

ISSN 2521-6406 (print)  
ISSN 2617-6092 (online)  
DOI: 10.32434/2521-6406

# КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ: АНАЛІЗ, УПРАВЛІННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ

COMPUTER MODELING:  
ANALYSIS, CONTROL, OPTIMIZATION

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC JOURNAL

№2 (6)  
2019

<http://kmauo.org>



Міністерство освіти і науки України

Державний вищий навчальний заклад  
«Український державний хіміко-технологічний університет»

## Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація

2 (6), 2019

Науковий журнал

виходить  
2 рази на рік

### ЗМІСТ

<i>Борзов С.О.</i> Математичне моделювання намотки квадратних вуглепластикових труб .....	3
<i>Кузяєв І.М., Митрохін О.А.</i> Математичне моделювання процесів руху рідких середовищ в робочих зонах устаткування з дисковими елементами .....	10
<i>Лихолат В.С., Манко Г.І.</i> Підвищення робастності систем регулювання з використанням нечіткої логіки .....	17
<i>Лосіхін Д.А.</i> Обмін даними мікроконтролерів з зовнішньою незалежною пам'яттю по двопровідному послідовному інтерфейсу з перевіркою цілісності за алгоритмом 8-бітного циклічного надлишкового коду CRC-8/Maxim .....	23
<i>Муравйова І.Г., Білошапка О.О., Іванча М.Г., Белькова А.І., Вишняков В.І., Ляшенко О.А.</i> Критерій оцінювання форми та положення пластичної зони у доменній печі .....	35
<i>Нікольський В.Є., Александров О.Г., Яріз В.О., Матченко М.М., Лободенко А.В., Решетняк І.Л.</i> Математичне моделювання процесів теплообміну при дискретно-імпульсному введенні енергії .....	43
<i>Оксанич І.Г., Шевченко І.В.</i> Моделі розпізнавання ситуацій і помилок виконання бізнес-операцій у роботизованій організаційно-технічній системі .....	51
<i>Петренко М.Г., Зеленцов Д.Г.</i> Про практичне використання онтологічних моделей предметних областей .....	58
<i>Тарнопольський О.Б., Кабанова М.Р.</i> Впровадження комп'ютерних технологій у навчання іноземних мов: історія та перспективи .....	74
<i>Хацкелян І.П., Поворотній В.В., Вишинський В.Т., Рахманов С.Р.</i> Дослідження напружено-деформованого стану робочої кліті автоматичного стану ТПА 350 із застосуванням інформаційних технологій .....	83
<i>Царенко Д.Ю., Денисюк О.Р.</i> Інформаційна підсистема для оцінювання знань студентів .....	91
<i>Чумаков Л.Д., Мисов О.П., Савченко М.О., Кравець В.І., Тітова О.В.</i> Оцінка періодичності контролю справного стану технічної системи за схемою резервування каналів «2 з 3» на основі заданого значення ефективності .....	97
<i>Юскович-Жуковська В.І., Богут О.М.</i> Управління життєвим циклом адміністративного web-сайту з використанням SMF Drupal .....	103
Відомості про авторів .....	110
Іменний покажчик .....	113

Ministry of Education and Science of Ukraine

*Ukrainian State University of Chemical Technology*

# Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization

2 (6), 2019

Scientific journal

2 issues per year

---

## CONTENT

<i>Borzov S.O.</i> Mathematical modeling of winding square carboplastic tubes .....	3
<i>Kuzyayev I.M., Mitrokhin O.A.</i> Mathematical modeling of the process of liquid media motion in working area of equipment with disk elements .....	10
<i>Likholat V.S., Manko G.I.</i> Increasing the Robustness of Regulation Systems Using Fuzzy Logic .....	17
<i>Losikhin D.A.</i> Data exchange in microcontrollers with external energy independent memory on two-wire sequential interface with integrity check using the CRC-8/Maxim cyclic redundancy check algorithm .....	23
<i>Muravyeva I.G., Beloshapka E.A., Ivancha N.G., Belkova A.I., Vishnyakov V.I., Liashenko O.A.</i> Criterion for assessment of shape and position of the cohesive zone in a blast furnace .....	35
<i>Nikolsky V., Aliksandrov O., Yariz V., Matchenko M., Lobodenko A., Reshetnyak I.</i> Mathematical modeling of heat transfer processes at discrete-impulse energy input .....	43
<i>Oksanych I.G., Shevchenko I.V.</i> Models for recognizing situations and errors in implementation of business operations at a robotic organizational-technical system .....	51
<i>Petrenko N.G., Zelentsov D.G.</i> On the practical use of ontological models of subject areas .....	58
<i>Tarnopolsky O.B., Kabanova M.R.</i> Introduction of computer technologies into foreign language teaching: history and prospects .....	74
<i>Khatskelyan I.P., Povorotny V.V., Vishinskiy V.T., Rakhmanov S.R.</i> The study of the stress-strain state of the working stand of the automatic mill TPA 350 using information technology .....	83
<i>Tsarenko D.Yu., Denysiuk O.R.</i> Information subsystem for assessing knowledge of students .....	91
<i>Chumakov L.D., Mysov O.P., Savchenko M.O., Kravets V.I., Titova E.V.</i> Evaluation of control periodicity of operative condition of technical system with the «2 of 3» scheme of channels reservation on the basis of the given value of efficiency .....	97
<i>Yuskovych-Zhukovska V.I., Bogut O.M.</i> Life cycle management of the administrative web site using CMF Drupal .....	103
Information about the authors .....	110
Name index .....	113

UDC 004.94+678.01.539.3:539.27

*Borzov S.O.***MATHEMATICAL MODELING OF WINDING SQUARE CARBOPLASTIC TUBES****Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine**

The results of modeling thin-walled carbon fiber tubes of square section are presented. The task of the study is to determine and account for deviations during winding and rejection of such products. Traditionally, carbon fiber winding tubes are used for dimensionally stable structures, and circular tubes are used, which are easily wound, but have significant bending during bending. To eliminate this problem, it is proposed to use square carbon tubes. Such tubes have an advantage in gluing, since they include flat surfaces. Bending also decreases. To eliminate this problem, it is proposed to use square carbon tubes. Such tubes have an advantage in gluing, since they include flat surfaces. Bending also decreases. However, square tubes require a new approach when winding a carbon prepreg onto a square core. It is shown in the work that the main factor that leads to a spread in wall thicknesses is the alternation of straight sections and sections on the radii of rounding of a square mandrel. This cyclicity manifests itself with each revolution of the mandrel and leads to a significant increase in the pressing pressure at the corners of the square mandrel and the absence of such pressure in the straight sections of the square mandrel. There is no way to avoid this phenomenon on existing equipment. Therefore, a different approach was proposed. It consists in the fact that each manufactured element before entering the assembly phase is subjected to statistical analysis in order to determine the real moment of resistance to bending  $W$ . This analysis includes 4 steps. At the first stage, all four faces of each square tube are marked. At the second stage, the actual thickness of each wall is determined. At the third stage, the real moment of bending resistance is calculated for each of the four positions of the tube relative to the main axis of rotation. At the fourth stage, a map of the location of the tube inside the finished structure is created. This article provides the actual thickness of the carbon fiber tubes in the amount of 20 pieces. It is shown that such a method of taking into account thickness deviations will make it possible to find a reserve for reducing the deflection of the finished structure.

**Keywords:** carbon fiber, carbon plastic, prepreg, carboplastic, tube.

**DOI:** 10.32434/2521-6406-2019-6-2-3-9

***Statement of the problem***

The modern development of science requires ever more accurate measuring instruments. This task becomes even more difficult if it is additionally required to ensure other important factors, for example, the minimum mass. Measuring instruments are usually installed on supporting platforms, which should also have well-predicted spatial stability indicators. In addition, such devices and their platforms often operate in conditions of a significant temperature difference. All this requires fundamentally new solutions, primarily in the field of technology for the production of such structures,

which are most often made from carbon fiber tubes.

This article is devoted to the study of technological features of the production of carbon fiber rod structures. Carbon fiber tubes are made by winding a crude prepreg onto a collapsible core (mandrel). The final assembly of the frame or truss is done by gluing. Seats for attaching research instruments are then attached to the finished rod structure. As a result, the accuracy of the positioning of the research instrument is the fifth or sixth stage of ensuring accuracy. Given that any composite structure has a natural variation in the output accuracy parameters, it becomes clear that research

should be continued.

Under the natural scatter of the output parameters in this paper, we mean the scatter of the wall thickness of the carbon fiber tubes, as well as the scatter of the actual bending elastic modulus. Thus, the real bending stiffness will be correlated with both geometric properties and material properties. Today it should be recognized that the reserve of properties of geometric sections seems to be higher than the reserve of properties of composite materials.

Thus, the idea was formed to replace round carbon fiber tubes with carbon fiber tubes of square cross section. However, the production technology and control of square tubes requires additional research. The prototypes of square tubes have been extensively tested, and these results are presented in this article.

#### ***Analysis of recent research and publications***

Most modern high-precision platforms are made of carbon fiber [1–3].

This section of the analysis of publications is devoted to two important aspects. The first is the manufacture of carbon fiber tubes. The second is the control and further use of the tubes in the finished frame or truss.

An analysis of the available sources for the first aspect showed that the cross-sectional shape is a very important factor. Theoretical and practical work shows that a thin-walled square tube has a 50% less bending strain at the same profile height. A square thin-walled pipe with the same profile height has 25% more cross-sectional area. This has a positive effect on the strength and rigidity of the structure under tensile and compressive loads. In the case of square pipes, we have a jealous bonding surface on the side of all the elements. As a result, we get a well-controlled glue line. Adhesive bonding is better than bonding with mechanical elements [4]. These features give many advantages, however, they require taking into account the spread of technological parameters. Until recently, deviations of square tubes were only taken into account as a margin of safety or structural rigidity [5]. The article presents new results that make the production of square carbon pipes more advanced.

The second aspect of the manufacture of carbon fiber structures is the subsequent control. An example of non-destructive testing using the method of holographic interferometry is given in [3]. This is a good method for determining the imperfection of a composite element. However, this method does not allow to establish the actual values of the modulus of elasticity in bending.

The next important task is where and how to place the carbon fiber tube in the finished structure. To date, the design documentation does not regulate the sequence of the assembly process from existing tubes. But we know that each tube has its own unique modulus of elasticity. This suggests that the place of each tube in the finished structure must somehow correspond to its individual stiffness characteristics. Unfortunately, it was not possible to find works on this subject in the public domain.

#### ***Research objective***

As an object of research, the manufacturing process of a carbon fiber square tube is considered. The manufacture is made by winding a carbon fiber impregnated with epoxy resin, which we will call prepreg on a square core (mandrel). Before starting production, it is necessary to develop a mathematical model of winding the prepreg on a square mandrel, since existing models are applicable only for round tubes.

It is believed that the process of winding carbon fiber will be carried out on the same equipment on which the traditional round tubes are wound. The only difference is that the core will be square, not round. The carbon filament winding angles will be the same for the two types of tubes.

An additional research factor is the need to control the external crimping of a square tube. This is very important, since on such surfaces the installation of connection elements between the platform and the research equipment takes place. If the outer surface will be of high quality, then the glue connection with the seat under the device will be durable and have good control of all sizes in space.

In addition to the absolute advantages of a square carbon fiber tube, relative advantages should also be taken into account. For example, the adequacy of the mathematical model of a round tube is considered higher than for a square tube. It should be noted that the spread of technological parameters for a round tube will be less than that of a square tube. This is due to a simpler cross-sectional shape in terms of winding processes. In addition, to date, not enough experience has been gained in operating detachable square cores, especially with prolonged use. These factors should be taken into account both in the mathematical model and in engineering practice.

Thus, the consideration of structural and technological factors in the manufacture of the core structure from carbon fiber tubes of square section is part of the overall process of obtaining a high-quality and dimensionally stable structure.

The aim of the work is to develop a

mathematical model for winding carbon fiber tubes of square cross section.

### Main material of the research

#### A mathematical model for the manufacture of carbon fiber rods

As experience shows, the shape of the cross section is a factor that is very poorly appreciated. Theoretical and practical work shows that a thin-walled tube of square cross section has 50 % less bending at a bend at the same profile height. A square thin-walled pipe with the same profile height has 25 % more cross-sectional area [1]. Hubble telescope elements are made from such material [2]. This has a positive effect on the strength and rigidity of the structure under tensile and compressive loads. In the case of square tubes, we have a jealous gluing surface on the side of all elements. As a result, we get a well-controlled glue line. Adhesive bonding is better than bonding with mechanical elements [3,4]. These features give many advantages, however, they require taking into account the spread of technological parameters [4]. Until recently, deviations of square tubes were taken into account only as safety margins or structural stiffnesses. The paper presents new results that make the production of square carbon fiber tubes more perfect.

In the manufacture of carbon fiber tubes and of circular cross section:

$$P_{ro} = \pm \sum_{i=1}^n \frac{N \cos \alpha}{2\pi R}. \quad (1)$$

In the manufacture of carbon fiber tubes of a square cross section:

$$P_{sq} = \pm \sum_{i=1}^n \frac{N \cos \alpha}{\pi \left( R_1 + \frac{R_1}{\cos \alpha} \right)}, \quad (2)$$

where  $P_{ro}$  – the force acting on the core when winding a carbon thread on a round core;  $P_{sq}$  – the force acting on the core when winding a carbon thread on a square core;  $n$  – the number of layers of winding;  $N$  – carbon thread tension;  $\alpha$  – angle of winding carbon thread;  $R$  – radius of the cross section of the round core;  $R_1$  – rounding radius at the corners of a square core.

We calculate the difference in pressure on the round and square core. The initial parameters are indicated as formula:

$$N=10 \text{ kgs}; \alpha \pm 45^\circ; R=0.015 \text{ m}; R_1=0.005 \text{ m}. \quad (3)$$

The structure of the layers of the round and square tube is the same. The tube consists of 7 prepreg layers. Each layer has an estimated thickness of 0.13 mm, with a filament thickness of 0.06 mm and an epoxy filler thickness of 0.07 mm. 1st layer wound under angle; then 2-6 layers are wound at an angle; the last 7th layer is wound at an angle. The theoretical prepreg thickness after winding is 0.91 mm. The theoretical prepreg thickness after crimping is 0.9 mm.

The pressure on the core for one revolution of a round mandrel according to formulas (2) and (4) is:

$$P_{ro} = \frac{10 \text{ kg} \cdot \cos 45^\circ}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.015 \text{ m}} = 743 \text{ kg / m}. \quad (4)$$

The pressure on the core for one revolution of the square mandrel according to formulas (3) and (4) is:

$$P_{sq} = \frac{10 \text{ kg} \cdot \cos 45^\circ}{3.14 \left( 0.005 + \frac{0.005}{\frac{\sqrt{2}}{2}} \right) \text{ m}} = 1842 \text{ kg / m}. \quad (5)$$

Comparing formulas (5) and (6), it becomes clear that at the corners of square tubes the pressure on the core is 2.5 times greater than when winding around a round core. Moreover, on flat sections of a square profile according to formula (4), this force is kg/m, and at the fillet corners 1842 kg/m. This is a very large unevenness.

#### Mathematical modeling of prepreg thickness

We see that at the corners of the square core the pressure rises sharply. This means that the epoxy matrix will actually be extruded from the prepreg. Thus, the real prepreg of the prepreg at the corners of the square core will be grassy with the thickness of the carbon thread. We write this feature through a change in the volume of the prepreg:

$$V_T = \sum_{i=1}^n \frac{4H - 8R_1 + 2\pi R_1 t_{ppr}}{\cos \alpha}, \quad (6)$$

where  $V_T$  – theoretical prepreg volume when wound on a square core;  $n$  – number of winding layers;  $H$  – square tube profile height;  $\alpha$  – angle of winding carbon thread;  $R_1$  – rounding radius at the corners of a square core;  $t_{ppr}$  – prepreg thickness.

The real volume of the prepreg, taking into account the fact that the epoxy matrix will be extruded at the corners of the square tube, is written

as follows:

$$V_A = \sum_{i=1}^n \frac{4H \cdot t_{\text{ppr}} - (8R_1 + 2\pi R_1) \cdot t_f}{\cos \alpha}, \quad (7)$$

where  $V_A$  – actual prepreg volume when wound on a square core;  $n$  – number of winding layers;  $H$  – square tube profile height;  $\alpha$  – angle of winding carbon thread;  $R_1$  – rounding radius at the corners of a square core;  $t_{\text{ppr}}$  – prepreg thickness;  $t_f$  – carbon fiber thickness.

Next, we determine the scatter of prepreg thicknesses for the first layer. The parameters of a square tube are as follows:  $H=30$  mm;  $\alpha=\pm 45^\circ$ ;  $R_1=5$  mm;  $t_{\text{ppr}}=0.13$  mm;  $t_f=0.06$  mm.

We write it like this:

$$\begin{aligned} \frac{V_A}{V_T} &= \frac{4H \cdot t_{\text{ppr}} - (8R_1 + 2\pi R_1) \cdot t_f}{(4H - 8R_1 + 2\pi R_1) \cdot t_{\text{ppr}}} = \\ &= \frac{4 \cdot 30 \cdot 0.13 - (8 \cdot 5 + 2 \cdot 3.14) \cdot 0.006}{(4 \cdot 30 - 8 \cdot 5 + 2 \cdot 3.14) \cdot 0.13} = \\ &= \frac{15.3223 \text{mm}^3}{11.2164 \text{mm}^3} = 1.366. \end{aligned}$$

The unevenness of the volume of the prepreg on the radii of rounded and flat areas during winding on a square core can exceed 30%. If we recalculate the volume of the prepreg to its comrade, we get the following values:

$$\begin{aligned} k_t &= \frac{l_{\text{sq}}}{l_{\text{ro}}} = \frac{4H - 8R_1}{4H - 8R_1 + 2\pi R_1} = \\ &= \frac{4 \cdot 30 - 8 \cdot 5}{4 \cdot 30 - 8 \cdot 5 + 2 \cdot 3.14} = 1.646. \end{aligned} \quad (8)$$

It is seen that the spread of prepreg can exceed 60% for traditional production (Table 1).

To confirm the mathematical model, 20 carbon fiber tubes were manufactured. Then they were marked and the actual wall thicknesses  $t_1, t_2, t_3, t_4$  were determined. The bending moment of resistance  $W$  is calculated for four positions that reflect the rotation of each bar relative to the main axis. In calculations of the moment of resistance to bending  $W$ , this is expressed through a cyclic permutation of the thicknesses. Step 1. Without turning –  $t_1, t_2, t_3, t_4$ . Step 2. Rotate 90 degrees –  $t_4, t_1, t_2, t_3$ . Step 3. Rotate 180 degrees –  $t_3, t_4, t_1, t_2$ . Step 4. Turn 270 degrees –  $t_2, t_3, t_4, t_1$ . The calculation results are shown in table 1 and table 2. The spread of the moment of resistance during bending is shown in table 3.

Table 1

Calculations of the moment of resistance to bending  $W$ . Step 1 and step 2

Tube number	Thickness, mm				W	Thickness, mm				W
	t1	t2	t3	t4		t4	t1	t2	t3	
1	1.05	1.00	0.95	1.15	810635.24	1.15	1.05	1	0.95	818813.08
2	1.10	1.1	1.05	1.1	824294.49	1.1	1.1	1.1	1.05	827047.64
3	1.20	0.95	1.2	1.1	840868.82	1.1	1.2	0.95	1.2	821501.77
4	1.00	1.15	1.05	1	814717.96	1	1	1.15	1.05	820183.44
5	1.10	1.1	0.95	0.95	812004.44	0.95	1.1	1.1	0.95	812004.44
6	0.95	1	0.95	1.05	799837.34	1.05	0.95	1	0.95	807934.16
7	1.25	1.05	1.2	1.15	849281.86	1.15	1.25	1.05	1.2	835310.72
8	1.10	1.1	1	0.95	816087.16	0.95	1.1	1.1	1	813361.20
9	1.05	1.05	0.95	1.1	810635.24	1.1	1.05	1.05	0.95	818813.08
10	1.20	1.25	1.25	1.25	857751.85	1.25	1.2	1.25	1.25	860587.66
11	0.95	1.15	1.15	0.95	817450.71	0.95	0.95	1.15	1.15	817450.71
12	1.10	1.25	1.15	1.1	836720.91	1.1	1.1	1.25	1.15	842295.68
13	1.05	1.05	1.05	1.1	818814.25	1.1	1.05	1.05	1.05	821553.79
14	1.05	1.05	1.1	1.15	824294.49	1.15	1.05	1.05	1.1	827047.64
15	1.10	1.1	1.05	1.1	824294.49	1.1	1.1	1.1	1.05	827047.64
16	1.15	1	1.1	0.95	825648.65	0.95	1.15	1	1.1	809252.60
17	1.15	1.05	0.95	1.25	822904.89	1.25	1.15	1.05	0.95	833944.68
18	1.00	1.15	1.15	1	822924.14	1	1	1.15	1.15	822924.14
19	1.25	0.95	1.1	1.1	836704.46	1.1	1.25	0.95	1.1	820145.01
20	1.05	1.05	1.15	1.1	827047.64	1.1	1.05	1.05	1.15	824294.49



Table 2

## Calculations of the moment of resistance to bending W. Step 3 and step 4

Tube number	Thickness, mm				W	Thickness, mm				W
	t3	t4	t1	t2		t2	t3	t4	t1	
1	0.95	1.15	1.05	1	810635.24	1	0.95	1.15	1.05	818813.08
2	1.05	1.1	1.1	1.1	824294.49	1.1	1.05	1.1	1.1	827047.64
3	1.2	1.1	1.2	0.95	840868.82	0.95	1.2	1.1	1.2	821501.77
4	1.05	1	1	1.15	814717.96	1.15	1.05	1	1	820183.44
5	0.95	0.95	1.1	1.1	812004.44	1.1	0.95	0.95	1.1	812004.44
6	0.95	1.05	0.95	1	799837.34	1	0.95	1.05	0.95	807934.16
7	1.2	1.15	1.25	1.05	849281.86	1.05	1.2	1.15	1.25	835310.72
8	1	0.95	1.1	1.1	816087.16	1.1	1	0.95	1.1	813361.20
9	0.95	1.1	1.05	1.05	810635.24	1.05	0.95	1.1	1.05	818813.08
10	1.25	1.25	1.2	1.25	857751.85	1.25	1.25	1.25	1.2	860587.66
11	1.15	0.95	0.95	1.15	817450.71	1.15	1.15	0.95	0.95	817450.71
12	1.15	1.1	1.1	1.25	836720.91	1.25	1.15	1.1	1.1	842295.68
13	1.05	1.1	1.05	1.05	818814.25	1.05	1.05	1.1	1.05	821553.79
14	1.1	1.15	1.05	1.05	824294.49	1.05	1.1	1.15	1.05	827047.64
15	1.05	1.1	1.1	1.1	824294.49	1.1	1.05	1.1	1.1	827047.64
16	1.1	0.95	1.15	1	825648.65	1	1.1	0.95	1.15	809252.60
17	0.95	1.25	1.15	1.05	822904.89	1.05	0.95	1.25	1.15	833944.68
18	1.15	1	1	1.15	822924.14	1.15	1.15	1	1	822924.14
19	1.1	1.1	1.25	0.95	836704.46	0.95	1.1	1.1	1.25	820145.01
20	1.15	1.1	1.05	1.05	827047.64	1.05	1.15	1.1	1.05	824294.49

Table 3

## Pipe number and reduction W

Tube number	W
6	818813.08
5	827047.64
8	840868.82
11	820183.44
1	812004.44
9	807934.16
4	849281.86
13	816087.16
18	818813.08
16	860587.66
2	817450.71
14	842295.68
15	821553.79
20	827047.64
17	827047.64
19	825648.65
3	833944.68
12	822924.14
7	836704.46
10	827047.64
Max W	860587.66
Min W	807934.16
%	6.12

## Conclusions

1. Developed a mathematical model of winding on a square core.

2. It was found that the pressure of the prepreg at the radii of rounded square core significantly exceeds that in flat areas. This leads to extrusion of the epoxy matrix from the prepreg, which violates the quality of the square tube.

3. Using the developed model, it was found that the spread in the volume of the prepreg on the radii of rounded and on a flat section of the square core can exceed 30%.

4. Using the developed model, it was found that the spread of the prepreg thicknesses on the radii of rounded and on the flat sections of the square core can exceed 60%.

5. The proposed mathematical model can be used for a wide range of square tubes.

6. The increase in bending moment was 6.12% without increasing the mass of the finished constructions.

## REFERENCES

1. Caïm журнала «CompositesWorld» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.compositesworld.com/articles/composites-stabilize-space-based-telescope>.

2. Пат. РФ 2417389, МПК G 02 В 23/00. Силовая ферма космического телескопа [Электронный ресурс] / А.М. Савицкий (РФ), М.Н. Сокольский (РФ), Л.Е. Левандовская (РФ) и др. – № 2529052; Заявл. 21.12.2012; Оpubл. 27.09.2014. – Режим доступа: [www.freepatent.ru/patents/2417389](http://www.freepatent.ru/patents/2417389).

3. Пат. РФ 2503048, МПК G 02 В 23/16. Ферма силовая космического телескопа [Электронный ресурс] / А.Н. - Шайда (РФ), В.И. Зацепин (РФ) и др. – № 2503048; Заявл. 26.06.2012; Оpubл. 27.12.2013. – Режим доступа: [www.freepatent.ru/patents/2503048](http://www.freepatent.ru/patents/2503048)

4. Воробьев Ю.А., Кушнарченко С.Г. Исследование статической прочности при растяжении-сжатии высокопрочных заклепочных соединений углепластика [Электронный ресурс] // Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2003. – № 1. – С.54-58. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit\\_2003\\_1\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit_2003_1_9).

5. Исследование терморазмеростабильности ферменных конструкций космических аппаратов / В.А. Коваленко, И.В. Малков, Г.В. Сыровой, Ю.В. Сохач // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов, 2011. – Вып. 2. – С.20-34. – Режим доступа: [https://nbuv.gov.ua/UJRN/Pptvk\\_2011\\_2\\_4](https://nbuv.gov.ua/UJRN/Pptvk_2011_2_4).

Received 13.11.2019

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАМОТКИ КВАДРАТНИХ ВУГЛЕПЛАСТИКОВИХ ТРУБ

**Борзов С.О.**

У даній роботі наводяться результати моделювання тонкостінних вуглепластикових трубок квадратного перетину. Завданням дослідження є визначення та облік відхилень під час намотування і отвердження таких виробів. Традиційно намотувальні трубки з вуглепластику застосовуються для розміростабільних конструкцій, причому використовуються трубки круглого перетину, які легко намотуються, але мають значний прогин при вигині. Для усунення цієї проблеми запропоновано використовувати вуглепластикові трубки квадратного перетину. Такі трубки мають перевагу при склеюванні, так як включають плоскі поверхні. Також зменшується прогин при згині. Однак квадратні трубки вимагають нового підходу під час намотування вуглецевого препрега на квадратний сердечник. В роботі показано, що основним фактором, який призводить до розкиду товщини стінок, є чергування прямолінійних ділянок і ділянок на радіусах заокруглення квадратного дорна. Ця циклічність проявляється при кожному оберті дорна і призводить до суттєвого зростання тиску пресування на кутах квадратного дорна і відсутності такого тиску на прямолінійних ділянках квадратного дорна. Уникнути цього явища на існуючому обладнанні немає можливості. Тому був запропонований інший підхід. Він полягає в тому, що кожен виготовлений елемент перед надходженням на етап збірки піддається статистичному аналізу з метою визначення реального моменту опору на вигин  $W$ . Цей аналіз включає в себе 4 етапи. На першому етапі виконується маркування всіх чотирьох граней кожної квадратної трубки. На другому етапі виконується визначення фактичної товщини кожної стінки. На третьому етапі розраховується реальний момент опору на вигин для кожного з чотирьох положень трубки щодо головної осі повороту. На четвертому етапі створюється карта розташування трубки всередині готової конструкції. У даній статті наводяться фактичні товщини вуглепластикових трубок в кількості 20 штук.

Показано, що такий метод обліку відхилень товщини дозволить знайти резерв зменшення прогину готової конструкції.

**Ключові слова:** вуглецеве волокно, вуглепластик, препрег, намотування, вуглепластиковая трубка.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАМОТКИ КВАДРАТНЫХ УГЛЕПЛАСТОВЫХ ТРУБ

**Борзов С.А.**

В данной работе приводятся результаты моделирования тонкостенных углепластиковых трубок квадратного сечения. Задачей исследования является определение и учёт отклонений при намотке и отверждении таких изделий. Традиционно намоточные трубки из углепластика применяются для размеростабильных конструкций, причём используются трубки круглого сечения, которые легко наматываются, но имеют значительный прогиб при изгибе. Для устранения этой проблемы предложено использовать углепластиковые трубки квадратного сечения. Такие трубки имеют преимущество при склеивании, так как включают плоские поверхности. Также уменьшается прогиб при изгибе. Однако квадратные трубки требуют нового подхода при намотке углеродного препрега на квадратный сердечник. В работе показано, что основным фактором, который приводит к разбросу толщин стенок, является чередование прямолинейных участков и участков на радиусах скругления квадратного дорна. Эта цикличность проявляется при каждом обороте дорна и приводит к существенному возрастанию давления прессования на углах квадратного дорна и отсутствию такого давления на прямолинейных участках оснастки. Избежать данного явления на существующем оборудовании нет возможности. Поэтому был предложен другой подход. Он заключается в том, что каждый изготовленный элемент перед поступлением на сборку подвергается статистическому анализу с целью определения реального момента сопротивления на изгиб  $W$ . Этот анализ включает в себя 4 этапа. На первом этапе выполняется маркировка всех четырёх граней каждой квадратной трубки. На втором этапе выполняется определение фактической толщины каждой стенки. На третьем этапе рассчитывается реальный момент сопротивления на изгиб для каждого из четырёх положений трубки относительно главной оси поворота. На четвертом этапе создаётся карта расположения трубки внутри готовой конструкции. В данной статье приводятся фактические толщины углепластиковых трубок в количестве 20 штук. Показано, что такой метод учёта отклонений толщин позволит найти резерв уменьшения прогиба готовой конструкции.

**Ключевые слова:** углеродное волокно, углепластик, препрег, намотка, углепластиковая трубка.

**MATHEMATICAL MODELING OF WINDING SQUARE CARBOPLASTIC TUBES****Borzov S.O.****Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine**

The results of modeling thin-walled carbon fiber tubes of square section are presented. The task of the study is to determine and account for deviations during winding and rejection of such products. Traditionally, carbon fiber winding tubes are used for dimensionally stable structures, and circular tubes are used, which are easily wound, but have significant bending during bending. To eliminate this problem, it is proposed to use square carbon tubes. Such tubes have an advantage in gluing, since they include flat surfaces. Bending also decreases. To eliminate this problem, it is proposed to use square carbon tubes. Such tubes have an advantage in gluing, since they include flat surfaces. Bending also decreases. However, square tubes require a new approach when winding a carbon prepreg onto a square core. It is shown in the work that the main factor that leads to a spread in wall thicknesses is the alternation of straight sections and sections on the radii of rounding of a square mandrel. This cyclicity manifests itself with each revolution of the mandrel and leads to a significant increase in the pressing pressure at the corners of the square mandrel and the absence of such pressure in the straight sections of the square mandrel. There is no way to avoid this phenomenon on existing equipment. Therefore, a different approach was proposed. It consists in the fact that each manufactured element before entering the assembly phase is subjected to statistical analysis in order to determine the real moment of resistance to bending  $W$ . This analysis includes 4 steps. At the first stage, all four faces of each square tube are marked. At the second stage, the actual thickness of each wall is determined. At the third stage, the real moment of bending resistance is calculated for each of the four positions of the tube relative to the main axis of rotation. At the fourth stage, a map of the location of the tube inside the finished structure is created. This article provides the actual thickness of the carbon fiber tubes in the amount of 20 pieces. It is shown that such a method of taking into account thickness deviations will make it possible to find a reserve for reducing the deflection of the finished structure.

**Keywords:** carbon fiber, carbon plastic, prepreg, carbo-plastic, tube.

**REFERENCES**

1. Sayt zhurnal «CompositesWorld» [Site of Journal «CompositesWorld»]. Available at: <https://www.compositesworld.com/articles/composites-stabilize-space-based-telescope>.
2. Savitsky A.M., Sokolsky M.N., Levandovskaya L.E. *Silovaya ferma kosmicheskogo teleskopa* [Space Telescope Power Farm]. Patent RF no. 2417389, G 02 B 23/00, 2012. (in Russian).
3. Shayda A.N., Zatsepin V.I. *Ferma silovaya kosmicheskogo teleskopa* [The power farm of the space telescope]. Patent RF no. 2503048, G 02 B 23/16, 2013. (in Russian).
4. Vorobiov Y.A., Kushnarenko S.G. *Issledovanie staticheskoy prochnosti pri rastyazhenii-szhatii visokoprochnykh soedineniy ugleplastika* [Study of the static tensile-compression strength of high-strength riveted carbon fiber joints]. *Aviatsiyno-kosmichna tehnika I tehnologiya* [Aerospace and Space Engineering and Technology], 2003, no. 1, pp.54-58. (in Russian).
5. Kovalenko V.A., Malkov I.V., Syrovoy G.V., Sohach Y.V. *Issledovanie termorazmerostabilnosti fermennykh konstruksiy kosmicheskikh apparatov* [The study of thermal stability of truss structures of spacecraft]. *Voprosy proektirovaniya I proizvodstva konstruksiy letatelnykh apparatov* [Issues of design and manufacture of aircraft structures], 2011. vol.2, pp.20-34. (in Russian).

УДК 004.94+532.135

*Кузяев И.М., Митрохин А.А.***МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКИХ СРЕД В РАБОЧИХ ЗОНАХ ОБОРУДОВАНИЯ С ДИСКОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ****ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина**

В настоящей работе разработана математическая модель движения жидких сред в рабочих зонах, образованных между двумя дисками, имеющих место во многих типах перерабатывающего оборудования, среди которых можно выделить дисковые и червячно-дисковые экструдеры для переработки полимеров, а также дисковые импульсные аппараты, используемые в системах отопления. При получении математической модели использовалась цилиндрическая система координат в допущении осесимметричности вдоль угловой координаты и пренебрежения осевой составляющей скорости, что дало возможность получить систему двух дифференциальных уравнений в частных производных. Использование уравнения неразрывности позволило преобразовать полученную модель к системе двух дифференциальных нелинейных уравнений в обыкновенных производных. Решение разработанной математической модели может быть получено для двух режимов функционирования дисковых машин, а именно: первое – безнапорное движение; второе – напорное движение. Для первого режима можно пренебречь градиентом давления вдоль радиальной оси, а в случае второго режима компонент уравнения движения с градиентом давления, возникающего вследствие разностей производительностей через входное и выходное отверстия, необходимо обязательно учитывать. Воспроизведение математической модели осуществлялось при помощи пакета MathCAD с использованием вычислительного блока Given-Odesolve. При этом на начальном этапе рассматривался первый режим. Результаты расчетов показали, что для реальных геометрических и технологических параметров функция угловой составляющей скорости имеет линейный характер. Используя последнее замечание, представляется возможным значительно упростить математическую модель. С использованием полученной математической модели определена функция диссипации, характеризующая межмолекулярное взаимодействие в рабочей среде. Имея картину распределения функции диссипации по объему рабочего пространства, рассчитана затрачиваемая мощность на продвижение перерабатываемой жидкости. В работе приведено большое количество графиков, позволяющих оценить адекватность полученных результатов разработанной математической модели.

**Ключевые слова:** уравнения движения, уравнение неразрывности, математическая модель, система дифференциальных уравнений, градиент давления, пакет MathCAD, дисковые и червячно-дисковые экструдеры, дисковые импульсные аппараты.

**DOI:** 10.32434/2521-6406-2019-6-2-10-16***Постановка проблемы***

В настоящее время широкое использование нашло оборудования, в котором имеют место вращающиеся элементы дисковой формы, образующие соответствующие рабочие зоны, где выполняются необходимые процессы.

К такому типу оборудования можно, в пер-

вую очередь, отнести дисковые и червячно-дисковые экструдеры для переработки полимеров [1]. Основное назначение данного типа оборудования заключается в подготовке полимерных композиций с необходимым качеством, что достигается соответствующей степенью гомогенизации.

© Кузяев И.М., Митрохин А.А., 2019

*Kuzayev I.M., Mitrokhin O.A.*

Ко второму типу оборудования с дисковыми рабочими зонами можно отнести дисковые импульсные аппараты, используемые в системах отопления [2].

Для того чтобы оптимизировать технологические и геометрические характеристики перерабатывающего оборудования, необходимо иметь соответствующую математическую модель, что значительно ускоряет процесс проектирования машинных агрегатов.

#### *Анализ публикаций и исследований*

Решение уравнения движения (Навье-Стокса) для течения возле бесконечно большого вращающегося диска для ньютоновской жидкости впервые дал Карман [3]. Используя гипотезу о сходстве, Карман свел уравнения Навье-Стокса к обычным нелинейным дифференциальным уравнениям вида:

$$v \cdot H^{IV} + H \cdot H^{III} + G \cdot G^I = 0; \quad (1)$$

$$v \cdot G^{II} + H \cdot G^I - H^I \cdot G = 0, \quad (2)$$

где  $v$  – кинематическая вязкость;  $V_z = -H(z)$ ;  $V_r = r/2 \cdot H^I(z)$ ;  $V_\theta = r/2 \cdot G(z)$ .

Решив систему уравнений (1) и (2), Карман доказал, что на расстоянии от граничного слоя жидкости, который находится вблизи от диска, тангенциальные и радиальные скорости приближаются к нулю при увеличении числа Рейнольдса.

