия, изменить подход к обработке, хранению и анализу данных, преобразуя их в накопленные знания. Таким образом, CDO необходимо владеть техническими и управленческими навыками и компетенциями. Подготовка такого специалиста трудоёмка и не может строиться только на базе Вуза или на базе предприятия. Квалификация специалиста не может строиться в рамках одной специальности, поэтому наличие общей научно-образовательной среды с доступом к междисциплинарной подготовке и экспертному сообществу. Однако, имея опыт подготовки специалистов высшего квалификационного уровня появляется возможность составления траектории подготовки кадров младшего уровня владения компетенциями, подготовка которых продолжится непосредственно на предприятиях.

Цифровая научно-образовательная среда как система управления знаниями на базе кластеров образовательного и промышленного сообществ является сложной технической системой [5-7]. Апробация концептуальной модели архитектуры взаимодействия цифрового университета и цифрового промышленного предприятия в рамках подготовки соответствующего стандарта является одним из шагов по созданию системы мотивации для создания совместной инфраструктуры для взаимодействия. Современный университет представлен как технологическая площадка для проведения научных и технологических исследований и подготовки кадров согласно общим требованиям профессиональных стандартов и требованиям конкретных предприятий. Освоение необходимых компетенций и участие образовательных кадров в развитии цифровой экономики на предприятиях, наряду с сотрудничеством с цифровыми компаниями, осуществляющими техническую поддержку переходных процессов, является одним из шагов к цифровой трансформации предприятий.

Литература:

1. Указ Президента РФ от 21 июля 2020 г. N 474 "О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года"
2. Угнич, Е. А. Проблемы генерации и коммерциализации знаний в условиях развития инновационной экосистемы университета / Е. А. Угнич// Государственное управление Российской Федерации: вызовы и перспективы: Материалы 15-й Международной конференции, Москва, 25 мая 2017 года. – Москва: "КДУ", "Университетская книга", 2018. – С. 317-323. – EDN YXLMXN.
3. Абдрахманова Г. И. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13–30 апр. 2021 г. / Г. И. Абдрахманова, К. Б. Быховский, Н. Н. Веселитская, и др.; рук. авт. кол. П. Б. Рудник. Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. — 239, — ISBN 978-5-7598-2270-7 (e-book).
4. Тихомирова В.Д., Адамова Ю.С., Иванова Т.В. Поддержка процессов управления цифровым университетом // Новые информационные технологии в образовании. Сборник научных трудов 20-й международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Д.В. Чистова. 2020. С. 101-104.
5. Позднеев Б.М., Бушина Ф., Сутягин М.В., Бабенко Е.В., Тихомирова В.Д., Шароватов В.И. Развитие и стандартизация цифровой научно-образовательной среды для обеспечения промышленности 4.0 // Сборник трудов X Международной научной конференции «ИТ –СТАНДАРТ 2020» — М.: Издательство «Проспект», 2020. С. 51-57

6. Тихомирова В.Д., Адамова Ю.С. Концепция цифрового университета как платформа подготовки кадров для цифровой промышленности //Сборник трудов X Международной научной конференции «ИТ –СТАНДАРТ 2020» — М.: Издательство «Проспект», 2020. С. 273-277
7. Позднеев, Б. М. Перспективы развития цифровой научно-образовательной среды на основе унификации и стандартизации / Б. М. Позднеев, В. Д. Тихомирова // Информатизация образования и науки. – 2022. – № 3(55). – С. 3-16. – EDN ETTGPS.

УСТОЙЧИВОСТЬ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ КАК ЛИМИТИРУЮЩИЙ ФАКТОР КОНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА

Токарев Д.А., Назаренко К.М., Коробов Н.А.,
Назаренко Е.С., Марков П.Н.

МГТУ «СТАНКИН», Россия, 127055, г. Москва, ул. Вадковский пер. 1;

Тел.: (+7 499)972-95-00, E-mail: cmr.nazy@gmail.com

Выполнение вычислительных заданий конформационного поиска является неотъемлемой частью исследования молекулярных кластеров методами квантовой химии. Учитывая большое количество исследуемых изомеров, для получения стабильных геометрических конфигураций которых решаются задачи многомерной оптимизации, характеризующиеся высокой вычислительной сложностью, очевидно, что дефицит ресурсов является фактором, ограничивающим производительность исследовательской работы.

Помимо количества выделенного для конформационного поиска вычислительного времени, следует рассматривать также и качество этого времени. Поскольку одинаковое количество операций может быть выполнено с использованием ЭВМ различной производительности, то при сохранении эффективности параллелизма и возможности адекватной балансировки возможно экстенсивное повышение продуктивности исследований. Применение параллелизма на уровне вычислительных заданий позволяет за счет их независимости эффективно задействовать большое число процессорных ядер, размещенных как в одном вычислительном узле, так и при использовании кластеров и даже Grid-систем, однако следует учитывать продолжительность квантов времени, выделяемого для непрерывного выполнения задания конформационного поиска. Как правило, ограничения продолжительности сеанса использования вычислительного узла возникают при немонопольном использовании ресурсов, технических сбоях, а также при эксплуатации остаточного ресурса ЭВМ.

Длительность итерации оптимизации геометрической конфигурации определяется размером молекулярных систем, применяемой моделью их электронной структуры, производительностью используемого программно-аппаратного комплекса [1-4]. В данной работе исследуется производительность конформационного поиска, проводимого с использованием пакета Gaussian 09 при ограниченной продолжительности непрерывного выполнения заданий.

В работе [5] в случае некорректного завершения оптимизации предложено использовать метод перезапуска с минимальной точки, реализованный в программном средстве [6], показавший высокую эффективность при конформационном поиске молекулярных кластеров атмосферного происхождения. В работе [7] проведено статистическое исследование производительности конформационного поиска при таком подходе, в результате которого установлена высокая степень неопределенности требуемого для выполнения заданий числа попыток и общего количества итераций оптимизации.

Для исследования производительности конформационного поиска нами производится сегментированное выполнение оптимизации – обработка заданий прекращается после выполнения определенного количества итераций (сегмента). При необходимости расчеты возобновляются, при этом в качестве новых исходных данных

выбирается минимальная либо последняя полученная конфигурация (непосредственное продолжение).

В результате исследования установлено, что конформационный поиск сегментами оптимизации длиной менее 55 итераций неэффективен, поскольку существенно снижается его результативность. При этом в случае сегментов длиннее 55 итераций производительность конформационного поиска статистически неотличима от производительности неограниченного по времени выполнения вычислительных заданий.

Полученные результаты позволяют установить требуемую длительность непрерывной обработки вычислительных заданий конформационного поиска, либо, наоборот, установить предельные размеры исследуемых на требуемом уровне теории молекулярных структур при заданном режиме выполнения заданий. Также полученная временная характеристика должна учитываться при динамической балансировке вычислений гетерогенных комплексов ЭВМ.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 18-11-00247-П от 21.04.21.

Литература:

1. Анализ технических условий проведения вычислительных экспериментов конформационного поиска. Коробов Н.А. и др. В книге: Моделирование нелинейных процессов и систем. Материалы пятой международной конференции. 2021. С. 215-217. ISBN: 978-5-8037-0822-3
2. Коробов Н. А. и др. Организация конвейерной обработки вычислительных заданий конформационного поиска – Тезисы докладов XXVII международной конференции «Математика. Компьютер. Образование», 2020, с. 197. ISBN 978-5-4344-0861-5
3. Назаренко Е.С. Особенности моделирования формирования газофазных гидратов в атмосфере. // Естественные и технические науки. 2017. №9. С. 83-91.
4. Назаренко К. М. и др. Комплексное исследование производительности проблемно-ориентированных вычислительных GRID-систем для моделирования наноструктур и наноматериалов. // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 8. С. 22 – 28.
5. Назаренко К. М. и др. Вычислительная среда для компьютерного моделирования наносистем. Система подготовки и обработки данных. //ВКИТ.2016. №10.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016614707 от 28.04.2016г. «Реставратор некорректно завершенных квантово-химических расчетов атомно-молекулярного конструирования (Рехутор)», Назаренко К. М. и др.
7. Статистический анализ производительности конформационного поиска. Назаренко Е.С. и др. В сборнике: Самарские чтения (в память об академике А.А. Самарском). Материалы международной конференции. Москва, 2022. С. 183-188.

ДИСКРЕТНО - КОНТИНУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВ

Л.А. Уварова, Пхью Вэй Лин

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

127055, Россия, Москва, Вадковский переулок, 3а

Тел.: (+7 499)972-95-20, e-mail: uvar11@yandex.ru

При рассмотрении фазовых переходов различного вида возникает ситуация, когда области, разделяемые тонким слоем, сочетающим свойства разделяемых областей, резко различаются по своим характеристикам. Типичным примером является переход «жидкость – газ». В таких случаях представляется логичным рассмотрение процесса фазового перехода с использованием гибридной модели. Такой моделью может быть модель, сочетающей континуальный и дискретный подходы. Тем более это касается неоднородных по составу сред и сложных по структуре дисперсных систем. В таких системах могут образовываться поры различных размеров, содержащие вещество в метастабильном состоянии.

При рассмотрении испарения жидкости (в том числе, неоднородной по составу) в газовую среду и соответственно изменении газовой среды вследствие проникновения в неё молекул из жидкой фазы. При этом, в общем случае, необходимо учитывать слой Кнудсена с толщиной, пропорциональной числу Кнудсена $Kn=l/L$, где l – средняя длина свободного пробега, зависящая от состава газовой фазы и давления, L – характерный размер системы. При рассмотрении испарения из сегментов дисперсной структуры наноразмеров и даже микроразмеров число Кнудсена является величиной порядка и больше 1 при достаточно больших давлениях (порядка и более атмосферного) и, следовательно, слой Кнудсена необходимо учитывать. Слой увеличивается с уменьшением давления в окружающей среде.

В работе [1] рассматривались молекулы, находящиеся в газовой и в жидкой фазах, как узлы дерева Кэлли. Центральный узел и часть узлов, получающиеся построением дерева, располагаются на границе (поверхности) раздела фаз. В общем случае, длины ребер, приходящиеся на жидкую и газовую фазы, могут быть различными. Это может быть определено заданием соответствующей функции на графе. Таким образом, дискретная часть модели включает граф, охватываются тонкий слой жидкой фазы L_v и слой Кнудсена. Слабо возмущенная газовая смесь за слоем Кнудсена в зависимости от давления может быть описана с использованием дискретного или континуального подхода, а жидкость вне пограничного слоя L_v – на основе континуального подхода. При рассмотрении малых тупиковых пор – на основании дискретной модели в виде графа. Для жидкой смеси можно рассмотреть случаи отдельного молекулярного испарения компонентов и связанного вылета молекул веществ жидкой смеси. В первом случае можно рассматривать несколько деревьев Кэлли. Для проведения численных расчётов может быть использована модификация алгоритма Хошена – Копельмана [2], в который нами был введён слой Кнудсена.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-11-00247).

Литература:

1. Пхью Вэй Лин, Уварова Л. А. Моделирование фазовых переходов на основе р-адического анализа и дерева Кэлли// Инновации и инвестиции, 2020. № 7. С 137 - 142.
2. Тарасевич Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы: Учебное пособие. М.: Едиториал УРСС, 2002. - 112 с.

**КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАЗОВОЙ ГРАНИЦЫ
ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО РАСПЛАВА**

О. Н. Шабловский, И. А. Концевой

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,

Республика Беларусь, 246746, г. Гомель, проспект Октября, 48

E-mail: shablovsky-on@yandex.by

Изучено влияние переохлаждения расплава на кинетические параметры фронта высокоскоростной кристаллизации чистого вещества. Расчеты выполнены для никеля и меди.

Ключевые слова: высокоскоростная кристаллизация, неустойчивость линии роста, кривизна фазовой границы, дендритный рост.

Введение. Рассмотрим высокоскоростной дендритный рост кристалла из глубоко переохлажденного расплава чистого вещества. В настоящее время экспериментально достигнуты скорости роста 20–70 м/с в расплавах, переохлажденных до 300 К, [1]. Прикладное значение этих исследований связано с технологиями получения материалов, обладающих высокими эксплуатационными свойствами.

Цель данной работы: выполнить сравнительный анализ кинетических свойств фазовой границы кристаллизации (ФГК) в чистых расплавах никеля (переохлаждение $\Delta T \geq 166$ К) и меди ($\Delta T \geq 180$ К).

Теплоотвод от твердой фазы. Уравнение роста дендрита при глубоких переохлаждениях расплава получено в [2, 3] с учетом локально-неравновесных свойств теплопереноса. Анализ этого уравнения показывает, что объемный сток энергии $q_v < 0$, который моделирует отвод тепла от кристалла, определяется следующей зависимостью:

$$|q_v| = \frac{L_1}{\gamma} + N_m \left(K_0 L_1 + \frac{c}{\gamma \mu} \right) + K_0 N_m^2 \frac{c}{\mu}, \quad (1)$$

$$L_1 = L_* + K_0 U_2, \quad L_* = L - c_* \Delta T, \quad U_1 = U / L, \quad U_2 = c T_c U_1,$$

где c – объемная теплоемкость кристалла; c_* – объемная теплоемкость расплава; γ – время релаксации теплового потока; K_0 – кривизна ФГК; L – теплота фазового перехода единицы объема вещества; U – поверхностная энергия границы раздела фаз; T_c – равновесная температура кристаллизации. При проведении расчетов применяются полуэмпирические зависимости [4] для скорости роста $N_m = N_m(\Delta T)$ и кинетического коэффициента $\mu = \mu(\Delta T)$. Выполнен анализ возмущения ФГК вида

$$f(y, t) / H = \exp(-rt) \cos(ky),$$

где H – малая постоянная первого порядка малости; t – время; y – координата, поперечная направлению роста; r – параметр затухания; k – частота. Обнаружено, что режим аperiodической устойчивости наблюдается в интервале $r^{(1)} < r < r^{(2)}$, где левая и правая границы (подробная запись не приводится) зависят от физических параметров процесса [см. формулу (1)] и от величины переохлаждения ΔT . В соответствии с этим интервалом устойчивости получена верхняя граница значений кривизны K_f вершины дендрита, при которых линия роста морфологически устойчива: не возникает складка, являющаяся предвестником боковой ветви.

Результаты расчетов. Зависимости $|q_v|$ и K_f от ΔT даны на рис. 1 в размерных величинах; параметр затухания r и полупериод колебаний π/k – в безразмерных, рис. 2, 3. Масштабы величин: $y_b = 10^{-6} \text{ м}$, $t_b = 10^{-7} \text{ с}$. Расчеты выполнены при $K_0 = 10^7 \text{ м}^{-1}$. Значения теплофизических параметров расплава и кристалла приведены в [4]. Сравнительный анализ представленных здесь графиков говорит о различиях кинетических свойств ФГК для никеля и меди. Например, существенно отличаются в качественном отношении свойства теплоотвода $q_v(\Delta T)$ и границы кривизны $K_f(\Delta T)$.