Используя подход Кармана, Бетчелор решил задачу о движении жидкости между двумя дисками, которые вращаются вокруг общей оси, перпендикулярной к ним. Бетчелор преобразовал уравнения Навье-Стокса к следующей системе:

$$\frac{1}{4} \cdot (h^I)^2 - \frac{1}{2} \cdot h \cdot h^{II} - g^2 = - \left( \frac{\omega^2 + c}{\omega^2} \right) - \frac{1}{2} \cdot h^{III}; \quad (3)$$

$$-g \cdot h^I + g^I \cdot h = g^{II}, \quad (4)$$

где  $\omega$  – угловая скорость;  $c$  – константа;

$$V_z = \sqrt{v \cdot \omega} \cdot h(\zeta); \quad V_\phi = \sqrt{v \cdot \omega} \cdot \psi \cdot g(\zeta);$$

$$r = \sqrt{v/\omega} \cdot \psi; \quad z = \sqrt{v/\omega} \cdot \zeta.$$

Полученные Бетчелором результаты указывают на то, что при больших числах Рейнольдса основной объем жидкости вращается с постоянной угловой скоростью. Кроме того, возле

поверхностей дисков возникают граничные слои.

Другой результат был получен Стеватсоном [4]. Его данные указывают на то, что в случае движения двух дисков в противоположных направлениях или при одном неподвижном диске, основная масса жидкости, расположенная за пределами граничных слоев дисков, вращаться не будет.

В работе Дийкстра и ван Хейста [5] рассматривалось поведение жидкости между двумя конечными вращающимися дисками, внешние диаметры которых ограничены цилиндром.

Результаты данной работы в случае, если один диск неподвижный, а второй вращается, совпадают с теорией Бетчелора, то есть значительная часть жидкости, которая находится за пределами граничных слоев, вращается как твердое тело.

Значительный интерес в теоретическом и прикладном плане имеют работы Шери и Адамса [6,7] применительно их использования при проектировании гидростатических подшипников, торцовых уплотнений, дисков муфт сцепления и вращающихся теплообменников.

Одним из основных вопросов при проектировании гидростатических подшипников является создание необходимого давления между торцовыми поверхностями вала и корпуса, которые образуют дисковое пространство с незначительной высотой по отношению к радиусу.

В работах Шери и Адамса получено уравнение для распределения давления в дисковом зазоре в виде:

$$P(r) = P(r_1) + \frac{\eta \cdot v \cdot Re}{H^2} \cdot \Delta \bar{P}(\bar{r}, \bar{r}_1), \quad (5)$$

$$\text{где } \Delta \bar{P}(\bar{r}, \bar{r}_1) = \int_{\bar{r}_1}^{\bar{r}} \frac{d\bar{P}(\bar{r})}{d\bar{r}} \cdot d\bar{r}; \quad Re = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot v \cdot H}.$$

В работе [8] было рассмотрено течение максвелловской жидкости в дисковом пространстве. Используя данный тип жидкости, можно качественно объяснить много известных проявлений вязкоупругих жидкостей, такие, например, как релаксация напряжений и эластичное восстановление среды после внезапного снятия приложенного напряжения. Необходимо, однако, отметить, что уравнение, описывающее поведение жидкости Максвелла, ограничено зоной бесконечно малых деформаций и, кроме того, для стационарных режимов течения оно переходит

в уравнение для ньютоновских сред.

Среди последних исследований движения перерабатываемых материалов между двумя пластинами можно выделить работы В. Леваничева [9,10], где рассматривались процессы движения в рабочем канале экструдера.

#### Цель и задачи исследования

Разработать математическую модель, позволяющую выполнять аналитические исследования процессов движения, в рабочих пространствах перерабатывающего оборудования, образованных между двумя дисками. На основе решения математической модели оптимизировать геометрические и технологические параметры рабочего пространства в соответствии с характеристиками перерабатываемой среды.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: построение базовой математической модели; модернизация полученной базовой математической модели; оптимизационные аналитические исследования влияния параметров рабочего дискового пространства и характеристик жидкостей, протекающих через рабочий канал.

#### Основная часть исследований

При разработке математической модели, связанной с движением жидких сред в каналах различной формы, обязательным условием является использование уравнений движения в необходимой системе координат (в данном случае следует использовать цилиндрическую систему координат). Кроме того, также обязательным элементом математического аппарата является реологическое уравнение состояния, связывающее компоненты тензора напряжений с компонентами тензора скоростей деформаций. Для простейшего случая эта связь описывает ньютоновскую жидкость. В некоторых случаях при разработке математических моделей следует использовать уравнение неразрывности.

Для построения математической модели расчетная схема выглядит таким образом (рис. 1).

Построение математических моделей будем осуществлять на базе таких допущений: процесс осесимметричный, т.е. изменением физических величин вдоль угловой координаты будем пренебрегать ( $d/dj=0$ ); процесс стационарный, т.е. изменения физических величин во времени будут несущественным ( $d/dt=0$ ); массовыми силами будем пренебрегать; вследствие реальной геометрии дискового канала ( $h \ll R_2$ ) будем пренебрегать составляющей скорости  $V_z$ .

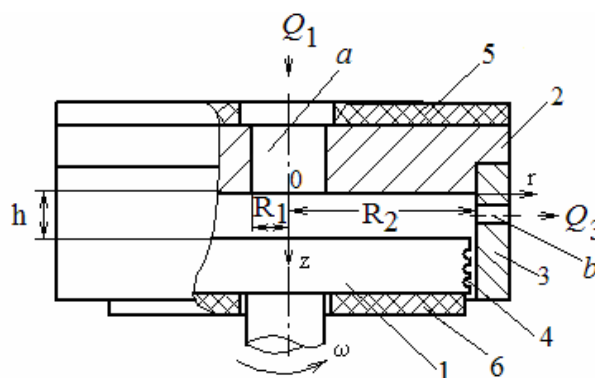


Рис. 1. Расчетная схема для построения математических моделей: а, b – соответственно входное и выходное отверстия; 1 – вращающийся диск; 2, 3 – соответственно дисковая и цилиндрическая части корпуса; 4 – уплотнительный элемент; 5, 6 – теплоизоляционные пластины соответственно дисковой части корпуса и вращающегося диска

Используя принятые допущения, уравнения движения для ньютоновской жидкости можно записать в таком виде:

$$\rho \cdot \left( V_r \cdot \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_\varphi^2}{r} \right) = - \frac{\partial P}{\partial r} + \eta \cdot \left[ 2 \cdot \frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} + \frac{2}{r} \cdot \left( \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r} \right) \right]; \quad (6)$$

$$\rho \cdot \left( V_r \cdot \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{V_r \cdot V_\varphi}{r} \right) = \eta \cdot \left[ \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \frac{V_\varphi}{r^2} + \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial z^2} \right], \quad (7)$$

где  $V_r, V_\varphi$  – компоненты скорости в цилиндрической системе координат;  $\rho, \eta$  – соответственно плотность и вязкость жидкости;  $dp/dr$  – градиент давления вдоль радиальной координаты.

В данном случае для упрощения математической модели следует воспользоваться уравнение неразрывности в виде:

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + V_r/r = 0. \quad (8)$$

Из последнего уравнения вытекает такая зависимость:

$$V_r = f(z)/r, \tag{9}$$

где  $f(z)$  – некоторая функция, зависящая только от координаты  $z$ . Для угловой составляющей скорости примем такую зависимость:

$$V_\phi = \zeta(z) \cdot r, \tag{10}$$

где  $\zeta(z)$  – некоторая функция, зависящая также только от координаты  $z$ .

Соответствующая подстановка приводит к такой системе:

$$\rho \cdot \left( -\frac{f(z)^2}{r^3} - \zeta(z)^2 \cdot r \right) = -\frac{\partial P}{\partial r} + \eta \cdot \frac{f''(z)}{r}; \tag{11}$$

$$\rho \cdot \frac{2 \cdot f(z)}{r} \cdot \zeta(z) = \eta \cdot \zeta''(z) \cdot r. \tag{12}$$

Решение системы уравнений (11) и (12) может быть осуществлено для двух режимов: первый – безнапорное течение (в данном случае градиент давления равен нулю); второй – напорное течение (в данном случае градиент давления не равен нулю, а зависит от соотношений производительностей  $Q_1$  и  $Q_3$ ).

Реализация математической модели воспроизводилась при помощи математического пакета MathCAD. Для решения системы уравнений (11)–(12) воспользуемся вычислительным блоком Given-Odesolve. Решение в виде графиков приведено на рис. 2. При этом приняты такие параметры: коэффициент вязкости жидкости –  $\eta=180$  Па·с; угловая скорость вращения диска –  $\omega=16$  с<sup>-1</sup>; плотность жидкости –  $\rho=925$  кг/м<sup>3</sup>; радиус диска –  $r=0,15$  м.

Как видно из приведенных графиков на рис. 2, на значительном интервале высот дискового канала, охватывающих практически весь класс данного типа агрегатов, можно использовать линейную зависимость угловой составляющей скорости по высоте зазора, то есть вместо соотношения (10) будет справедливым такое равенство:

$$V_\phi = \frac{\omega}{h} \cdot z \cdot r. \tag{13}$$

Кроме того, численный анализ уравнения (11) приводит к заключению, что второй член, стоящий в правой части уравнения (11), как минимум, на два порядка больше, чем первый.

Два последних замечания позволяет существенно упростить систему уравнений (11) и (12), а именно: данная система уравнений переходит в одно дифференциальное уравнение второго порядка относительно радиальной составляющей скорости в обыкновенных производных. Таким образом, вместо системы уравнений (11) и (12), с учетом выражения (9), можно записать уравнение:

$$\frac{d^2 V_r}{dz^2} + K_1 \cdot \frac{z^2 \cdot r}{h^2} = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\partial P}{\partial r}, \tag{14}$$

где  $K_1 = \frac{\rho \cdot \omega^2}{\eta}$ .

С учетом неизменности геометрических и технологических параметров в уравнении (14) относительно осевой координаты (кроме радиальной скорости) последнее уравнение представ-

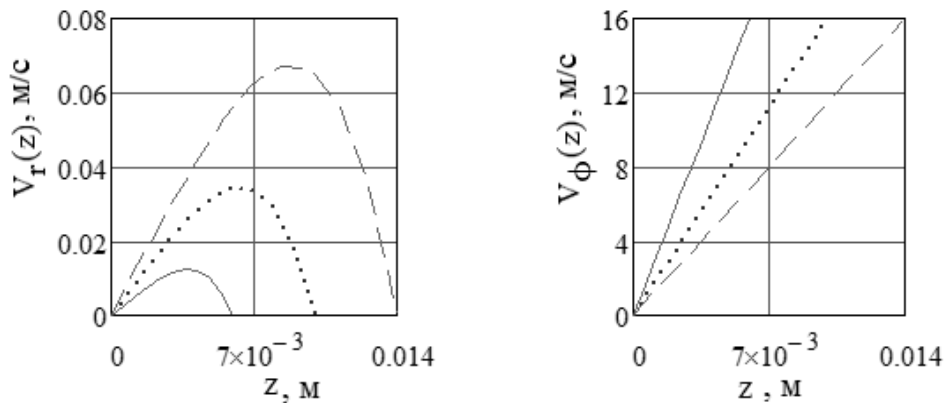


Рис. 2. Графики распределения скорости в дисковом канале при разных значениях высоты h: — — — — h=6 мм; ..... — h=10 мм; - - - - h=14 мм

ляет собой дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными. При этом используя уравнение неразрывности в интегральной форме ( $G_1 + G_2 - G_3 = 0$ , где  $G_1$  – расход жидкости, поступающей через входной патрубок;  $G_2$  – расход жидкости в дисковом канале, образованный за счет вращения диска;  $G_3$  – расход жидкости на выходе из рабочей камеры), можно найти градиент давления вдоль радиальной оси.

Окончательно решение уравнения (14) можно записать в таком виде:

$$V_r(z, r) = \frac{3z}{\pi r h^3} (z - h)(G_1 - G_3) - K_1 r \frac{z}{h^2} (0,067h^3 + 0,83z^3 - 0,15h^2z). \quad (15)$$

На рис. 3 представлен объемный график для радиальной скорости в дисковом канале, полученный по формуле (15) при таких параметрах:  $h=5$  мм,  $\eta=180$  Па·с;  $\omega=16$  с<sup>-1</sup>;  $\rho=925$  кг/м<sup>3</sup>;  $R_1=10$  мм;  $R_2=150$  мм;  $G_1=8 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/с;  $G_3=7,9 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/с.

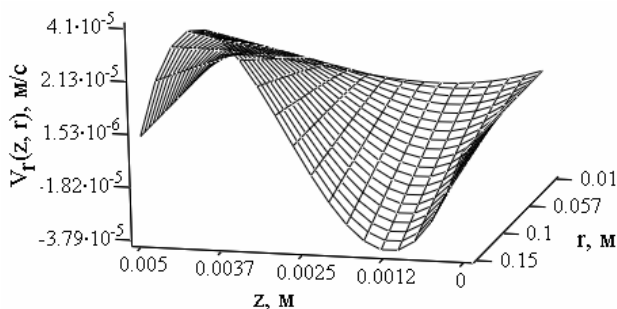


Рис. 3. Объемный график распределения радиальной скорости в дисковом канале

Немаловажное значение при оптимизации характеристик рабочих зон промышленного оборудования имеет возможность отыскания диссипативных потерь. Зная функцию диссипации, можно найти затрачиваемую в рабочем канале мощность. Для этого найденную функцию диссипации необходимо проинтегрировать по всему объему. Пренебрегая величинами высшего порядка, для функции диссипации можно записать такое выражение

$$F_d(z, r) = 2 \cdot \eta \cdot \left( \frac{\omega \cdot r}{h} \right)^2. \quad (16)$$

После интегрирования функции диссипации значение мощности в дисковом зазоре можно найти из такого соотношения

$$W_d = 2 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \frac{\omega^2}{4 \cdot h} \cdot (R_2^4 - R_1^4). \quad (17)$$

На рис. 4 представлен объемный график для функции диссипации в дисковом канале, полученный по формуле (16) при таких параметрах:  $h=5$  мм,  $\eta=180$  Па·с;  $\omega=16$  с<sup>-1</sup>;  $\rho=925$  кг/м<sup>3</sup>;  $R_1=10$  мм;  $R_2=150$  мм.

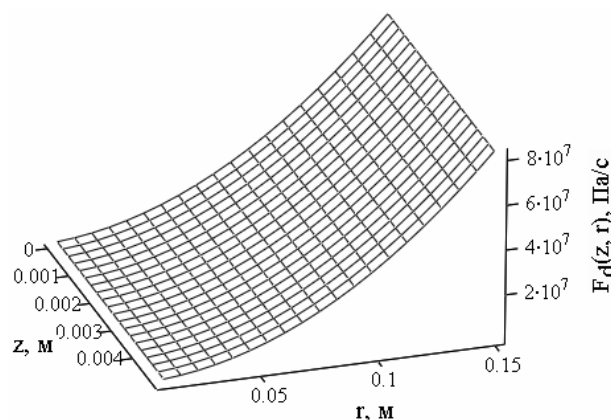


Рис. 4. Объемный график распределения функции диссипации в дисковом канале

Для параметров, принятых согласно с рис. 4, а также исходя из формулы (17), затрачиваемая мощность в дисковом канале составит  $W_d=7,33$  кВт.

### Выводы

Разработана математическая модель для моделирования процессов течения жидкостей в дисковых каналах при вращении одного из дисков, на базе которой построен программный блок в пакете MathCAD, позволяющий оптимизировать режимы работы в соответствии со свойствами перерабатываемой среды и геометрическими характеристиками рабочей зоны.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнев И.М., Свидерский В.А., Петухов А.Д. Моделирование экструзии и экструдеров при переработке полимеров: монография, в 2 ч. Часть 2. – Киев: НТУУ «КПИ» Изд-во «Политехника», 2016. – 217 с.
2. Examining a cavitation heat generation and the control method over the efficiency of its operation / V. Nikolsky, O. Oliynyk, A. Lipeev, V. Ved // Eastern-European journal of



enterprise technologies. – 2017. – Vol. 4. – № 8 (88). – P.22-28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108580>

3. Кузяев И.М. Основополагающие аспекты моделирования процессов в дисковых зазорах при течении через них жидких сред // Вопросы химии и хим. технологии. – 2007. – № 2. – С.188-203.

4. Stewartson K. On the flow between two rotating coaxial disks // Proc. Cambridge Philos. Soc. – 1953. – № 49. – P.333-341. <https://doi.org/10.1017/S0305004100028437>

5. Dijkstra D., Van Heijst G.J. The flow between two finite rotating disks enclosed by a cylinder // J. Fluid Mech. – 1983. – № 128. – P.123-154. <https://doi.org/10.1017/S0022112083000415>

6. Szeri A.Z. Fluid Film Lubrication, 2 edition // Cambridge University Press. – 2010. – 600 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511782022>

7. Adams M.L. Rotating Machinery Vibration: From Analysis to Troubleshooting, 2 edition // CRC Press, 2010. – 476 p. <https://doi.org/10.1201/9781439847558>

8. Phan-Thien N. Coaxial-disk flow and flow about a rotating disk of a Maxwellian fluid // J. Fluid Mech. – 1983. – № 128. – С.427-442. <https://doi.org/10.1017/S0022112083000543>

9. Леваничев В.В. Анализ полной реологической модели течения расплава полимера // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т.2. – № 6 (74). – С.11-16.

10. Леваничев В.В. Разработка модели движения расплава полимера в экструдере // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т.5. – № 5 (77). – С.7-13.

Поступила в редакцию 29.10.2019

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РУХУ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ В РОБОЧИХ ЗОНАХ УСТАТКУВАННЯ З ДИСКОВИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Кузяев І.М., Митрохін О.А.

У даній роботі розроблено математичну модель руху рідких середовищ у робочих зонах, утворених між двома дисками, що мають місце в багатьох типах переробного устаткування, серед яких можна виділити дискові й черв'ячно-дискові екструдери для переробки полімерів, а також дискові імпульсні апарати, використовувани в системах опалювання. При розробці математичної моделі використовувалася циліндрична система координат в припущенні осесиметричності вздовж кутової координати й нехтуванні осью складовою швидкості, що дало можливість отримати систему двох диференціальних рівнянь в частинних похідних. Використання рівняння нерозривності дозволило перетворити отриману модель до системи двох диференціальних нелінійних рівнянь у звичайних похідних. Вирішення розробленої математичної моделі може бути отримано для двох режимів функціонування дискових машин, а саме: перший – безнапірний рух; другий – напірний рух. Для першого режиму можна нехтувати градієнтом тиску вздовж радіальної осі, а в разі другого режиму компонент рівняння руху з градієнтом тиску, що виникає внаслідок різниць продуктивностей через вхідний і вихідний отвори, необхідно обов'язково враховувати. Відтворення математичної моделі

здійснювалося за допомогою пакета MATHCAD з використанням обчислювального блока Given-Odesolve. При цьому на початковому етапі розглядався перший режим. Результати розрахунків показали, що для реальних геометричних і технологічних параметрів функція кутової складової швидкості має лінійний характер. Використання останнього зауваження, дає можливість значно спростити математичну модель. З використанням отриманої математичної моделі визначено функцію дисипації, що характеризує міжмолекулярну взаємодію в робочому середовищі. Маючи картину розподілу функції дисипації за об'ємом робочого простору, розраховано потужність, яка витрачається на просування перероблюваної рідини. У роботі наведено велику кількість графіків, які дозволяють оцінити адекватність отриманих результатів розробленої математичної моделі.

**Ключові слова:** рівняння руху, рівняння нерозривності, математична модель, система диференціальних рівнянь, градієнт тиску, пакет MATHCAD, дискові та черв'ячно-дискові екструдери, дискові імпульсні апарати.

## MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF LIQUID MEDIA MOTION IN WORKING AREA OF EQUIPMENT WITH DISK ELEMENTS

Kuzayev I.M., Mitrokhin O.A.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The paper considers a mathematical model of the process of liquid media motion in working area, created between two disks, which occur in many types of processing equipment, among which we can distinguish disk and screw-disk extruders for polymer processing, as well as disk impulse devices used in heating systems. In obtaining the mathematical model, a cylindrical coordinate system was used assuming axisymmetry along the angular coordinate and neglecting the axial component of the velocity, which made it possible to obtain a system of two partial differential equations. The use of continuity equation made it possible to transform the mathematical model to a system consisting from two differential nonlinear equations in ordinary derivatives. The solution for the mathematical model can be obtained for two working modes of disk machine: non-pressure motion and pressure motion. For the first mode, the pressure gradient along the radial axis can be neglected, and in the case of the second mode, the components of the equation of motion with the pressure gradient arising due to differences in performance through the inlet and outlet openings must be taken into account. The creation of mathematical model take place with help of MATHCAD package and its block Given-Odesolve. At the same time, the first mode was considered at the initial stage. The calculation results showed that for real geometric and technological parameters, the function of the angular velocity component is linear. The usage of last remark gives possibility to simplify the mathematical model. With help of mathematical model we obtained dissipation function, which describe intermolecular interaction in working medium. Having a picture of distribution of the dissipation function over the volume of the working space, the expended power for the promotion of the processed liquid is calculated. A large number of graphs are given in the work, which makes it possible to evaluate the adequacy of the results of the developed mathematical model.

**Keywords:** equation of motion, continuity equation, mathematical model, system of differential equations, pressure gradient, MATHCAD, disk and screw-disk extruder, disk impulse device.

## REFERENCES

1. Kuzyayev I.M. *Modelirovanie ekstruzii i ekstrudеров pri pererabotke polimerov monografiya, v 2 ch. Chast 2* [Modeling of extrusion and extruders in the processing of polymers: monograph, in 2 parts. Part 2]. Kiev: NTUU KPI, Politehnika Publ., 2016, 217 p. (in Russian).
2. Nikolsky V., Oliynyk O., Lipeev A., Ved V. Examining a cavitation heat generation and the control method over the efficiency of its operation. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2017, vol.4, no. 8 (88), pp.22-28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108580>
3. Kuzyayev I.M. Osnovopolagayushie aspekty modelirovaniya processov v diskovyh zazorah pri techenii cherez nih zhidkikh sred [Fundamental aspects of modeling processes in disk gaps when liquid media flow through them]. Voprosy himii i him. tehnologii [Issues of Chemistry and Chemical Technology]. 2007, no. 2, pp.188-203. (in Russian).
4. Stewartson K. On the flow between two rotating coaxial disks. Proc. Cambridge Philos. Soc. 1953, no. 49, pp.333-341. <https://doi.org/10.1017/S0305004100028437>
5. Dijkstra D., Van Heijst G.J. The flow between two finite rotating disks enclosed by a cylinder. J. Fluid Mech. 1983, no. 128, pp.123-154. <https://doi.org/10.1017/S0022112083000415>
6. Szeri A.Z. Fluid Film Lubrication, 2 edition. Cambridge University Press, 2010, 600 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511782022>
7. Adams M.L. Rotating Machinery Vibration: From Analysis to Troubleshooting, 2 edition. CRC Press, 2010, 476 p. <https://doi.org/10.1201/9781439847558>
8. Phan-Thien N. Coaxial-disk flow and flow about a rotating disk of a Maxwellian fluid. J. Fluid Mech, 1983, no. 128, pp.427-442. <https://doi.org/10.1017/S0022112083000543>
9. Levanichev V.V. Analiz polnoj reologicheskoy modeli techeniya raspava polimera [Analysis of the complete rheological model of the flow of polymer melt]. Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij [East European Journal of Advanced Technologies]. 2015, vol.2, no. 6 (74), pp.11-16. (in Russian).
10. Levanichev V.V. Razrabotka modeli dvizheniya raspava polimera v ekstrudere [Development of a model for the movement of polymer melt in an extruder]. Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij [East European Journal of Advanced Technologies]. 2015, vol.5, no. 5 (77), pp.7-13. (in Russian).

УДК 681.586

*Лихолат В.С., Манко Г.І.*

## ПІДВИЩЕННЯ РОБАСНОСТІ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

**ДВНЗ «Український держаний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна**

Стаття присвячена проблемам синтезу систем автоматичного регулювання, що забезпечують задовільну якість функціонування в умовах суттєвої невизначеності інформації про параметри об'єктів регулювання. Зауважено, що використання традиційних методів синтезу може призвести до того, що синтезована система не задовольняє поставленим до неї вимогам. Показана доцільність використання в таких умовах регуляторів, що використовують логіку нечітких множин. Вирішується задача синтезу нечіткого регулятора температури реактора полімеризації поліметилметакрилату. Синтезовані традиційний аналоговий пропорційно-інтегральний регулятор і нечіткий регулятор. Для нечіткого регулятора у пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи Matlab створена система нечіткого виводу, що використовує дві вхідні лінгвістичні змінні. Першою є помилка регулювання, другою – інтеграл цієї помилки. Для цих вхідних змінних і для виходу регулятора задані функції приналежності. Сформована база правил, яка для кожної комбінації значень вхідних змінних визначає найбільш правдоподібний терм вихідної змінної. Для порівняльного оцінювання синтезованих регуляторів створена Simulink-модель, яка включає обидва регулятори. Для визначення робасності регуляторів змінювались параметри об'єкта регулювання відносно тих, для яких розраховувались параметри налаштування. В результаті моделювання отримані перехідні процеси регуляторів для двох режимів – розрахункового і при суттєвих відхиленнях від розрахункових умов. Виявлено, що зміна параметрів об'єкта регулювання суттєво погіршує якість традиційного регулятора, тоді як якість нечіткого регулятора залишається задовільною. Тобто використання систем регулювання з використанням нечіткої логіки підвищує робасність управ-ління.

**Ключові слова:** Matlab, Simulink, лінгвістична змінна, нечіткий регулятор, ПІ-регулятор, система автоматичного регулювання, функції приналежності, якість регулювання.

**DOI:** 10.32434/2521-6406-2019-6-2-17-22

### *Постановка проблеми*

Традиційно в системах автоматичного регулювання (САР) параметрів хіміко-технологічних процесів (ХТП) використовують пропорційно-інтегральні (ПІ) або пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори. Проте їх використання пов'язане з низкою проблем.

По-перше, існуючі методи розрахунку налаштувань регуляторів не завжди забезпечують необхідну якість регулювання. Практика показує, що використання методу Копеловича іноді призводить до отримання нестійкої САР. Більш досконалі методи Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Chien-Hrones-Reswick хоч і забезпечують

стійкість, але часто не дають оптимальної якості регулювання. По-друге, наявність невизначеності, яка має місце при дослідженні технологічних процесів як об'єктів управління, призводить до того, що синтезована за усіма правилами САР може виявитись недієздатною в реальних умовах виробництва. Це викликає необхідність синтезу робасних САР, які якісно працюють при значних флуктуаціях параметрів ХТП.

### *Аналіз останніх досліджень і публікацій*

Питанням проектування систем управління в умовах невизначеності присвячена значна кількість наукових публікацій. Один з найбільш

повно опрацьованих підходів до вирішення завдання синтезу робасних систем використовує поняття систем з параметричною інтервальною невизначеністю [1]. У таких системах параметри задаються не числами, а діапазонами їх можливих значень – інтервалами. Аналіз і синтез інтервальних систем виконується шляхом дослідження поведінки системи при різних комбінаціях граничних значень параметрів.

Недоліком інтервальних методів є те, що вони не гарантують робасної стійкості і оптимальної якості управління.

Інший підхід до вирішення задач управління в умовах невизначеності – інформаційний пропонується у роботі [2]. Тут обґрунтовується доцільність використання інформаційної невизначеності в задачах ідентифікації об'єктів управління.

В.Я. Ротач [3] ствержує, що вирішити задачу синтезу САР недетермінованими об'єктами чисто формальними методами зазвичай взагалі не вдається – доводиться залучати, особливо на початковому етапі формування структур і алгоритмів функціонування регуляторів, думки досвідчених експертів. Замість методів теорії ймовірностей застосовуються методи теорії нечітких множин. Синтез нечітких регуляторів розглядається, наприклад, у роботах [4,5].

У статті [6] розглядається гібридна структура системи управління, яка поєднує в собі елементи традиційного і нечіткого управління. Тут запропонований уніфікований алгоритм синтезу статичної зворотного зв'язку по виходу, заснований на використанні апарату лінійних матричних нерівностей, для побудови внутрішнього «чіткого» і зовнішнього «нечіткого» контурів управління.

#### Формування цілей статті

Метою наших досліджень є порівняння робасності ПІ-регуляторів, синтезованих традиційним методом і з використанням нечіткої логіки при суттєвій невизначеності параметрів об'єкта регулювання.

#### Вклад основного матеріалу дослідження

Як об'єкт з невизначеними параметрами був вибраний реактор полімеризації поліметилметакрилату, математична модель якого описана у статті [7]. Стандартними методами для нього синтезований регулятор температури у реакторі.

Динаміка об'єкта надана аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W(s) = \frac{K_{об}}{T_{об} + 1} e^{-\tau s}, \quad (1)$$

де  $K_{об}=0,83$ ;  $T_{об}=1188$  с;  $\tau=59$  с.

Для такого об'єкта розраховані оптимальні налаштування ПІ-регулятора з передатною функцією

$$W(s) = K_p + \frac{1}{T_i s}, \quad (2)$$

де  $K_p=4,22$ ;  $T_i=140,86$  с.

Моделювання САР виконувалось у пакеті Simulink, в якості регулятора був використаний блок Fuzzy Logic Controller. Для виконання функцій ПІ-регулятора на вхід блока треба подати, крім сигналу помилки регулювання, ще й сигнал проінтегрованої помилки. Таким чином, система нечіткого виводу використовує дві вхідні лінгвістичні змінні E1 і E2 та одну вихідну U, що є напругою, яка подається на електронагрівач реактора.

Синтез нечіткого регулятора здійснюється у пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи Matlab. Використовується програма Fuzzy Logic Designer, яка запускається командою fuzzy.

У вікні Fuzzy Logic Designer у полі Name замінюється ім'я за замовчуванням input1 на E1. У меню Edit вікна вибирається опція Add variable – Input. Замінюється нове ім'я на E2. Треба також змінити ім'я вихідної величини. Для цього клацнути мишею по прямокутнику, під яким надпис output. У полі Name ставиться U. Зберігається нечітка система під ім'ям PI (комбінація клавіш Ctrl+S).

У меню Edit вікна програми вибирається опція Membership Function (функції приналежності). У вікні Membership Function Editor для входу E1 встановлюється діапазон значень Range, рівний [-5, 5]. Вводяться функції приналежності для цього входу згідно з рис. 1.

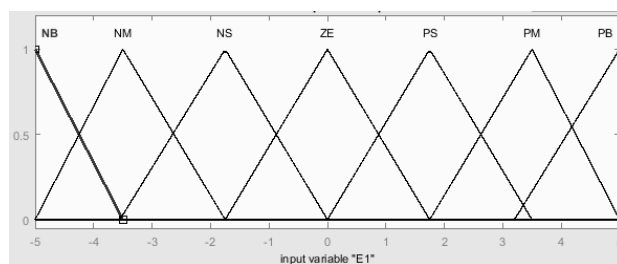


Рис. 1. Функції приналежності для входу E1

Термами лінгвістичних змінних були вибрані значення: NB – негативно велике, NM – негативно середнє, NS – негативно мале, ZE – близьке до нуля, PS – позитивно мале, PM – позитивно середнє, PB – позитивно ве-

лике. Відповідно треба ввести 7 функцій, що відповідають таким значенням входу.

Для вводу функцій в меню Edit вибрати опцію Add Custom MF, у вікні Custom Membership Function у полі MF name ввести ім'я функції приналежності, а у полі Parameter list – координати початку, середини і кінця графіка функції. Для функції NB ввести координати  $[-10, -5, -3.5]$  для NM –  $[-5, -3.5, -1.75]$  і так далі. Для функції PB ввести  $[3.5, 5, 10]$ .

У вікні Membership Function Editor вибирається вхід E2, встановлюється діапазон значень Range, рівний  $[-100, 100]$ , видаляються всі функції приналежності і вводяться заново згідно з рис. 2.

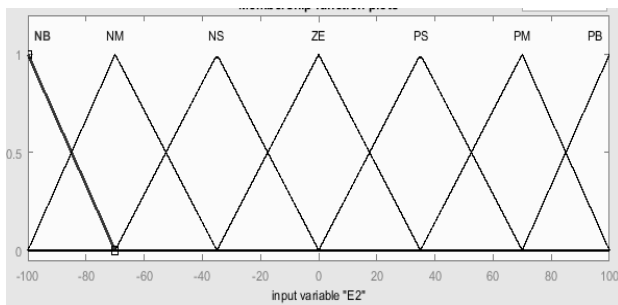


Рис. 2. Функції приналежності для входу E2

У вікні Membership Function Editor вибрати вихід U, встановити діапазон значень Range, рівний  $[0, 100]$ , видалити всі функції приналежності і ввести їх заново згідно з рис. 3.

Правила формування U в залежності від значень E1 і E2 наведені на рис. 4.

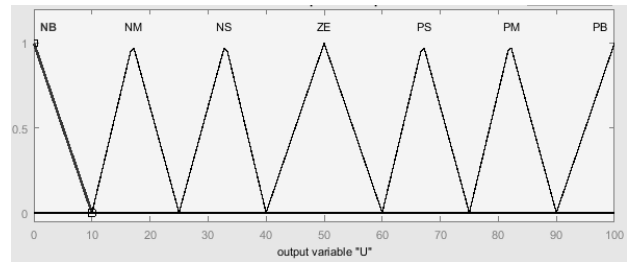


Рис. 3. Функції приналежності для виходу U

E2 \ E1	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Рис. 4. Правила логічного виводу

Правила формуються за принципом: якщо вхід E1 приймає значення з верхнього рядка таблиці, а вхід E2 приймає значення з лівого стовпчика, то вихід приймає значення, яке знаходиться на перехресті відповідного рядка і стовпчика. Наприклад:

if (E1 is NM) and (E2 is PS) then (U is NS).

Усього треба ввести  $7 \cdot 7 = 49$  правил.

Для введення правил у вікні Fuzzy Logic Designer у меню Edit вибирається опція Rules. У вікні Rule Editor з переліків значень входів E1 і E2, а також виходу U вибираються значення згідно з таблицею і тиснеться кнопка Add rule.

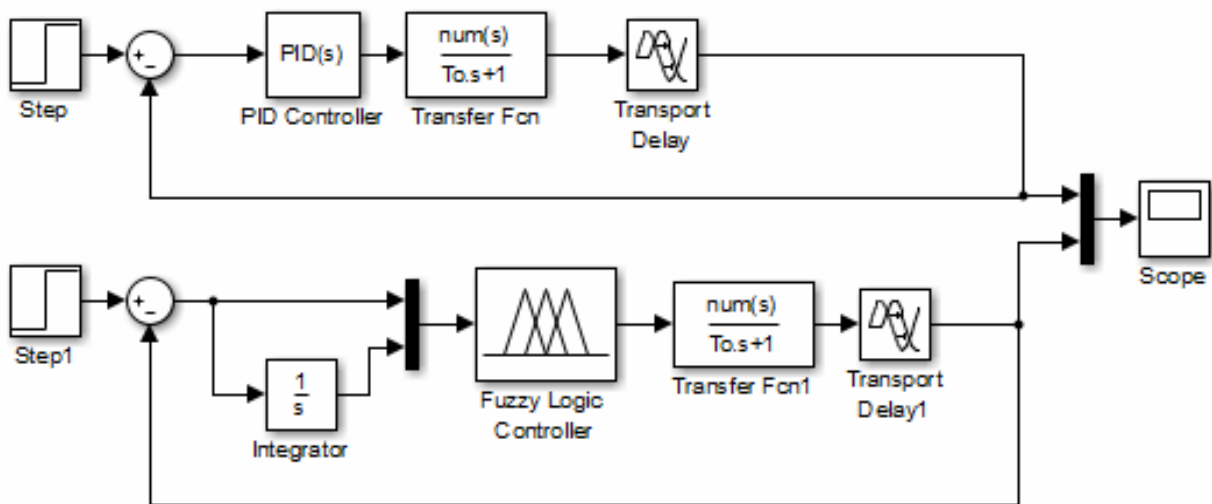


Рис. 5. Simulink-модель для дослідження регуляторів

Для порівняння роботи традиційної і нечіткої САР, створена Simulink-модель, яка включає обидва регулятори з виведенням виходів систем на один осцилограф (рис. 5).

Здійснено два сеанси моделювання. Перший при вищенаведених значеннях параметрів об'єкта (рис. 6), другий з відхиленнями значень параметрів (рис. 7). Суцільна лінія відповідає графіку перехідної функції традиційного аналогового регулятора, пунктирна – нечіткого регулятора.

Як бачимо, у першому випадку якість роботи традиційного регулятора вища, але при зміні параметрів об'єкта якість суттєво порушується. Збільшується перерегулювання, режим роботи приймає коливальний характер. В той же час робота нечіткої САР залишається достатньо якісною.

### Висновки

Виконане порівняння робастності систем регулювання, синтезованих традиційним методом і з використанням нечіткої логіки. Для порівняльного оцінювання синтезованих регуляторів створена Simulink-модель, яка включає обидва регулятори. Отримані перехідні процеси регуляторів для двох режимів – розрахункового і при суттєвих відхиленнях від розрахункових умов. Результати дослідження показали, що наявність невизначеності параметрів об'єкта регулювання впливає на якість роботи нечіткого регулятора значно менше у порівнянні з традиційним регулятором.

Таким чином, для забезпечення робастності в умовах суттєвої невизначеності параметрів об'єктів регулювання доцільно використовувати САР, що використовує нечітку логіку.