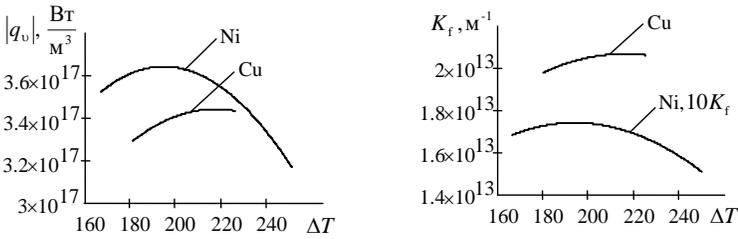


Рис. 1. Свойства теплоотвода $|q_v|$ и верхней границы K_f значений кривизны вершины дендрита

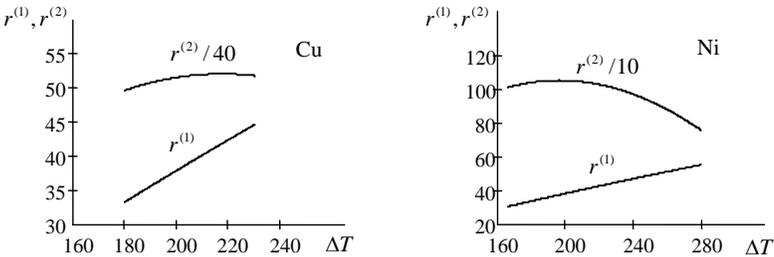


Рис. 2. Влияние переохлаждения расплава на границы интервала аperiodической устойчивости фазовой границы кристаллизации

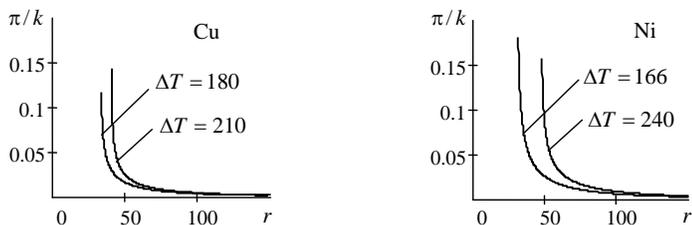


Рис. 3. Корреляция «параметр затухания по времени параметр пространственной неоднородности возмущения.

Заключение. Температурная область глубоких переохлаждений расплава требует применения модели, учитывающей неравновесные свойства теплопереноса. Показано, что интенсивность теплоотода и границы устойчивого роста нелинейным образом зависят от переохлаждения расплава. Характеры этих зависимостей (возрастание, убывание, немонотонность) для никеля и меди различаются в значительной степени.

Литература:

1. Herlach D.M., Galenko P., Holland-Moritz D. *Metastable Solids from Undercooled Melts*. Oxford: Pergamon, 2007.
2. Шабловский О.Н. Кинетика роста вершины дендрита в глубоко переохлажденном расплаве. Часть I. Уравнение фазовой границы кристаллизации // *Успехи прикладной физики*. 2013. Т. 1, № 6. С. 680–685.
3. Шабловский О.Н. Кинетика роста вершины дендрита в глубоко переохлажденном расплаве. Часть II. Аналитическая структура возмущений линии роста // *Успехи прикладной физики*. 2014. Т. 2, № 1. С. 12–17.
4. Шабловский О.Н., Кроль Д.Г. Динамика неустойчивости волновых возмущений и боковое ветвление дендрита в переохлажденном расплаве // *Успехи прикладной физики*. 2022. Т. 10, № 2. С.189–202.

МАТРИЧНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

О.Э. Яремко, К.Р. Забатурин

МГТУ “СТАНКИН”, Москва, Россия
127055, Вадковский переулок, 3а

Tel.: (+7 499)972-42-55, e-mail: yaremki8@gmail.com, zababurinkir@gmail.com

Аннотация. Найден векторный вариант формулы Даламбера для задачи о распространении волн в бесконечной струне с двумя участками различной плотности. Применен метод матричных интегральных преобразований с кусочно-тригонометрическими ядрами. Ядро обратного матричного преобразования удовлетворяет внутренним условиям сопряжения. В скалярном случае получается формула В.А. Ильина и Е.И. Моисеева.

Ключевые слова. Матричное интегральное преобразование, формула Даламбера, функция матричного аргумента.

Найдено решение векторного аналога задачи о распространении волн в бесконечной струне с двумя участками различной плотности. Предложено понятие матричного оператора преобразования, позволившее развязать взаимосвязанную модель, т.е. интерпретировать как деформацию классической скалярной модели с помощью отражений от внутренней границы. Формула Даламбера для решения задачи Коши для уравнения колебаний бесконечной струны послужила основой моделирования волновых явлений в неограниченных средах. Естественной представляется задача Коши для уравнения колебаний бесконечной струны с двумя участками различной плотности. В этом случае возникают так называемые внутренние граничные условия. Формальное решение такой задачи в терминах преобразования Фурье было найдено еще в 80-годы 20 века в работе [1]. Однако такое решение нельзя признать удовлетворительным, т.к. в его записи присутствует два несобственных интеграла. В формуле Даламбера как известно интегралов нет. Только в начале 21 века в работах В.А. Ильина и Е.И. Моисеева [2] было найдено её обобщение для неограниченной струны с двумя участками различной плотности, в виде не содержащем интегралов. В.А. Ильин и Е.И. Моисеев развили оригинальные идеи Даламбера. В векторном случае результаты до сих пор не были известны, хотя многие проблемы математического моделирования приводят к системам дифференциальных уравнений гиперболического типа. Таким образом, цель авторов восполнить указанный пробел.

Представим векторную формулу Даламбера для векторного уравнения колебаний в неограниченной однородной среде. Определим для этого вектор-функцию матричного аргумента. Пусть на некотором промежутке X задана вектор функция

$$f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x))$$

Вектор-функцией матричного аргумента Ax назовем выражение

$$f(Ax) = f_1(Ax)e_1 + \dots + f_n(Ax)e_n,$$

здесь e_k - единичный вектор с единицей в k -ой координате. При этом функции матричного аргумента $f_k(Ax)$ понимаем в смысле определения монографии [3].

Рассмотрим сепаратную систему уравнений, описывающую n компонентную модель связанного волнового процесса в неограниченной среде

$$u_{tt} = A^2 u_{xx}, t > 0, x \in (-\infty, \infty)$$

с начальными условиями

$$u(0, x) = f(x), x \in (-\infty, \infty)$$

$$u'_t(0, x) = g(x), x \in (-\infty, \infty).$$

Векторный аналог формулы Даламбера имеет вид

$$u(t, x) = \frac{f(Ex + At) + f(Ex - At)}{2} + \frac{1}{2} \int_{-1}^1 g(Ex + At\varepsilon) d\varepsilon.$$

Представим основной результат работы, аналог формулы Даламбера для векторного уравнения колебаний в неограниченной двухслойной среде. Рассмотрим сепаратную систему уравнений гиперболического типа, описывающую n компонентную модель волнового процесса в двухслойной среде

$$u_{iit} = A_i^2 u_{ixx}, t > 0, x \in (-\infty, 0) \cup (0, \infty)$$

с начальными условиями

$$u_i(0, x) = f_i(x),$$

$$u'_i(0, x) = 0,$$

с внутренними граничными условиями

$$u_1(t, 0) = u_2(t, 0)$$

$$\lambda_1 u'_{1x}(t, 0) = \lambda_2 u'_{2x}(t, 0)$$

Для первой компоненты векторной формулы Даламбера методом матричного преобразования Фурье [4] найдена формула

$$\begin{aligned} u_1(t, x) = & \frac{f_1(Ex + A_1 t)H(-t(Ex + A_1 t)) + f_1(Ex - A_1 t)H(-(Ex - A_1 t))}{2} + \\ & + \frac{\sum_{j=1}^n T_1^{-1} E_j T_1 2(E + \chi)^{-1} f_2(\lambda_{1j}^{-1} A_2 x + A_2 t) H_2(\lambda_{1j}^{-1} A_2 x + A_2 t)}{2} + \\ & + \frac{\sum_{j=1}^n T_1^{-1} E_j T_1 2(E + \chi)^{-1} f_2(\lambda_{1j}^{-1} A_2 x - A_2 t) H_2(\lambda_{1j}^{-1} A_2 x - A_2 t)}{2} + \\ & + \frac{\sum_{j=1}^n T_1^{-1} E_j T_1 2(E + \chi)^{-1} (E - \chi) f_1(\lambda_{1j}^{-1} A_1 x + A_1 t) H_2(\lambda_{1j}^{-1} A_1 x + A_1 t)}{2} + \\ & + \frac{\sum_{j=1}^n T_1^{-1} E_j T_1 2(E + \chi)^{-1} (E - \chi) f_1(\lambda_{1j}^{-1} A_1 x - A_1 t) H_2(\lambda_{1j}^{-1} A_1 x - A_1 t)}{2}. \end{aligned}$$