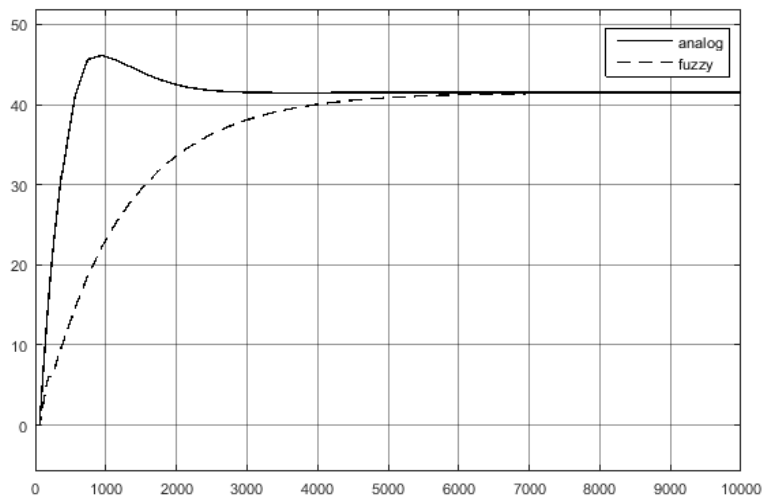


Рис. 6. Перехідні функції регуляторів при розрахункових умовах ( $K_0=0,83$ ;  $T_0=1188$ ;  $\tau=59$ )

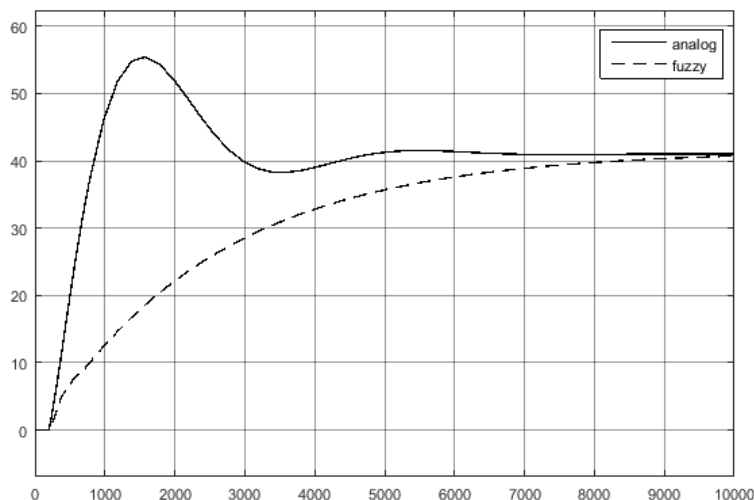


Рис. 7. Перехідні функції регуляторів при суттєвих відхиленнях від розрахункових умов ( $K_0=0,83$ ;  $T_0=2500$ ;  $\tau=200$ )

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Bhattacharyya S.P., Aniruddha Datla, Lee H. Keel.* Linear control theory : structure, robustness, and optimization. – Boca Raton: CRC Press, 2009. – 924 p.
2. *Manko G.I., Chistokletov E.P.* Use of information uncertainty in identification tasks // Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization. – 2019. – № 1 (5). – С.30–35. <https://doi.org/10.32434/2521-6406-2019-5-1-30-35>
3. *Ротач В.Я.* Теория автоматического управления: учебник для вузов, 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.
4. *Гостев В.И.* Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. – К.: «Радиоаматор», 2008. – 972 с.
5. *Штовба С.Д.* Проектирование нечетких систем средствами MatLab. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
6. *Комнацкая М.Н.* Синтез гибридной системы управления полетом с оптимальным гашением действующих на него возмущений // Проблеми інформатизації та управління. – 2015. – № 2 (50). – С.76–85. <https://doi.org/10.18372/2073-4751.2.8946>
7. *Вент Д.П., Лопатин А.Г., Брыков Б.А.* Исследование применения нечеткого регулятора в робастной системе управления // Вестник Международной Академии Системных Исследований. Информатика. Экология. Экономика. – 2017. – Т.19. – Ч.1. – С.3-12.

Надійшла до редакції 16.10.2019

### ПОВЫШЕНИЕ РОБАСТНОСТИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

*Лихолат В.С., Манко Г.И.*

Статья посвящена проблемам синтеза систем автоматического регулирования, обеспечивающих удовлетворительное качество функционирования в условиях существенной неопределенности информации о параметрах объектов регулирования. Замечено, что использование традиционных методов синтеза может привести к тому, что синтезированная система не удовлетворяет поставленным к ней требованиям. Показана целесообразность использования в таких условиях регуляторов, использующих логику нечетких множеств. Решается задача синтеза нечеткого регулятора температуры реактора полимеризации полиметилметакрилата. Синтезированы традиционный аналоговый пропорционально-интегральный регулятор и нечеткий регулятор. Для нечеткого регулятора в пакете Fuzzy Logic Toolbox системы Matlab создана система нечеткого вывода, использующего две входные лингвистические переменные. Первой является ошибка регулирования, второй – интеграл этой ошибки. Для этих входных переменных и для

выхода регулятора заданы функции принадлежности. Сформирована база правил, которая для каждой комбинации значений входных переменных определяет наиболее правдоподобный терм выходной переменной. Для сравнительной оценки синтезированных регуляторов создана Simulink-модель, которая включает оба регулятора. Для определения робастности регуляторов изменялись параметры объекта регулирования в отношении тех, для которых рассчитывались параметры настройки. В результате моделирования получены переходные процессы регуляторов для двух режимов – расчетного и при существенных отклонениях от расчетных условий. Выявлено, что изменение параметров объекта регулирования существенно ухудшает качество традиционного регулятора, тогда как качество нечеткого регулятора остается удовлетворительным. То есть использование систем регулирования с использованием нечеткой логики повышает робастность управления.

**Ключевые слова:** Matlab, Simulink, лингвистическая переменная, нечеткий регулятор, ПИ-регулятор, система автоматического регулирования, функции принадлежности, качество регулирования.

### INCREASING THE ROBUSTNESS OF REGULATION SYSTEMS USING FUZZY LOGIC

*Likholat V.S., Manko G.I.*

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The article is devoted to the problems of synthesis of automatic control systems, which provide satisfactory quality of functioning in the conditions of significant uncertainty of information about the parameters of control objects. It is noted that the use of traditional methods of synthesis can lead to the fact that the synthesized system does not meet its requirements. The expediency of using regulators based on logic of fuzzy sets in such conditions is shown. The problem of synthesis of fuzzy temperature controller of polymerization reactor of polymethyl methacrylate is solved. Traditional analog PI controller and fuzzy controller are synthesized. The fuzzy controller in the Matlab Fuzzy Logic Toolbox package has a fuzzy output system that uses two input linguistic variables. The first one is the regulation error, the second one is the integral of this error. These input variables and the controller output have accessory functions. A rule base that defines the most plausible term for the output variable for each combination of input variables is formed. For comparative evaluation of the synthesized regulators, a Simulink model was created, which includes both regulators. To determine the robustness of the controllers, the parameters of the control object were changed relative to those for which the adjustment parameters were calculated. As a result of the simulation, the transients of the controllers for the two modes are obtained – the calculated mode and the mode with significant deviations from the calculated conditions. It is found that changing the parameters of the control object significantly degrades the quality of the traditional controller, while the quality of the fuzzy controller remains satisfactory. That is, the use of control systems with fuzzy logic increases the robustness of control.

**Keywords:** Matlab, Simulink, linguistic variable, fuzzy controller, PI controller, automatic control system, membership functions, quality of regulation.

## REFERENCES

1. Bhattacharyya S.P., Aniruddha Datla, Lee H. Keel. *Linear control theory: structure, robustness, and optimization*. CRC Press, Boca Raton, 2009, 924 p.
2. Manko G.I., Chistokletov E.P. *Use of information uncertainty in identification tasks*. Komp'üterne modelüvannâ: analiz, upravlinnâ, optimizaciâ [*Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization*], 2019, No 1 (5), pp. 30–35. <https://doi.org/10.32434/2521-6406-2019-5-1-30-35>
3. Rotach V.Ja. *Teorija avtomaticheskogo upravljenja: uchebnik dlja vuzov* [Theory of automatic control: textbook for universities]. MEI Publishers, Moscow, 2008, 396 p. (*in Russian*).
4. Gostev V.I. *Nechetkii reguljatory v sistemah avtomaticheskogo upravljenja* [Fuzzy controllers in automatic control systems]. Radioamator, Kyiv, 2008, 972 p. (*in Russian*).
5. Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MatLab* [Designing fuzzy systems using MatLab]. Hot Line, Telekom, Moskva, 2007, 288 p. (*in Russian*).
6. Komnackaja M.N. *Sintez gibridnoj sistemy upravljenja poletom s optimal'nym gasheniem dejstvujushhij na nego vozmushhenij* [Synthesis of a hybrid flight control system with optimal damping of disturbances acting on it]. *Problemi informatizacii ta upravlinnja* [The problems of information and control]. 2015, no. 2 (50), pp.76-85. (*in Russian*). <https://doi.org/10.18372/2073-4751.2.8946>
7. Vent D.P., Lopatin A.G., Brykov B.A. *Issledovanie primenenija nechetkogo reguljatora v robastnoj sisteme upravljenja* [The study of the use of a fuzzy controller in a robust control system]. *Vestnik Mezhdunarodnoj Akademii Sistemnyh Issledovanij. Informatika. Jekologija. Jekonomika* [Bulletin of the International Academy of Systems Studies. Informatics. Ecology. Economics], 2017, vol.19, no. 1, pp.3-12. (*in Russian*).



УДК 681.3.06(07)

*Лосихин Д.А.***ОБМЕН ДАННЫМИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ С ВНЕШНЕЙ ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМОЙ ПАМЯТЬЮ ПО ДВУХПРОВОДНОМУ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМУ ИНТЕРФЕЙСУ С ПРОВЕРКОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ ПО АЛГОРИТМУ 8-БИТНОГО ЦИКЛИЧЕСКОГО ИЗБЫТОЧНОГО КОДА CRC-8/MAXIM**

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина

Статья посвящена организации последовательной связи между микроконтроллером и внешним программируемым постоянным запоминающим устройством с контролем целостности данных. Получение достоверной информации по информационно-измерительным каналам в системах автоматизации в большей мере обеспечивается интеллектуальными датчиками, основными аппаратными элементами которых являются первичные измерительные преобразователи, микроконтроллер, энергонезависимая память и интерфейсные модули. На программном уровне, вычислительные возможности микроконтроллера позволяют реализовать в интеллектуальных датчиках алгоритмы первичной обработки информации, диагностического самоконтроля и алгоритмы адаптации к изменяющимся внешним воздействиям. Во внешней энергонезависимой памяти при этом находятся данные калибровки для коррекции погрешности измерения, параметры алгоритма самовосстановления при возникновении единичного дефекта, параметры алгоритмов самообучения. Однако риск получения недостоверного результата измерения зависит и от состояния самих аппаратных средств интеллектуального датчика, в частности, от выносливости энергонезависимой памяти, и от ошибок передачи данных по цифровым интерфейсным каналам, в частности, по последовательному интерфейсу связи между микроконтроллером и энергонезависимой памятью. Для повышения надёжности передачи и хранения данных в носителях информации применяется избыточное кодирование с использованием схем и алгоритмов вычисления циклического избыточного кода (CRC). Поддержку вычисления CRC на аппаратном уровне обеспечивают не все микросхемы энергонезависимой памяти, да и микроконтроллеры, к сожалению, не имеют таких аппаратных кодеров контроля ошибок в потоке последовательных данных. Разрешение проблемы на программном уровне рассматривается на примере обмена данными микроконтроллера ATmega328p (Microchip Technology Inc.) с внешней энергонезависимой памятью AT24C04C/AT24C08C (Microchip Technology Inc.) по двухпроводному последовательному интерфейсу I2C (Two-Wire) с проверкой целостности по алгоритму 8-и битного циклического избыточного кода CRC-8 (Maxim Integrated); разработаны соответствующие библиотеки функций на языке C и тестовая программа; код проверен на реальных устройствах.

**Ключевые слова:** измерительная система, интеллектуальный датчик, микроконтроллер, внешнее электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство, последовательная синхронная асимметричная шина связи интегральных микросхем, контроль целостности данных, циклический избыточный код, программирование на языке C.

DOI: 10.32434/2521-6406-2019-6-2-23-34

### **Анализ литературных данных и постановка проблемы**

Хранение данных во внешней электрически стираемой энергонезависимой памяти сопряжено с выносливостью микросхем памяти, отчасти зависящей от производителя, отчасти от условий эксплуатации. Также, возможны ошибки программиста при организации взаимодействия микроконтроллеров с модификациями микросхем внешней памяти по соответствующему техническому описанию.

Связь с микросхемами электрически стираемой перепрограммируемой постоянной памяти (ЭСППЗУ; EEPROM) организована производителями микросхем на основе последовательных интерфейсов: 1-Wire (Dallas Semiconductor – Maxim Integrated); CAN (Robert Bosch GmbH); I2C (Philips Semiconductors – NXP Semiconductors), Microwire (National Semiconductor – Texas Instruments Incorporated), SPI (Atmel – Microchip Technology Inc.), и др. [1]. Каждый из интерфейсов обладает особенностями, позволяющими эффективно решать поставленную задачу взаимодействия компонентов измерительных систем в информационно-управляющих системах.

Отличительной особенностью однопроводного интерфейса последовательной EEPROM Maxim 1-Wire является наличие функции CRC (Cyclic redundancy check) проверки целостности данных на аппаратном уровне. Например, встроенная в аппаратные средства функция 8-битной проверки, представленная схемой сдвигового регистра с обратными связями (рис. 1), используется для проверки уникального 64-битного ROM кода, записанного в каждом 1-Wire устройстве [2]. Значение CRC вычисляется для 56 бит ROM кода и записывается в его самый старший байт.

При чтении данных по протоколу 1-Wire, ведущее устройство реализует аналогичную функцию CRC проверки целостности данных на программном уровне, сравнивая эталонное и расчётное значения CRC для принятых данных.

С учётом того, что двухпроводная шина I2C

не предназначена для удалённой связи устройств, последовательная I2C-совместимая EEPROM у разных производителей не имеет аппаратную функцию проверки целостности данных. Однако, возможны структуры измерительных систем, в которых интеллектуальный датчик, и его основные составные модули: первичные измерительные преобразователи, микроконтроллер и внешняя память находятся в условиях влияния значительных внешних помех, и значения измеряемого параметра обрабатываются микроконтроллером с учётом констант или переменных из внешней I2C-совместимой EEPROM. И хотя целостность данных в I2C устройствах поддерживается встроенными фильтрами для подавления помех [3], всё же, для повышения надёжности передачи и хранения информации необходима проверка целостности данных, которую можно обеспечить на программном уровне.

### **Формулирование целей статьи**

Обеспечить проверку целостности данных при обмене информацией микроконтроллера и внешней электрически стираемой перепрограммируемой постоянной памятью по двухпроводному последовательному интерфейсу на уровне приложения.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- организовать взаимодействие между микроконтроллером (ведущее устройство) и ЭСППЗУ (ведомое устройство) с контролем целостности вещественных переменных;
- разработать программное обеспечение на примере взаимодействия AVR-микроконтроллера ATmega328p [4] и стандартной I2C-совместимой EEPROM AT24C04C [5].

### **Изложение основного материала исследования**

Взаимодействие между микроконтроллером и внешней EEPROM с контролем целостности вещественных переменных на уровне приложения осуществляется через буфер объединения типов данных в оперативной памяти (RAM) микроконтроллера. Буфер предоставляет в памяти RAM одно и то же пространство для ве-

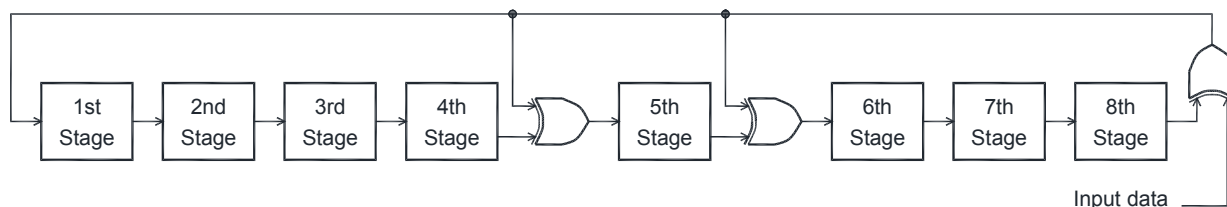


Рис. 1. Maxim 1-Wire 8-битный CRC

щественной переменной типа float (m=4 байта), беззнаковой целой переменной типа unsigned int (m=4 байта) и массиву из 5-ти беззнаковых целых элементов типа byte (m+1=5 байт) [6].

При записи вещественной переменной во внешнюю EEPROM (рис. 2), из RAM вещественная переменная типа float записывается в буфер RAM buffer; по ссылке на эту область памяти создается копия беззнаковой целой переменной uint. По ссылке на копию беззнаковой целой переменной uint имеем доступ к каждому байту этой переменной. Последовательность этих байт используется в функции расчёта 8-битного CRC, который помещается в последний байт буфера RAM buffer. Затем, из буфера, в соответствии с протоколом обмена I2C [4,5], данные data bytes и значение CRC, через соответствующий порт ввода/вывода I/O, последовательно от младшего байта к старшему, записываются по заданному адресу во внешнюю память external EEPROM.

Чтение байт данных и 8-битного значения CRC из внешней EEPROM по протоколу обмена I2C происходит в том же порядке, что и при записи (рис. 3). Считываемые данные data bytes и CRC помещаются в буфер RAM buffer; по ссылке на эту область памяти создается копия беззнаковой целой переменной uint. По ссылке на копию беззнаковой целой переменной uint имеем доступ к каждому байту этой переменной. Последовательность этих байт используется в функции расчёта и проверки 8-битного CRC, который сравнивается с последним байтом буфера RAM buffer; в случае их равенства функция возвращает значение флага flag равным нулю, что указывает на целостность принятых данных.

Дальнейшие действия в программе должны быть переданы управляющему оператору ветвления или оператору цикла с проверкой условия равенства нулю значения флага flag; если значение флага равно нулю, из буфера RAM buffer считывается проверенное значение вещественной переменной; если флаг не равен нулю, то целостность данных не подтверждается и возможно организовать повторное считывание данных из внешней EEPROM по этому же адресу. В тестовой программе (листинг 1) в коммуникационный порт выводятся рассчитанные значения CRC перед записью вещественной переменной во внешнюю EEPROM и значение флага после чтения вещественной переменной из внешней EEPROM по одному адресу.

Функции расчёта и проверки 8-битного CRC: calc CRC и check CRC основаны на математической модели циклического избыточного контроля [7].

Контрольные биты определяются, как двоичный код полинома R(x) остатка от деления в поле Галуа GF(2) полинома исходных данных M(x) степени <n , умноженного на x<sup>n</sup>, на порождающий полином G(x) степени n:

$$M(x) \cdot x^n = G(x) \cdot Q(x) + R(x), \tag{1}$$

где Q(x) – частное от деления полинома.

Для расчёта CRC-8/MAXIM следует учесть спецификации:

- число избыточных бит, n=8;
- отражённый, т.е. обратный порядок представления входных данных и результата;
- порождающий полином, G(x)=x<sup>8</sup>+x<sup>5</sup>+x<sup>4</sup>+1;
- начальное значение CRC равно

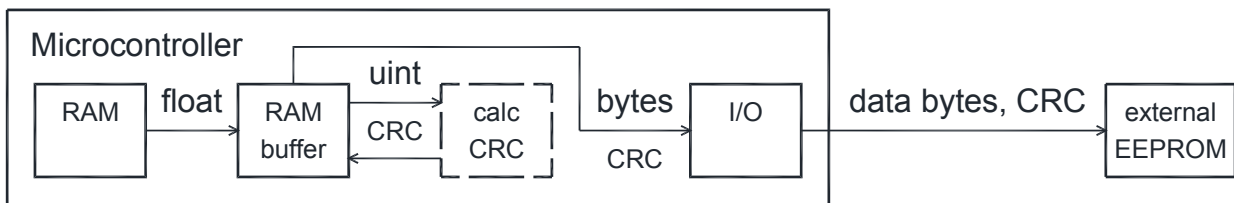


Рис. 2. Запись вещественной переменной во внешнюю EEPROM

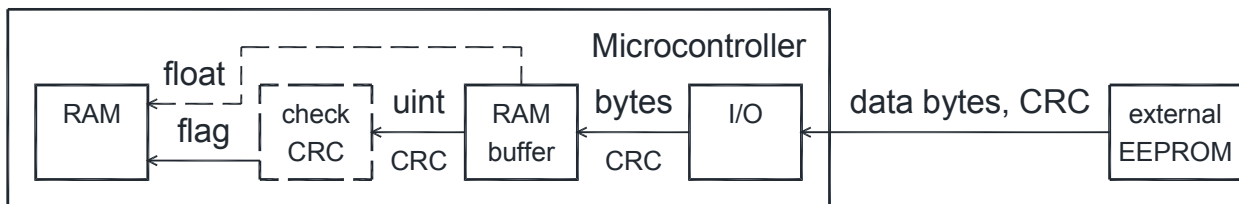


Рис. 3. Чтение вещественной переменной из внешней EEPROM

$R_0(x)=0x00$  (при алгоритмизации).

Пусть задан полином исходных данных, например,  $M(x)=x^7+x^6+x^5+x^3+x^2$ , и отражённый полином равен  $M(x)=\text{refl}[M(x)]=x^5+x^4+x^2+x+1$ . В этом случае, расчёт полинома CRC-8/MAXIM можно представить в виде:

$$\frac{x^{13} + x^{12} + x^{10} + x^9 + x^8}{x^8 + x^5 + x^4 + 1} = (x^5 + x^4 + x) + (x^6 + x^4 + x). \quad (2)$$

В результате расчёта (2) получаем в остатке отражённый полином  $R(x)=x^6+x^4+x$ , и, окончательно, полином CRC  $R(x)=\text{refl}[R(x)]=x^6+x^3+x$ .

Такой же результат, получим при делении двоичных кодов в поле Галуа GF(2), табл. 1.

Последовательная схема (рис. 1), деления двоичного кода исходных данных в регистре CRC на двоичный код полинома  $G(x)=x^8+x^5+x^4+1$  решает эту задачу на аппаратном уровне. На программном уровне задача решается аналогично с использованием разработанных библиотечных функций (листинги 2–7).

#### Выводы

В приведенном здесь решении вычисляется 8-битный CRC для вещественной переменной, занимающей в памяти 4 байта. Избыточность кодирования составляет 0,2, а эффективное использование пространства EEPROM составляет 75% с учётом 16-байтной страничной адресации памяти.

С целью более надёжного контроля целостности данных можно вычислять 8-битный CRC

Таблица 1

Расчёт значения CRC-8/MAXIM

Этапы цикла	Позиция бита	F	E	D	C	B	A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	Исходные данные									1	1	1	0	1	1	0	0
0	Отражение исходных данных и умножение на $x^8$	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Сдвиг данных в регистре CRC, (рис. 1), и XOR с порождающим полиномом			1	0	0	1	1	0	0	0	1					
2	Результат XOR в регистре CRC			0	1	0	0	0	1	0	0	1					
1	Сдвиг и XOR				1	0	0	1	1	0	0	0	1				
2	Результат XOR				0	0	0	1	0	0	0	1	1				
1	Сдвиг и XOR							1	0	0	1	1	0	0	0	1	
2	Результат XOR							0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
3	Отражение результата в регистре CRC									0	1	0	0	1	0	1	0

Таблица 2

Результаты расчёта CRC для некоторых вариантов исходных данных

Значение переменной типа float	Расчётное значение CRC-8/MAXIM	Содержимое буфера обмена перед записью в EEPROM	Тестовое содержимое буфера обмена после записи в EEPROM	Содержимое буфера обмена после чтения из EEPROM	Значение флага целостности считанных данных из EEPROM
3,1415	0x4A	0x56 0x0E 0x49 0x40 0x4A	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00	0x56 0x0E 0x49 0x40 0x4A	0x00
6,2831	0x73	0x28 0x0F 0xC9 0x40 0x73	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00	0x28 0x0F 0xC9 0x40 0x73	0x00
0,61803	0xA5	0x37 0x37 0x1E 0x3F 0xA5	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00	0x37 0x37 0x1E 0x3F 0xA5	0x00
1,4142	0xCA	0x81 0x04 0xB5 0x3F 0xCA	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00	0x81 0x04 0xB5 0x3F 0xCA	0x00
2,1782	0x9C	0xA1 0x67 0x0B 0x40 0x9C	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00	0xA1 0x67 0x0B 0x40 0x9C	0x00

**Результаты расчёта**

Листинг 1

**Основная тестовая программа «lda\_lab\_AT24C04\_main.c»**

```

#define F_CPU 16000000UL // Рабочая частота AVR-микроконтроллера
#include <avr/io.h>
#include <stdint.h>
#include "lda_lab_UART.h" // Заголовочный файл библиотеки UART
#include "lda_lab_i2c.h" // Заголовочный файл библиотеки I2C
#include "lda_lab_AT24C04.h" // Заголовочный файл библиотеки EEPROM AT24C04C
// Буфер обмена информацией с внешней EEPROM
float2bytes_t *var;
// Адрес памяти данных внешней EEPROM.
// Выбор произвольный в пределах допустимого пространства памяти;
// здесь выбран последний возможный адрес в EEPROM AT24C04C
// (device address 0x50) для переменной типа float2bytes_t
uint8_t adress = 0xFB;
int main(void){
    USART_Init(); // Инициализация модуля USART
    initI2C(); // Инициализация модуля TWI
    uint8_t crcf; // Расчётное значение crc-8-maxim
    uint8_t crc_flag; // Флаг целостности данных (0x00 – подтверждение целостности)
    float arr[6] = {0}; // Массив (n+1) тестовых исходных данных (n) для записи/чтения
    // Варианты тестовых исходных данных сличены с расчётом в приложении на сайте:
    // https://gregstoll.com/~gregstoll/floattohex/
    arr[0] = 3.1415; // 0x40490E56
    arr[1] = 6.2831; // 0x40c90f28
    arr[2] = 0.61803; // 0x3f1e3737
    arr[3] = 1.4142; // 0x3fb50481
    arr[4] = 2.1782; // 0x400b67a1
    // Основные выражения программы далее пронумерованы в комментариях:
    // 1. Вычисляем CRC вещественного числа по адресу (arr+4) и помещаем результат в буфер var
    crcf = crc_8_maxim(arr+4);
    // Тест. Вывод численного значения CRC на консоль
    print_byte_HEX(crcf);
    // 2. Записываем в EEPROM вещественное число – 4 байта и CRC – 1 байт
    five_reg_w(ADDRESS_W_AT24C04_0x50, adress, var);
    // даём время EEPROM (зависит от производителя устройства) привести себя в порядок
    _delay_ms(15);
    // 3. Считываем из внешней EEPROM вещественное число и CRC в буфер var
    five_reg_r(ADDRESS_W_AT24C04_0x50, ADDRESS_R_AT24C04_0x50, adress, var);
    // 4. Проводим проверку на целостность считанных из внешней EEPROM данных;
    crc_flag = crc_8_maxim_check(var);
    // выводим на консоль значение флага:
    print_byte_HEX(crc_flag);
    return;
}

```

**Библиотека «lda\_lab\_AT24C04.c» функций взаимодействия микроконтроллера с внешней энергонезависимой I2C-совместимой EEPROM AT24C04/AT24C08**

```

#include <stdint.h>
#include "lda_lab_AT24C04.h"
#include "lda_lab_i2c.h"
extern float2bytes_t *var;
void five_reg_w(uint8_t dev_w_address, uint8_t reg_address, float2bytes_t* data){
    startI2C();
    sendI2C(dev_w_address); //ADDRESS_W_AT24C04_0x50
    sendI2C(reg_address);
    sendI2C(data->b[0]);
    sendI2C(data->b[1]);
    sendI2C(data->b[2]);
    sendI2C(data->b[3]);
    sendI2C(data->b[4]);
    stopI2C();
}
void five_reg_r(uint8_t dev_w_address, uint8_t dev_r_address, uint8_t reg_address, float2bytes_t* data){
    startI2C();
    sendI2C(dev_w_address); //ADDRESS_W_AT24C04_0x50
    sendI2C(reg_address);
    startI2C();
    sendI2C(dev_r_address); //ADDRESS_R_AT24C04_0x50
    data->b[0] = readACKI2C();
    data->b[1] = readACKI2C();
    data->b[2] = readACKI2C();
    data->b[3] = readACKI2C();
    data->b[4] = readNACKI2C();
    stopI2C();
}
uint8_t crc_8_maxim(float *arr){ //arr: область видимости main
    uint8_t n = 8; //bits
    uint8_t m = 4; //sizeof(float)
    int i, j;
    uint8_t lsb = 0;
    uint8_t crc = 0;

    var = (float2bytes_t *)arr; //var: глобальная переменная
    float2bytes_t r; //r: локальная переменная
    r.b4 = var->b4; //
    for(j = 0; j < m; j++){
        crc ^= r.b[j];
        for(i = 0; i < n; i++){
            lsb = crc & 1; //передвигаем 8-битное окно на младший байт и определяем LSB
            crc >>= 1;
            if(lsb) crc ^= POLINOM; //глобальная константа
        }
        r.b[j] = crc;
    }
    return var->b[4] = crc; //записываем crc в пятый байт глобальной переменной типа float2bytes_t
}
uint8_t crc_8_maxim_check(float2bytes_t *var){ //var: глобальная переменная
    uint8_t n = 8; //bits
    uint8_t m = 4; //bytes: sizeof(float)
    int i, j;
    uint8_t lsb = 0;
    uint8_t crc = 0;
    float2bytes_t r; //r: локальная переменная
    r.b4 = var->b4;
    for(j = 0; j < m; j++){
        crc ^= r.b[j];
        for(i = 0; i < n; i++){
            lsb = crc & 1; //передвигаем 8-битное окно на младший байт и определяем LSB
            crc >>= 1;
            if(lsb) crc ^= POLINOM; //глобальная константа
        }
        r.b[j] = crc;
    }
    return var->b[4] != crc;
}

```

## Заголовочный файл библиотеки «lda\_lab\_AT24C04.h»

```

#include <stdint.h>
//полиномиальная функция для crc-8-maxim
#define POLINOM 0b10001100
#define float2bytes_t union float_to_bytes
// Адреса AT24C04C, [2] – 6.1.1 AT24C04C Device Addressing,
// на чтение:
#define ADDRESS_R_AT24C04_0x50 0b10100001 // 1010 – Device Address
// 00 – hardwired device address
// 00 – Most Significant Bit of the Word Address
// 1 – R/W Select bit
#define ADDRESS_R_AT24C04_0x51 0b10100011 // 1010 – Device Address
// 00 – hardwired device address
// 01 – Most Significant Bit of the Word Address
// 1 – R/W Select bit

// на запись:
#define ADDRESS_W_AT24C04_0x50 0b10100000 // 1010 – Device Address
// 00 – hardwired device address
// 00 – Most Significant Bit of the Word Address
// 0 – R/W Select bit
#define ADDRESS_W_AT24C04_0x51 0b10100010 // 1010 – Device Address
// 00 – hardwired device address
// 01 – Most Significant Bit of the Word Address
// 0 – R/W Select bit

// Тип буфера обмена данными с внешней EEPROM
float2bytes_t {
    float fb;
    uint32_t b4;
    uint8_t b[5];
};
// ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ОБМЕНА ДАННЫМИ с EEPROM AT24C04C по I2C
//-----
// Запись в пять регистров AT24C04C, fig. 7-2
// 7.2 Page Write (написал, проверил)
void five_reg_w(uint8_t dev_w_address, uint8_t reg_address, float2bytes_t* data);
//-----
// Чтение пяти регистров из AT24C04C, fig. 8-3
// 8.3 Sequential Read (написал, проверил)
void five_reg_r(uint8_t dev_w_address, uint8_t dev_r_address, uint8_t reg_address, float2bytes_t* data);
//-----
// ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ CRC-8-MAXIM в EEPROM AT24C04C
//-----
// Функция вычисляет и возвращает значение crc-8-maxim:
uint8_t crc_8_maxim(float *arr);
//-----
// Проверка crc-8-maxim; функция возвращает значение флага проверки:
uint8_t crc_8_maxim_check(float2bytes_t *var);
//-----

```

## Библиотека «lda\_lab\_i2c.c» функций взаимодействия AVR-микроконтроллера с периферией по шине I2C

```
#include <avr/io.h>
#include "lda_lab_i2c.h"
void initI2C(){
    TWBR = (F_CPU/F_SCL-16)/2/PRESCALER_TWI;
    //пределитель PrescalerValue = 4
    TWSR &= ~(1<< TWPS1);
    TWSR |= (1<< TWPS0);
    //или по умолчанию PrescalerValue =1
    //TWSR &= ~(1<<TWPS1)&~ (1<<TWPS0);
    //разрешаем функционирование TWI
    TWCR |= (1<<TWEN)|(1<<TWIE);
}
void waitForCompleteI2C(void) {
    while(~TWCR&(1<<TWINT)); //ждём пока не появится 1
}
void startI2C(void) {
    TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN)|(1<<TWSTA);
    waitForCompleteI2C();
}
void stopI2C(void) {
    TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN)|(1<<TWSTO);
}
uint8_t readACKI2C(void) {
    TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN)|(1<<TWEA);
    waitForCompleteI2C();
    return (TWDR);
}
uint8_t readNACKI2C(void) {
    TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN);
    //TWCR &= ~(1<<TWEA); //необязательно
    waitForCompleteI2C();
    return (TWDR);
}
void sendI2C(uint8_t data) {
    TWDR = data;
    TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN);
    waitForCompleteI2C();
}
```



## Заголовочный файл библиотеки «lda\_lab\_i2c.h»

```
#include <avr/io.h>
#ifndef F_CPU
// Рабочая частота контроллера, Гц
#define F_CPU 16000000UL
#endif
// Частота обмена информацией по I2C, Гц
#define F_SCL 100000
// Предделитель, [2] – 26.5.2. Bit Rate Generator Unit
#define PRESCALER_TWI 4
// ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ИНТЕРФЕЙСА I2C
//-----
// Инициализация скорости шины 100 кГц (F_CPU = 16 МГц)
void initI2C(void);
//-----
// Ждать, пока устройство установит TWINT флаг
void waitForCompleteI2C(void);
//-----
// Отправить старт-условие (устанавливаем TWSTA)
void startI2C(void);
//-----
// Отправить стоп-условие (устанавливаем TWSTO)
void stopI2C(void);
//-----
// Загрузить данные, отправить их, и ждать завершения
void sendI2C(uint8_t data);
//-----
// Считать от ведомого, передать ACK по завершению (установить TWEA)
uint8_t readACKI2C(void);
//-----
// Считать от ведомого, передать NOACK по завершению (не устанавливать TWEA)
uint8_t readNACKI2C(void);
//-----
```

Листинг 6

Библиотека «*Ida\_lab\_UART.c*» функций взаимодействия AVR-микроконтроллера с периферией по стандартному последовательному коммуникационному протоколу

```
#include "Ida_lab_UART.h"
void USART_Init(void) {
    UBRR0H = UBRR_VALUE >> 8;
    UBRR0L = UBRR_VALUE;
    UCSR0B |= (1<<TXEN0)|(1<<RXEN0);
    UCSR0C &= ~(1<<USBS0); // один стоп-бит
    UCSR0C &= ~(1<<UPM01)&~(1<<UPM00); //Нет проверки на чётность
    UCSR0C &= ~(1<<UMSEL01)&~(1<<UMSEL00)&~(1<<UCPOL0); //асинхронный режим
    UCSR0C |= (1<<UCSZ01)|(1<<UCSZ00); //Устанавливаем формат данных: 8 бит
    UCSR0B &= ~(1<<UCSZ02); //Устанавливаем формат данных: 8 бит
}
void USART_Transmit(uint8_t ch) {
    while(!(UCSR0A & (1 << UDRE0))); // Ожидаем когда очистится буфер передачи
    UDR0 = ch; // Помещаем данные в буфер, начинаем передачу
}
uint8_t USART_Receive(void) {
    while (!(UCSR0A & (1 << RXC0))); //ждём пока появятся новые данные
    return UDR0;
}
void print_byte_HEX(uint8_t data){
    uint8_t tmp = 0;
    tmp = (data >> 4);
    if(tmp > 9)
        USART_Transmit( tmp + 0x37 );
    else USART_Transmit( tmp + 0x30 );
    tmp = (data & 0x0f);
    if(tmp > 9)
        USART_Transmit( tmp + 0x37 );
    else USART_Transmit( tmp + 0x30 );
    USART_Transmit( 0x0A );
    USART_Transmit( 0x0D );
    return;
}
```

Листинг 7

Заголовочный файл библиотеки «*Ida\_lab\_UART.h*»

```
#include <avr/io.h>
#ifndef F_CPU
#define F_CPU 16000000UL // Рабочая частота контроллера
#endif
#define BAUD_RATE 9600UL
#define UBRR_VALUE ((F_CPU/(16*BAUD_RATE))-1)
// ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ UART
//-----
// Инициализация модуля AVR USART
void USART_Init(void);
//-----
// Функция передачи байта
void USART_Transmit(uint8_t ch);
//-----
// Функция приёма байта
unsigned char USART_Receive(void);
//-----
// Функция выводит символы в кодировке ASCII через USART в COM-порт
void print_byte_HEX(uint8_t data);
//-----
```

для каждого байта вещественной переменной. При этом избыточность кодирования увеличится и будет равна 0,5, но приблизительно в два раза увеличится время записи/чтения данных EEPROM, а эффективное использование пространства EEPROM уменьшится до 50%.

Вычисление 16-битного значения CRC так же приведёт к усложнению алгоритма расчёта, при этом избыточность кодирования увеличится и будет равна 0,33, а эффективное использование пространства EEPROM уменьшится до 50%.

Результаты расчёта по тестовым исходным данным подтверждают верное решение поставленной задачи. Разработанные библиотечные функции (листинг 2–7) могут быть применены конкретно для микросхем памяти AT24C04C/AT24C08C, и использованы, как шаблоны, для других модификаций EEPROM AT24C, поддерживающих двухпроводной последовательный интерфейс I2C, с учетом соответствующих организаций карт памяти и адресации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапин А.А. Интерфейсы. Выбор и реализация. — М.: Техносфера, 2005. — 168 с.
2. Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim 1-Wire and iButton Products (URL: <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN27.pdf>).
3. Интерфейсы периферийных устройств / А.О. Ключев, Д.Р. Ковязина., Е.В. Петров, А.Е. Платунов. — СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. — 290 с.
4. ATmega328P. DATASHEET (URL: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)).
5. AT24C04C and AT24C08C. DATASHEET (URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-8787-seeeprom-at24c04c-08c-datasheet.pdf>).
6. Chopra R. C Programming: A Self-Teaching Introduction. New Delhi // New Age International Publishers, 2018.
7. Авдеев В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование. — М.: ДМК Пресс, 2009. — 848 с.

Поступила в редакцию 13.11.2019

## ОБМІН ДАНИМИ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ З ЗОВНІШНЬОЮ НЕЗАЛЕЖНОЮ ПАМ'ЯТТЮ ПО ДВОПРОВІДНОМУ ПОСЛІДОВНОМУ ІНТЕРФЕЙСУ З ПЕРЕВІРКОЮ ЦІЛІСНОСТІ ЗА АЛГОРИТМОМ 8-БІТНОГО ЦИКЛІЧНОГО НАДЛИШКОВОГО КОДУ CRC-8/MAXIM

Лосісін Д.А.

Стаття присвячена організації послідовного зв'язку між мікроконтролером і зовнішнім програмувальним постійним запам'ятовувачим пристроєм з контролем цілісності даних. Отримання достовірної інформації з інформаційно-вимірювальних каналів в системах автоматизації в більшою мірою забезпечується інтелектуальними датчиками, основними апаратними елементами яких є первинні вимірювальні перетворювачі, мікроконтролер, енергонезалежна пам'ять та їх інтерфейсні компоненти. На програмному рівні, обчислювальні можливості мікроконтролера дозволяють реалізувати в інтелектуальних датчиках алгоритми первинної обробки інформації, діагностичного самоконтролю і алгоритми адаптації до постійно змінюваних зовнішніх впливів. У зовнішній незалежній пам'яті при цьому знаходяться дані калібрування для корекції похибки вимірювання, параметри алгоритму самовідновлення при виникненні одиничного дефекту, параметри алгоритмів самонавчання. Однак ризик отримання недостовірному результату вимірювання залежить також і від стану самих апаратних засобів інтелектуального датчика, зокрема, від витривалості енергонезалежної пам'яті, і від помилок передачі даних з цифрових інтерфейсних каналах, зокрема, по послідовному інтерфейсу зв'язку між мікроконтролером і енергонезалежною пам'яттю. Для підвищення надійності передачі і зберігання даних в носіях інформації застосовується надлишкове кодування з використанням схем і алгоритмів обчислення циклічного надлишкового коду (CRC). Підтримку обчислення CRC на апаратному рівні забезпечують не всі мікросхеми енергонезалежної пам'яті, та й мікроконтролери, на жаль, не мають таких апаратних кодерів контролю помилок в потоці послідовних даних. Вирішення проблеми на програмному рівні розглядається на прикладі обміну даними мікроконтролера ATmega328p (Microchip Technology Inc.) з зовнішньою енергонезалежною пам'яттю AT24C04C/AT24C08C (Microchip Technology Inc.) по двопровідному послідовному інтерфейсу I2C (Two-Wire) з перевіркою цілісності за алгоритмом 8-бітного циклічного надлишкового коду CRC-8 (Maxim Integrated); розроблені відповідні бібліотеки функцій на мові C і тестова програма; код перевірений на реальних пристроях.

**Ключові слова:** вимірювальна система, інтелектуальний датчик, мікроконтролер, зовнішній постійний запам'ятовувальний пристрій, що програмується за допомогою електрики, послідовна синхронна асиметрична шина зв'язку інтегральних мікросхем, контроль цілісності даних, циклічний надлишковий код, програмування на мові C.

**DATA EXCHANGE IN MICROCONTROLLERS WITH EXTERNAL ENERGY INDEPENDENT MEMORY ON TWO-WIRE SEQUENTIAL INTERFACE WITH INTEGRITY CHECK USING THE CRC-8/MAXIM CYCLIC REDUNDANCY CHECK ALGORITHM**

*Losikhin D.A.*

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

*The article is devoted to the organization of serial communication between the microcontroller and an external programmable read-only memory device with data integrity control. Obtaining reliable information on information-measuring channels in automation systems is largely provided by intelligent sensors, the main hardware elements of which are primary measuring transducers, a microcontroller, non-volatile memory and their interface components. At the software level, the computing capabilities of a microcontroller make it possible to implement algorithms for the primary processing of information, diagnostic self-monitoring and algorithms for adapting to changing external influences in smart sensors. In this case, calibration data for correction of the measurement error, parameters of the self-healing algorithm when a single defect occurs, parameters of self-learning algorithms are located in the external non-volatile memory. However, the risk of obtaining an unreliable measurement result also depends on the state of hardware of a smart sensor itself, in particular, on the endurance of non-volatile memory, and on data transmission errors on digital interface channels, in particular, on a serial communication interface between microcontroller and non-volatile memory. To increase the reliability of data transmission and storage in information carriers, redundant coding is applied using schemes and algorithms for calculating cyclic redundant code (CRC). Support for CRC calculations at the hardware level is not provided by all non-volatile memory microcircuits, and microcontrollers, unfortunately, do not have such hardware error control encoders in serial data stream. The solution to the problem at the software level is examined using an example of data exchange between the ATmega328p microcontroller (Microchip Technology Inc.) and the external non-volatile memory AT24C04C/AT24C08C (Microchip Technology Inc.) via the I2C two-wire serial interface with integrity checking using the 8-bit algorithm CRC-8 cyclic redundancy code (Maxim Integrated). A corresponding library of functions in C language and a test program have been developed. The developed code is verified on real devices.*

**Keywords:** measuring system, smart sensor, microcontroller, external electrically erasable programmable read-only memory, serial synchronous asymmetric communication bus of integrated circuits, data integrity control, cyclic redundancy code, C programming.

**REFERENCES**

1. Lapin A.A. *Interfejsy. Vybór i realizatsiya* [Interfaces. Selection and implementation]. Moskva: Tekhnosfera, 2005, 168 p. (in Russian).
2. Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim 1-Wire and iButton Products (URL: <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN27.pdf>).
3. Klyuchev A.O., Kovyazina D.R., Petrov E.V., Platonov A.E. *Interfejsy periferiyinykh ustroystv*. [Peripheral Interfaces]. SPb.: SPbGU ITMO, 2010, 290 p. (in Russian).
4. ATmega328P. DATASHEET (URL: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)).
5. AT24C04C and AT24C08C. DATASHEET (URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-8787-seeprom-at24c04c-08c-datasheet.pdf>).
6. Chopra R. C Programming: A Self-Teaching Introduction. New Delhi: New Age International Publishers, 2018.
7. Avdeyev V.A. *Periferiyinyye ustroystva: interfejsy, skhemotekhnika, programirovaniye* [Peripherals: interfaces, circuitry, programming]. Moskva: DMK Press, 2009, 848 p. (in Russian).

УДК 004.94+669.162.262.003.12

*Муравьева И.Г.<sup>а</sup>, Белошапка Е.А.<sup>а</sup>, Иванча Н.Г.<sup>а</sup>, Белькова А.И.<sup>а</sup>, Вишняков В.И.<sup>а</sup>,  
Ляшенко О.А.<sup>б</sup>*

## КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ФОРМЫ И ПОЛОЖЕНИЯ ПЛАСТИЧНОЙ ЗОНЫ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

<sup>а</sup> Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, г. Днепр, Украина

<sup>б</sup> ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина

В работе представлена методика разработки критерия оценки формы и положения пластичной зоны в доменной печи в рамках созданной в Институте черной металлургии интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению доменной плавкой. В качестве аргументов разработанного критерия приняты параметры, непосредственно отражающие форму, толщину и положение пластичной зоны в рабочем пространстве доменной печи. Предложена методика определения основных параметров пластичной зоны. Основным постулатом метода определения толщины пластичной зоны является положение, согласно которому контуры зон размягчения и плавления определяются линиями, соединяющими точки, соответствующие температурам начала размягчения и плавления железосодержащих материалов, находящихся в различных зонах рабочего пространства доменной печи. Показано, что основываясь на установленном с помощью разработанного ранее метода положении линии плавления, распределении компонентов шихты по сечению колошника, которое определяется с использованием комплексной модели, синтезированной из моделей загрузки–выгрузки материалов из бункера бесконусного загрузочного устройства (БЗУ) и модели радиального распределения материалов на колошнике печи, а также значении температур плавления различных смесей компонентов железорудной части шихты, образующихся при выгрузке их на колошник, рассчитываемых при помощи статистических моделей, определяется распределение температур плавления железосодержащих материалов в объеме печи. Приведены аналитические зависимости, полученные на основе анализа экспериментальных данных о температурах размягчения и плавления различных видов агломерата, окатышей и железной руды при восстановительно-тепловой обработке, которые могут быть использованы для прогнозирования высокотемпературных свойств железорудных материалов. Для определения положения точек линии размягчения разработан специальный алгоритм, основанный на предложенном способе определения параметров температурного поля в объеме доменной печи с использованием масштабного коэффициента распределения температур в объеме печи. Применение критерия позволяет оценивать параметры пластичной зоны в доменной печи и обосновывать выбор оптимальных управляющих воздействий на процесс доменной плавки.

**Ключевые слова:** доменная печь, пластичная зона, оптимизация, критерий, ход печи, площадь поверхности плавления.

**DOI:** 10.32434/2521-6406-2019-6-2-35-42

### *Постановка проблемы*

Как показано в публикациях ряда авторов, в том числе, по результатам выполненных на замороженных доменных печах (ДП) исследо-

ваний [1-16], существенное влияние на распределение и эффективность использования печных газов и на технико-экономические показатели плавки в целом оказывает формирующая-

ся в печи пластичная зона (ПЗ). В зависимости от распределения шихтовых материалов, их качества и параметров дутьевого режима, в доменной печи может быть сформирована пластичная зона различного профиля. Непосредственно контролировать формирование пластичной зоны в доменной печи не представляется возможным, поэтому актуальным является разработка аналитических методов определения формы и положения пластичной зоны, а также создание на их основе специального показателя для обоснования принятия управляющих воздействий на ход плавки [17]. Алгоритмы созданной в Институте черной металлургии (ИЧМ) интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению доменной плавкой предусматривают возможность оценки формы и положения пластичной зоны в доменной печи с помощью такого специального показателя [18].

#### ***Анализ последних исследований и публикаций***

В литературных источниках отсутствует информация об аналогичных исследованиях по созданию целевых критериев оценки положения и формы пластичной зоны в доменной печи. Идеология создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению доменной плавкой предусматривает оценку процессов доменной плавки с помощью целевых критериев, одним из которых является критерий оценки формы и положения пластичной зоны в доменной печи.

#### ***Формулирование цели исследования***

Целью представленных ниже исследований явилось представление этапов разработки критерия оценки формы и положения пластичной зоны в доменной печи для последующего его использования при диагностике хода печи и оценке правильности выбранных управляющих воздействий.

#### ***Изложение основного материала исследований***

При разработке критерия оценки формы и положения ПЗ в ДП принят, несколько отличающийся от использованного ранее при создании критериев оценки теплового и газодинамического режимов плавки, методический подход [1]. Выполненный анализ корреляционных связей показал наличие тесных связей параметров, характеризующих положение, форму и толщину ПЗ с производством, содержанием кремния в чугуне и с рядом других технологических параметров и показателей плавки. Так как, эти параметры, как правило, входят в состав других критериев оценки процессов плавки, для исклю-

чения их взаимовлияния в качестве аргументов критерия оценки формы и положения ПЗ, приняты параметры, непосредственно отражающие ее форму, толщину и положение в рабочем пространстве ДП.

Методика определения основных параметров пластичной зоны заключается в следующем. В результате ранее выполненных в ИЧМ исследований разработан метод определения положения ПЗ в ДП, основанный на установленной связи изменения границ ПЗ с вариацией скоростей опускания шихтовых материалов на колошнике, рассчитываемых с помощью системы измерения профиля поверхности засыпи шихты, и оцениваемых по величине их среднеквадратичного отклонения (СКО) в каждой кольцевой зоне [17].

Согласно методу принято, что расстояние ( $H_{пл}$ ) от уровня воздушных фурм, рассчитанное в каждой зоне, как произведение установленного временного интервала между максимальными значениями СКО скорости ( $t_{max}$ ), и усредненного за этот интервал значения скорости опускания шихты ( $V_{ср,max}$ ), характеризует положение рассматриваемой точки линии начала образования жидких фаз в слое железорудных материалов. На основании полученных отклонений точек линии начала образования жидких фаз (линии плавления) оценивается изменение положения ПЗ по высоте и радиусу ДП.

Исследования последних лет позволили разработать метод определения толщины ПЗ, основным постулатом которого является положение, согласно которому контуры зон размягчения и плавления определяются линиями, соединяющими точки, соответствующие температурам начала размягчения и плавления железосодержащих материалов, находящихся в различных зонах рабочего пространства доменной печи. Исходя из установленного положения линии плавления, определяется распределение температур плавления железосодержащих материалов в объеме печи. Необходимой для этого информацией является распределение компонентов шихты по сечению колошника, которое определяется с использованием комплексной модели, синтезированной из моделей загрузки – выгрузки материалов из бункера бесконусного загрузочного устройства (БЗУ) и модели радиального распределения материалов на колошнике печи, а также значения температур плавления различных смесей компонентов железорудной части шихты, образующихся при выгрузке их на колошник, определяемые при по-

мощи статистических моделей [19,20].

Температура плавления смеси железосодержащих материалов ( $T_{p\text{ см}}$ ), определяется по формуле:

$$T_{p\text{ см}} = \frac{\sum_j T_p^j \cdot M^j}{\sum_j M^j}, \quad (1)$$

где  $T_p^j$  – температура плавления  $j$ -го компонента смеси, °C;  $M^j$  – масса  $j$ -го компонента в смеси, т.

Для определения температур изменения фазового состояния железосодержащих материалов использованы модели «состав-свойства», разработанные в ИЧМ, и позволяющие по исходному химическому составу прогнозировать восстановимость материалов, температуры потери газопроницаемости слоя железорудных материалов, начала фильтрации жидких фаз, количество и состав первичных, промежуточных и «зависших» в слое кокса шлаковых и металлоуглеродистых расплавов.

Для прогнозирования высокотемпературных свойств железорудных материалов использованы следующие аналитические зависимости, полученные на основе анализа экспериментальных данных о температурах размягчения и плавления различных видов агломерата, окатышей и железной руды при восстановительно-тепловой обработке [20].

Температура начала размягчения при восстановимости  $R=0$ :

$$T_{np}^0 = 950,4 + 0,0802Fe_2O_3 - 2,5026FeO + 10,747\Delta e + 329,6238\rho. \quad (2)$$

Температура плавления при  $R=0$ :

$$T_p^0 = 1653,7 - 0,284Fe_2O_3 - 4,6211FeO - 1,0833\Delta e - 186,6902\rho. \quad (3)$$

Поскольку закономерности изменения температур размягчения и плавления от степени восстановления для агломерата, окатышей и руды существенно отличаются, уравнения для определения значений соответствующих температур при восстановительно-тепловой обработке получены для каждого компонента шихты отдельно.

Температура начала размягчения:

для агломерата и конвертерного шлака

$$T_{np}^R = T_{np}^0 \cdot (1 - 3,02832 \cdot 10^{-3} \cdot R + 2,58482 \cdot 10^{-5} \cdot R^2); \quad (4)$$

для окатышей

$$T_{np}^R = T_{np}^0 \cdot (1 - 6,1806 \cdot 10^{-3} \cdot R + 4,55705 \cdot 10^{-5} \cdot R^2); \quad (5)$$

для руды

$$T_{np}^R = T_{np}^0 \cdot (1 - 5,33764 \cdot 10^{-3} \cdot R + 4,30821 \cdot 10^{-5} \cdot R^2), \quad (6)$$

где  $R$  – степень восстановления.

Температура плавления:

для агломератов и конвертерного шлака

$$T_p^R = T_p^0 \cdot (1 - 14,9552 \cdot 10^{-3} \cdot R + 5,82338 \cdot 10^{-4} \cdot R^2 - 7,60772 \cdot 10^{-6} \cdot R^3 + 3,3172 \cdot 10^{-8} \cdot R^4); \quad (7)$$

для окатышей

$$T_p^R = T_p^0 \cdot (1 - 6,76358 \cdot 10^{-3} \cdot R + 1,77133 \cdot 10^{-4} \cdot R^2 - 1,10731 \cdot 10^{-6} \cdot R^3); \quad (8)$$

для руды

$$T_p^R = T_p^0 \cdot (1 - 20,8597 \cdot 10^{-3} \cdot R + 5,05642 \cdot 10^{-4} \cdot R^2 - 3,02042 \cdot 10^{-6} \cdot R^3). \quad (9)$$

Положение в объеме печи линии начала размягчения определяется распределением железосодержащих компонентов и, соответственно, распределением температур изменения их фазового состояния. В свою очередь, верхняя граница пластичной зоны может быть определена, как кривая, соединяющая точки, соответствующие температурам начала размягчения материалов в рабочем пространстве печи. Для определения положения точек этой линии разработан специальный алгоритм, основанный на предложенном способе определения параметров температурного поля в объеме доменной печи с использованием масштабного коэффициента распределения температур в объеме печи.

При определении масштабного коэффициента принимается допущение о линейном распределении температур по высоте шахты печи. Значение масштабного коэффициента рассчитывается, как отношение разности температуры плавления железосодержащих материалов в соответствующей зоне печи и температуры на уровне засыпи шихты к разности их вертикальных координат. Масштабный коэффициент вычисляется по формуле:

$$k = \frac{T_p - T_i}{S_{пл}^i - h_i}, \quad (10)$$

где  $T_p$  – температура плавления, °C;  $T_i$  – температура в  $i$ -й точке на поверхности засыпи, °C;  $S_{пл}^i$  – вертикальная координата  $i$ -й точки на линии плавления, м;  $h_i$  – вертикальная координата  $i$ -й точки на поверхности засыпи, м.

Температуры начала размягчения смесей железосодержащих компонентов, формирующихся в процессе загрузки в различных зонах печи, могут быть определены в соответствии с компонентным составом смесей при помощи выражения:

$$T_{нр см} = \frac{\sum_j T_{нр}^j \cdot M^j}{\sum_j M^j}, \quad (11)$$

где  $T_{нр}^j$  – температура начала размягчения  $j$ -го компонента смеси, °C;  $M^j$  – масса  $j$ -го компонента в смеси, т.

Рассчитанные в контролируемых зонах сечения печи температуры размягчения железосодержащих материалов и их распределение в объеме печи, полученное с помощью коэффициента масштабирования, позволяют определить размеры и положение линии размягчения.

Разность координат, определяющих положение линий плавления и размягчения в контролируемых зонах печи, характеризует толщину ПЗ, которая может быть определена по формуле:

$$\Delta H_{пл}^i = \frac{T_p - T_{нр}}{k}, \quad (12)$$

где  $\Delta H_{пл}^i$  – толщина ПЗ в  $i$ -й точке, м;  $T_{нр}$  – температура начала размягчения, °C;  $k$  – масштабный коэффициент, °C/м.

Как известно, производительность печи пропорциональна площади поверхности плавления

ПЗ, которая определяется суммой площадей, образованных в результате пересечения линии плавления железосодержащими слоями шихтовых материалов. Исходная структура слоев шихтовых материалов на уровне колошника доменной печи может быть определена с использованием профилемера или комплексной математической модели распределения шихтовых материалов. Для определения параметров слоев шихтовых материалов на уровне ПЗ используется математическая модель движения шихтовых материалов в шахте.

Площадь поверхности плавления железосодержащих материалов может быть условно определена, как суммарная площадь поверхностей вращения отрезков линии плавления в слоях железорудных материалов:

$$A_{эфф} = \sum_{i=1}^N \pi \cdot l_i \cdot (R_i^B + R_i^H), \quad (13)$$

где  $N$  – число слоев железосодержащих материалов, образующих линию плавления;  $l_i$  – длина отрезка (образующей) линии плавления в  $i$ -м слое железосодержащих материалов, м;  $R_i^B$  – радиальная координата точки пересечения верхней границы  $i$ -го слоя железосодержащих материалов с линией плавления, м;  $R_i^H$  – радиальная координата точки пересечения нижней границы  $i$ -го слоя железосодержащих материалов с линией плавления, м.

Основываясь на известных представлениях о параметрах, определяющих форму и положение ПЗ в ДП, а также результатах корреляционного анализа связей этих параметров с технологическими показателями плавки, составлены комплексы, являющиеся аргументами критерия оценки ПЗ.

Первый аргумент критерия представляет собой сумму отношений толщин ПЗ в контролируемых сечениях печи и отношения максимальной из четырех значений толщины в этих зонах к минимальному ее значению. Представленный таким образом аргумент характеризует особенности конфигурации ПЗ, образуемой линиями размягчения и плавления. Аргумент может быть представлен выражением:

$$x_1 = \frac{\Delta H_{cz}^{I}}{\Delta H_{cz}^{2\Pi}} + \frac{\Delta H_{cz}^{II\Phi}}{\Delta H_{cz}^{I\Pi}} + \frac{\max(\Delta H_{cz}^{I}, \Delta H_{cz}^{2\Pi}, \Delta H_{cz}^{I\Pi}, \Delta H_{cz}^{II\Phi})}{\min(\Delta H_{cz}^{I}, \Delta H_{cz}^{2\Pi}, \Delta H_{cz}^{I\Pi}, \Delta H_{cz}^{II\Phi})}, \quad (14)$$



где  $\Delta H_{cz}^{пф}$ ,  $\Delta H_{cz}^{пп}$ ,  $\Delta H_{cz}^{2п}$ ,  $\Delta H_{cz}^{ц}$  – толщина ПЗ в контролируемых профиломером зонах печи, соответственно, в периферийной, первой и второй промежуточных, центральной, м.

Второй аргумент критерия характеризует относительное положение корня ПЗ и может быть представлен следующим выражением:

$$x_2 = \frac{1}{\max(S_{ц}, S_{пп}, S_{2п}, S_{пф}) - S_{пф} + 1} \times (\max(S_{ц}, S_{пп}, S_{2п}, S_{пф}) - \min(S_{ц}, S_{пп}, S_{2п}, S_{пф})), \quad (15)$$

где  $S_{пф}$ ,  $S_{пп}$ ,  $S_{2п}$ ,  $S_{ц}$  – расстояния от оси воздушных фурм до линии плавления в периферийной, первой и второй промежуточных, центральной зонах печи, соответственно, м.

Числитель выражения второго аргумента критерия определяет максимальную разность координат точек линии плавления и характеризует ее «вытянутость» в вертикальном направлении. Знаменатель – разность между верхней точкой линии плавления и контролируемой координатой линии плавления в периферийной зоне, что характеризует относительное положение корня ПЗ. С целью исключения обращения знаменателя в ноль он содержит «+1». Чем ближе форма зоны к U-образной, тем ближе значение  $x_2$  к числителю. Если ПЗ приобретает Л-образную форму аргумент  $x_2$  изменяется в пределах от 0 до 1 (чем больше «вытянутость» зоны, тем ближе значение  $x_2$  к 1).

Как показывает анализ корреляционных связей, наиболее тесно связаны с производством два аргумента, составленные из параметров ПЗ. Коэффициенты корреляции этих комплексных аргументов имеют большие значения по сравнению с корреляцией каждого из параметров с производством.

Третий аргумент критерия – эффективная площадь поверхности плавления:

$$x_3 = A_{эфф}. \quad (16)$$

Разработка критерия осуществлялась в соответствии с методикой, представленной в публикациях авторов статьи [21]. Следует учесть, что при выполнении процедуры нормирования и приведения аргументов к нормальному закону

распределения  $\left( X_i = \frac{x_i - m_{x_i}}{3 \cdot \sigma_{x_i}} \right)$ ,  $m_x$  и  $\sigma_x$  расчи-

тываются на основе анализа данных базового периода, то есть, для условий рациональной по форме и положению ПЗ.

В результате последующего логит-преобразования каждого аргумента  $x_{1...3}$  критерий оценки ПЗ примет вид:

$$K_{cz} = (F(x_1) \cdot F(x_2) \cdot F(x_3))^{\frac{1}{3}}. \quad (17)$$

Подтвердить достоверность оценки ПЗ в ДП с помощью предложенного критерия возможно путем анализа и установления его связей с основными технологическими параметрами процесса, что представляется возможным благодаря отсутствию в выражении критерия технологических параметров. Для анализа влияния формы и положения ПЗ на технологические параметры и показатели доменной плавки использован многомерный сравнительный анализ. Для построения модели оптимальной структуры применена методика факторного анализа [22]. Результаты факторного анализа показали наличие тесной связи основных параметров пластичной зоны с технологическими параметрами, что может служить подтверждением достоверности определения положения ПЗ в ДП с помощью ранее разработанного и усовершенствованного метода.

### Выводы

Предложенный критерий позволяет осуществлять текущий контроль конфигурации и положения формируемой в доменной печи пластичной зоны. Сопоставление значений критерия с оптимальными, полученными для условий базового периода работы печи, может быть использовано для разработки и выбора управляющих воздействий на процесс доменной плавки. Предложенный подход к разработке критерия оценки формы и положения пластичной зоны в доменной печи имеет перспективы развития по мере совершенствования методов и средств контроля процессов плавки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Модельные* опыты исследования газопроницаемости в доменной печи при вдувании больших количеств угольной пыли / Х.В. Гуденау, К. Крайбих, К.Х. Петерс и др. // Черные металлы. – 1988. – № 19. – С.10-19.
2. *Оценка* формы зоны вязкопластичных масс железорудных материалов в доменной печи методом математического моделирования / О.П. Онорин, Н.А. Спириин, В.В. Лав-

ров, И.Е. Косаченко, В.Ю. Рыболовлев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2013. – № 6. – С.24-29.

3. *Литунев С.А.* Газопроницаемость кокса в нижней части доменной печи как фактор, определяющий конфигурацию зоны когезии // Университетская наука. Металлургический факультет. – 2013. – С.49-50.

4. *A numerical study on the softening process of iron ore particles in the cohesive zone of an experimental blast furnace using a coupled CFD-DEM method / M. Baniasadi, M. Baniasadi, G. Pozzetti, B Peters.* – [Электронный ресурс]: ArXiv. – 2018. – С.1-45. Режим доступа <https://arxiv.org/pdf/1806.08114.pdf>

5. *Gas Permeability in Cohesive Zone in the Ironmaking Blast Furnace / J. Ishii, R. Murai, I. Sumi, Y. Yongxiang, R. Boom.* – 2017. – Volume 57. – Issue 9. – P.1531-1536. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2016-224>

6. *Lu Y., Jiang Z., Zhang X., Wang J., Zhang X.* [Электронный ресурс]: Vertical Section Observation of the Solid Flow in a Blast Furnace with a Cutting Method. *Metals – Open Access Metallurgy Journal.* – 2019. – vol.9. – № 2. – P.127. <https://doi.org/10.3390/met9020127>

7. *Исследование* газопроницаемости доменной шихты при различном расположении слоев компонентов / В.П. Русских, В.В. Семаков, Д.И. Гаврилоглу, М.А. Подгорный, И.И. Харченко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. – С.13-16.

8. *Гуденау Х.В., Крайбих К., Петерс К.Х.* Оптимизация профиля пластичной зоны доменной печи // Черные металлы. – 1981. – № 3. – С.13-18.

9. *Петерс К.Х., Пот Г., Петерс М.* Исследование причин нарушения газопроницаемости в доменной печи. // Черные металлы. – 1986. – № 22. – С.10-20.

10. *Повышение* производительности доменных печей / В. Хартиг, К. Лангнер, Г.Б. Люнгер и др. // Черные металлы. – 1996. – № 12. – С.17-25.

11. *Экспериментальная* оценка влияния режима загрузки на формирование пластичной зоны доменной печи / Н.А. Егоров и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1984. – № 12. – С.25-26.

12. *Influence of Shape of Cohesive Zone on Gas Flow and Permeability in the Blast Furnace Analyzed by DEM-CFD Model / [Shigeru UEDA et al.] // ISIJ International.* – Vol.55 (2015). – № 6. – P.1232-1236. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.55.1232>

13. *Gas-powder* flow in blast furnace with different shapes of cohesive zone X.F. Dong et al. // *Applied Mathematical Modelling.* – 2006. – № 30. – P.1293-1309. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2006.03.004>

14. *Разработка* моделирующей системы расчета теплообменных процессов и оценки параметров зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов в доменной печи / В.В. Лавров и др. // Известия ВУЗов «Черная металлургия». – 2013. – № 4. – С.34-37.

15. *Dong Fu, Yan Chen.* Prediction of the cohesive zone / *AISTech Proceedings.* – 2011. – Vol. 1. – P.695-708.

16. *New approach for the determination of the blast furnace cohesive zone: Final report / D. Sert, G. Danloy, O. Havelange, J. Saiz de Ayala.* – [Электронный ресурс]: ECSC, ISBN 92-894-7491, Luxembourg. – 2004. Режим доступа <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/48fa9927-4eb9-4f37-bb07-4c7621fb58f3>

17. *Большаков В.И., Муравьева И.Г., Семенов Ю.С.* Применение радиолокационных систем измерения поверхности засыпи шихты для контроля и управления доменной плавкой. – Днепропетровск: Пороги, 2013. – 364 с.

18. *Интеллектуальная* система поддержки принятия решений по управлению доменной плавкой / Муравьева И.Г., Тогобицкая Д.Н., Семенов Ю.С. и др. // Компьютерные моделирования: анализ, управление, оптимизация. – 2017. – №1 (1). – С.25-30. Режим доступа <http://kmauo.org/wp-content/uploads/2017/09/Muravyova.pdf>. DOI выпуска: <https://doi.org/10.32434/2521-6406-2017-1-1>

19. *Complex Mathematical Model of the Distribution of Multicomponent Charge in a Blast Furnace / N.G. Ivancha, I.G. Murav'eva, E.I. Shumel'chik, V.I. Vishnyakov, Yu.S. Semenov.* – *Metallurgist.* – May 2018, Volume 62. – Issue 1-2. – P.95-100. <https://doi.org/10.1007/s11015-018-0630-1>

20. *Прогнозирование* физико-химических свойств оксидных систем / Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, Д.А. Степаненко. – Днепропетровск: Пороги, 2013. – 344 с.

21. *Создание* интеллектуальных систем поддержки принятия решений по управлению доменной плавкой. Новые подходы / И.Г. Муравьева, Д.Н. Тогобицкая, Ю.С. Семенов, Н.Г. Иванча, А.И. Белькова, Е.И. Шумельчик, Д.А. Степаненко. – К.: Наукова думка, 2019. – 272 с.

22. *Иберла К.* Факторный анализ. / Пер. с нем. В.М. Ивановой. – М.: Статистика, 1980. – 399 с.

Поступила в редакцию 25.09.2019

**КРИТЕРІЙ ОЦІНЮВАННЯ ФОРМИ ТА ПОЛОЖЕННЯ ПЛАСТИЧНОЇ ЗОНИ У ДОМЕННІЙ ПЕЧІ**

*Муравйова І.Г., Білошапка О.О., Іванча М.Г., Белькова А.І., Вишняков В.І., Ляшенко О.А.*

В роботі надана методика розробки критерію оцінювання форми та положення пластичної зони у доменній печі у рамках створеної в Інституті чорної металургії інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень з управління доменною плавкою. У якості аргументів розробленого критерію прийняті параметри, які безпосередньо відображують форму, товщину та положення пластичної зони у робочому просторі доменної печі. Запропонована методика визначення основних параметрів пластичної зони. Основним постулатом методу визначення пластичної зони є положення, згідно з яким контури зон розм'якшення та плавлення визначаються лініями, які з'єднують точки, відповідні температурам початку розм'якшення та плавлення залізистих матеріалів, які знаходяться у різних зонах робочого простору доменної печі. Показано, що засновуючись на встановленому за допомогою розробленого раніше методу положення лінії плавлення, розподілу компонентів шихти по перерізу колошника, яке визначається з використанням комплексної моделі, синтезованої з моделей завантаження – вивантаження матеріалів з бункера безконусного завантажувального пристрою (БЗП) та моделі радіального розподілу матеріалів на колошнику печі, а також значенні температур плавлення різних сумішей компонентів залізородної частини шихти, які утворюються при вивантаженні їх на колошник, розрахованих за допомогою статистичних моделей, визначається розподіл температур плавлення залізистих матеріалів в об'ємі печі. Наведені аналітичні залежності, отримані на основі аналізу експериментальних даних про температури розм'якшення та плавлення різних видів агломерату, окатишів і залізної руди при відновно-тепловому обробленні, які можуть бути використані для прогнозування високотемпературних властивостей залізородних матеріалів. Для визначення положення точок лінії розм'якшення розроблено спеціальний алгоритм, який засновано на запропонованому способі визначення параметрів температурного поля в об'ємі доменної печі з використанням масштабного коефіцієнта розподілу температур в об'ємі печі. Використання критерію дозволить оцінювати параметри пластичної зони у доменній печі та обґрунтувати вибір оптимальних управляючих впливів на процес доменної плавки.

**Ключові слова:** доменна піч, пластична зона, оптимізація, критерій, хід печі, площа поверхні плавлення.

**CRITERION FOR ASSESSMENT OF SHAPE AND POSITION OF THE COHESIVE ZONE IN A BLAST FURNACE**

*Muravyeva I.G.<sup>a</sup>, Beloshapka E.A.<sup>a</sup>, Ivancha N.G.<sup>a</sup>, Belkova A.I.<sup>a</sup>, Vishnyakov V.I.<sup>a</sup>, Liashenko O.A.<sup>b</sup>*

<sup>a</sup> Z.I. Nekrasov Iron & Steel Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

<sup>b</sup> Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The paper presents a methodology for developing a criterion for assessing the shape and position of a plastic zone in a blast furnace within the framework of an intelligent decision support system for blast smelting control created at the National Iron and Steel Institute, Ukraine. As arguments for developed criterion, the parameters directly reflecting the shape, thickness and position of plastic zone in a working space of a blast furnace are taken. A method for determining the basic parameters of a cohesive zone is proposed. Basic premise of the method of determining the thickness of a cohesive zone is provision that contours of softening and melting zones are defined by lines connecting the points corresponding to the temperatures of beginning of melting and softening of ferrous materials in different zones of blast furnace workspace. It is shown that based on the position of a melting line established by the method developed earlier, the distribution of components of the charge over the cross-section of a furnace top, which is determined using the complex model synthesized from the models for loading and unloading of materials from the bunker of coneless loading device and the model of radial distribution of materials on furnace top, as well as the melting temperature of various mixtures of the components of iron part of charge formed during unloading them on the top of a furnace, calculated using statistical models, determines the distribution of the melting points of iron-containing materials in the furnace volume. The paper presents analytical dependences obtained on the basis of the analysis of experimental data on the softening and melting temperatures of various types of sinter, pellets and iron ore during reduction-heat treatment, which can be used to predict the high-temperature properties of iron ore materials. To determine the position of the points of the softening line, a special algorithm was developed based on the proposed method for determining the parameters of the temperature field in the volume of the blast furnace using the scaling coefficient for temperature distribution in the furnace volume. Application of the criterion allows to evaluate the parameters of plastic zone in the blast furnace and support the choice of the optimal control action on the process of blast furnace.