В приведенной формуле приняты обозначения E – единичная матрица, E_j – матрица, у которой все элементы равны 0 кроме одного $a_{jj} = 1$, числа λ_{1j} – собственные значения матрицы A_1 ; T_1 – матрица преобразования к диагональному виду матрицы A_1 ,

$H(z)$ – функция Хевисайда. Вторая компонента формулы Даламбера выражается аналогичной формулой, полученной заменой индексов $i \rightarrow j = \frac{3+(-1)^{i+1}}{2}$.

Замечание. В скалярном случае $n = 1$ получаем формулу из работы В.А. Ильина и Е.И. Моисеева [2].

Литература:

1. Быблив О. Я. , Ленюк М. П. Гибридные интегральные преобразования Вебера для кусочно-однородной полярной оси, Изв. вузов. Матем., 1987, № 8, 3–11.
2. Ильин В.А. Формула типа Даламбера для поперечных колебаний бесконечного стержня, состоящего из двух участков разной плотности. // Доклады РАН. 2009. Том 427. № 5. Стр.609-611.
3. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. — 5-е изд. — М., 2004. — 560 с.
4. Яремко О.Э. Матричные интегральные преобразования Фурье для задач с разрывными коэффициентами и операторы преобразования. ДАН, 417 (3), 323-325.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ НА МНОГОКООРДИНАТНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ ГАММЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

*Петр Пивкин^{*1,2,3,4}, Владимир Гречишников^{1,2}, Артём Ершов^{1,2,3,4}*

¹ Лаборатория Технологий Микрообработки, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия;

² Кафедра Инструментальной Техники и Технологий Формообразования, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия;

³ Кафедра Высокоэффективных Технологий Обработки, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия;

⁴ Центр Когнитивных Технологий и Машинного Зрения, Московский Государственный Технологический Университет “СТАНКИН”, 127055 Москва, Россия.

Аннотация. Система синтеза движений инструмента второго порядка при формообразовании режущей части сложной формы является важным направлением при решении задач инструментальной техники. К сложным поверхностям относятся поверхности с трудным доступом в зону обработки, включая винтовые поверхности. Такая форма может быть обработана стандартными шлифовальными кругами (типа 1A1 или 1V1). Концентрация зон повышенной нагрузки при формообразовании переходной кривой на профиле канавки может быть вызвано небольшой длиной линии контакта со шлифовальным кругом, который как правило полностью фоормобразует переднюю поверхность и ее переход в спинку. Поэтому для увеличения линии контакта в данной работе предложен подход к проектирования новой конструкции шлифовального круга для обработки винтовых канавок с назначением специальной установки и траектории движения круга относительно заготовки на многокоординатном станке с ЧПУ.

1 Введение

Многокоординатная обработка винтовых поверхностей является одним из наиболее важных и значимых элементов технологических цепочек производства цельных конструкций режущего инструмента. Специальная форма канавки канавка может быть обработано новой конструкцией шлифовального круга сложной фасонной формы с учетом его расположения относительно фрезы, в решение данной проблемы большой вклад внесли Петухов [1], предположивший новый подходов по определению параметров расположения круга относительно фрезы с помощью численных методов, включающих 3 параметра: угол скрещивания осей, межеевое расстояние и положения

точки скрещивания осей [2]. Guochao Li [3] и Радзевич [4,5] предложили использование векторной алгебры для поиска формы инструмента второго порядка по нормальям к винтовой поверхности с минимальной кривизной, основу данного подхода одними из первых применительно к механнообработке винтовых канавок заложили Семенченко [6], Гречишников [7-13], Пивкин [14] и Родин [15] исходя из второго условия формообразования - наличия общей нормали между обрабатываемой поверхностью и режущей поверхностью шлифовального колеса.

Karpuschewski et al. [16] предложили метод определения положения шлифовального круга относительно заготовки, а именно: перемещение круга по двум осям и угла поворота вокруг данных осей. Wei Ji и Lihui b Wang сформировали модель процесса обработки винтовых канавок с учетом углового позиционирования на шлифовальном круге [17].

Канавки цельной керамической фрезы с негативной геометрии передней поверхности имеют точки с прерывистым характером изменения положений нормалей, что усложняет применения методов огибающих семейства поверхностей для поиска формы канавки и ограничивает количество применяемых методов. На сегодняшний день подходы к формированию аналитических моделей поиска формы круга для обработки профиля с перепадом радиусных участков профиля в полной мере не реализованы.

В статье проработаны следующие задачи: проанализированы основные конструктивные особенности цельных керамических фрез, сформированы исходные параметры задания положения оси шлифовального круга относительно заготовки, сформирована математическая модель зависимости технологических параметров процесса шлифования и конструктивных параметров фрезы, проанализирована эффективность и производительность предлагаемого метода определения формы новой конструкции шлифовального круга, разработан новая модель определения профиля шлифовального круга аналитическим методом с повышением точности путем исключения разрывов существования общей нормали между шлифовальным кругом и обрабатываемой винтовой поверхностью. Преимуществом таких решений может быть раскрытие основных взаимосвязей и выявление новых зависимостей при формообразовании, сравнение зависимостей между которыми позволит значительно ускорить освоения нового направления обработки керамических фрез, а также возможность определения форм кругов в значимости от их расположения относительно винтовой поверхности фрезы при быстром изменением радиуса кривизны.

2 Результаты и обсуждения

Система координат шлифовального круга $Ox_w Y_w Z_w$ закрепления за шлифовальным кругом таким образом, чтобы ось круга соответствовала оси OZ_w , и в начальном положении совмещалась с инструментальной системой координат $OXYZ$. Расположение шлифовального круга относительно керамической фрезы задается тремя параметрами: межосевым расстоянием A , определяемое радиусами сердцевины фрезы и шлифовального круга, углом скрещивания осей ϵ и расположением оси круга относительно исходного сечения Lz . Изменения расстояния Lz позволяет изменять положения вдоль оси OZ_w максимального диаметра на профиле круга.