**Keywords:** blast furnace, cohesive zone, optimization, criterion, furnace progress, melting surface area.

## REFERENCES

1. Gudenu Kh.V. i dr. *Model'nye opyty issledovaniya gazopronitsaemosti v domЕННОй pechi pri vduvaniі bol'shikh količestv ugol'noi pyli* [Model experiments in the study of gas permeability in a blast furnace when blowing large quantities of coal dust]. *Chernye metally* [Ferrous metals], 1988, no. 19, pp.10-19. (in Russian).
2. Onorin O.P., Spirin N.A., Lavrov V.V., Kosachenko I.E., Rybolovlev V.Yu. *Ocenka formy zony vyazkoplastichnykh mass zhelezorudnykh materialov v domЕННОй pechi metodom matematicheskogo modelirovaniya* [Evaluation of the shape of the zone of viscoplastic masses of iron ore materials in a blast furnace by mathematical modeling]. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [Izvestiya. Ferrous Metallurgy], 2013, no. 6, pp.24-29. (in Russian).
3. Lipunov S.A. *Gazopronitsaemost koksa v nizhnej chasti domЕННОй pechi kak faktor, opredelyayushij konfiguratsiyu zony kogezi* [Coke gas permeability in the lower part of a blast furnace as a factor determining the cohesion zone configuration]. *Universitetskaya nauka* [University science], 2013, Metallurgicheskii fakultet, pp.49-50. (in Russian).
4. *A numerical study on the softening process of iron ore particles in the cohesive zone of an experimental blast furnace using a coupled CFD-DEM method* [Electronic resource]. M. Baniasadi, M. Baniasadi, G. Pozzetti, B. Peters. Access mode <https://arxiv.org/pdf/1806.08114.pdf>
5. Gas Permeability in Cohesive Zone in the Ironmaking Blast Furnace J. Ishii, R. Murai, I. Sumi, Y. Yongxiang, R. Boom. 2017, vol. 57, Issue 9-5, pp.1531-1536. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2016-224>
6. Lu Y., Jiang Z., Zhang X., Wang J. and Zhang X. Vertical Section Observation of the Solid Flow in a Blast Furnace with a Cutting Method. [Electronic resource]. <https://www.mdpi.com/2075-4701/9/2/127/pdfhttps://doi.org/10.3390/met9020127>
7. Russkikh V.P., Semakov V.V., Gavriloglu D.I., Podgornyy M.A., Kharchenko I.I. *Issledovaniye gazopronitsayemosti domЕННОй shikhty pri razlichnom raspolozhenii sloev komponentov* [The study of the gas permeability of the blast furnace charge at a different arrangement of component layers]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost* [Metallurgical and Mining Industry], 2015, pp.13-16. (in Russian).
8. Gudenu Kh.V., Kraibikh K., Peters K.Kh. *Optimizatsiya profilya plastichnoi zony domЕННОй pechi* [Optimization of the cohesive zone profile of the blast furnace]. *Chernye metally* [Ferrous metals], 1981, no. 3, pp.13-18. (in Russian).
9. Peters K.Kh., Pot G., Peters M. *Issledovanie prichin narusheniya gazopronitsaemosti v domЕННОй pechi* [Research the causes of violations of the gas permeability in the blast furnace]. *Chernye metally* [Ferrous metals], 1986, no. 22, pp.10-20. (in Russian).
10. Khartig V. i dr. *Povyshenie proizvoditel'nosti domennykh pechei* [Increasing the productivity of blast furnaces]. *Chernye metally* [Ferrous metals], 1996, no. 12, pp.17-25. (in Russian).
11. Egorov N.A. i dr. *Eksperimental'naya otsenka vliyaniya rezhima zagruzki na formirovanie plastichnoi zony domЕННОй pechi* [Experimental evaluation of impact loading mode for forming plastic blast furnace zone]. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [Izvestiya. Ferrous Metallurgy], 1984, no. 12, pp.25-26. (in Russian).
12. Influence of Shape of Cohesive Zone on Gas Flow and Permeability in the Blast Furnace Analyzed by DEM-CFD Model, [Shigeru UEDA et al.], ISIJ International, vol. 55 (2015), no. 6, pp.1232-1236. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.55.1232>
13. Dong X.F. et al. Gas-powder flow in blast furnace with different shapes of cohesive zone. *Applied Mathematical Modelling*, 2006, no. 30, pp.1293-1309. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2006.03.004>
14. Lavrov V.V. et al. *Razrabotka modeliruyushchei sistemy rascheta teploobmennyykh protsessov i otsenki parametrov zony vyazkoplastichnogo sostoyaniya zhelezorudnykh materialov v domЕННОй pechi* [Development of modeling system for heat transfer processes calculation and assessment of parameters for viscoplastic state iron material in the blast zone of the furnace]. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [Izvestiya. Ferrous Metallurgy], 2013, no. 4, pp.34-37. (in Russian).
15. Dong Fu, Yan Chen. Prediction of the cohesive zone. *AISTech Proceedings*, 2011, vol. 1, pp.695-708.
16. *New approach for the determination of the blast furnace cohesive zone*. [Electronic resource] Final report, Access mode <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/48fa9927-4eb9-4f37-bb07-4c7621fb58f3>
17. Bol'shakov V.I., Murav'eva I.G., Semenov Yu.S. *Primeneniye radiolokatsionnykh sistem izmereniya poverkhnosti zaspyi shikhty dlya kontrolya i upravleniya domЕННОй plavkoi* [The use of radar systems for measuring the surface of the charge sheet to monitor and control blast furnace smelting], Dnepropetrovsk, Porogi, 2013, 364 p. (in Russian).
18. Murav'eva I.G., Togobitskaya D.N., Semenov Iu.S., Shumelchik E.I., Bel'kova A.I., Beloshapka E.A. *Intellektual'naya sistema podderzhki prinyatiya resheniy po upravleniyu domЕННОй plavkoy* [Intelligent decision support system management of blast furnace smelting]. *Komp'yuternye modelivannā: analiz, upravlinnā, optimizatsiā* [Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization], 2017, no. 1 (1), pp.25-30. Access mode <http://kmauo.org/wp-content/uploads/2017/09/Muravyova.pdf>. DOI issue: <https://doi.org/10.32434/2521-6406-2017-1-1> (in Russian).
19. Ivancha G.N., Murav'eva I.G., Shumel'chik E.I., Vishnyakov V.I., Semenov Yu.S. Complex Mathematical Model of the Distribution of Multicomponent Charge in a Blast Furnace, *Metallurgist*, May 2018, vol.62, Issue 1-2, pp.95-100. <https://doi.org/10.1007/s11015-018-0630-1>
20. Prikhod'ko E.V., Togobitskaya D.N., Khamkhot'ko A.F., Stepanenko D.A. *Prognozirovanie fiziko-khimicheskikh svoystv oksidnykh sistem* [Prediction of the physicochemical properties of oxide systems]. Dnepropetrovsk, Porogi, 2013, 344 p. (in Russian).
21. Murav'eva I.G., Togobitskaya D.N., Semenov Yu.S., Ivancha N.G., Belkova A.I., Shumelchik Ye.I., Stepanenko D.A. *Sozdaniye intellektualnykh sistem podderzhki prinyatiya resheniy po upravleniyu domЕННОй plavkoy. Novyye podkhody* [Creation of intelligent decision support systems for blast furnace management. New approaches]. Kyiv, Naukova dumka, 2019, 272 p. (in Russian).
22. Iberla K. *Faktorniy analiz*. [Factor analysis], Trans. from Ger. by V.M. Ivanova, Moskva, Statistika, 1980, 399 p. (in Russian).

УДК 004.94+532.135

*Нікольський В.Є.<sup>а</sup>, Александров О.Г.<sup>а</sup>, Яріз В.О.<sup>а</sup>, Матченко М.М.<sup>б</sup>, Лободенко А.В.<sup>а</sup>, Решетняк І.Л.<sup>а</sup>*

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОМУ ВВЕДЕННІ ЕНЕРГІЇ

<sup>а</sup> ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна  
<sup>б</sup> АТ «ДНІПРОАЗОТ», м. Кам'янське, Україна

На основі математичного моделювання досліджено вплив конструктивних особливостей робочої камери роторно-імпульсного апарата на ефективність процесів теплообміну при дискретно-імпульсному введенні енергії. Розроблено математичну модель процесу теплообміну й визначено вплив основних компонентів процесу (швидкості, тиску й температури теплоносія) при імпульсному впливі на теплоносії. Здійснено серію експериментальних досліджень на роторно-імпульсних апаратах з одно- та багатоступінчастою системою дискретно-імпульсної обробки теплоносія, що підтверджує адекватність розроблених математичних моделей. На цій основі виготовлені, апробовані й впроваджені промислові конструкції роторно-імпульсних теплогенераторів з одно- та двома ступенями дискретно-імпульсного впливу на теплоносії для децентралізованого обігріву будинків промислового й побутового призначення. Метод багатоступінчастого дискретно-імпульсного впливу на теплоносії реалізований у конструктивному оформленні робочої камери дискового роторно-імпульсного апарата. Отримані математичні моделі покладені в основу конструкції робочої камери роторно-імпульсного теплогенератора для наступної інтеграції його в систему децентралізованого тепlopостачання. Показано, що запропонований метод, реалізований й експериментально підтверджений у конструктивному оформленні робочої камери роторно-імпульсного теплогенератора, дозволив підвищити його енергоефективність на 12%. Розроблений теплогенератор з багатоступінчастим імпульсним впливом на теплоносії інтегрований у систему обігріву тепличного комплексу. Коефіцієнт корисної дії роторно-імпульсного теплогенератора склав 0,86–0,9, що доводить його високу енергоефективність. Висока енергоефективність розробленого теплогенеруючого пристрою пояснюється: оптимізацією геометричних параметрів його робочої камери на основі результатів математичного моделювання; оптимізацією параметрів процесу гідродинаміки й теплообміну (швидкості, тиску й температури) усередині робочої камери теплогенератора; застосуванням багатоступінчастої системи імпульсного впливу на теплоносії.

**Ключові слова:** математична модель, диференціальні рівняння, процес теплообміну, дискретно-імпульсне уведення енергії, теплообмінні процеси, роторно-імпульсний теплогенератор, конструкція робочої камери, енергоефективність.

DOI: 10.32434/2521-6406-2019-6-2-43-50

### *Постановка проблеми*

Імпульсну обробку технологічних рідин застосовують, в основному, як засіб інтенсифікації гідродинамічних і масообмінних процесів. Сучасні апарати з імпульсним впливом на рідину використовують як генератори теплової

енергії [1]. Робочий простір даного типу агрегатів являє собою дисковий канал, у якому один диск обертається, а другий залишається нерухомим. Іntenсифікація процесів теплообміну у дискових імпульсних апаратах, як наслідок оптимізації їх робочого простору, має важливе зна-

чення для вдосконалювання діючих і створення нових енергоефективних теплових машин з високим енергетичним коефіцієнтом корисної дії (ККД) [2–3].

#### Аналіз останніх досягнень і публікацій

Сучасні дослідження в області вдосконалення імпульсних апаратів спрямовані на оптимізацію технологічних параметрів за рахунок зміни геометричних розмірів робочої камери [4]. Підвищений інтерес у дослідників викликає вивчення теплообміну у роторно-імпульсному апараті при дискретно-імпульсному впливі на теплоносії.

У роботах [5–7] авторами розроблена математична модель, що дозволяє аналізувати теплообмінні процеси (на основі гідродинамічного підходу) у дискових зазорах роторно-імпульсних апаратів. Модель містить два нелінійних диференціальних рівняння відносно деяких функцій  $f$  й  $V$ , через які виражаються, відповідно, радіальна  $V_r$  й тангенціальна  $V_j$  компоненти швидкості, що визначають процес теплообміну. Крім того, розв'язок даної системи диференціальних рівнянь запропоновано для безнапірного плинну, тобто без урахування градієнта тиску уздовж радіальної координати, що може спотворити остаточні результати.

#### Мета й завдання дослідження

Метою дослідження є: на основі математичного моделювання процесу теплообміну при дискретно-імпульсному введенні енергії у роторно-імпульсному апараті дослідити вплив геометричних параметрів робочої камери на ефективність процесів теплообміну контактуючих фаз у системі рідина-тверде тіло.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- виконати математичне моделювання впливу основних параметрів каналів дискових імпульсних апаратів на ефективність процесів теплообміну при дискретно-імпульсному введенні енергії;

- визначити оптимальні геометричні характеристики роторно-імпульсного теплогенератора з позиції його енергоефективності;

- розробити конструкцію експериментального роторно-імпульсного апарата з енергоефективною робочою камерою.

#### Математична модель процесу теплообміну та її комп'ютерна реалізація

На рис. 1 надана розрахункова схема роторно-імпульсного апарата для побудови математичної моделі теплообміну. При цьому прийняті наступні допущення й граничні умови:

- процес у дисковому імпульсному апараті вісесиметричний, зміною фізичних величин уздовж кутової координати зневажаємо ( $\partial/\partial j=0$ );

- процес стаціонарний (зміни фізичних величин у часі не істотні  $\partial/\partial t=0$ );

- масовими силами зневажаємо ( $r \cdot g_i=0$ );

- складовою швидкості  $V_z$  зневажаємо, оскільки  $h \ll R_n$ ;

- градієнтом температури за рахунок конвективного перенесення теплоти уздовж осі  $z$  зневажаємо, урахуємо перенесення теплоти уздовж осі  $r$  тільки теплопровідністю.

Граничні температурні умови по осі  $z$  –

$$\frac{\partial T}{\partial z}(0, r) = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z}(h, r) = 0.$$

Початкові умови по осі  $r$  –  $T(z, R_1) = T_n$ ,

$$\frac{\partial T}{\partial r}(z, R_1) = 0.$$

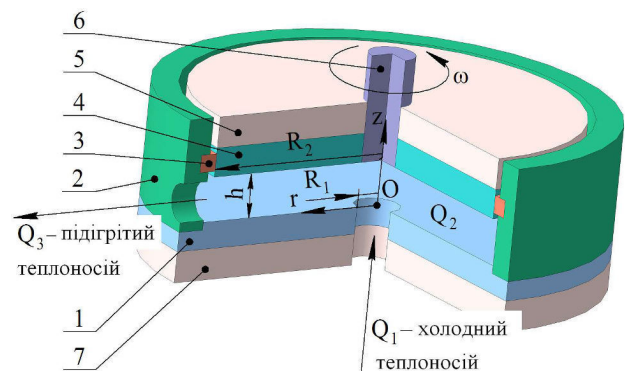


Рис. 1. Розрахункова схема роторно-імпульсного апарата для побудови математичної моделі: 1 – нерухомий диск; 2 – корпус; 3 – ущільнювальний елемент; 4 – обертовий диск; 5, 7 – теплоізоляційні пластини; 6 – вал

При аналізі температурного поля в робочій камері роторно-імпульсного апарата враховуємо перенесення теплоти за рахунок конвективного теплообміну уздовж радіальної осі  $r$ , перенесення теплоти за рахунок теплопровідності – уздовж осей  $z$  й  $r$ , зміною температури уздовж кутової осі зневажаємо. Рівняння балансу теплової енергії виразимо співвідношенням:

$$\rho \cdot C_p \cdot V_r(z, r) \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = \lambda \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + F_d(z, r), \quad (1)$$

де  $T$  – температура;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;  $F_d(z,r)$  – функція дисипації;  $V_r(z,r)$  – радіальна складова швидкості в проєкціях на відповідні осі;  $\rho$  – щільність рідини;  $C_p$  – теплоємність рідини при постійному тиску.

За функцією дисипації можна визначити теплову потужність, що витрачається в робочій камері роторно-імпульсного апарата.

Для ньютонівської рідини функція дисипації:

$$F_d(r,z) = 2 \cdot \eta \cdot \left[ (V_{r,r})^2 + 1/2 \cdot (V_r/r)^2 + (V_{\phi,r} - V_{\phi}/r)^2 + (V_{\phi,z})^2 + (V_{r,z})^2 \right], \quad (2)$$

де  $V_u(z,r)$  – тангенціальна складова швидкості в проєкціях на відповідні осі;  $\eta$  – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини.

Функція, що визначає тангенціальну складову швидкості відповідно до робіт [8–9]:

$$\zeta(z) = \frac{\omega}{h} \cdot z, \quad (3)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання диска;  $h$  – висота дискового зазора;  $z$  – осьова координата.

Функцію, що визначає радіальну складову швидкості:

$$f(z) = V_r \cdot r. \quad (4)$$

З урахуванням граничних умов вираження для функції  $f(z)$  приймає вигляд:

$$f(z) = \frac{\rho}{\eta} \cdot \frac{\omega^2}{12} \cdot r^2 \cdot h \cdot z \cdot \left( 1 - \frac{z^3}{h^3} \right) - \frac{r}{2 \cdot \eta} \cdot \frac{\partial P}{\partial r} \cdot h \cdot z \cdot \left( 1 - \frac{z}{h} \right). \quad (5)$$

У виразі (5) невідомий градієнт тиску уздовж радіальної координати  $\partial P / \partial r$  для знаходження якого використовуємо рівняння нерозривності:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3, \quad (6)$$

де  $Q_1$  – витрата рідини, що надходить через вхідний патрубок;  $Q_3$  – витрата рідини на виході з робочої камери;  $Q_2$  – витрата рідини в дисковому зазорі:

$$Q_2 = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^h f(z) dz. \quad (7)$$

Використовуючи співвідношення (6) з урахуванням рівнянь (7) і (5) одержимо:

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \frac{3}{10} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot r + \frac{6 \cdot \eta}{\pi} \cdot \frac{(Q_1 - Q_3)}{r \cdot h^3}. \quad (8)$$

Підставивши (8) у (5), з урахуванням залежності (4), одержимо наступне вираження:

$$V_r(z,r) = \frac{\rho}{\eta} \omega^2 r h z \times \left[ \frac{1}{12} \cdot \left( 1 - \frac{z^3}{h^3} \right) - \frac{3}{20} \cdot \left( 1 - \frac{z}{h} \right) \right] - \frac{3 \cdot z}{\pi \cdot r \cdot h^2} \cdot (Q_1 - Q_3) \cdot \left( 1 - \frac{z}{h} \right). \quad (9)$$

Діаграма розподілу радіальної швидкості в дисковому зазорі при різних значеннях висоти дискового зазора надані на рис. 2. При цьому прийняті наступні значення:  $\eta = 5,471 \cdot 10^{-4}$  Па/с;  $\omega = 6,0$  с $^{-1}$ ;  $\rho = 988,1$  кг/м $^3$ ;  $Q_1 = 8 \cdot 10^{-5}$  м $^3$ /с;  $Q_3 = 6 \cdot 10^{-5}$  м $^3$ /с.

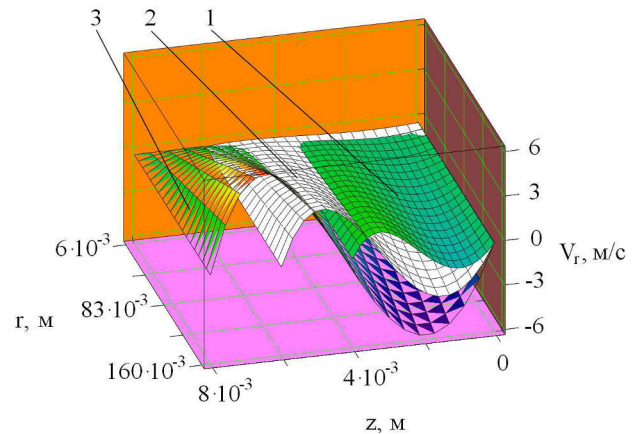


Рис. 2. Об'ємна діаграма радіальної складової швидкості при різних значеннях висоти дискового зазора: 1 –  $h = 4 \cdot 10^{-3}$  м; 2 –  $h = 6 \cdot 10^{-3}$  м; 3 –  $h = 8 \cdot 10^{-3}$  м

З наведених залежностей впливає, що максимальне значення радіальної складової швидкості відповідає висоті дискового зазора

$h=(5-7)\cdot 10^{-3}$  м.

З балансу теплової енергії (1) випливає співвідношення:

$$\rho \cdot C_p \cdot |V_{rc}| \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + F_d(z, r), \quad (10)$$

де  $V_{rc}$  – середнє значення радіальної швидкості в дисковому зазорі.

Функція дисипації з урахуванням прийнятих граничних умов може бути виражена рівнянням:

$$F_d(r, z) = 2\eta \left[ K_1 r \frac{9zh^2 - 2h^3 - 10z^3}{30h^3} - \frac{3}{\pi \cdot h^2} (Q_1 - Q_3) \left( 1 - 2 \frac{z}{h} \right) \right]^2. \quad (11)$$

Діаграма розподілу функції дисипації в дисковому зазорі наведена на рис. 3.

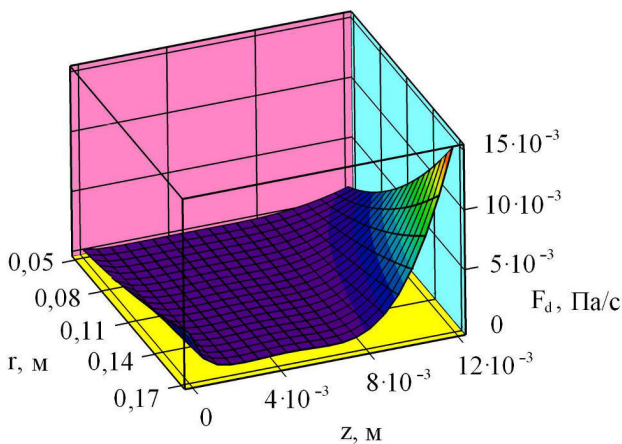


Рис. 3. Об'ємна діаграма функції дисипації  $F_d$

Аналіз наведених залежностей указує, що максимальне значення функції дисипації відповідає  $h=12\cdot 10^{-3}$  м.

Для одержання аналітичного рішення рівняння (1), скористаємося методом заміни змінних (методом Фур'є) і запишемо наступне співвідношення:

$$T(z, r) = \Theta(z, r) + \Phi(z, r), \quad (12)$$

де  $\Phi$  – зображення температури,  $\Theta$  – зображення теплового потоку.

Функцію теплового потоку  $\Theta$  виразимо че-

рез рівняння:

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} - \frac{|V_{rc}|}{a} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r} = 0. \quad (13)$$

Функцію  $\Phi$  визначимо зі співвідношення:

$$\frac{|V_{rc}|}{a} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial r} = \frac{F_d}{\lambda}. \quad (14)$$

Для рішення рівняння (13) прийемо наступні граничні й початкову умову:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial z}(0, r) = 0; \quad \frac{\partial \Theta}{\partial z}(h, r) = 0; \quad \Theta(z, R_1) = T_n. \quad (15)$$

Вирішуючи рівняння (13) і (14) з урахуванням граничних умов одержимо наступні математичні залежності:

$$\Theta(z, r) = \frac{4T_n}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \exp[-\beta(r - R_1)] \times \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{n \cdot \pi}{h} z\right), \quad (16)$$

$$\text{де } \beta = \frac{n^2 \cdot \pi^2}{h^2} \cdot \frac{a}{|V_{rc}|}; \quad \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} - \frac{|V_{rc}|}{a} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r} = 0.$$

Початкові умови для визначення функції  $\Phi$  виразимо:

$$\Phi(z, R_1) = T(z, R_1) - \Theta(z, R_1). \quad (17)$$

Тоді розв'язок рівняння (14) приймає вигляд:

$$\Phi(z, r) = \frac{2 \cdot \eta}{\rho \cdot C_p \cdot |V_{rc}|} \left[ f_1^2(z) \cdot r^3 / 3 - 2 \cdot f_1(z) \cdot f_2(z) \cdot r + f_2^2(z) / r \right] + C_4, \quad (18)$$

$$\text{де } f_1(z) = K_1 \cdot \frac{9 \cdot z \cdot h^2 - 2 \cdot h^3 - 10 \cdot z^3}{30 \cdot h^3};$$

$$f_2(z) = \frac{3}{\pi \cdot h^2} \cdot (Q_1 - Q_3) \cdot \left( 1 - 2 \cdot \frac{z}{h} \right).$$

З урахуванням отриманих рівнянь, розподіл



температурного поля в дисковому зазорі надане на рис. 4.

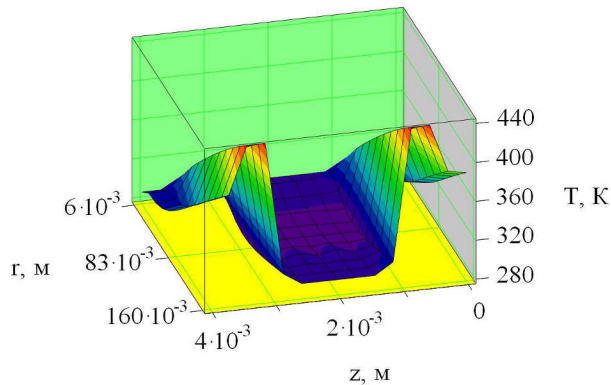


Рис. 4. Об'ємна діаграма розподілу температури в дисковому зазорі при параметрах, що відповідають рис. 2 ( $h=4 \cdot 10^{-3}$  м)

Плоскі графіки розподілу температури, отримані при тих же параметрах, що й на рис. 2 на виході з дискового зазора показані на рис. 5. При цьому середні значення температури на виході із зазора: для кривої 1 – 324 К; для кривої 2 – 308 К; для кривої 3 – 304 К.

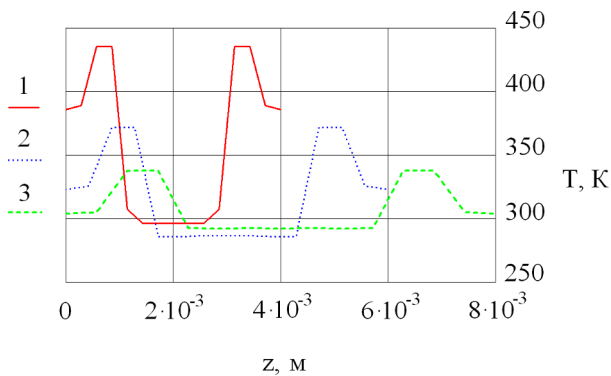


Рис. 5. Плоскі графіки розподілу температури на виході з дискового зазора: 1 –  $h=4 \cdot 10^{-3}$  м; 2 –  $h=6 \cdot 10^{-3}$  м; 3 –  $h=8 \cdot 10^{-3}$  м

З наведеного розподілу температур випливає, що середня температура на виході з дискового зазора при  $h=4 \cdot 10^{-3}$  м відповідає 324 К. Зі збільшенням розміру дискового зазора середня температура знижується до 304 К, що відповідає  $h=8 \cdot 10^{-3}$  м. Це пов'язане з тим, що при розрахунку розподілу температурного поля на виході з дискового зазора в увагу приймалися тільки сили тертя. Кавітаційна складова процесу теплообміну (енергія, що виділяється при зхлопуванні кавіт) не враховувалася. У реальному про-

цесі, як показують експерименти, середня температура на виході з кавітаційної камери теплогенератора доходить до 350 К при  $h=8 \cdot 10^{-3}$  м.

#### Опис конструктивних особливостей експериментального роторно-імпульсного теплогенератора

Для перевірки адекватності отриманих математичних моделей, що визначають вплив геометричних параметрів каналів роторно-імпульсних апаратів на ефективність процесів теплообміну, здійснені експериментальні дослідження плинущої нестисливої рідини в роторно-імпульсному апараті. Із цією метою був спроектований і виготовлений роторно-імпульсний теплогенератор. Теплогенератор являє собою робочу камеру з геометрією дискових каналів і діаметром робочого диска (ступінь ротора) що змінюється. На його основі змонтований експериментальний стенд з системою вимірювань для тестування роботи (рис. 6).

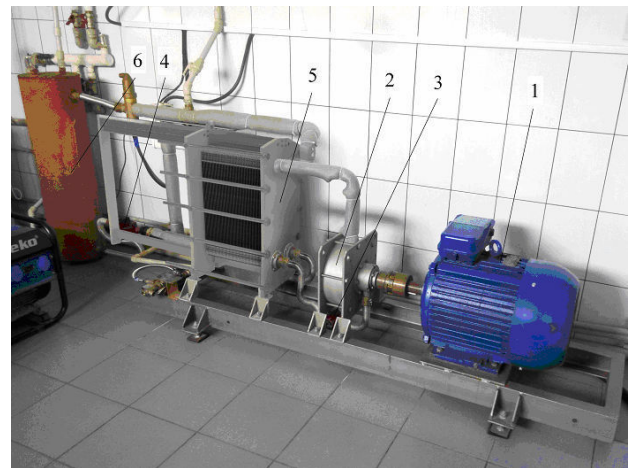


Рис. 6. Експериментальний стенд для тестування ефективності роботи роторно-імпульсного теплогенератора:

1 – електродвигун; 2 – камера роторно-імпульсного теплогенератора; 3, 5 – насос; 4 – пластинчастий теплообмінник; 6 – ємність, що акумулює

Зміною кількості розташованих на валу ротора дисків (робочих коліс) здійснювали процес одноступінчастої й багаступінчастої кавітації. На основі системного аналізу результатів досліджень визначали найбільш ефективну геометрію дискового імпульсного теплогенератора для наступної інтеграції його в систему децентралізованого теплопостачання.

#### Тестування роторно-імпульсного теплогенератора

Методологія тестування роторно-імпульс-

ного теплогенератора на його енергоефективність відповідає прийнятним методикам [1]. В ході тестування вимірювали: температуру, витрату теплоносія, тиск теплоносія на вході й виході з теплогенератора, витрачену потужність, число обертів. Змінювали геометрію робочої камери теплогенератора, при цьому варіювали радіус робочого колеса  $r=(110-170)\cdot 10^{-3}$  м; розмір дискового каналу  $h=(4-12)\cdot 10^{-3}$  м; витрати теплоносія, що нагріває  $G=0,27-1,1$  кг/с; настановну потужність  $N=7,5-15$  кВт·ч; число обертів ротора  $n=2500-3000$   $\text{min}^{-1}$ . Показники  $r$  й  $h$  відповідали граничним умовам, закладеним у математичні моделі. Обробку експериментальних даних 25 дослідів проводили у відповідності з методикою [10].

На рис. 7 наведені термограми нагрівання теплоносія у одноступінчастому й двоступінчастому роторно-імпульсному теплогенераторі.

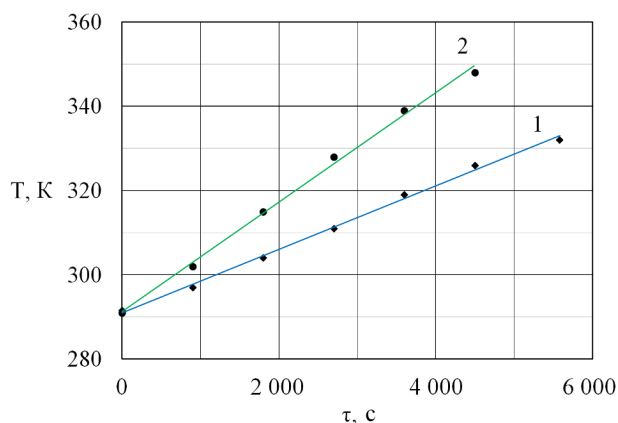


Рис. 7. Термограма нагрівання теплоносія в одноступінчастому – 1 і двоступінчастому – 2 роторно-імпульсному теплогенераторі

За результатами оброблених досліджень коефіцієнт корисної дії одноступінчастого дискового теплогенератора (залежність 1) склав  $h=0,76$ .

З метою підвищення ККД теплогенератора застосували багатоступінчастий імпульсний вплив на теплоносій, розмістивши на роторі другий диск. Величину зазора між дисками змінювали в діапазоні  $(4-12)\cdot 10^{-3}$  м.

Коефіцієнт корисної дії за результатами оброблених даних досліджень (залежність 2) склав  $h=0,84$ .

Таким чином, метод багатоступінчастого імпульсного впливу, з урахуванням результатів математичного моделювання, експерименталь-

но підтверджено та реалізованого в конструктивному оформленні робочої камери дискового імпульсного теплогенератора, дозволив підвищити його енергоефективність на 12%.

На основі експериментальних досліджень, розроблена теплогенеруюча установка із двоступінчастим імпульсним впливом на теплоносій, що інтегрована в систему теплопостачання тепличного комплексу площею більше 3000  $\text{m}^2$ .

#### Обговорення результатів досліджень і висновки

Висока енергоефективність розробленого теплогенератора пояснюється наступними особливостями його конструкції:

- оптимізацією геометричних параметрів робочої камери на основі результатів математичного моделювання;
- оптимізацією параметрів процесу гідродинаміки й теплообміну (швидкості, тиску, температури) усередині робочої камери теплогенератора;
- застосуванням багатоступінчастої системи імпульсного впливу на теплоносій;
- застосуванням засобів автоматичного контролю та керування системою обігріву з інтегрованим теплогенератором при дискретно-імпульсному введенні енергії.

Отримані експериментальні показники енергоефективності теплової роботи роторно-імпульсного теплогенератора зіставили з результатами теплової роботи імпульсних теплогенераторів з літературних джерел [11].

ККД розробленого роторно-імпульсного теплогенератора на 17% вище (0,84 проти 0,706) ККД наведених у літературі конструкцій імпульсних теплогенераторів з багатоступінчастим імпульсним впливом.

При використанні нічного тарифу ККД розробленого теплогенератора досягає значень 95–98%.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 260 с.
2. *Mathematical and Geomechanical Model in Physical and Chemical Processes of Underground Coal Gasification* / G. Pivnyak, R. Dychkovskiy, O. Boblyiov, С.Е. Cabana, A. Smoliccki // *Solid State Phenomena*. – 2018. – № 277. – P.1-16. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.277.1>
3. *Nikolsky V., Yaris V., Reshetniak I.* Improvement of energy efficiency in the operation of a thermal reactor with

submerged combustion apparatus through the cyclic input of energy // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2017. – Vol. 2/8. – № 86. – P.39-44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97914>

4. Park J.T., Cutbirth J.M., Brewer W.H. Hydrodynamic performance of the large cavitation channel (LCC) // ASME/JSME 2003 4th Joint Fluids Summer Engineering Conference. – American Society of Mechanical Engineers, 2003. – P.87-100. <https://doi.org/10.21236/ADA416700>

5. Jie LIN. Modelling hydrodynamic processes in tidal stream energy extraction // Journal of Hydrodynamics, Ser. B. – 2016. – T.28. – № 6. – P.1058-1064. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(16\)60711-4](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60711-4)

6. Dealy J.M., Wissbrun K.F. Melt rheology and its role in plastics processing: theory and applications // Springer Science & Business Media. – 2012. – 244 p.

7. Analytical and experimental studies into the processes of hydrodynamics and heat exchange in the channels of disk pulse devices / V. Nikolsky, I. Kuzyayev, O. Aliksandrov, V. Ved, A. Pugach, V. Yaris, S. Ptitsyn, V. Lopatin // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2019. – Vol.4/8. – № 100. – P.15-23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174629>

8. Кузьяев И.М. Моделирование процессов гидродинамики и теплообмена в агрегатах с рабочими пространствами между двумя дисками при переработке жидких сред // Промышленная теплотехника. – 2003. – Vol.25. – № 5. – С.17-24.

9. Кузьяев И.М., Свидерский В.А., Петухов А.Д. Моделирование экструзии и экструдеров при переработке полимеров: монография, в 2 ч. Часть 1. – Киев: НТУУ «КПИ» Изд-во «Политехника», 2016. – 412 с.

10. Анциферов С.С., Русанов К.Е., Афанасьев М.С. Обработка результатов измерений. – М.:Икар, 2014. – 228 с.

11. Промтов М.А., Акулин В.В. Механизмы генерирования тепла в роторно-импульсном аппарате // Вестник ТГТУ. – 2006. – Т.11. – № 1. – С.103-106.

Надійшла до редакції 02.11.2019

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ДИСКРЕТНО-ИМПУЛЬСНОМ ВВОДЕ ЭНЕРГИИ

Никольский В.Е., Александров А.Г., Яриз В.А., Матченко М.Н., Лободенко А.В., Решетняк И.Л.

На основе математического моделирования исследовано влияние конструктивных особенностей рабочей камеры роторно-импульсного аппарата на эффективность процессов теплообмена при дискретно-импульсном вводе энергии. Разработана математическая модель процесса теплообмена и определено влияние основных компонентов процесса (скорости, давления и температуры теплоносителя) при импульсном воздействии на теплоноситель. Проведена серия экспериментальных исследований на роторно-импульсных аппаратах с одной и многоступенчатой системой дискретно-импульсной обработки теплоносителя, подтверждающих адекватность разработанных математических моделей. На этой основе изготовлены, апробированы и внедрены промышленные конструкции роторно-импульсных теплогенераторов с одной и двумя ступенями дискретно-импульсного воздействия на теплоноситель для децентрализованного обогрева зданий промышленного и бытового назначения. Метод многоступенчатого дискретно-импульсного воздействия на теплоноситель реализован в конструктивном оформлении рабочей камеры дискового роторно-импульсного теплогенератора для последующей интеграции его в систему децентрализованного теплоснабжения. Показано, что предложенный метод, реализованный и экспериментально подтвержденный в конструктивном оформлении рабочей камеры роторно-импульсного теплогенератора, позволил повысить его энергоэффективность на 12%. Разработанный теплогенератор с многоступенчатым импульсным воздействием на теплоноситель интегрирован в систему обогрева тепличного комплекса. Коэффициент полезного действия роторно-импульсного теплогенератора составил 0,86–0,9, что доказывает его высокую энергоэффективность. Высокая энергоэффективность разработанного теплогенерирующего устройства объясняется: оптимизацией геометрических параметров его рабочей камеры на основе результатов математического моделирования; оптимизацией параметров процесса гидродинамики и теплообмена (скорости, давления и температуры) внутри рабочей камеры теплогенератора; применением многоступенчатой системы импульсного воздействия на теплоноситель.

**Ключевые слова:** математическая модель, дифференциальные уравнения, процесс теплообмена, дискретно-импульсный ввод энергии, теплообменные процессы, роторно-импульсный теплогенератор, конструкция рабочей камеры, энергоэффективность.

## MATHEMATICAL MODELING OF HEAT TRANSFER PROCESSES AT DISCRETE-IMPULSE ENERGY INPUT

Nikolsky V. <sup>a</sup>, Aliksandrov O. <sup>a</sup>, Yariz V. <sup>a</sup>, Matchenko M. <sup>b</sup>, Lobodenko A. <sup>a</sup>, Reshetnyak I. <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

<sup>b</sup> Joint-Stock Company «DNIPROAZOT», Kamianske, Ukraine

The influence of features design of rotor-impulse apparatus chamber camera upon the efficiency of heat transfer processes at discrete-impulse energy input was studied by the use of mathematical modeling. Mathematical model of heat transfer process was developed, and the effect of the main process components, such as speed, pressure and temperature, on the heating agents was determined at impulse influence. A series of experimental studies using rotor-impulse apparatuses with one and multi-stage discrete-impulse processing system was done, which confirmed the adequacy of the developed mathematical models. On this basis, industrial designs of rotor-impulse heat generators with one and two-stage discrete-impulse processing system were manufactured and tested for self-contained heating of industrial and domestic buildings. The method of multistage discrete-impulse action by the heating agents was realized in the design of rotor-impulse apparatus chamber camera. The results obtained with the help of mathematical model were the basis of the apparatus chamber camera design of heat generator created for its integration into a decentralized heat supply system. It was shown that the proposed method made it possible to increase its energy efficiency by 12%. The developed heat generator with multistage impulse action on the heating agent was integrated into the heating system of the greenhouse complex. The efficiency coefficient of the rotor-impulse heat generator was 0,86–0,9, which proves its high energy efficiency. The high energy efficiency of the developed heat-generating device is explained by: optimization of the geometric parameters of its working chamber, based on the results of mathematical modeling; optimization of the hydrodynamics and heat transfer processes parameters (speed, pressure and temperature) inside the working chamber; using of the multistage impulse action on the heating agents.

**Keywords:** mathematical model, differential equations, heat transfer process, discrete-impulse energy input, rotor-impulse heat generators, features design of chamber camera, energy efficiency.