Расположение шлифовального круга относительно винтовых поверхностей спинки и передней поверхности фрезы описывается следующими параметрическими зависимостями.

$$F_w(X, v) = \begin{pmatrix} -\cos(\Psi) (\cos(\varepsilon) (\sin(v) \cdot U - X \cdot \cos(v)) - X \cdot \cos(v)) + \sin(\varepsilon) \cdot (L_z + \frac{T \cdot v}{2\pi}) - \sin(\Psi) \cdot (\cos(v)U - A + X \cdot \sin(v)) \\ \cos(\Psi) \cdot (\cos(v) \cdot U - A + X \cdot \sin(v)) - \sin(\Psi) \cdot (\cos(\varepsilon) (\sin(v) \cdot U - X \cos(v) + \sin(\varepsilon) \cdot (L_z + \frac{T \cdot v}{2\pi})) \\ \cos(\varepsilon) \cdot (L_z + \frac{T \cdot v}{2\pi}) \cdot v - \sin(\varepsilon) (\sin(v)U - X \cos(v)) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$F_w(G, v) = \begin{pmatrix} -\cos(\Psi) (\cos(\varepsilon) (\sin(v) \cdot V - G \cdot \cos(v)) - X \cdot \cos(v)) + \sin(\varepsilon) \cdot (L_z + \frac{T \cdot v}{2\pi}) - \sin(\Psi) \cdot (\cos(v)V - A + G \cdot \sin(v)) \\ \cos(\Psi) \cdot (\cos(v) \cdot V - A + G \cdot \sin(v)) - \sin(\Psi) \cdot (\cos(\varepsilon) (\sin(v) \cdot V - G \cos(v) + \sin(\varepsilon) \cdot (L_z + \frac{T \cdot v}{2\pi})) \\ \cos(\varepsilon) \cdot (L_z + \frac{T \cdot v}{2\pi}) \cdot v - \sin(\varepsilon) (\sin(v)V - G \cos(v)) \end{pmatrix} \quad (2)$$

Здесь введены обозначения:

$$U = b(\gamma) - \sqrt{R_{pp}^2 - X^2 + 2 \cdot a(\gamma) \cdot X - a(\gamma)^2}, \quad V = b_1 - \sqrt{2 \cdot a_1 \cdot G - G^2 + R_{sp} - a_1^2}$$

Передняя поверхность цельной керамической фрезы формируется в радиальном сечении исходя из рекомендуемых отрицательных значений переднего угла. Профиль передней поверхности с передним углом $\gamma = -10^\circ$ в системе координат XOY представляется зависимостью (1), исходя из которой винтовая поверхность с шагом ω .

$$F_{wX}(X, v) = -\cos(\Psi) (\cos(\varepsilon) (\sin(v) \cdot (b(\gamma) - \sqrt{R_{pp}^2 - X^2 + 2 \cdot a(\gamma) \cdot X - a(\gamma)^2}) - X \cdot \cos(v)) - X \cdot \cos(v)) + \sin(\varepsilon) \cdot (L_z + \frac{T \cdot v}{2\pi}) - \sin(\Psi) \cdot (\cos(v) \cdot (b(\gamma) - \sqrt{R_{pp}^2 - X^2 + 2 \cdot a(\gamma) \cdot X - a(\gamma)^2}) - A + X \cdot \sin(v)) \quad (3)$$

где $a(\gamma)$, $b(\gamma)$ – характеристики профиля передней поверхности на плоскости XOY, учитывающие значение переднего угла в радиальном сечении концевой фрезы (рис. 1).

Математическая модель позволяет выявить форму шлифовального круга относительно сопряженного участка поверхностей с различным радиусом кривизны. Профиль шлифовального круга представляет собой огибающую круговых проекций профилей винтовой канавки $Zk(G, \Psi)$, $Yk(G, \Psi)$ и $Zk0(X, \Psi)$, $Yk0(C, \Psi)$, образованными радиальными плоскостями шлифовального круга под различными углами Ψ .

Глобальная система координат совмещена с торцем фрезы причем OY проходит через центр фрезы и режущую кромку. Ось шлифовального круга расположена относительно

оси заготовки на расстояние A, наибольший диаметр круга находится на расстоянии Lz. Угол между осями шлифовального круга и фрезы ε задается относительно участка профиля с минимальным радиусом.

$$v_t(X) = vk_n + \frac{\cos(\Psi)(\cos(\epsilon)(X \cdot \cos(vk_n) - \sin(vk_n) \cdot U - X \cdot \cos((vk_n)) - \sin(\epsilon) \cdot (Lz + \frac{T \cdot (vk_n)}{2\pi})) - \sin(\Psi) \cdot (\cos((vk_n))U - A + X \cdot \sin((vk_n)))}{\cos(\Psi)(\cos(\epsilon)(X \cdot \sin(vk_n) + \cos(vk_n) \cdot U) + \frac{T}{2\pi}) - \sin(\Psi) \cdot (X \cdot \cos((vk_n)) - \sin((vk_n))U)} \quad (4)$$

Винтовая поверхность при движении относительно нее шлифовального круга будет описана системой координат от параметров X и G для спинки зуба фрезы и передней поверхности соответственно.

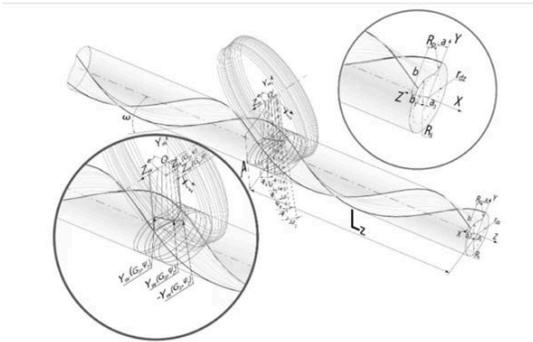


Рис. 1 Схема определения профиля шлифовального круга

Метод совмещения профилирующих участков с помощью профилирующего сечения с поворотом вокруг оси шлифовального круга метод последовательного совмещения сечений, которые определяются в системе координат шлифовального круга путем изменения углового положения секущей плоскости.

Решения данной задачи достигается в результате достижения условия пересечения винтовой поверхности с профилирующим сечением при $Z(\Psi) = 0$. Это условие достигается в результате сочетания параметра X, определяющего форму профиля канавки в радиальном сечении фрезы и винтового параметра. Для решения данной задачи был использован итерационный метод решения трансцендентного уравнения, зависящего от параметра X. Данная модель позволяет за минимальное количество итераций определить форму контакта винтовой канавки при вращении шлифовального круга при заданных параметрах установки A, Eps, положение точки скрещивания также можно регулировать также с помощью параметра Lz - смещения оси шлифовального круга относительно фрезы. В результате решения уравнения контакта винтовой поверхности определена координата Z совокупность точек, заданных параметрически. Приложив совокупность параметров проекции винтовых линий на плоскость OZ получим совокупность профилей, огибающая которых определяет форму профиля шлифовального круга в радиальном сечении.

Определение совокупности параметров, при которых винтовая поверхность будет являться профилирующим участком шлифовального круга определены уравнением:

$$F_{WY}(X, v_t) = \cos(\Psi) \cdot \left(\cos(v) \cdot \left(b(\gamma) - \sqrt{R_{pp}^2 - X^2 + 2 \cdot a(\gamma) \cdot X - a(\gamma)^2} \right) - A + X \cdot \sin(v) \right) - \sin(\Psi) \cdot \left(\cos(\varepsilon) \left(\sin(v) \cdot \left(b(\gamma) - \sqrt{R_{pp}^2 - X^2 + 2 \cdot a(\gamma) \cdot X - a(\gamma)^2} \right) - X \cos(v) + \sin(\varepsilon) \cdot \left(L_z + \frac{T \cdot v}{2\pi} \right) \right) \right) \quad (5)$$

$$F_{WZ}(X, v_t) = \cos(\varepsilon) \cdot \left(L_z + \frac{T \cdot v}{2\pi} \right) \cdot v - \sin(\varepsilon) \cdot \left(\sin(v) \cdot \left(b(\gamma) - \sqrt{R_{pp}^2 - X^2 + 2 \cdot a(\gamma) \cdot X - a(\gamma)^2} \right) - X \cos(v) \right) \quad (6)$$

График зависимости координаты точки профиля Xv винтовой поверхности OXk в системе координат шлифовального круга от параметра от винтового параметра v

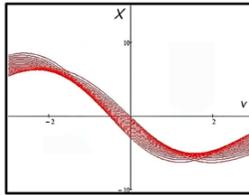


Рис.2 График зависимости координаты профиля круга от углового параметра

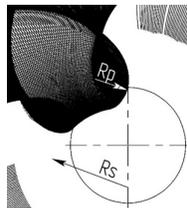


Рис. 3 Решение обратной задачи профилирования булевым методом

Совокупность формообразующих профилей, определяющих форму шлифовального круга

Данный алгоритм реализуется аналогично при поиске минимальных хадисов кривизны окружностей в осевом сечении круга, сформированных путем нахождения минимальной кривизны винтовой поверхности в заданном соответствующем сечении винтовой канавки.

Очевидно что применения шлифовального круга специальной формы значительно увеличивает длину линии контакта между кругом и винтовой поверхностью фрезы. Что обеспечит улучшение распределения припуска вдоль профиля шлифовального круга. Данный метод имеет возможность реализации в аналитическом виде в результате нахождения минимального допустимого количества преобразований для достижения наилучшего результата при минимальной нагрузке на вычислительные возможности и аппаратной части.

Для проверки отсутствия зарезов профиля была установлена кривизна винтовых линий в осевом сечениечто позволило правильно определить расположение оси шлифовального круга относительно заготовки 3. Для проверки правильности работы математической модели форма круга была задана в разработанной САПР T-Flex. Для точной проверки правильно разработанной конструкции шлифовального круга координаты n числа дискретных точек переведены в САД для интерполяции формы канавок нулевым методом. В результате проверки было выявлено что максимально отклонение профиля не более 0,01 мм начиная с 5 итерации.

Заключение

Шлифовальный круг с основными конструктивными параметрами был экспортирован в САД TF, доказав состоятельность предлагаемого подхода к созданию новых конструкций кругов для обработки цельных керамических фрезы.

Благодарности

Авторы проводили исследования на оборудовании Центра коллективного пользования МГТУ "СТАНКИН".

Выполнено при финансировании гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (Конкурс - МК-2021). МК-5557.2021.4.

Литература:

1. Petukhov, Y.E., Vodovozov, A.A. Sharpening helical bits with curvilinear cutting edges at the rear surface. *Russ. Engin. Res.* 35, 670–673 (2015).
2. Guochao Li A new algorithm to solve the grinding wheel profile for end mill groove machining *Int J Adv Manuf Technol* (2017) 90:775–784 DOI 10.1007/s00170-016-9408-4
3. Guochao Li, Lei Dai, Jiao liu, Honggen Zhou, Guizhong Tian, Lei Li, An approach to calculate grinding wheel path for complex end mill groove grinding based on an optimization algorithm, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 53, 2020, Pages 99-109, ISSN 1526-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.02.011>.
4. Radzevich, S. P. (2008). *CAD/CAM of sculptured surfaces on multi-axis NC machine: The DG/ K-based approach* (p. 114). San Rafael, California: M&C Publishers.
5. Radzevich, S. P. (2014). *Generation of surfaces: Kinematic geometry of surface machining* (Monograph, p. 738). Boca Raton Florida: CRC Press.
6. Semenchenko I.I. (1944) *Cutting tool. Design and production.* Т.3 (Russian).
7. Григорьев С.Н., Гречишников В.А., Волосова М.А., Исаев А.В., Пивкин П.М., Перетягин П.Ю., Селезнев А.Е. Разработка цельных концевых фрез из режущей керамики для обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов *Вестник МГТУ "Станкин"*. 2018. № 4 (47). С. 87-93.

8. Grigoriev S.N., Volosova M.A., Okunkova A.A., Fedorov S.V., Hamdy K., Podrabinnik P.A., Pivkin P.M., Kozochkin M.P., Porvatov A.N. Electrical discharge machining of oxide nanocomposite: nanomodification of surface and subsurface layers *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2020. Т. 4. № 3. С. 96
9. Grechishnikov V.A., Petukhov Y.E., Pivkin P.M., Romanov V.B., Ryabov E.A., Yurasov S.Y., Yurasova O.I. TROCHOIDAL SLOT MILLING *Russian Engineering Research*. 2017. Т. 37. № 9. С. 821-823.
10. Гречишников В.А., Петухов Ю.Е., Пивкин П.М., Романов В.Б., Рябов Е.А., Юрасов С.Ю., Юрасова О.И. Выбор шага смещения формообразующего контура при трохойдальном фрезеровании паза концевыми фрезами стин. 2017. № 4. С. 21-23.
11. Гречишников В.А., Исаев А.В., Илюхин Ю.В., Пивкин П.М., Воротников А.А., Харченко А.Н., Бьянки Д.Д., Леонезио М., Педрокки Н., Молинари Т.Л. Робототехнические комплексы для механообработки и системы их инструментального обеспечения Москва, 2015.
12. Хусаинов Р.М., Головки А.Н., Петров С.М., Юрасов С.Ю., Балабанов И.П., Гречишников В.А., Романов В.Б., Пивкин П.М. Определение параметров инструмента в технологических системах обработки резанием СТИН. 2016. № 10. С.17-20.
13. Kozhevnikov D.V., Grechishnikov V.A. et al. Cutting tool M.: Mechanical Engineering, 2007, 528 pp., ill. 3rd ed. (Russian).
14. Пивкин П.М. Технология изготовления цельной конструкции резца для обработки торцевых канавок сложной формы *Вестник МГТУ "Станкин"*. 2016. № 4 (39). С.40–46.
15. Rodin, P.R., *Geometriya rezhushchei chasti spiral'noy sverla* (Cutting Geometry of a Helical Bit), Kiev: Tekhnika, 1971 (Russian)..
16. Karpuschewski B, Jandecka K, Mourek D (2011) Automatic search for wheel position in flute grinding of cutting tools. *CIRP Ann - Manuf Technol* 60:347–350
17. Xianli Liu, Zhan Chen, Wei Ji, Lihui Wang Iteration-based error compensation for a worn grinding wheel in solid cutting tool flute grinding, *Procedia Manufacturing*, Volume 34, 2019, Pages 161-167, ISSN 2351-9789, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.134>.