## REFERENCES

- Promtov M.A. *Pul'sacionnyye apparaty rotornogo tipa: teoriya i praktika* [Rotary-type pulsation apparatus: theory and practice]. Moskva, Mashinostroenie-1 Publ., 2001, 260 p. (in Russian).
- Pivnyak G., Dychkovskiy R., Bobyliv O., Cabana C.E., Smoliccki A. Mathematical and Geomechanical Model in Physical and Chemical Processes of Underground Coal Gasification. *Solid State Phenomena*, 2018, no. 277, pp.1-16. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.277.1>
- Nikolsky V., Yaris V., Reshetniak I. Improvement of energy efficiency in the operation of a thermal reactor with sub-merged combustion apparatus through the cyclic input of energy, *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2017, vol.2/8, no. 86, pp.39-44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97914>
- Park J.T., Cutbirth J.M., Brewer W.H. Hydrodynamic performance of the large cavitation channel (LCC). ASME/JSME 2003 4th Joint Fluids Summer Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers, 2003, pp.87-100. <https://doi.org/10.21236/ADA416700>
- Jie LIN. Modelling hydrodynamic processes in tidal stream energy extraction. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 2016, vol.28, no. 6, pp.1058-1064. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(16\)60711-4](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60711-4)
- Dealy J.M., Wissbrun K.F. *Melt rheology and its role in plastics processing: theory and applications*. Springer Science & Business Media, 2012, 244 p.
- Nikolsky V., Kuzyayev I., Aliksandrov O., Ved V., Pugach A., Yaris V., Ptitsyn S., Lopatin V. Analytical and experimental studies into the processes of hydrodynamics and heat exchange in the channels of disk pulse devices. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2019, vol.4/8, no. 100, pp.15-23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174629>
- Kuzjaev I.M. *Modelirovanie processov gidrodinamiki i teploobmena v agregatah s rabochimi prostranstvami mezhdv dvumya diskami pri pererabotke zhidkih sred* [Modeling of the processes of hydrodynamics and heat transfer in units with working spaces between two disks during liquid processing]. *Promyshlennaja teplotehnika Publ.*, 2003, vol.25, no. 5, pp.17-24. (in Russian).
- Kuzjaev I.M., Sviderskij V.A., Petuhov A.D. *Modelirovanie jekstruzii i jekstruderov pri pererabotke polimerov: monografiya, v 2 ch. Chast'1* [Modeling of extrusion and extruder in polymer processing: monograph, in 2 parts. Part 1]. Kiev, NTUU KPI, Politehnika Publ., 2016, 412 p. (in Russian).
- Anciferov S.S., Rusanov K.E., Afanas'ev M.S. *Obrabotka rezul'tatov izmerenij* [Processing measurement results]. Moskva, Ikar Publ., 2014, 228 p. (in Russian).
- Promtov M.A., Akulin V.V. *Mehanizmy generirovanija tepla v rotorno-impul'snom apparate* [Mechanisms of heat generation in a rotary-pulse apparatus]. *Vestnik TGTU Publ.*, 2006, vol.11, no. 1, pp.103-106. (in Russian).

УДК 007.5:658.5

*Оксанич И.Г., Шевченко И.В.***МОДЕЛИ РАСПОЗНАВАНИЯ СИТУАЦИЙ И ОШИБОК ВЫПОЛНЕНИЯ БИЗНЕС-ОПЕРАЦИЙ В РОБОТИЗИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ****Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина**

Роботизация организационно-технических систем предусматривает использование программных ботов для выполнения отдельных бизнес-операций. Функционирование программных ботов совместно с человеком-исполнителем порождает проблему надежности выполнения бизнес-операций и бизнес-процессов в целом. Эту проблему можно решить, если имеется инструментарий распознавания ситуаций и поддержки принятия решений по устранению ошибок. Целью работы является построение комплекса моделей диагностирования ситуаций и информационной поддержки процессов адаптации исполнительных структур организационно-технических систем при возникновении критических ситуаций при выполнении множества бизнес-операций на множестве бизнес-процессов и множестве автоматизированных рабочих мест с учётом участия в бизнес-операциях людей и программных ботов. Для построения комплекса моделей и алгоритмов диагностирования ситуаций и адаптации исполнительных структур организационно-технических систем необходимо выполнить такие этапы как структурирование множества проблем и ситуаций в роботизированной организационно-технической системе; отбор и группировка информативных признаков и формирование соответствующего пространства признаков; разработка моделей и процедур, преобразующих первичные параметры процессов в признаки ситуаций; разработка модели распознавания возможных критических и нештатных ситуаций относительно групп признаков; разработка правил устранения критических ситуаций. В процессе анализа фиксируются пространство признаков ситуаций и признаковые границы каждой ситуации, внутри которых оказывается возможным решение проблемы за счет воздействия на поддающиеся регулированию и трансформации элементы. Для обеспечения распознавания проблем и ситуаций необходимо построить на концептуальном уровне иерархию проблем, двигаясь от проблем верхнего уровня к проблемным ситуациям и их признакам. На стыке уровней проявляются причинно-следственные связи, которые необходимо выявить и отобразить в модели распознавания и базе знаний. Разработаны формальные модели распознавания ситуаций и правила принятия решений для устранения критических ситуаций. Модели разработаны для двух уровней: уровня монитора автоматизированного рабочего места и уровня диспетчера организационно-технической системы. Это дает возможность повысить качество и надежность выполнения бизнес-процессов и сократить производственные потери времени.

**Ключевые слова:** организационно-техническая система, программные роботы, бизнес-операции, критические ситуации, распознавание, модели, правила.

**DOI:** 10.32434/2521-6406-2019-6-2-51-57

***Постановка проблемы***

Роботизация бизнес-процессов в организационно-технических системах (ОТС), управ-

ляемых BPM-системой (Business Process Management), где бизнес-операции выполняются совместно человеком-оператором (h-агентом)

© Оксанич И.Г., Шевченко И.В., 2019

*Models for recognizing situations and errors in implementation of business operations at a robotic organizational-technical system*

и b-агентом (ботом), порождает ряд проблем, таких, как необходимость разностороннего моделирования операционного пространства, в котором сочетаются множество бизнес-процессов (БП), множество бизнес-операций (БО) и множество автоматизированных рабочих мест (АРМ). Одной из наиболее важных представляется проблема распознавания ситуаций и диагностики ошибок при выполнении БО, так как любая критическая ситуация снижает качество БП, замедляя его ход и повышая риски увеличения стоимости задержек.

В процессе эксплуатации BPM-система должна накапливать задания, ожидающие обработки, и формировать очереди заданий различных типов, назначая для каждого задания исполнителя (АРМ). Кроме того, необходимо автоматически производить периодическое обновление очередей и фиксировать наличие в очереди новых, еще не просмотренных заданий, заданий с высоким приоритетом или заданий с установленным предельным сроком выполнения [1].

Анализируя особенности реализуемых бизнес-процессов, можно обнаружить множество потенциальных критических ситуаций: задержки по времени выполнения функций, отмену ранее совершенных действий, перераспределение исполнителей, лишние действия в процессе, неэффективных исполнителей.

В работе [2] рассматриваются вопросы управления слабоструктурированными бизнес-процессами, ситуации в которых могут изменяться во время выполнения. Предлагаются принципы управления, ситуативно-сценарная модель процесса и метод ее реализации на основе представления процесса в виде последовательности ситуаций и связанных с ними сценариев, состоящих из процедур и объектов данных. Такая модель может стать основой для понимания того, какие задачи приходится решать при разработке роботизированных ОТС. Прежде всего, это задачи обеспечения надежности выполнения БО.

#### ***Анализ последних исследований и публикаций***

В работах [3,4] обсуждается сквозная автоматическая проверка бизнес-процессов, которая может быть сложной задачей, но важным способом проверки правильности работы бизнес-правил, выявления и устранения проблем в кратчайшие возможные сроки. Авторы описывают возможности извлечения бизнес-правил при помощи BPMN – стандарта моделирования бизнес-процессов, который предоставляет графическую нотацию для определения бизнес-про-

цессов в диаграмме бизнес-процессов (BPD), основанную на методе последовательного представления. На основании полученных кейсов можно построить тесты для конкретного бизнес-процесса. Однако, такой метод проверки не работает в реальном времени.

В работах [5,6] обсуждаются методы проверки бизнес-процессов в реальном времени (RT-BPV) для обеспечения качества с точки зрения времени, т.е. задержка времени при выполнении БП должна быть в идеале равна нулю. Авторы показывают каким образом составляются схемы контроля времени выполнения, но не предлагают конкретных математических моделей, пригодных для контроля любых бизнес-операций.

Метод и модель мониторинга и диагностики критических ситуаций в непрерывных производственных процессах описаны в работе [7]. Очевидно, что подобный подход может оказаться полезным и при мониторинге бизнес-процессов в роботизированных ОТС.

#### ***Формулирование целей статьи***

Целью работы является построение комплекса моделей диагностирования ситуаций и информационной поддержки процессов адаптации исполнительных структур ОТС при возникновении критических ситуаций при выполнении множества бизнес-операций на множестве БП и множестве АРМ с учётом участия в бизнес-операциях h-агентов и b-агентов.

#### ***Изложение основного материала исследования***

Для построения комплекса моделей и алгоритмов диагностирования ситуаций и адаптации исполнительных структур ОТС необходимо выполнить следующие этапы:

1. Структурирование множества проблем и ситуаций в ОТС.
2. Отбор и группировка информативных признаков и формирование соответствующего пространства признаков.
3. Разработка моделей и процедур, преобразующих первичные параметры процессов в признаки ситуаций.
4. Разработка модели распознавания и правил распознавания.
5. Формулировка правил устранения возможных критических и нестандартных ситуаций.
6. Разработка алгоритмов распознавания и алгоритмов коррекции баз знаний.

Пункт 6 в рамках данной статьи не раскрывается.

### Структурирование множества проблем и ситуаций в ОТС

В основу структурирования оперативной технологической информации положим выделение проблем и ситуаций. Согласно концепции системного анализа проблема есть осознанное несоответствие реального и желаемого, целей и результатов. Ситуация с точки зрения управления – объективная или субъективная оценка некоторого подмножества параметров процесса (эндогенных факторов), некоторого подмножества параметров внешней среды (экзогенных факторов) и связей между ними, имеющих место в настоящее время и являющихся результатом развития управляемого процесса во времени и пространстве. Анализ и классификация ситуаций основывается на анализе режимов работы ОТС при выполнении БП.

Выделим два основных режима протекания БП:

1. Нормальный режим (штатная ситуация), когда процесс протекает в рамках нормативных условий и переменные состояния находятся в интервале  $[(X_i)_0; (X_i)_{кр}]$ , где  $(X_i)_0$  – номинальные значения переменных,  $(X_i)_{кр}$  – критические значения переменных, при которых возможно возникновение критического режима.

2. Критический режим (критическая ситуация), когда требуется принятие незамедлительных мер по недопущению перехода в нештатную ситуацию, переменные состояния находятся в интервале  $[(X_i)_{кр}; (X_i)_{нс}]$ , где  $(X_i)_{нс}$  – значения переменных, при которых практически неизбежно возникновение нештатных ситуаций.

С другой стороны, ситуация имеет специфичную структуру, т.е. набор устойчивых компонент и их связей. Ситуация, когда модель служит инструментом анализа, позволяет в терминах предметной области описать некую совокупность условий и проблем. В процессе анализа фиксируются пространство признаков ситуаций (пространство ситуаций) и признаки границы каждой ситуации, внутри которых оказывается возможным решение проблемы за счет воздействия на поддающиеся регулированию и трансформации элементы.

Свяжем понятие потока событий на уровне ОТС или АРМ с понятием ситуации. Каждое событие, с одной стороны, есть следствие ситуации, а с другой стороны событие есть одновременный факт изменения ситуации, который вызывает новую ситуацию. Таким образом, будем считать, что поток событий формирует траекторию ОТС или АРМ в пространстве ситуа-

ций. Как было сказано выше, ситуация может быть штатной, критической или нештатной. Критические ситуации отнесем к классу проблемных, так как каждая такая ситуация есть следствие неразрешённой проблемы.

Для обеспечения распознавания проблем и ситуаций необходимо построить на концептуальном уровне иерархию проблем, двигаясь от проблем верхнего уровня к проблемным ситуациям и их признакам. На стыке уровней проявляются причинно-следственные связи, которые необходимо выявить и отобразить в модели распознавания и базе знаний.

Учитывая вышеприведенные соображения, опишем структуру множества проблемных ситуаций (проблемно-ситуационное пространство) следующим образом:

$$PS = \langle P1(P2(P3(S))), PS, R1, R2, R3, CR, F \rangle, \quad (1)$$

где  $P1$  – множество проблем первого уровня;  $P2$  – множество проблем второго уровня;  $P3$  – множество проблемных ситуаций;  $S$  – множество признаков проблемных ситуаций;  $PS$  – множество процессов, порождающих проблемы;  $R1 \subseteq P1 \times P2$  – проекция множества проблем первого уровня на множество проблем второго уровня;  $R2 \subseteq P2 \times P3$  проекция множества проблем второго уровня на множество проблемных ситуаций;  $R3 \subseteq P3 \times S$  – проекция множества проблемных ситуаций на множество признаков. Отношение  $R1$  отражает причинно-следственные связи проблем и второго уровня, отношение  $R2$  отражает причинно-следственные связи между проблемными ситуациями и проблемами второго уровня, отношение  $R3$  связывает проблемные ситуации с их признаками. Выявление корреляций  $CR$  между проблемами второго уровня и признаками ситуаций позволяет конкретизировать логические связи  $F$ , которые должны быть зафиксированы в базах знаний. При классификации проблем и ситуаций необходимо выбрать достаточно компактный набор признаков структур (ситуаций), чтобы снизить размерность и ресурсоемкость задачи.

I. Проблема 1-го уровня:

Недостаточная эффективность отдельных АРМ и ОТС в целом, потери времени и соответствующие убытки.

II. Проблемы 2-го уровня:

1. Регулярные задержки по времени исполнения БО.

2. Наличие «узких мест», где растут очереди заявок.

3. Добавление заявки в очередь приводит к сверхпороговому увеличению времени пребывания в очереди для некоторых заявок.

III. Проблемные ситуации и признаки:

1. Ошибки в результатах БО. Признак – сообщения от h-агента.

2. Неверные данные на входе – сообщения от h-агента и/или b-агента.

3. Превышение длины/времени в очереди – перегрузка АРМ.

4. Выход из строя АРМ: сообщение от h-агента.

*Модель распознавания ситуаций и принятия решений на уровне монитора АРМ*

Все перечисленные выше ситуации кодируем символами:

X1 – задержка по времени выполнения БО больше порога реагирования;

X2 – искажены входные данные;

X3 – ошибка в результатах БО;

X4 – длина очереди превышает порог.

В результате мониторинга выполняемых БО для каждой БО должен накапливаться свой массив данных. Эти данные отражают как одномоментные срезы ситуаций, так и по тенденциям. Эти массивы в виде строк таблицы отчета передаются с интервалом  $\Delta t$  контроллеру ОТС, который при необходимости меняет состав и структуру сети исполнителей для каждого БП. Обозначим выводы таблицы одномоментного анализа ситуации (табл. 1):

D1 – ситуация штатная;

D2 – повторить БО с начала;

D3 – повторить ввод исходных данных.

Таблица 1

Таблица одномоментного анализа ситуации

№	X1	X2	X3	X4	D1	D2	D3
0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	1	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	1	0
4	0	1	0	0	0	0	1
5	0	1	0	1	0	0	1
6	0	1	1	0	0	1	1
7	0	1	1	1	0	1	1
8	1	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0	0	0
10	1	0	1	0	0	1	0
11	1	0	1	1	0	1	0
12	1	1	0	0	0	0	1
13	1	1	0	1	0	0	1
14	1	1	1	0	0	1	1
15	1	1	1	1	0	1	1

Используя аппарат алгебры высказываний, получим правила:

$$D1 = \overline{X1} \cap \overline{X2} \cap \overline{X3} \cap \overline{X4}; D2 = X3; D3 = X2. \quad (2)$$

*Модель распознавания ситуаций и принятия решений на уровне диспетчера ОТС*

На уровне диспетчера ОТС необходимо распознавать тенденции, которые накапливаются на каждом АРМ. Определим понятие событийной тенденции.

Определение. Пусть  $x(t) = \{x_1, \dots, x_m\}$  – временной ряд значений некоторой лингвистической переменной, которая характеризует лишь два факта – событие произошло или не произошло. Тогда событийной тенденцией  $e(t) \in E$  является упорядоченная по определенному закону  $z(t)$  совокупность лингвистических значений

$$e(t) = z(t, x_1, \dots, x_n). \quad (3)$$

Определяя множество событийных тенденций  $E$  на всех интервалах  $[t-m+1, t]$  временного ряда и располагая начало и конец интервала на временной шкале, получим временной ряд событийной тенденции – упорядоченную во времени последовательность событий

$$e^z(t) = \{x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n\}, \quad (4)$$

где  $n$  – ширина окна наблюдения. Понятно, что для каждого элемента множества тенденций  $e(t) \in E$  существует собственный закон упорядочивания событий  $z(t)$ .

Поскольку мы рассматриваем совокупность упорядоченных бинарных значений, которая отражает тенденцию во времени, а нашей целью является распознавание тенденций, целесообразно воспользоваться аппаратом распознавания образов. Создадим пространство признаков, размерность которого будет равняться ширине  $n$  окна наблюдения тенденций. Каждое лингвистическое значение  $x(t)$  будет сопоставлено с одной осью координат пространства признаков. Если будет найдено множество эталонных последовательностей  $S$ , задачу распознавания тенденции можно решить с помощью классических подходов, например, вычислением скалярного произведения:

$$D(S_i, X_j) = \sum_{k=1}^n S_{ik} X_{jk}; \quad (5)$$

$$X_k \in S_i, \text{ если } D(S_i, X_j) = \max_k D(S_i, X_j), \quad (6)$$



где  $D(S_i, X_j)$  – скалярное произведение вектора признаков текущей ситуации и одного из эталонных векторов, который определяют класс ситуации с индексом  $k$ , или вычислением расстояний по одной из известных метрик, например, по метрике Евклида:

$$L(X_i, S_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - s_{jk})^2} \tag{7}$$

или по метрике Хемминга

$$L(X_i, S_j) = \sum_{k=1}^n |x_{ik} - s_{jk}|. \tag{8}$$

Сформируем базу знаний для анализа событийных тенденций. Посылки каждого правила получены путём экспертных оценок закономерностей  $z(t)$ . Определено, что если относительная частота события составляет не менее 0,75, следует зафиксировать, что событийная тенденция происходит. Для определения соответствующего правила составлена таблица истинности (табл. 2), в которой каждый столбик соответствует номеру отсчета определенного события. При ширине окна  $n=4$  нужно иметь не менее 3-х установленных событий одного вида для фиксации определенной тенденции.

Используя аппарат алгебры высказываний, получим общее правило:

$$z(t) = X1 \cap X2 \cap X4 \cup X1 \cap X2 \cap X3 \cup X2 \cap X3 \cap X4 \cup X1 \cap X3 \cap X4. \tag{9}$$

Таблица 2

Таблица решений по выявлению тенденции

№	Номер шага				z(t)
	1	2	3	4	
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0
10	1	0	1	0	0
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1

Данное правило используется для всех 4-х событий – X1, X2, X3, X4.

Запишем перечень необходимых решений Y1, Y2, Y3 при обнаружении тенденций по каждому из первичных признаков X1...X4:

1. Y1: если имеется тенденция к повторению признака X1 или есть тенденция к повторению признака X3, то необходим анализ алгоритма БО.

2. Y2: если имеется тенденция к повторению признака X2, необходим анализ функционирования источника данных для БО.

3. Y3: если есть тенденция к повторению признака X1 или признака X4, необходимо перераспределить нагрузку на АРМ и провести поиск источника задержки.

Используя правило 9, составим таблицу решений по анализу тенденций (табл. 3). В этой таблице каждый столбец соответствует зафиксированной тенденции по соответствующему признаку.

Из табл. 3 после преобразований имеем правила:

$$Y1 = \overline{X1} \cap X2 \cap X4 \cup \overline{X1} \cap X3 \cap \overline{X4} \cup \overline{X1} \cap X2 \cap X3 \cup X2 \cap X3 \cap \overline{X4}; \tag{10}$$

$$Y2 = X2; \tag{11}$$

$$Y3 = X1 \cup X4. \tag{12}$$

Таким образом, выражения (2)–(12) состав-

Таблица 3

Таблица решений по анализу тенденций

№	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1
2	0	0	1	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	1	1	0
5	0	1	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	1	0
7	0	1	1	1	1	1	1
8	1	0	0	0	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	1
10	1	0	1	0	0	0	1
11	1	0	1	1	0	0	1
12	1	1	0	0	0	1	1
13	1	1	0	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1	1	1
15	1	1	1	1	0	1	1

ляють модель розпознавання ситуацій і діагностики помилок виконання бизнес-операцій на рівні АРМ і на рівні ОТС.

#### **Выводы**

Для роботизованих організаційно-технічних систем, реалізуючих множество бизнес-процесів на множестве автоматизованих робочих місць, розроблені формальні моделі розпознавання ситуацій і правила прийняття рішень для усунення критичних ситуацій, отличаючися тем, що в них використовуються не тільки текущіє значення признаков, но і событийніє тенденції. Моделі розроблені для двох рівнів: рівня монітора автоматизованого робочого місця і рівня диспетчера організаційно-технічної системи. Это дає можливість підвищити якість і надійність виконання бизнес-процесів і скоротити непроизводственные втрати часу.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Аксенов К.А., Гончарова Н.В. Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 311 с.
2. Чалый С.Ф. Разработка технологии управления слабокоструктурированными бизнес-процессами. Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2006. – Вып.135. – С.63-71.
3. End-to-end Automatic Business Process Validation / Ana C.R. Paiva, Nuno H. Flores, Joao P. Faria, Jose M.G. Marques. – Procedia Computer Science. – 2018. – № 130. – P.999-1004. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.104>
4. Test case generation from BPMN models for automated testing of Web-based BPM applications. 17th International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA) / Jessica Lasch de Moura, Andrea Schwertner Charao, Joao Carlos Damasceno Lima, Benhur de Oliveira Stein. – 2017. – P.1-7.
5. Asma Ouarhim, Karim Baïna Towards a real-time business processes validation algorithm. Procedia Computer Science. – 2019. – № 148. – P.580-589. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.031>
6. Business process modeling with continuous validation. Journal of Software: Evolution and Process / Kühne S., Kern H., Gruhn V., Laue R. – 2010. – № 22(6-7). – P.547-566. <https://doi.org/10.1002/smr.517>
7. Шевченко И.В., Дымченко Н.Н., Грицаков С.А. Диагностика неблагоприятных ситуаций в процессе выращивания монокристаллов полупроводников // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – Вып. 1/(84). – С.34-43.

Поступила в редакцию 29.10.2019

#### **МОДЕЛІ РОЗПІЗНАВАННЯ СИТУАЦІЙ І ПОМИЛОК ВИКОНАННЯ БІЗНЕС-ОПЕРАЦІЙ У РОБОТИЗОВАНІЙ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІЙ СИСТЕМІ**

**Оксанич І.Г., Шевченко І.В.**

Роботизація організаційно-технічних систем передбачає використання програмних ботів для виконання окремих бизнес-операцій. Функціонування програмних ботів спільно з людиною-виконавцем породжує проблему надійності виконання бизнес-операцій і бизнес-процесів в цілому. Цю проблему можна вирішити, якщо є інструментарій розпізнавання ситуацій і підтримки прийняття рішень щодо усунення помилок. Метою роботи є побудова комплексу моделей діагностування ситуацій та інформаційної підтримки процесів адаптації виконавчих структур організаційно-технічних систем при виникненні критичних ситуацій при виконанні множини бизнес-операцій на множині бизнес-процесів і множині автоматизованих робочих місць з урахуванням участі у бизнес-операціях людей і програмних ботів. Для побудови комплексу моделей і алгоритмів діагностування ситуацій та адаптації виконавчих структур організаційно-технічних систем необхідно виконати такі етапи як структурування множини проблем й ситуацій у роботизованій організаційно-технічній системі; відбір і групування інформаційних ознак та формування відповідного простору ознак; розробка моделей і процедур, що перетворюють первинні параметри процесів в ознаки ситуацій; розробка моделі розпізнавання можливих критичних і позаштатних ситуацій щодо груп ознак; розробка правил усунення критичних ситуацій. У процесі аналізу фіксуються простір ознак ситуацій і ознакові межі кожної ситуації, всередині яких виявляється можливим вирішення проблеми за рахунок впливу на елементи, які піддаються регулюванню і трансформації. Для забезпечення розпізнавання проблем і ситуацій необхідно побудувати на концептуальному рівні ієрархію проблем, рухаючись від проблем верхнього рівня до проблемних ситуацій і їх ознак. На стику рівнів проявляються причинно-наслідкові зв'язки, які необхідно виявити і відобразити у моделі розпізнавання та базі знань. Розроблено формальні моделі розпізнавання ситуацій і правила прийняття рішень для усунення критичних ситуацій. Моделі розроблені для двох рівнів: рівня монітора автоматизованого робочого місця та рівня диспетчера організаційно-технічної системи. Це дає можливість підвищити якість та надійність виконання бизнес-процесів та скоротити невиробничі втрати часу.

**Ключові слова:** організаційно-технічна система, програмні роботи, бизнес-операції, критичні ситуації, розпізнавання, моделі, правила.

## MODELS FOR RECOGNIZING SITUATIONS AND ERRORS IN IMPLEMENTATION OF BUSINESS OPERATIONS AT A ROBOTIC ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEM

*Oksanych I.G., Shevchenko I.V.*

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine

*Robotization of organizational-technical systems involves the use of software bots for implementation of individual business operations. The functioning of software bots together with human executor raises the problem of the reliability of business operations and business processes in general. This problem can be solved by using a tool for recognizing situations and supporting decision-making to eliminate errors. The aim of the work is to build a set of models for situations diagnosing and information support for the adaptation processes of executive structures of organizational-technical systems in case of critical situations under implementation of a multitude of business operations on a multitude of business processes and a multitude of automated workplaces, taking into account the participation of persons and program bots in business operations. To build a complex of models and algorithms for situations diagnosing and adapting the executive structures of organizational-technical system, it is necessary to implement such steps as structuring a set of problems and situations in a robotic organizational-technical system; selection and grouping of informative features and formation of an appropriate feature space; development of models and procedures that transform the primary parameters of processes into situation features; development of a model for recognizing possible critical and emergency situations regarding to groups of features; development of rules for eliminating critical situations. In the analysis process the space of situation features and the feature boundaries of each situation are fixed. Within each space it is possible to solve a problem by influencing regulated and transformed elements. To ensure recognition of problems and situations, at conceptual level, it is necessary to build a problems hierarchy, moving from top-level problems to problem situations and their features. At the levels junction, causal relationships are manifested. This relationships must be identified and displayed in the recognition model and knowledge base. Formal models for recognizing situations and rules for making decisions to eliminate critical situations are developed. The models are designed for two levels: the workstation monitor level and the level of organizational-technical system manager. This makes possible to improve the quality and reliability of business processes and reduce non-production time losses.*

**Keywords:** organizational-technical system, software robots, business operations, critical situations, recognition, models, rules.

## REFERENCES

1. Aksenov K.A., Goncharova N.V. Dinamicheskoe modelirovanie multiagentnykh protsessov preobrazovaniia resursov [Dynamic modeling of multi-agent resource conversion processes]. GOU VPO UGTU-UI, Ekaterinburg, 2006, 311 p. (in Russian).
2. Chalyi S.F. Razrabotka tekhnologii upravleniia slabos- strukturirovannymi biznes-protsessami [Development of management technology for poorly structured business processes], *Management Information System and Devises*, iss. 135, 2006, pp.63-71. (in Russian).
3. Paiva Ana C.R., Flores Nuno H., Faria Joao P., Marques Jose M.G. End-to-end Automatic Business Process Validation, *Procedia Computer Science*, no. 130, 2018, pp.999-1004. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.104>
4. de Moura, Jessica Lasch, Charao, Andrea Schwertner, Lima, Joao Carlos Damasceno, Stein, Benhur de Oliveira Test case generation from BPMN models for automated testing of Web-based BPM applications, *ICCSA*, 2017, pp.1-7.
5. Ouarhim Asma, Baïna Karim. Towards a real-time business processes validation algorithm, *Procedia Computer Science*, no. 148, 2019, pp.580-589. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.031>
6. Kühne S., Kern H., Gruhn V., Laue R. Business process modeling with continuous validation, *Journal of Software: Evolution and Process*, no. 22(6-7), 2010, pp.547-566. <https://doi.org/10.1002/smr.517>
7. Shevchenko I., Grishakov S., Dymchenko N. Diagnostika neblagopriyatnykh situatsii v protsesse vyrashchivaniya monokristallov poluprovodnikov [Adverse situation diagnostics in the process of single-crystal semiconductors growing]. *Visnik Kremenchuts'kogo natsional'nogo universitetu imeni Mikhaila Ostrogradsk'kogo [Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University]*, iss. 1(84), 2017, pp.34-43. (in Russian).

УДК 004.318

*Петренко Н.Г.<sup>а</sup>, Зеленцов Д.Г.<sup>б</sup>*

## О ПРАКТИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ

<sup>а</sup> Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, г. Киев, Украина<sup>б</sup> ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина

В статье рассмотрены наиболее известные инструменты формального описания онтологий предметных областей, проведен их сравнительный анализ и выбор формального языка и онторедатора для практического использования. В работе приводятся два варианта трактовки термина «онтология». Предлагается его рассмотреть с точки зрения онтологического инжиниринга. Подробно рассмотрены три составляющие определения термина «онтология» – концептуализация, формальная, явная спецификация. Выделены проблемы выразительности языков описания онтологий. Приведены различные подходы к выбору формального языка для обозначения элементов концептуализации. В качестве примера системы выбрана некоторая производственная компания с ее производственными объектами, сотрудниками и производственными взаимоотношениями между ними. Исследование проводится для совокупности задач, связанных с человеческими ресурсами компании. Приводится CRF-модель (concept–relation–interpretation function model) онтологии предметной области. Для расширенного примера строительной компании представлены сам онтограф и индивиды классов. Проведено сравнение наиболее известных логических теорий описания онтологий. Рассмотрены особенности различных моделей построения онтологий предметных областей, таких как CRF, Frame и OWL. Отмечены их преимущества и недостатки. Сделан вывод, что при разработке больших онтологий следует применять все три указанные модели: на начальном этапе – CRF-модель для автоматизации построения структуры концептов предметной области и их семантической согласованности; на этапе ввода и формализации – модель Protégé-фреймов; на этапе использования онтологии – OWL-модель с механизмами запросов и рассуждений. При этом совместное использование онтологии предполагает ее размещение в Semantic Web. Сравнительный анализ показал, что перспективным направлением является построение веб-онтологий в среде Protégé. Для предметной области «Строительная компания» в статье приведен пример построения и использования OWL-онтологии в интегрированной среде онторедатора Protégé, механизма рассуждений Pellet и SPARQL-процессора. с соответствующими к ней запросами.

**Ключевые слова:** дескрипционная логика, онтология, модель онтологии, концептуализация, онтограф, Protégé.

**DOI:** 10.32434/2521-6406-2019-6-2-58-73

### *Постановка проблемы*

Для термина «онтология» распространены двумя являются два смысла: 1) в философском смысле онтология изучает природу и структуру вещей как таковых, независимо от их фактического существования; 2) второй смысл наиболее распространен в информатике как осо-

бый вид информационного объекта. Важность действительного существования сущностей (рассматриваемых в этой онтологии) прагматична [1–3]. Онтологии в онтологическом инжиниринге являются средством формального моделирования структуры системы, т.е. соответствующих объектов или субъектов и отношений

© Петренко Н.Г., Зеленцов Д.Г., 2019

*Petrenko N.G., Zelentsov D.G.*

между ними, принадлежащих соответствующей предметной области (ПдО) и используются для решения практических задач [4].

Далее термин «онтология» будет рассматриваться во втором смысле, с точки зрения онтологического инжиниринга.

Примером такой системы выбрано некоторую производственную компанию с ее производственными объектами, сотрудниками и производственными взаимоотношениями между ними. Инженер по знаниям анализирует соответствующие сущности и классифицирует их на понятия и отношения, представленные соответственно унарными и бинарными (в общем случае  $n$ -арными) предикатами. Базовая структура онтологии основана на процедурах обобщения/специализации иерархии понятий, т.е. таксономии. Предположим, что нас интересует совокупность задач, связанных с человеческими ресурсами компании. Тогда сущности Сотрудник, Мастер и Рабочий являются релевантными для решения совокупности практических задач, связанных с человеческими ресурсами компании. Первое понятие является суперпонятием (обобщающим понятием, родовым понятием) для остальных двух понятий. Отношение «работает-с» является релевантным отношением между сотрудниками (не только рабочими). Тогда конкретный человек, работающий в компании, будет экземпляром (индивидом) соответствующего понятия.

#### **Цель статьи**

Целью данной работы является рассмотрение наиболее известных инструментов формального описания онтологий ПдО, их сравнительный анализ и выбор формального языка и онто редактора для практического использования.

#### **Анализ последних исследований и публикаций**

Изначальное определение термина «онтология» [1] претерпело ряд изменений, и в конечном итоге в сообществе онтологов пришли к следующему: «Онтология – это формальная, явная спецификация общей (коллективно используемой) концептуализации» [2,3,5,6]. Далее кратко рассмотрим три составляющие приведенного определения (концептуализация, формальная, явная спецификация и почему общая (коллективно используемая) концептуализация так важна) с учетом того, что они подробно обсуждались в [2,3,5–8].

#### **Изложение основного материала**

##### **Концептуализация**

В [2,3] дано следующее определение понятия «концептуализация», в котором утвержда-

ется: «Совокупность формально представленных знаний ПдО основана на концептуализации: объектах, понятиях и других сущностях, которые предположительно существуют в некоторой рассматриваемой ПдО, и отношений между ними. Концептуализация – это абстрактное, упрощенное представление о мире, которое рассматривается с некоторой целью. Каждая база знаний, знание-ориентированная система или знание-ориентированный агент придерживаются определенной концептуализации, явно или неявно». Несмотря на сложную ментальную природу понятия «концептуализация», в [8] его определение основано на простом математическом представлении: экстенциональной реляционной структуре.

*Экстенциональная реляционная структура* (или концептуализация согласно [8]) является кортежем  $(D,R)$ , где  $D$  – множество понятий  $X$  предметной области, названное областью определения;  $R$  – множество отношений на  $D$ .

Заметим, что в этом определении элементами множества  $R$  являются обычные математические отношения на  $D$ , т.е. множества упорядоченных кортежей элементов из  $D$ . Таким образом, каждый элемент  $R$  является экстенциональным отношением, отражающим конкретное состояние мира с элементами из  $D$ .

Несмотря на простоту определения экстенционального понятия «концептуализация», в действительности она слабо подходит для решения практических задач, главным образом потому, что сильно зависима от конкретного состояния ПдО.

Суть в том, что экстенциональные отношения, принадлежащие  $R$ , отражают конкретное состояние фрагмента ПдО. Следовательно, необходимо сосредоточиться на смысловом значении основополагающих понятий, не зависящих от конкретного состояния ПдО (или согласно Крипке, возможного мира): например, значение отношения «работает-с» заключается в том, как взаимодействуют два конкретных рабочих. На практике понимание такого значения подразумевает наличие правил для принятия решений, соблюдение различных моделей поведения, независимо от того, работают ли эти два человека или нет.

Допустим, в примере для двух рабочих отношение «работать-с» означает, что:

- оба заявляют, что имеют одну и ту же цель;
- оба делают что-то для достижения этой цели.

Тогда значение «работать-с» можно определить как функцию, которая для каждого глобального поведенческого контекста, включающего всю область определения, дает список пар рабочих, которые фактически работают вместе в этом контексте. Обратное действие этой функции обосновывает значение понятия в конкретном состоянии ПДО. Обобщая этот подход и абстрагируясь от времени ради простоты, допустим, что интенциональное отношение (или концептуальное отношение согласно [9]) является функцией из множества максимальных состояний ПДО (глобальные поведенческие контексты в нашем случае) в экстенциональные отношения. Это общий способ выражения содержания понятий, который восходит к Карнапу [10], принят и расширен в семантике Монтегю [11].

В [7] представлено следующее определение интенционального или концептуального отношения. Пусть  $S$  – произвольная система,  $D$  – произвольное множество различных элементов в  $S$ ,  $W$  – множество состояний ПДО для  $S$ . Кортеж  $\langle D, W \rangle$  называется областью определения для  $S$ , поскольку он интуитивно фиксирует пространство изменений области рассуждения в  $D$  относительно возможных состояний  $S$ . Интенциональное отношение (или концептуальное отношение)  $\rho^n$  арности  $n$  на  $\langle D, W \rangle$  – это полная функция  $\rho^n: W \rightarrow 2^D$  из множества  $W$  во множество всех  $n$ -арных (экстенциональных) отношений на  $D$ .

Определив концептуальное отношение, далее представлено определение общей концептуализации (структуры интенциональных отношений).

Структура интенциональных отношений (или общая концептуализация, далее просто концептуализация) представляет собой тройку  $C = (D, W, \mathfrak{R})$ , где  $D$  – область дискурса;  $W$  – множество возможных миров;  $\mathfrak{R}$  – множество концептуальных отношений на доменном пространстве  $\langle D, W \rangle$ .

#### *Формальные, явные спецификации*

В практических приложениях необходимо использовать язык для обозначения элементов концептуализации. В этом случае говорят, что язык  $L$  фиксирует концептуализацию. Далее необходимо в явном виде определить концептуализацию и здесь проявляется роль онтологий как «явных спецификаций концептуализации». В принципе, такую концептуализацию можно четко определить двумя способами: экстенционально и интенционально. В данном примере экстенциональное определение концеп-

туализации потребует перечисления расширений каждого (концептуального) отношения для всех возможных миров. В общем случае, более эффективный способ определения концептуализации состоит в том, чтобы зафиксировать язык и ограничить интерпретации такого языка интенционально, с помощью подходящих аксиом (в [10] названных смысловыми постулатами). Например, можно принять простые аксиомы, утверждающие, что отношение подчиняется – асимметричное и нетранзитивное, а отношение «работает-с» симметричное, нереклексивное и нетранзитивное. И, онтология – это набор таких аксиом, то есть логическая теория, разработанная для выбора предполагаемых моделей, которые соответствуют определенной концептуализации, и исключить непредполагаемые модели. Результатом будет приблизительная спецификация концептуализации: будут отобраны лучшие предполагаемые модели и исключены непредполагаемые модели.

Аксиомы для интенционального и экстенционального специфицирования концептуализации могут быть представлены на неформальном или формальном языке  $L$ . Как требуется в определении онтологии (и согласно [2,5,6]), явная спецификация должна быть формальной. Термин «формальный» предполагает, что выражения на этом языке должны быть машиночитаемыми, поэтому естественный язык исключается. Далее следует представить все вышеизложенные понятия более формальным способом.

Пусть язык  $L$  является (вариантом) логического языка первого порядка, причем словарь  $V$  состоит из множества констант и предикатных символов (функциональные символы не рассматриваются). Введем понятие онтологического связывания (англ. ontological commitment), расширив стандартное понятие (экстенциональной) структуры первого порядка до интенциональной структуры первого порядка.

*Онтологическое связывание* для  $L$  представляется кортежем  $K = (C, \hat{I})$ , где  $\hat{I}$  (интенциональная функция интерпретации) – полная функция  $\hat{I}: V \rightarrow D \cup \mathfrak{R}$ , которая отображает каждый словарный символ из  $V$  либо в элемент  $D$ , либо в интенциональное отношение, принадлежащее множеству  $\mathfrak{R}$ .

Теперь видно, что определение онтологического связывания расширяет обычное (экстенциональное) определение «смысла» для словарных символов в интенциональном случае, заменяя понятие модели понятием концептуализации.

Как было показано, понятие онтологическое связывание является расширением стандартного понятия модели. Последнее понятие – экстенциональная оценка смысла, первое – интенциональная оценка смысла. Следует выяснить, какая взаимосвязь между ними? Конечно, как только будет определен интенциональный смысл словаря через его онтологическое связывание, также будут некоторым образом ограничены и его модели. Введем понятие предполагаемой модели в отношении определенно-онтологического связывания.

Пусть  $C=(D,W,\mathfrak{R})$  – концептуализация,  $L$  – логический язык первого порядка со словарем  $V$  и онтологическим связыванием  $K=(C,\hat{I})$ . Модель  $M=(S,I)$ , где  $S=(D,R)$ , называется предполагаемой моделью  $L$  на  $K$ , если:

1. Для всех константных символов  $c \in V$  имеем  $I(c)=\hat{I}(c)$ .

2. Существует такой мир  $w \in W$ , что для каждого предикатного символа  $v \in V$  существует такое интенциональное отношение  $\rho \in \mathfrak{R}$ , что  $\hat{I}(v)=\rho$  и  $I(v)=\rho(w)$ . Множество  $I_K(L)$  всех моделей  $L$ , совместимых с  $K$ , называется множеством предполагаемых моделей  $L$  на  $K$ .

Вышеприведенное условие 1 требует, чтобы отображение константных символов в элементы области дискурса было идентичным. Условие 2 утверждает, что должен существовать такой мир, что каждый предикатный символ отображается в интенциональное отношение, значение которого для этого мира совпадает с экстенциональной интерпретацией такого символа. Это означает, что наша предполагаемая модель будет описанием этого мира. Определив понятие предполагаемых моделей, можно уточнить роль онтологии, рассматриваемой как логическая теория и предназначенной для учета предполагаемого значения словаря, использующего логический язык.

#### Онтология

Пусть  $C$  – концептуализация,  $L$  – логический язык со словарем  $V$  и онтологическим связыванием  $K$ . Онтология  $O_K$  для  $C$  со словарем  $V$  и онтологическим связыванием  $K$  является логической теорией, состоящей из набора формул из  $L$ , построенных таким образом, что множество его моделей приближается как можно точнее к множеству предполагаемых моделей  $L$  по  $K$ .

Исходя из изложенного выше, можно сделать вывод, что «идеальная» онтология – это такая онтология, чьи модели точно совпадают (по модулю изоморфизмов) с предполагаемыми

моделями. Однако не все так просто: даже «прекрасная» онтология может не точно определить свою целевую концептуализацию, если ее словарь и область дискурса не подобраны соответствующим образом. Причина заключается в различии между логическим понятием модели и онтологическим понятием возможного мира. Первое понятие представляет собой комбинацию присваиваний из абстрактных реляционных структур (построенных на области дискурса) с элементами словаря; второе понятие представляет собой комбинацию действительных (наблюдаемых) состояний ПдО конкретной системы. Конечно, количество возможных моделей зависит как от размера словаря, так и от расширения области дискурса, которые выбираются более или менее произвольно, исходя из того, что, по-видимому, имеет отношение к целевому назначению. Напротив, число состояний ПдО зависит от наблюдаемых переменных, даже тех, которые на первый взгляд считаются не имеющими отношения к целевому назначению. Следует подчеркнуть, что степень, с которой онтология определяет концептуализацию, зависит: (1) от объема области дискурса; (2) от представительного множества терминов, вошедших в словарь; (3) от аксиоматизации. В свою очередь, аксиоматизация зависит от языковой выразительности.

#### Совместное (коллективное) использование онтологий

Первые определения «онтологий» не рассматривали аспект совместного использования онтологий [3,12] и только позднее он был введен в [5]. Действительно, можно с уверенностью утверждать, что невозможно сделать совместно используемыми концептуализации, являющиеся частными случаями для каждого индивида.

Что можно сделать совместно используемым для приближений концептуализаций, основанных на ограниченном множестве примеров, и показывающих фактические состояния, при которых имеют место определенные концептуальные отношения (например, фактические ситуации, показывающие случаи, когда возникает отношение «работает-с»). Помимо простых примеров также можно сделать совместно используемыми смысловые постулаты, т.е. явные формальные ограничения. Однако такие определения предполагают взаимное согласие на примитивные термины, используемые в этих определениях. Поскольку смысловые постулаты не могут в полной мере характеризовать он-

тологическое связывание с помощью примитивных терминов, следует учесть, что обобщение концептуализаций в лучшем случае является частичным. Для практического использования онтологий понятно, что без минимального общего онтологического связывания (совместного использования, например, веб-онтологий) от заинтересованных в онтологии сторон, преимущества онтологии ограничены. Причина в том, что онтология формально определяет доменную структуру при ограничении, что разработчик правильно понимает примитивные термины. Другими словами, онтология может оказаться бесполезной, если она используется таким образом, что противоречит общему онтологическому связыванию. Любая онтология всегда будет менее полной и менее формальной, чем возможно теоретически. Вот почему важно, чтобы онтологии, предназначенные для поддержки крупных проектов, были обоснованными, в том смысле, что основные примитивы, на которых они построены, были бы достаточно хорошо выбраны, аксиоматизированы и понятны для понимания.

#### *CRF-модель онтологии ПдО*

На практике важным моментом представления и верификации онтологий является визуализация множеств  $(D, V)$  в виде онтологического графа (онтографа). Последний, в самом простом случае, представляется графом в виде дерева и описывает иерархическую таксономию понятий и отношений между ними. Онтограф имеет корневую вершину, которой обычно присваивается имя и значение исследуемой ПдО и «нулевой» уровень иерархии. Нижележащие уровни понятий формируются в соответствии с принятой таксономией. Более подробные рекомендации по структурированию онтографов приведены в [13].

В этом случае онтология представляется известной моделью в виде тройки:

$$O = \langle X, R, F \rangle,$$

где  $X$  – множество понятий (терминов) на  $D$ ;  $R$  – множество концептуальных отношений, связывающих между собой концепты  $X$ ;  $F$  – множество функций интерпретации на  $X$  и/или  $R$  (аксиоматизация ПдО и словаря на языке некоторой теории первого порядка). По сути, множества  $(X, R)$  определяют структуру онтографа. Назовем модель (1) CRF (concept–relation–interpretation function) моделью.

Для расширенного примера строительной

компании онтограф и индивиды классов представлены на рис. 1 (сам онтограф показан выше утолщенной линии на уровнях 0–4). Понятия  $X$  описаны на естественном языке, расшифровка отношений  $R$  показана на рисунке вверху справа, а функции интерпретации  $F$  для понятий и отношений представляются интуитивно понятными. Корневой вершиной в онтографе является концепт «Строительная компания». Ей присвоен «нулевой» уровень в иерархии концептов. Человеческие ресурсы компании обозначены концептами «Дирекция», учета сотрудников «Отдел кадров» и начисления заработной платы «Бухгалтерия». Основная производственная деятельность компании обозначена концептом «Производство». Им присвоен «первый» уровень в иерархии. И так далее. Подчеркнем, что в CRF-модели вершины онтографа с именами «Директор», «Прораб», «Мастер» и «Рабочий» являются понятиями, а конкретные люди на этих должностях уже относятся к базе данных компании.

Следует отметить, что в CRF-модели отношение в онтографе (например,  $R_1$ ) может связывать вершину-родителя с несколькими вершинами-потомками. Предполагается по умолчанию, что вершина-родитель является целым для частей вершин-потомков (для отношения  $R_1$  – целое-часть). Такое утверждение верно для рассматриваемого примера, пока не определен конкретный (формальный) язык описания онтологий. В OWL-языке отношения (Object Property) являются бинарными, связывающими между собой индивидов двух классов, поэтому в OWL-описаниях и онторедакторе Protégé их все необходимо указывать в явном виде, что и продемонстрировано на рис. 3.

Ниже онтографа («утолщенной» линии) указаны конкретные сотрудники компании на текущий момент времени, что в CRF-модели не рассматривается и соответствует базе данных, а в OWL-модели – значениям данных индивидов.

Сформулируем определение онтологии с учетом модели (1). Компьютерная онтология ПдО – это:

- иерархическая структура конечного множества понятий, описывающих заданную ПдО;
- структура представляет собой онтограф, вершинами которого являются понятия, а дугами – семантические (концептуальные) отношения между ними;
- понятия и отношения интерпретируются в соответствии с общезначимыми функциями интерпретации, взятыми из электронных



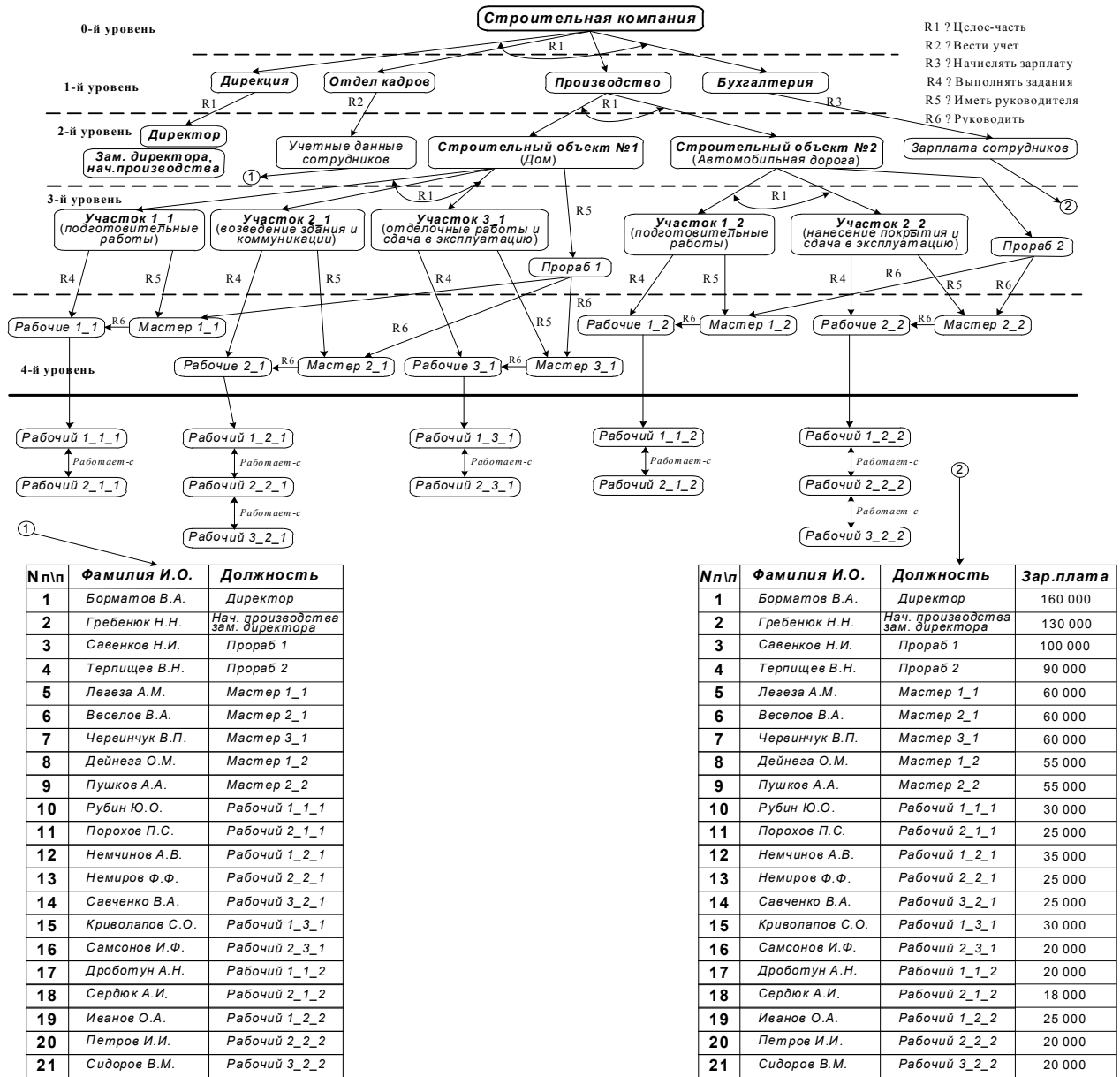


Рис. 1 Онтограф с индивидами классов «Строительная компания»

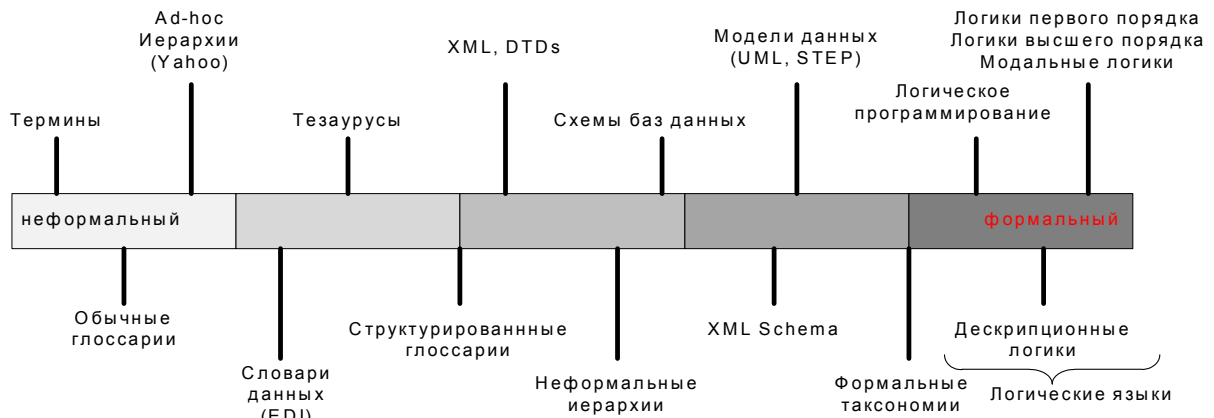


Рис. 2 Различные подходы к выбору языка L

источников знаний заданной ПдО;

- формально онтограф описывается на одном из языков описания онтологий;
- функции интерпретации описаны в некоторой подходящей формальной теории.

*Проблемы выразительности языков описания онтологий*

С одной стороны, известны неформальные

подходы к языку L, которые допускают только определения терминов с их спецификацией. С другой стороны, известны формальные подходы, т.е. логические языки, позволяющие задавать строго формализованные логические теории. Эти противоположные подходы приводят к континууму, введенному в [14] и представленному на рис. 2. Четкой границы, где начинается

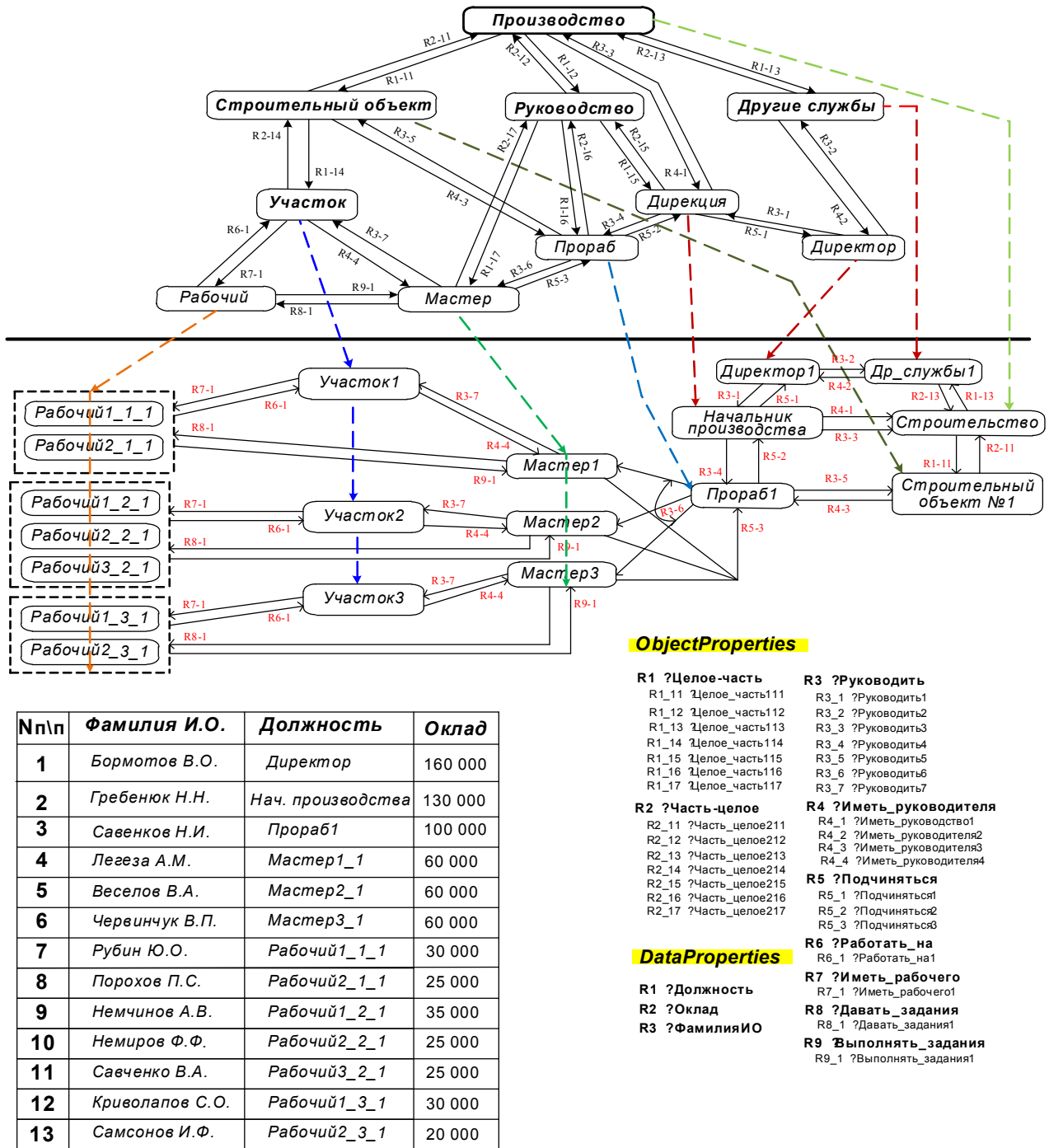


Рис. 3. Protégé-совместимый онтограф

критерий формальности в этом континууме, не существует. На практике самая правая категория логических языков (рис. 2) обычно рассматривается как формальная. В этой категории при выборе языка  $L$  рассматривают компромисс между выразительностью и эффективностью вычислений. С правой стороны континуума расположены: логики высшего порядка, полная логика первого порядка и модальная логика. Они достаточно выразительны, но не всегда допускают полных логических выводов из-за своей неразрешимости. На другом конце континуума расположены менее строгие подмножества логики первого порядка, обычно допускающие разрешимые и более эффективные логические выводы. Логика с правой стороны можно разделить на две основные группы.

В первую группу входят языки из семейства дескрипционных логик (DL), являющиеся строгими подмножествами логики первого порядка. Вторая группа исходит из традиции логического программирования (LP) [15], известным представителем которого является F-логика. Несмотря на то, что логическое программирование часто использует синтаксис, сопоставимый с логикой первого порядка, оно предпо-

лагает другую интерпретацию формул. В отличие от теории моделей Тарского [16], основанной на логиках первого порядка и дескрипционных логиках, логическое программирование описывает только подмножество моделей для суждений о семантическом вхождении формул. Существуют разные способы выбора подмножеств моделей, приводящие к различной семантике, – все они направлены на более эффективную работу с большими массивами данных, чем подходы, основанные на логике первого порядка. Одним из наиболее заметных различий, возникающих в результате этого разного стиля логических моделей, является то, что теории выразительного логического программирования становятся немонотонными.

Сравнение известных логических теорий описания онтологий

Ниже представлена таблица сравнительных характеристик наиболее известных логических теорий описания онтологий.

Из таблицы видно, что:

1. CRF-модель онтологии описывает концептуальную структуру знаний ПдО, включающую иерархию понятий (X,R) и определения на естественном языке. Методология разработки

Наименование компонент	Модели онтологии ПдО			DL (дескрипционная логика)	
	CRF	Frame (Protégé)	OWL(OWL2)		
Объект/субъект (о/с)	Понятие/термин	Класс (концепт)	Класс (концепт)	Концепт (одноместный предикат)	
Связь между о/с	Семантическое (интенциональное) отношение	Слот	Свойство (бинарное отношение)	Роль (двухместный предикат), RBox	
Аксиомы описания о/с	Функции интерпретации	Аннотации	Аннотации	Набор терминологических аксиом	
Данные	–	Экземпляр	Индивид	Индивид	
Связи данных	–	Свойство типа экземпляра	Свойство типа данных/ характеристики	Набор утверждений об индивидах	
Значения данных	–	Данные	Данные	Данные	
Машина логического вывода	–	+	+	+	
Инструментарий для построения и визуализации онтографов	–	+	–	–	
Конструкторы	–	–	Пересечение ( $\cap$ ) Объединение ( $\cup$ ) Дополнение ( $\neg$ ) Ограничения ( $\forall, \exists$ )	Пересечение ( $\cap$ ) Объединение ( $\cup$ ) Дополнение ( $\neg$ ) Ограничения ( $\forall, \exists$ ) и другие	
База знаний	–	+	+	+	

этой модели онтологии подробно описана в [13]. Следует отметить, что CRF-модель знаний ПДО не нашла широкого применения в приложениях пользователей, прежде всего из-за отсутствия средств интеграции с базами данных и апробированной формальной логической теории описания модели. Однако для CRF-модели хорошо проработан подготовительный этап ее построения. Известен инструментарий автоматизированного построения множеств понятий  $X$ , отношений  $R$  и функций интерпретации  $F$ .

2. Frame-модель онтологии ПДО и ее Protégé-реализация наиболее широко применяется в сообществе онтологического инжиниринга. Начиная с четвертой версии Protégé включает (и может подключить дополнительно в качестве plugin) самый разнообразный инструментарий манипулирования не только компонентами модели онтологии, но и проверки (ризонером) согласованности разработанной онтологии, ее визуализации (OntoGraph, OntoViz), размещения как на локальном компьютере (файл с расширениями owl или xml), так и в Semantic Web для совместного использования (Shared using), причем в полном соответствии со стандартами и рекомендациями консорциума W3C. Инструментарий Protégé распространяется с открытым программным кодом. Известен и другой аналогичный инструмент TopQuadrant's commercial TopBraid Composer разработки онтологических приложений функционально более эффективный, чем Protégé. Недостатком методологии создания как этой, так и последующей модели онтологии является отсутствие какой-либо поддержки подготовительного этапа формирования онтологий. Как следствие, инженер по знаниям субъективно формирует компоненты модели, а также вручную создает их структуру и вводит описания. В лучшем случае – при наличии онторедатора, в худшем – созданием вручную текстового файла с большим количеством RDF-троек.

3. Язык OWL позволяет описывать классы (концепты) и предоставляет дополнительные возможности по сравнению с Protégé. У него более богатый набор логических операторов и он основан на несколько другой логической модели. Кроме того, последняя позволяет использовать механизм рассуждений – ризонер, позволяющий автоматически выводить иерархию классов и поддерживать ее в корректно построенном состоянии (проверка на совместимость и непротиворечивость). Начиная с четвертой версии, в Protégé интегрированы в каче-

стве plugin многие функциональные возможности языка OWL и расширены в пятой версии. В настоящее время актуальным является язык OWL2 DL, позволяющий описывать онтологии как веб-документы и размещать их в WWW для совместного использования с другими owl-онтологиями [17].

4. Последний столбик в таблице дает общее представление о дескрипционной логике (целом подмножестве логик) и сравнение ее компонент с компонентами онтологических моделей.

*Пример построения OWL-онтологии «Строительная компания»*

Формальная онтология разрабатывается для примера, представленного на рис. 1, в среде онторедатора Protégé 5.5.0 со встроенными plugin – ризонером Pellet, визуализацией онтографов OntoViz и механизмом SPARQL-запросов. По утверждению авторитетных источников [17–19] этот онторедатор является наиболее широко используемым в сообществе онтологического инжиниринга, в том числе из-за возможности представления текстовых описаний в мультязычном формате.

Предполагается, что на компьютере создана локальная конечная точка, в которой хранятся файлы разработанной онтологии с расширениями \*.owl и \*.ttl. Последний файл используется SPARQL-процессором для обработки запросов (в синтаксисе Turtle). Отметим, что в примере онтограф и индивиды (рис. 1) несколько сокращены с целью сокращения объема OWL-описания модели онтологии.

Перед вводом информации в Protégé рекомендуем построить отображение сущностей CRF-модели (рис. 1) в Protégé-совместимый онтограф. Для примера такое отображение представлено на рис. 3.

Открываем главное меню онторедатора и присваиваем онтологии URL [http://www.semanticweb.org/николай/ontologies/2019/4/Construction\\_company-1](http://www.semanticweb.org/николай/ontologies/2019/4/Construction_company-1).

Руководства по созданию OWL-онтологий в Protégé и SPARQL-запросов представлены в общедоступных источниках, например в [17–19]. На рис. 4 представлено окно онторедатора, в котором отображены некоторые виды вкладок онторедатора, в которых показаны результаты в процессе разработки OWL-онтологии.

На рис. 5 представлен онтограф OWL-онтологии «Строительная компания», разработанный в приложении «OntoGraf», а на рис. 6 – метрика этой онтологии. Как видно из после-

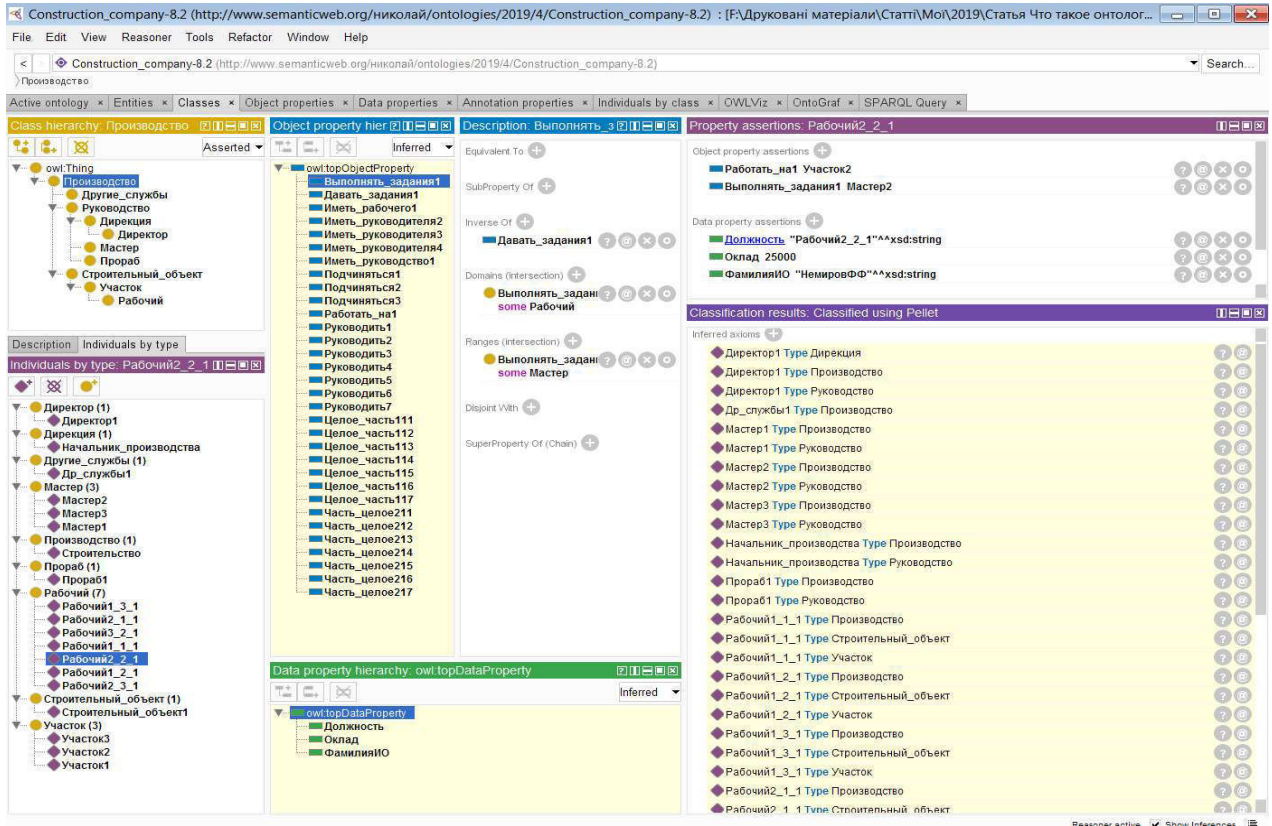


Рис. 4. Пример представления основных результатов разработки OWL-онтологии

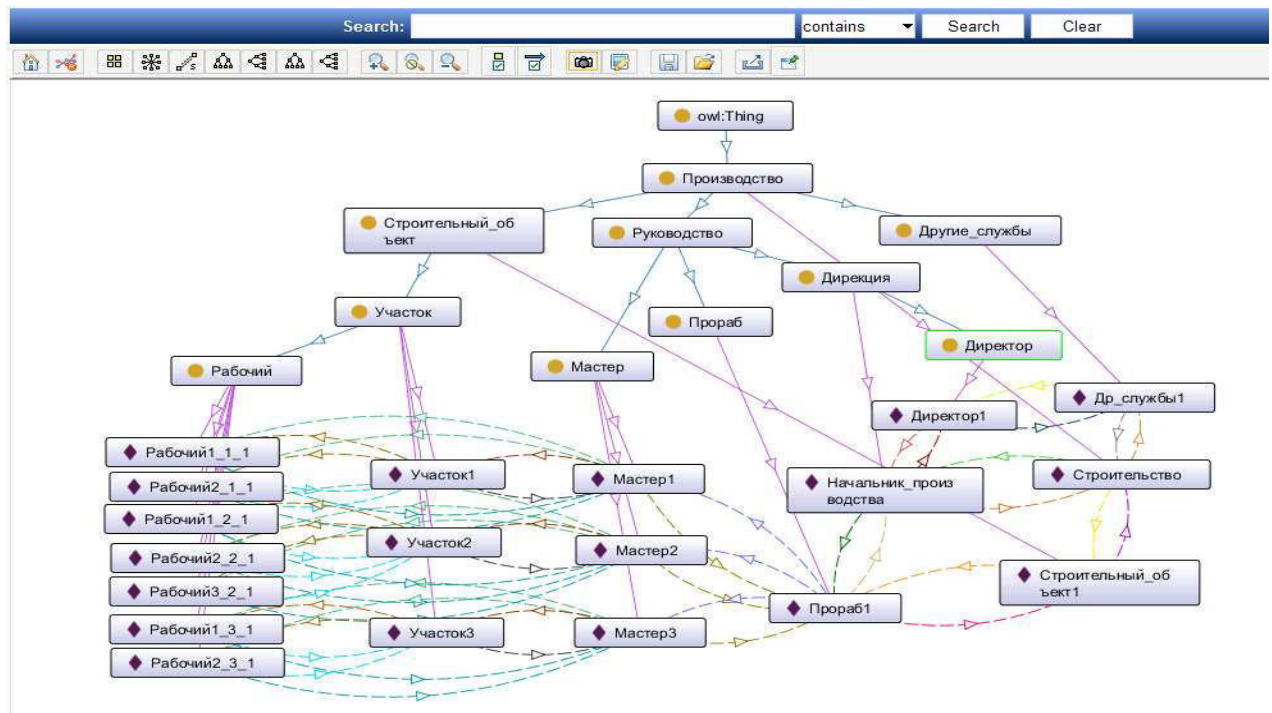


Рис. 5. Онтограф OWL-онтологии «Строительная компания»

**Ontology metrics:**

Metrics	
Axiom	258
Logical axiom count	194
Declaration axioms count	64
Class count	10
Object property count	32
Data property count	3
Individual count	19
Annotation Property count	0
Class axioms	
SubClassOf	9
EquivalentClasses	0
DisjointClasses	0
GCI count	0
Hidden GCI Count	0
Object property axioms	
SubObjectPropertyOf	0
EquivalentObjectProperties	0
InverseObjectProperties	9
DisjointObjectProperties	0
FunctionalObjectProperty	0
InverseFunctionalObjectProperty	0

**Ontology metrics:**

SymmetricObjectProperty	0
AsymmetricObjectProperty	0
ReflexiveObjectProperty	0
IrreflexiveObjectProperty	0
ObjectPropertyDomain	32
ObjectPropertyRange	32
SubPropertyChainOf	0
Data property axioms	
SubDataPropertyOf	0
EquivalentDataProperties	0
DisjointDataProperties	0
FunctionalDataProperty	0
DataPropertyDomain	0
DataPropertyRange	0
Individual axioms	
ClassAssertion	19
ObjectPropertyAssertion	54
DataPropertyAssertion	39
NegativeObjectPropertyAssertion	0
NegativeDataPropertyAssertion	0
SameIndividual	0
DifferentIndividuals	0

Рис. 6. Метрика OWL-онтологии «Строительная компания»

дней, создание вручную OWL-описания сущностей онтологии и его отладка представляется довольно трудоемкой работой. Protégé, кроме всего прочего, создает log-файл, в котором указаны ошибки проектирования, вычисленные ризонером.

Ниже представлены некоторые SPARQL-запросы к OWL-онтологии «Строительная компания» и ответы на них.

Запрос № 1

Кто подчиняется Прораб1?

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

PREFIX фирма: <http://www.semanticweb.org/николай/ontologies/2019/4/Construction\_company-8.2#>

SELECT ?кто

WHERE

```
{
?кто фирма:Подчиняться2 фирма:Прораб1
}
```

Ответ

Мастер2

Мастер1

Мастер3

Запрос № 2

Какая фамилия у Рабочий2\_2\_1?

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

PREFIX фирма: <http://www.semanticweb.org/николай/ontologies/2019/4/Construction\_company-8.2#>

SELECT ?фамилия

WHERE

```
{
фирма:Рабочий2_2_1 фирма:ФамилияИО ?фамилия
}
```

Ответ

«Немиров Ф.Ф.»

Запрос № 3

Кто работает на том же участке, что и Немиров?

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

PREFIX фирма: <http://www.semanticweb.org/николай/ontologies/2019/4/Construction\_company-8.2#>

SELECT ?рабочий ?фамилия ?участок

WHERE

```
{
?кто фирма:ФамилияИО «Немиров Ф.Ф.» .
?кто фирма:Работать_на1 ?участок .
?рабочий фирма:Работать_на1 ?участок .
?рабочий фирма:ФамилияИО ?фамилия .
}
```

Ответ

Рабочий1\_2\_1 «Немчинов А.В.»

Рабочий3\_2\_1 «Савченко В.А.»

Участок2

Запрос № 4

Сколько получает Рубин?

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

PREFIX фирма: <http://www.semanticweb.org/николай/ontologies/2019/4/Construction\_company-8.2#>

SELECT ?фамилия ?получает

WHERE

```
{
?рабочий фирма:ФамилияИО «Рубин Ю.О.» .
?рабочий фирма:Оклад ?получает .
?рабочий фирма:ФамилияИО ?фамилия .
}
```

Ответ

«Рубин Ю.О.» «30000»^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>

Запрос № 5

Кто получает больше, чем Рубин?

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

PREFIX фирма: <http://www.semanticweb.org/николай/ontologies/2019/4/Construction\_company-8.2#>

SELECT ?фамилия ?получает

WHERE

```
{
?рабочий фирма:ФамилияИО «Рубин Ю.О.» .
?рабочий фирма:Оклад ?окладРубина .
?сотрудник фирма:Оклад ?получает .
?сотрудник фирма:ФамилияИО ?фамилия .
FILTER (?получает > ?окладРубина )
}
```

Ответ

«Легеза А.М.» «60000»^^http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer

«Боромотов В.А.» «160000»^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>

«Гребенюк Н.Н.» «130000»^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>

«Савенков Н.И.» «100000»^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>

«Немчинов А.В.» «35000»^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>

«Червинчук В.П.» «60000»^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>

«Веселов В.А.» «60000»^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>



Отметим еще одну полезность CRF-модели онтологии ПдО.