СОДЕРЖАНИЕ
Авторы и названия

| | Стр. |
|---|-------------|
| Arkadii Arinstein LONGITUDINAL OSCILLATIONS AND FLIGHTS OF THE STRING PENDULUM DRIVEN BY A PERIODIC FORCE..... | 6 |
| S.T. Belyakin USE OF NONLINEAR DYNAMIC EQUATIONS IN NEURAL NETWORKS TO REPRESENT THE BEHAVIOR OF ACTIVE AND INACTIVE NEURONS | 8 |
| J.V. Elyseeva HÖRMANDER INDEX AND COMPARATIVE INDEX | 12 |
| E.E. Fomina IDENTIFICATION OF A PERSON ON VIDEO FOOTAGE BASED ON THE CHARACTERISTICS OF THE STEP CYCLE USING NEURAL NETWORKS | 13 |
| T.V. Karlova, A.Yu. Bekmeshov, N.M.Kuznetsova, M.V. Mikhailova, O.A. Fomina, A.E. Tikhomirov, A.N.Zapolskaya ISSUES OF INFORMATION INTERACTION OF EDUCATIONAL STRUCTURES WITH FEDERAL CENTERS ON THE EXAMPLE OF THE ARCTIC REGION | 14 |
| M.D. Konovalov OVERVIEW OF METRICS AND CHARACTERISTICS OF INFORMATION SYSTEMS NEEDED TO SOLVE THE PROBLEM OF OFFLOADING | 18 |
| A.E. Kulagin, A.V. Shapovalov SEMICLASSICAL ASYMPTOTICS FOR THE NONLINEAR SCHRODINGER EQUATION WITH A NONHERMITIAN PART | 24 |
| N.M. Kuznetsova, T.V. Karlova, A.Yu. Bekmeshov, M.V. Mikhailova AUTOMATION OF THE COLLECTION, STORAGE AND PROCESSING THE INFORMATION RELATED TO THE DEVELOPMENTS OF HIGH-TECH INDUSTRIAL PRODUCTS OF HIGH-RISK | 26 |
| N.M. Kuznetsova, T.V. Karlova, A.Yu. Bekmeshov, A.S. Sheptunov APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING METHODS FOR EVALUATE THE EFFICIENCY OF AUTOMATED SYSTEMS FOR THE PROTECTION OF INTELLECTUAL RESOURCES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES | 32 |
| V.D. Lakhno NEW GENERATION INFORMATION SYSTEMS. NANOBIOELECTRONICS | 36 |
| S.D. Liashkov ENERGY TRANSPORT INTO A SEMI-INFINITE β – FERMI-PASTA-ULAM- TSINGOU CHAIN UNDER PERIODIC FORCE LOADING | 37 |
| P.M. Lima, G.Yu. Kulikov, M.V. Kulikova, W. Erhagen NUMERICAL SIMULATION OF WORKING MEMORY USING STOCHASTIC NEURAL FIELD EQUATIONS | 40 |
| Alexander I. Loskutov EFFECT OF MORPHOGENESIS OF PEPTIDE NANOCOMPOSITES ON THEIR STRUCTURE AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES | 41 |

| | |
|---|-----|
| Alexander I. Loskutov LOW-TEMPERATURE OXIDATION OF METHYLENE GROUPS IN A DIPEPTIDE ON GOLD AND ITS COMPOSITES WITH GOLD NANOPARTICLES | 46 |
| P.V. Moskalev STATISTICAL ESTIMATIONS OF CLUSTER PARAMETERS ON UNIFORMLY WEIGHTED SQUARE LATTICES | 50 |
| Y.S. Pozdnyak, T.V. Karlova, A.Y. Bekmeshov IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL INDICATORS OF THE HEATING COMPLEX SERVICE BASED ON THE DEVELOPMENT OF A STRUCTURAL MODEL OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS | 53 |
| A.V. Shapovalov, A.I. Breev GROUP METHODS FOR INTEGRATING DIFFERENTIAL EQUATIONS ON HOMOGENEOUS SPACES ON THE EXAMPLE OF NLSE..... | 59 |
| O.V. Stikhova MATHEMATICAL FUNCTIONS OF CALIBRATION MODELS FOR INDUSTRIAL COMPANIES..... | 60 |
| A.E. Tikhomirov, T.V. Karlova, A.Yu. Bekmeshov DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE INFORMATION AND STATISTICAL SYSTEM OF THE SERVICE CENTER FOR THE REPAIR OF ELECTRICAL PRODUCTS..... | 63 |
| S.D. Traytak METHOD OF FRACTIONAL DERIVATIVES IN THE THEORY OF DIFFUSION- CONTROLLED REACTIONS..... | 69 |
| L.A. Uvarova, V.D. Merzlyakov ON THE QUESTION OF THE STOCHASTIC KDV MODEL..... | 74 |
| O.E. Yaremko, K.R. Zababurin MATRIX INTEGRAL TRANSFORMATIONS FOR MODELING WAVE PROCESSES..... | 75 |
| Е.В. Бабенко МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТОВ | 78 |
| Т.В. Бармакова, Н.М. Малютина, А.М. Перепёлкина ЗОЛОТОДОБЫЧА И ЭКОНОМИКА: ПОСТРОЕНИЕ ЭКОНОМИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ПРОВЕДЕНИЕ БАНКОВСКИХ ОПЕРАЦИЙ КАК ВАЖНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА | 82 |
| Т.В. Бармакова, Н.М. Малютина, А.М. Перепёлкина ЕГЭ В ГЕОМЕТРИИ: ОТ АНТИЧНОЙ КЛАССИКИ ДО НАУЧНЫХ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ СОВРЕМЕННОСТИ. БИСЕКТРИСЫ | 92 |
| В.Н. Беловодский, С.Л. Буккин ИНЕРЦИОННАЯ ВИБРАЦИОННАЯ МАШИНА НЕЛИНЕЙНОГО ТИПА С АСИММЕТРИЧНЫМИ УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ | 105 |
| М.В.Бурлакова, А.Ю. Бекмешов, О.А. Фомина, Н.М. Кузнецова МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ НА МАЛОМ ПРЕДПРИЯТИИ | 110 |

| | |
|--|-----|
| Е.А. Девятерикова, А.Р. Преображенская МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНКУРЕНЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ | 115 |
| В.С. Дрякина ПРОЕКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ВУЗЕ НА ПРИМЕРЕ КОЛЛАБОРАТИВНЫХ РОБОТОВ (КОБОТОВ) | 116 |
| Э.В. Завитаев, О.В. Русаков, А.И. Уткин, К.Е. Харитонов ВЛИЯНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ НА ЭДС САМОИНДУКЦИИ ВНУТРИ ТОНКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКИ ИЗ МЕТАЛЛА..... | 118 |
| А.С. Желнов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖУЩЕГОСЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПРИ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ С НАГРУЖЕНИЕМ | 121 |
| М.Ю. Ибатулин МЕТОДЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ..... | 125 |
| И.В. Иванов, О.К. Иванова МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОЛИСЛОЙНОЙ АДСОРБЦИИ ГАЗОВ НА ПЛОСКОЙ ОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКА..... | 128 |
| В.А. Кадымов, Е.Н. Сосенушкин, Е.А. Яновская ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО СТЕСЕННОЙ ОСАДКЕ ТОНКОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО СЛОЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ..... | 130 |
| А.А. Капитонова, Т.Д. Нагиев, В.А. Дегтярёв, Е.Е. Сурма РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ СХЕМЫ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ЗАДАНЫХ СЕЧЕНИЙ | 137 |
| Т.В. Карлова, А. Ю. Бекмешов, Н.М. Кузнецова, М.В. Михайлова, О.А. Фомина, А.Э. Тихомиров, А.Н. Запольская ВОПРОСЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР С ФЕДЕРАЛЬНЫМИ ЦЕНТРАМИ НА ПРИМЕРЕ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА | 144 |
| И.И. Колесниченко ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОПИВАКАИНА В СЛЕЗНОЙ ЖИДКОСТИ У ДЕТЕЙ ПРИ ПРОВОДНИКОВОЙ АНЕСТЕЗИИ МЕТОДОМ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ | 148 |
| М.Д. Коновалов ОБЗОР МЕТРИК И ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗГРУЗКИ | 153 |
| Е.М. Красикова, Г.Е. Смышляев МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ | 159 |
| Г.В. Кошкина, К.Э. Кошкина, В.А. Никольская ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ | 160 |
| К.Э. Кошкина, С.А. Никитин, Е.Е. Фомина, Г.В. Кошкина, Н.А. Стукалова МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО В ПОСТРОЕНИИ ИНС-МОДЕЛИ | 161 |

| | |
|---|-----|
| Н.М.Кузнецова, Т.В. Карлова, А.Ю. Бекмешов, А.С. Шептунов ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ..... | 163 |
| Н.М. Кузнецова, Т.В. Карлова, А.Ю. Бекмешов, М.В. Михайлова АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА, ХРАНЕНИЯ И АНАЛИЗА СВЕДЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С РАЗРАБОТКОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ПОВЫШЕННОГО РИСКА | 167 |
| А.В. Куницина, Л.А. Уварова МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ МАССОПЕРЕНОСА НА ДЕФОРМАЦИЮ В НАНОСТРУКТУРАХ..... | 173 |
| Т.А. Ла О ПРОБЛЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ | 175 |
| Л.И. Лапушкина ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НАНОТЕХНОЛОГИИ | 182 |
| В.Н. Леонов КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «СРЕДНЯЯ СТОЙКА АВТОМОБИЛЯ» СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ С ПОДОГРЕВОМ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЗАКАЛКОЙ В ШТАМПЕ..... | 183 |
| А.И. Лоскутов ВЛИЯНИЕ МОРФОГЕНЕЗА ПЕПТИДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ИХ СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА..... | 186 |
| М.Е. Мазуров ТОЧНОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНХРОНИЗАЦИИ РЕЛАКСАЦИОННЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ. РАБОТЫ АКАД. В.И. АРНОЛЬДА ПО СИНХРОНИЗАЦИИ..... | 191 |
| В.Л.Малышев МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ ПЕРЕГРЕТЫХ ЖИДКОСТЕЙ ИЗ ПОЛОСТЕЙ..... | 197 |
| Мохаммад Р. МНОГОУРОВНЕВЫЙ АНАЛИЗ В ХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ | 200 |
| Ю.А. Незнанов ПРИКЛАДНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ «РЕАКЦИЯ-ДИФфуЗИЯ» | 207 |
| В.Р. Николаева МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ЗАПАХОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕХАНИЗМА КВАНТОВОЙ ТЕЛЕПОРТАЦИИ | 209 |
| В.К. Нурiev АНАЛИЗ МАРКИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АППАРАТА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ | 214 |
| Э.А. Одинцова, Е.М. Красикова ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ В КЛИМАТОЛОГИИ | 219 |
| Мазен Омран ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБНАРУЖЕНИИ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ (ОБЗОР) | 220 |

| | |
|---|-----|
| М.Р. Палванов, Ю.В. Столярова АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ЗАЯВОК АБИТУРИЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ..... | 226 |
| Н.В. Петров ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА НИППЕЛЕЙ НА ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ..... | 231 |
| П. Пивкин, А.Ершов, Н.Миронов ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЕРЛА С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ПРОФИЛЕМ ПРОИЗВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В ОСЕВОМ СЕЧЕНИИ..... | 233 |
| П. Пивкин, В. Гречишников СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ РЕЗЦОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТОРЦЕВЫХ КАНАВОК..... | 239 |
| Е.М. Красикова, Г.В. Плаксунов МОДЕЛИРОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ РИСКА НА ФОНДОВОЙ БИРЖЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ..... | 244 |
| А.И. Попов, С.В. Ермак, А.П. Веселовский, А.С. Фумин, Дняту Клара Лелу Муанда, С.А. Кислицин, М.М. Радкевич ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МОДЕЛИ СТРУЙНОГО ЭЛЕКТРОЛИТНО- ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА..... | 245 |
| Ю.С. Поздняк, Т.В. Карлова, А.Ю. Бекмешов СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛУЖБЫ ОТОПИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА..... | 251 |
| В.Н. Попов, О.В. Гермидер ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОЛЛОКАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИНОМОВ ЧЕБЫШЕВА ПЕРВОГО РОДА ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В МИКРО- И НАНОКАНАЛАХ..... | 257 |
| А.А. Потапов ПЕРСПЕКТИВЫ ФРАКТАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИХ ОСОБЕННОСТИ: УЧЕТ ЭРЕДИТАРНОСТИ, НЕГАССОВОСТИ, СКЕЙЛИНГА И ТОПОЛОГИИ РЕАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И ПОЛЕЙ..... | 259 |
| Е.Ю. Романова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ..... | 267 |
| Е.Ю. Романова ОБОБЩЕНИЯ ИДЕЙ И КОНЦЕПЦИЙ, РАЗРАБОТАННЫХ ЗАРУБЕЖНОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СОЦИОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКОЙ..... | 268 |
| Е.Ю. Романова, Л.А. Уварова ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В АКТИВНЫХ ЦЕНТРАХ БИОНАНОМЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ КОМПЛЕКСАХ..... | 269 |

| | |
|---|-----|
| Е.Ю. Романова, Л.А. Уварова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОНЯТИЯ «ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ» К ИЗМЕНЕНИЯМ, ПРОИСХОДЯЩИМ В СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ | 274 |
| Т.В. Рыжкова ПОКАЗАТЕЛИ ЭНТРОПИИ ДЛЯ КОНТРОЛЛИНГА ФИНАНСОВОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ..... | 275 |
| Т.В. Рыжкова, Т.Ю. Махина ПРОЕКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКОМ ВУЗЕ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ | 279 |
| О.А. Салиева, Е. И. Галахов НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ РАЗРЕШИМОСТИ НЕКОТОРЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ НЕРАВЕНСТВ С ПРЕОБРАЗОВАННЫМ АРГУМЕНТОМ В ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ | 280 |
| М.А. Сигачева, С.М. Кабанова, Е.В. Желудков РАЗВИТИЕ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ | 281 |
| Д.М. Силантьев МАТЕМАТИКО-СЕМИОТИЧЕСКИЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ | 284 |
| М.А. Смирнова, И.В. Кривенко ОПТИМИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ, СОДЕРЖАЩИХ ЧАСТИЦЫ ВЫГЯНУТОЙ (ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ И ЭЛЛИПСОИДАЛЬНОЙ) И СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМ | 286 |
| А.В. Соколов МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ БИСТАБИЛЬНОСТИ И МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН | 287 |
| А.В. Соколов, Л.А. Уварова К ВОПРОСУ О СОЧЕТАНИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ДНК-КОМПЬЮТЕРЕ И Р-АДИЧЕСКОГО АНАЛИЗА | 290 |
| О.В. Стихова МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ МОДЕЛЕЙ КАЛИБРОВКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПАНИЙ..... | 291 |
| А.Э. Тихомиров, Т.В. Карлова, А.Ю. Бекмешов РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЕРВИСНОГО ЦЕНТРА ПО РЕМОНТУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ | 294 |
| В.Д. Тихомирова ЦИФРОВОЙ УНИВЕРСИТЕТ КАК ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ | 300 |
| Д.А. Токарев, К.М. Назаренко, Н.А. Коробов, Е.С. Назаренко, П.Н. Марков УСТОЙЧИВОСТЬ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ КАК ЛИМИТИРУЮЩИЙ ФАКТОР КОНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА | 305 |
| Л.А. Уварова, Пхью Вэй Лин ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВ | 307 |

| | |
|--|-----|
| О.Н. Шабловский, И.А. Концевой | |
| КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАЗОВОЙ ГРАНИЦЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО РАСПЛАВА | 308 |
| О.Э. Яремко, К.Р. Забабурин | |
| МАТРИЧНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ | 311 |
| П. Пивкин, В. Гречишников, А. Ершов | |
| МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ НА МНОГОКООРДИНАТНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ ГАММЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ..... | 314 |

Моделирование нелинейных процессов и систем

Материалы 6 международной конференции

The modeling of nonlinear processes and systems

The 6 International Scientific Conference (MNPS-2022)

Conference proceedings

Под редакцией Л.А. Уваровой

Сдано в набор 06.VII.2023. Подписано в печать 14.VII.2023.

Формат 60x90/16. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 20.5. Физ. п. 20.5. Тираж 300. Заказ №2743.

Издательство «Янус-К»,

127411, г.Москва, Учинская ул. д.1

Отпечатано в ООО «ИНФОРМ-СОФТ»

119034, Москва, Еропкинский пер., д.16

ISBN 5-8037-0878-X



9 785803 708780