Согласно [13], она проектируется на основе лингвистического корпуса текстов, описывающего знания заданной ПдО. Из него извлекаются максимально полные (по кардинальности) множества понятий  $X$ , отношений между понятиями  $R$ , а функции интерпретации  $F$  согласовываются с определениями соответствующих понятий, приведенными в энциклопедиях, толковых словарях и других научных публикациях. Семантика описаний понятий и отношений между ними максимально согласована с представлениями соответствующего научного сообщества.

Protégé не проверяет семантику введенных имен классов, свойств и индивидов. Другими словами, в Protégé семантика разрабатываемой онтологии субъективна, что может вызвать проблемы при совместном использовании онтологий.

Следовательно, при разработке больших по объему онтологий, возможно, имеет смысл предварительно разработать CRF-модель, что обеспечит семантическую согласованность такой онтологии.

### Выводы

Кратко рассмотрена формализация определения онтологии ПдО, выполнен сравнительный анализ известных моделей онтологий, таких как CRF, Frame и OWL. Отмечены их преимущества и недостатки, при этом сделан вывод, что при разработке больших онтологий следует применять все три указанные модели. На начальном этапе – CRF-модель для автоматизации построения структуры концептов ПдО и их семантической согласованности. На этапе ввода и формализации – модель Protégé-фреймов. И на этапе использования онтологий – OWL-модель с механизмами запросов и рассуждений. При этом совместное использование онтологий предполагает ее размещение в Semantic Web. В статье приведен пример построения и использования OWL-онтологии для некоторой строительной компании.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ohrstrom P., Andersen J., Schärfe H.* What has happened to ontology // In F. Dau, M.L. Mugnier, and G. Stumme, editors, *Conceptual Structures: Common Semantics for Sharing Knowledge, 13th International Conference on Conceptual Structures, ICCS 2005, Kassel, Germany, July 17–22, 2005, Proceedings*, volume 3596 of *Lecture Notes in Computer Science*, 2005. – P.425-438. [https://doi.org/10.1007/11524564\\_29](https://doi.org/10.1007/11524564_29)
2. *Gruber T.R.* A Translation Approach to Portable Ontologies. *Knowledge Acquisition*. – 1993. – P.199-220. <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>
3. *Gruber T.R.* Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing // *International Journal of Human Computer Studies*. – Vol.43(5–6). – 1995. – P.907-928.
4. *Палагин А.В., Петренко Н.Г.* Развитие и становление трансдисциплинарных и междисциплинарных исследований и роль информатики // Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2018. – №1 (3). – С.46-70. URL: <http://kmauo.org/wp-content/uploads/2018/1/Palagin.pdf>. DOI випуску: <https://doi.org/10.32434/2521-6406-2018-3-1>
5. *Borst W.* *Construction of Engineering Ontologies*. PhD thesis, Institute for Telematica and Information Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands. – 1997.
6. *Studer R., Benjamins R., Fense D.I.* Knowledge engineering: Principles and methods. *Data & Knowledge Engineering*. – Vol.25(1–2). – 1998. – P.161-198. [https://doi.org/10.1016/S0169-023X\(97\)00056-6](https://doi.org/10.1016/S0169-023X(97)00056-6)
7. *Guarino N., Giaretta P.* Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification. In N. Mars, editor, *Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing*, IOS Press, Amsterdam, – 1995. – P.25-32.
8. *Genesereth M.R., Nilsson N.J.* *Logical Foundations of Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, Los Altos, CA 94305, 1987. – 26 p.
9. *Guarino N.* Formal Ontology in Information Systems. In N. Guarino, editor, *Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, June 6-8, 1998*, IOS Press, Amsterdam, 1998. – P.3-15.
10. *Carnap R.* *Meaning and Necessity – A Study in Semantics and Modal Logic*. The University of Chicago Press, second edition, 1956. – 266 p.
11. *Dowty D.R., Wall R., Peters S.* *Introduction to Montague Semantics*, volume 11 of *Studies in Linguistics and Philosophy*. Springer, Heidelberg, 1980. – P.11-62. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-9065-4>
12. *Gruber T.R.* Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In N. Guarino and R. Poli, editors, *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*. Kluwer Academic Publishers, Deventer, The Netherlands, 1993. – P.1-23.
13. *Palagin A.V., Kryvyy S.L., Petrenko N.G.* Ontological methods and means of processing subject knowledge. Lugansk: V.I. Dal East Ukr. Nac. University. – [Электронный ресурс]: Retrieved from <http://www.aduis.com.ua/Monography.pdf>.
14. *Uschold M.* Ontologies and Semantics for Seamless Connectivity. *SIGMOD Record*, – 33(4). – 2004. – P.58-64. <https://doi.org/10.1145/1041410.1041420>
15. *Das S.K.* *Deductive Databases and Logic Programming*.

Addison Wesley, 1992. – 256 p.

16. Vaught R.L. Alfred Tarski's Work in Model Theory // *The Journal of Symbolic Logic*, Vol.51(4). – 1986. – P.869-882. <https://doi.org/10.2307/2273900>

17. OWL 2 Web Ontology Language Primer (second edition). [Электронный ресурс]: <http://www.w3.org/TR/2012/REC-owl2-primer-20121211/>

18. Matthew Horridge. *A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using Protégé 4 and CO-ODE Tools*. Edition 1.3. – Copyright The University Of Manchester. – March 24, 2011. – 107 p.

19. Bob DuCharme. *Learning SPARQL. Querying and Updating with SPARQL 1.1* (Second edition). – O'Reilly Media. All rights reserved. August 2013: ISBN: 978-1-449-37143-2. – 367 p.

Поступила в редакцію 20.05.2019

## ПРО ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДМЕТНИХ ОБЛАСТЕЙ

Петренко М.Г., Зеленцов Д.Г.

У статті розглянуті найбільш відомі інструменти формального опису онтологій предметних областей, виконано їх порівняльний аналіз і вибір формальної мови і онторедактора для практичного використання. У роботі наводяться два варіанти трактування терміну «онтологія». Пропонується його розглянути з точки зору онтологічного інжиніринга. Детально розглянуті три складові визначення терміна «онтологія» – концептуалізація, формальна, явна специфікація. Виділено проблеми виразності мов опису онтологій. Наведено різні підходи до вибору формальної мови для позначення елементів концептуалізації. Як приклад системи обрана деяка виробнича компанія з її виробничими об'єктами, співробітниками і виробничими відносинами між ними. Дослідження здійснюється для сукупності завдань, пов'язаних з людськими ресурсами компанії. Наводиться CRF-модель (concept-relation-interpretation function model) онтології предметної області. Для розширеного прикладу будівельної компанії надані сам онтограф та індивіди класів. Здійснено порівняння найбільш відомих логічних теорій опису онтологій. Розглянуто особливості різних моделей побудови онтологій предметних областей, таких як CRF, Frame і OWL. Відзначено їх переваги та недоліки. Зроблено висновок, що при розробці великих онтологій слід застосовувати всі три зазначені моделі: на початковому етапі – CRF-модель для автоматизації побудови структури концептів предметної області та їх семантичної узгодженості; на етапі введення і формалізації – модель Protégé-фреймів; на етапі використання онтології – OWL-модель з механізмами запитів і міркувань. При цьому спільне використання онтології передбачає її розміщення в Semantic Web. Порівняльний аналіз показав, що перспективним напрямом є побудова веб-онтологій в середовищі Protégé. Для предметної області «Будівельна компанія» в статті наведено приклад побудови і використання OWL-онтології в інтегрованому середовищі онторедактора Protégé, механізму міркувань Pellet і SPARQL-процесора з відповідними до неї запитами.

**Ключові слова:** дескрипційна логіка, онтологія, модель онтології, концептуалізація, онтограф, Protégé.

## ON THE PRACTICAL USE OF ONTOLOGICAL MODELS OF SUBJECT AREAS

Petrenko N.G.<sup>a</sup>, Zelentsov D.G.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> V.M. Glushkov Institute of Cybernetics, Kiev, Ukraine

<sup>b</sup> Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The article considers the most well-known tools for the formal description of ontologies of subject areas, their comparative analysis and the choice of a formal language and ontology editor for practical use. The paper provides two interpretations of the term "ontology". It is proposed to consider it from the point of view of ontological engineering. Three component definitions of the term "ontology" are considered in detail - conceptualization, formal and explicit specification. The problems of expressiveness of ontology description languages are highlighted. Various approaches to choosing a formal language for designating elements of conceptualization are presented. As an example of a system, a certain production company with its production facilities, employees and production relationships between them was selected. The study is conducted for a set of tasks related to human resources of the company. The CRF-model (concept – relation – interpretation function model) of a subject area ontology is given. For an extended example of the construction company, the ontograph itself and class individuals are represented. A comparison of the most well-known logical theories of description of ontologies is carried out. Features of various models for constructing ontologies of subject areas, such as CRF, Frame, and OWL, are considered. Their advantages and disadvantages are noted. It is concluded that when developing large ontologies, all three of the indicated models should be applied: at the initial stage, a CRF model to automate the construction of a structure of concepts of a subject area and their semantic consistency; at the stage of input and formalization - a model of Protégé-frames; at the stage of using ontology, an OWL model with query and reasoning mechanisms. At the same time, the ontology sharing implies its placement on the Semantic Web. A comparative analysis showed that the development of web ontologies in the Protégé environment is a promising direction. For the subject field «Construction Company», the article gives an example of building and using OWL ontology in the integrated environment of the Protégé ontology editor, the Pellet reasoning mechanism, and the SPARQL processor. with relevant requests.

**Keywords:** descriptive logic, ontology, ontology model, conceptualization, ontograph, Protégé.

## REFERENCES

1. Ohrstrom P., Andersen J., Schärfe H. What has happened to ontology. In F. Dau, M.L. Mugnier, G. Stumme, editors, *Conceptual Structures: Common Semantics for Sharing Knowledge, 13th International Conference on Conceptual Structures, ICCS 2005, Kassel, Germany, July 17–22, 2005, Proceedings*, vol. 3596 of *Lecture Notes in Computer Science*, 2005. pp.425-438. [https://doi.org/10.1007/11524564\\_29](https://doi.org/10.1007/11524564_29)
2. Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontologies. *Knowledge Acquisition*, 1993, pp.199-220. <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>
3. Gruber T.R. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 43(5–6), 1995, pp.907-928. <https://doi.org/10.1006/ijhc.1995.1081>
4. Palagin A.V., Petrenko N.G. *Razvytye y stanovlenye transdystyplynarnūkh y mezhdystryplynarnūkh yssledovanyi y rol ynformatyky* [Development and formation of transdisciplinary and interdisciplinary research and the role of computer science]. *Komp'uterne modelivannā: analiz, upravlinnā, optimizaciā* [Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization], 2019. No 1 (3), pp. 46-70. URL: <http://kmauo.org/wp-content/uploads/2018/1/Palagin.pdf>. DOI issue: <https://doi.org/10.32434/2521-6406-2018-3-1>
5. Borst W. Construction of Engineering Ontologies. PhD thesis, Institute for Telematica and Information Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 1997.
6. Studer R., Benjamins R., Fensel D. Knowledge engineering: Principles and methods. *Data & Knowledge Engineering*, 1998, pp.161-198. [https://doi.org/10.1016/S0169-023X\(97\)00056-6](https://doi.org/10.1016/S0169-023X(97)00056-6)
7. Guarino N., Giaretta P. Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification. In N. Mars, editor, *Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing*, IOS Press, Amsterdam, 1995, pp.25-32.
8. Genesereth M.R., Nilsson N.J. Logical Foundations of Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann, Los Altos, CA 94305, 1987, 26 p.
9. Guarino N. Formal Ontology in Information Systems. In N. Guarino, editor, *Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS '98, Trento, Italy, June 6-8, 1998*, IOS Press, Amsterdam, 1998, pp.3-15.
10. Carnap R.. Meaning and Necessity – A Study in Semantics and Modal Logic. The University of Chicago Press, second edition, 1956, 266 p.
11. Dowty D.R., Wall R., Peters S. Introduction to Montague Semantics, vol. 11 of *Studies in Linguistics and Philosophy*. Springer, Heidelberg, 1980, pp.11-62. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-9065-4>
12. Gruber T.R. Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In N. Guarino and R. Poli, editors, *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*. Kluwer Academic Publishers, Deventer, The Netherlands, 1993, pp.1-23.
13. Palagin A.V., Kryvyy S.L., Petrenko N.G. Ontological methods and means of processing subject knowledge. Lugansk: V.I. Dal East Ukr. Nac. University. Retrieved from <http://www.aduis.com.ua/Monography.pdf>.
14. Uschold M. Ontologies and Semantics for Seamless Connectivity. *SIGMOD Record*, vol. 33(4), 2004, pp.58-64. <https://doi.org/10.1145/1041410.1041420>
15. Das S.K. *Deductive Databases and Logic Programming*. Addison Wesley, 1992, 256 p.
16. Vaught R.L. Alfred Tarski's Work in Model Theory. *The Journal of Symbolic Logic*, vol. 51(4), 1986, pp.869-882. <https://doi.org/10.2307/2273900>
17. OWL 2 Web Ontology Language Primer (second edition). Retrieved from: <http://www.w3.org/TR/2012/REC-owl2-primer-20121211/>.
18. Matthew Horridge. A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using Protégé 4 and CO-ODE Tools. Edition 1.3. Copyright The University Of Manchester, March 24, 2011, 107 p.
19. Bob DuCharme. Learning SPARQL. Querying and Updating with SPARQL 1.1 (Second edition). O'Reilly Media. All rights reserved. August 2013: ISBN: 978-1-449-37143-2, 367 p.

УДК 004.588+371.315

*Тарнопольський О.Б., Кабанова М.Р.*

## ВПРОВАДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ: ІСТОРІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

**Університет імені Альфреда Нобеля, м. Дніпро, Україна**

Починаючи з останньої чверті минулого сторіччя комп'ютерні технології поступово, але дуже впевнено починають займати все більше місце в навчанні іноземних мов як на рівні середньої, так і на рівні вищої освіти. Але немає спроб системного дослідження історії їх впровадження і тих перспектив, яке воно може відкрити для подальшого розвитку як методики викладання іноземних мов, так і педагогічної практики. Відповідно до цього мета статті – відстежити історію поступового впровадження комп'ютерних технологій у процес навчання іноземних мов з висновками про подальші перспективи такого впровадження. Історія впровадження комп'ютерних технологій у процес навчання іноземних мов досліджувалася за трьома напрямками: 1) створення та аналіз комп'ютерних програм (у тому числі Інтернет-програм) для формування і розвитку в тих, хто навчаються, граматичних, лексичних і фонетичних навичок іншомовного мовлення; 2) створення та аналіз комп'ютерних програм (у тому числі Інтернет-програм) для формування і розвитку в тих, хто навчаються, навичок і вмінь іншомовної мовленнєвої діяльності у всіх чотирьох її видах: читанні, письмі, аудіюванні та говорінні; 3) використання Інтернету для радикальної перебудови та оптимізації навчального процесу в мовних курсах з метою підвищення їх інтенсивності, комунікативної спрямованості, надання можливості виходу за межі навчальної аудиторії, в тому числі для забезпечення можливості міжнародного спілкування у реальному часі у цій аудиторії, тощо. В результаті виконаного аналізу був зроблений висновок, що методика використання комп'ютерних технологій у навчанні іноземних мов вже дуже ретельно розроблена і все ширше розповсюджується у практиці викладання. Таке широке впровадження перетворює навчальний процес з іноземних мов на комбінований з органічним сполучанням у ньому традиційної та комп'ютерної навчальної складової. Частина останньої має тенденцію до зростання, особливо з кожним новим кроком у розвитку комп'ютерних технологій. Якщо ця тенденція закріпиться, то цілком ймовірно стане можливість повністю самостійного і дуже ефективного опанування тими, хто навчаються, іноземних мов з мінімальною участю викладача в цьому процесі.

**Ключові слова:** комп'ютерні технології в навчанні іноземних мов, Інтернет у іншомовній підготовці, комбіноване навчання іноземної мови.

**DOI:** 10.32434/2521-6406-2019-6-2-74-82

### *Постановка проблеми*

Починаючи з останньої чверті минулого сторіччя комп'ютерні технології поступово, але дуже впевнено починають займати все більше місце в навчанні іноземних мов як на рівні середньої, та і на рівні вищої освіти. Можна сказати, що їх впровадження у викладання названої дисципліни спричинило глибокі зміни як у методиці навчання, так і у практичній побудові навчального процесу. Але нам невідомі спроби

системного дослідження історії такого впровадження і тих перспектив, які воно може відкрити для подальшого розвитку як методики викладання іноземних мов, так і педагогічної практики. Саме ця наукова проблема стала предметом розгляду в нашій статті.

### *Аналіз останніх досліджень і публікацій*

Усі останні дослідження та публікації в галузі комп'ютеризації навчання іноземних мов можуть бути розподілені за трьома основними

© Тарнопольський О.Б., Кабанова М.Р., 2019

*Tarnopolsky O.B., Kabanova M.R.*

напрямами:

1. Створення та аналіз комп'ютерних програм (у тому числі Інтернет-програм) для формування і розвитку в тих, хто навчаються, граматичних, лексичних і навіть фонетичних навичок іншомовного мовлення [1].

2. Створення та аналіз комп'ютерних програм (у тому числі Інтернет-програм) для формування і розвитку в тих, хто навчаються, навичок та вмій іншомовної мовленнєвої діяльності у всіх чотирьох її видах: читанні, письмі, аудіюванні та говорінні [2–8].

3. Використання Інтернету для радикальної перебудови та оптимізації навчального процесу в мовних курсах з метою підвищення їх інтенсивності, комунікативної спрямованості, надання можливості виходу за межі навчальної аудиторії, в тому числі для забезпечення можливості міжнародного спілкування у реальному часі у цій аудиторії [9–11], тощо.

Усі ці напрямки будуть детальніше розглянуті у подальшому викладенні.

#### **Формулювання мети дослідження**

Виходячи зі сказаного вище, можна сформулювати мету статті як відстеження історії поступового впровадження комп'ютерних технологій у процес навчання іноземних мов з висновками про подальші перспективи такого впровадження.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Історія комп'ютеризації навчання іноземних мов почалася ще в останні десятиріччя минулого сторіччя і отримала назву CALL (Computer-Assisted Language Learning). J.L. Egbert [12] визначає CALL як вивчення мов у будь-якому контексті за допомогою та через використання комп'ютерних технологій.

Розвиток CALL відбувався поступово і характерним для нього є те, що всі напрацювання у даній галузі, починаючи з самих перших, продовжують розвиватися і дотепер, а не були відкинуті як застарілі, що нерідко трапляється з першими методичними розробками у межах того чи іншого нового напрямку.

Наприклад, комп'ютеризація навчання іноземних мов почалася з розробки та впровадження комп'ютерних навчальних програм, здебільшого тренувального характеру, орієнтованих на розвиток граматичних і лексичних навичок. Розробка подібних граматичних програм продовжується і зараз [1].

З розвитком корпусної лінгвістики розробка програм для навчання лексики навіть поширилася у порівнянні з ранніми етапами комп'ютери-

зації навчання іноземних мов. В дослідженнях, що ведуться в межах корпусної лінгвістики, з'ясовується, в яких значеннях та яких сполученнях з іншими лексичними одиницями слова мови можуть використовуватися її носіями в реальному мовленні (спілкуванні) на даному конкретному етапі розвитку системи цієї мови. Успішне здійснення таких досліджень стало можливим лише за умови активного використання комп'ютерів. Причина в тому, що спочатку складається так званий корпус, тобто набір можливих слововживань лексичної одиниці або одиниць, що досліджуються. Такий набір може включати сотні тисяч і навіть мільйони слововживань, тому скласти корпус текстів, з яких слововживання вибираються, реально лише використовуючи спеціальні комп'ютерні програми, оскільки в «ручному» режимі це б вимагало багато років роботи. Після того як корпус відібрано, за допомогою іншої комп'ютерної програми, яка носить назву concordancer, складаються так звані concordances. Вони наочно демонструють особливості та діапазон можливих значень, слововживань та словосполучень тієї чи іншої досліджуваної лексичної одиниці.

Методи корпусної лінгвістики можуть використовуватися і для проведення лексичних вправ, і вже накопичений певний досвід з проведення відповідних видів навчальної діяльності. Їх сутність полягає в тому, що студенти самостійно виконують за допомогою комп'ютерів корпусний аналіз значень і вживання певних наданих викладачем лексичних одиниць. Для цього вони отримують відповідний корпус і відповідну комп'ютерну програму concordancer, а згідно з ними вже самостійно складають на комп'ютері необхідні concordance lines, які потім аналізуються з точки зору значення, вживання лексичних одиниць та їх сполучання з іншими лексичними одиницями. Такий вид роботи активно сприяє засвоєнню лексики та розвитку навичок її розуміння і вживання у мовленні.

З'явилися навіть навчальні програми для розвитку навичок вимови, зокрема, навичок інтонавання мовлення. Подібні програми будуються за наступною схемою. Той, хто навчається, чує записані на комп'ютер фрази або фрагменти текстів, у яких демонструється певна інтонація. На дисплеї комп'ютера виникає графічне зображення інтонаційних характеристик мовлення диктора (підвищення, зниження тону, фразовий наголос тощо). Той, хто навчається, повинен відтворити сказане диктором, якомога точніше імітуючи інтонацію і говорячи у з'єднаний з комп'ютером мікрофон. В результаті на дисплеї з'являється інтонаційний рисунок фра-

зи або речення. Мета тренування – досягти суміщення інтонаційних малюнків мовлення диктора та того, хто навчається. Такі програми виявилися одним з найефективніших засобів навчання дорослих інтонації, характерної для мови, що вивчається, – що без використання відповідних комп'ютерних програм зазвичай викликає дуже великі труднощі.

В галузі формування навичок і вмінь у різних видах іншомовної мовленнєвої діяльності (читанні, аудіюванні, говорінні та письмі) перші комп'ютерні навчальні програми почали розроблятися (і продовжують активно розроблятися і зараз) для навчання письмового мовлення: читання та письма. Це цілком природно, оскільки донедавна робота з комп'ютером базувалася виключно на письмовому мовленні.

Комп'ютерні програми з навчання читання розробляти найпростіше, тому їх існує дуже багато, а питання створення та використання таких програм добре досліджене в методичній літературі [3,4]. Простота розробки названих програм полягає в тому, що контроль розуміння студентом тексту, що читається, може здійснюватися на основі вибору читачем єдиної правильної відповіді із набору варіантів – такої, що свідчить про розуміння або тексту в цілому, або його фрагменту. Це цілком знаходиться у межах можливостей комп'ютерних навчальних програм (навіть з наданням пояснень зроблених помилок). В результаті, комп'ютерні програми з навчання читання іноземною мовою можуть брати на себе деякі функції викладача, значно інтенсифікуючи та оптимізуючи процес такого навчання, що й обумовило їх популярність.

Комп'ютерні навчальні програми для формування навичок і вмінь іншомовного письма є значно складнішими, оскільки письмо є продуктивним видом мовленнєвої діяльності і контрольні завдання, побудовані на виборі правильного варіанту відповіді з декількох запропонованих, у даному випадку не можуть бути реалізованими. Але в навчанні іншомовного письма комп'ютери та відповідні комп'ютерні програми використовуються навіть ширше ніж у навчанні читання.

Дослідження показали, що вони є незамінними помічниками завдяки:

1. Можливостям, що надає текстовий редактор комп'ютера, використання якого значно полегшує, інтенсифікує та оптимізує процес розвитку необхідних навичок і вмінь через створення умов для безперешкодного багаторазового виправлення, редагування та перероблення влас-

ного тексту, який пише той, хто навчається.

2. Можливостям для прискорення та поліпшення розвитку орфографічних, граматичних, лексичних, пунктуаційних і навіть стилістичних навичок письма завдяки наявності в текстовому редакторі програми редагування, що вказує тому, хто пише, на його помилки і надає варіанти їх виправлення [6].

3. Можливостям для викладача оптимізувати контроль та коригування письмових робіт студентів завдяки тому ж текстовому редактору.

4. Можливості розробляти навчальні комп'ютерні програми тренувального характеру, які дозволяють тренувати навички письмового мовлення та його стандартизовані елементи (наприклад, при написанні ділових листів) тощо [2,4].

5. Можливості легко та максимально ефективно поєднувати індивідуалізоване відпрацювання стандартизованих елементів писемного мовлення за допомогою комп'ютера зі співпрацею з викладачем або іншими студентами в ході виконання завдань творчого характеру.

Всі ці можливості, які надають комп'ютери та комп'ютерні навчальні програми у навчанні іншомовного письма призвели до того, що в англо-американській методиці формувати відповідні навички та вміння у тих, хто навчаються, без використання комп'ютерних технологій взагалі вважається неприйнятним.

Відносно нещодавно, з вдосконаленням комп'ютерної техніки і виникненням можливостей відтворювати усне мовлення через комп'ютер, з'явилися комп'ютерні програми для навчання мовлення та аудіювання мовою, що вивчається. Останні (для навчання аудіювання) отримали особливо широке розповсюдження завдяки тим можливостям, які надає мультимедійний характер аудіотекстів, що сприймаються через комп'ютер: поєднання звуку, відео, фотографій та рисунків, мультиплікації, музики і навіть графічного тексту, коли він є доцільним [6]. Чимало авторів відзначають переваги навчання аудіювання за допомогою комп'ютерних програм [7], зокрема комп'ютерних цифрових відео програм, у порівнянні зі вже традиційними технічними засобами навчання аудіювання: магнітофонами, програвачами компакт-дисків, відео апаратурою тощо. Є навіть розробки комп'ютерних програм для навчання аудіювання молодших школярів [13].

Існують і програми для навчання іншомовного мовлення і вони починають все більше поширюватись [5,7]. Звичайно, тут має місце те ж саме обмеження, що у навчанні письма: ком-

п'ютер використовується для видачі завдань та підказок, тренування окремих стандартизованих елементів мовлення тощо. Більш творчі вправи завжди виконуються у «живому» спілкуванні студентів між собою та з викладачем. Але навіть у названій допоміжній функції використання відповідних комп'ютерних програм дає можливість суттєво прискорити, інтенсифікувати та оптимізувати процес навчання говоріння.

Всі названі вище типи комп'ютерних програм створюються як на компакт-дисках, так і для використання через мережу Інтернет.

Чим далі, тим більшу роль виконують комп'ютерні програми в навчанні культурних аспектів спілкування і взагалі культури народу, мова якого вивчається [6]. Ця роль особливо зросла після появи Інтернету. Причина в тому, що ніщо інше не може надати такий обсяг і таку різноманітність повністю автентичного культурного матеріалу як Інтернет.

Нарешті, не можливо не відзначити комп'ютерне тестування як одну з найважливіших складових CALL. Переваги комп'ютерного тестування над паперовим у плані забезпечення ефективності, масовості, дешевизни, об'єктивності, автоматизованості перевірки, надання тому, хто тестується, результатів відразу із завершенням тестування і навіть у процесі його проходження настільки великі, що комп'ютерне тестування поступово «витісняє» паперове у навчанні іноземних мов. І цілком природно, що деякі з найважливіших міжнародних тестів з рівня володіння англійською мовою, такі як TOEFL, виконуються у більшій своїй частині за допомогою комп'ютерів.

Слід також звернути увагу на те, що комп'ютеризація через розробку та впровадження комп'ютерних навчальних програм з навчання іноземних мов значною мірою охопило мовну підготовку для спеціальних цілей студентів немовних ЗВО. Є навіть роботи, які досліджують комп'ютеризацію мовної підготовки в немовних ЗВО в плані охоплення майже всіх аспектів навчання, а не лише окремих з них [14].

З усього викладеного можна зробити висновки, що не існує такого суттєвого аспекту в навчанні іноземних мов, який би не був охоплений комп'ютеризацією, комп'ютерними навчальними програмами (навіть не враховуючи використання Інтернет-технологій, про які буде йтися далі). Така комп'ютеризація має настільки суттєві переваги, що без неї важко навіть уявити викладання іноземних мов, яке б відповідало сучасним вимогам. В цілому, до основних таких

переваг можна віднести:

1. Суттєва інтенсифікація та оптимізація навчання аспектів мови (розвиток лексичних, граматичних, фонетичних мовленнєвих навичок) та видів мовленнєвої діяльності (читання, письма, аудіювання, говоріння – формування мовленнєвих умінь).

2. Інтенсифікація та оптимізація навчання іноземної мови для спеціальних/професійних цілей.

3. Можливість покращити та зробити більш автентичним навчання культурних аспектів спілкування і в цілому культури народу, мова якого вивчається, тобто суттєва допомога у формуванні іншомовної соціолінгвістичної компетенції учнів/студентів.

4. Виведення тестування іншомовних мовленнєвих навичок та вмінь тих, хто навчаються, на новий, значно більш високий рівень ефективності, масовості, об'єктивності; забезпечення можливостей автоматизованої перевірки результатів тестування.

5. Поява можливості постійно в автоматичному режимі накопичувати та систематизувати дані про хід та результативність навчання кожного учня або студента за весь період проходження курсу, що покращує якість управлінських рішень щодо організації навчального процесу.

6. Можливість використовувати комп'ютер як єдиний, найбільш універсальний, технічний засіб навчання, що поєднує в собі можливості магнітофону/програвача компакт-дисків, відео обладнання, телевізора тощо – і не просто поєднує, а значно перевищує ці можливості завдяки мультимедійним засобам, які допомагають створити повну віртуальну реальність, тобто навчати іноземної мови в умовах, які моделюють реальну дійсність сприйняття та спілкування.

7. Забезпечення навчальної автономії студентів і педагогічної автономії викладача. Тільки навчальна автономія може сформувати у учнів/студентів вміння навчатися ефективно. Індивідуальна робота з комп'ютером максимально сприяє розвитку такої автономії. Теж саме стосується і автономії викладача, який завдяки комп'ютеру (особливо Інтернету) звільняється від повної залежності від підручника, що використовується.

Всі ці переваги комп'ютеризації в навчанні іноземних мов дозволили М. Warschauer [10], ще до широкого впровадження Інтернету в навчальний процес з мовної підготовки, зробити висновки про те, що комп'ютеризація у цій галузі

— це не просто вивчення мови з доданням комп'ютеру. Це зовсім інший підхід, інший етап у навчанні мови та її викладанні, що дає дуже суттєві переваги в плані забезпечення ефективності та результативності навчального процесу. Оскільки в умовах сьогодення впровадження комп'ютеризації в цей процес стало нагальною необхідністю, виникло питання про обов'язковість комп'ютерної підготовки для викладачів іноземних мов, що знайшло відображення і у наукових публікаціях [10,15].

Питання комп'ютерної підготовки викладачів стало ще гострішим після того, як були розроблені підходи до впровадження Інтернету в навчальний процес з іноземних мов. Якщо комп'ютеризація цього процесу через використання комп'ютерних навчальних програм призвела до його суттєвих змін, то Інтернет викликав справжню революцію у викладанні іноземних мов, оскільки надав такі можливості, яких раніше взагалі не існувало. Ці можливості та методику використання Інтернету в процесі іноземної підготовки необхідно розглянути детально.

М. Warschauer і P.F. Whittaker [8] називають чотири основні причини для використання Інтернету в навчанні мов:

1. Сприяння вивченню мови завдяки мовній природі онлайн-комунікації. Так, було виявлено, що електронний дискурс є складнішим за лексичними та синтаксичними характеристиками ніж усний дискурс і розкриває дуже багато характеристик мовних функцій. Зрозуміло, наскільки це є корисним для оволодіння мовою та спілкуванням нею.

2. Забезпечення оптимальних умов для навчання письма завдяки створенню автентичної аудиторії для письмової комунікації.

3. Підвищення навчальної мотивації тих, хто навчаються.

4. Важливість опанування вміннями користуватися Інтернетом для майбутнього кар'єрного успіху тих, хто навчаються. Їм потрібно не тільки опанувати Інтернет, щоб вивчати англійську мову; нерідко вивчення англійської мови необхідно саме для того, щоб опанувати ефективні методи роботи в Інтернеті.

Цитовані автори не звернули увагу ще на одну і, мабуть, найважливішу причину використання Інтернету в навчанні іноземних мов: Інтернет є невичерпним джерелом інформації (особливо англомовної інформації, в чому і полягає його надзвичайна важливість для навчання англійської мови як іноземної). Мається на

увазі як лінгвістична, так і, головне, предметна інформація за будь якою тематикою та напрямками. Така інформація може бути навчальною, але в основному вона є цілком автентичною, тобто підготовленою носіями мови для її носіїв.

Це дає можливість не тільки викладачам черпати з Інтернету безмежну кількість автентичних матеріалів, що можуть використовуватися як навчальні, тобто добирати в Інтернеті автентичний зміст навчання. Черпати інформацію через Інтернет-пошук за завданнями викладача (або цілком самостійно) можуть і самі студенти, тим самим у багато разів підвищуючи свої контакти з мовою, що вивчається, сприймаючи цю мову в комунікації через сприйняття та опрацювання різноманітних іноземних (англомовних) текстів в Інтернеті. Мабуть, непотрібно окремо обговорювати важливість цього факту для навчання мови у спеціальних/професійних цілях, оскільки студенти отримують вільний доступ на фахових Інтернет-сайтах до величезної кількості автентичної професійної інформації, переданої засобами мови, що вивчається. Таким чином, можна зі впевненістю стверджувати, що головною перевагою використання Інтернету для вивчення іноземної мови у спеціальних цілях є забезпечення ним: 1) можливостей для викладачів та укладачів навчальних матеріалів без обмежень добирати там фаховий зміст навчання через добір автентичних фахових мовленнєвих матеріалів, 2) можливостей для студентів здійснювати Інтернет-пошук таких матеріалів (самостійно або за завданнями викладача) для подальшого використання у навчальному процесі.

Даний напрям використання Інтернет-технологій у навчанні іноземних мов також виділяється як один з головних у роботі [11], в якій окреслюються три основні напрями впровадження Інтернету в навчання англійської мови як іноземної:

1. Спілкування через Інтернет та виконання через Інтернет спільних навчальних проектів. Спілкування через Інтернет (електронна пошта, різні чати, форуми тощо) може проводитися з носіями мови, іншими учнями/студентами (в тому числі з інших шкіл/ЗВО своєї країни та інших країн), які вивчають ту ж саму іноземну мову, учнями/студентами своєї групи/класу та викладачем. Таким же чином можуть виконуватися спільні проекти, наприклад, проект, метою якого є дослідження екологічної ситуації та розробка пропозицій щодо її покращення у двох великих містах, одне з яких знаходиться, скажі-



мо, за межами України. Підсумком такого проекту буде написання відповідного спільного звіту, який потім презентується всіма учасниками (презентація може відбуватися в різних школах/ЗВО та навіть різних країнах, якщо учасники працювали тільки через Інтернет, територіально знаходячись у різних місцях). Звичайно, що таке інтенсивне писемне мовлення з використанням комп'ютера дуже позитивно впливає на розвиток мовленнєвих навичок та вмінь.

2. Проведення пошуку інформації в Інтернеті. Цей пошук забезпечує тих, хто навчаються, численними джерелами для виконання різноманітних навчальних завдань.

3. Публікація робіт тих, хто навчаються, у мережі Інтернет. Якщо клас або студентська група разом з викладачем відкривають власну вебсторінку, на якій розміщуються краще роботи учнів або студентів, наприклад, есе, то це створює додаткові і дуже сильні стимули у тих, хто навчається, для покращення мовленнєвих навичок та вмінь, особливо навичок та вмінь іншомовного письма. Причина в тому, що така вебсторінка може зацікавити багато інших людей, а не тільки викладача та учнів/студентів однієї групи/класу. Створюються також можливості для підготовки та випуску групового або загальноуніверситетського/загальношкільного електронного журналу або газети іноземною мовою, а вони, у свою чергу, стануть потужним природним стимулом для учнів/студентів у плані удосконалення їх навичок та вмінь іншомовної комунікації – особливо навичок та вмінь іншомовного письма.

Відзначається [9] також наявність такої найважливішої риси як інтерактивність при використанні Інтернету у курсі іноземної мови (навіть якщо Інтернет використовується тільки для пошуку інформації). Інтерактивність, яка відрізняє роботу з текстами в Інтернеті від читання звичайних друкованих текстів, що мають лінійний характер, проявляється:

1. Через вибір користувачем конкретного матеріалу, який буде опрацьовуватися у межах обраної тематики (завдяки використанню так званих *hyperlinks*, що забезпечують доступ до різних гіпертекстів з одного вихідного тексту) і шляху опрацювання цього матеріалу.

2. Через вибір мультимедійних засобів – користувач може обирати, скільки разів прослуховувати певний аудіофрагмент або чи варто звертатися до відеофрагменту тощо.

3. Через направлення до мережі власної інформації або відповідей (наприклад, працю-

ючи з навчальним Інтернет-сайтом, той, хто навчається, повинен виконувати певні завдання; при цьому результати надсилаються до мережі, звідки автоматично поступає інформація щодо правильності виконання, – саме завдяки цьому навчальні Інтернет-сайти можуть повністю замішувати всі види раніше описаних комп'ютерних навчальних програм на жорстких дисках, і навіть бути більш ефективними, оскільки Інтернет-програми постійно оновлюються).

4. Через введення у мережу власних даних або запитів, у відповідь на що надходить певна інформація – саме така, яку розшукував користувач [9].

Необхідно відзначити, що оскільки описана взаємодія (інтерактивність) з Інтернетом здійснюється засобами мови, що вивчається, можна стверджувати, що вже одним цим впровадження Інтернету в навчання іноземних мов забезпечує суттєве розширення іншомовної комунікації тих, хто навчається.

Цитовані вище автори [9] запропонували і досить чітку організаційну структуру використання Інтернету в навчальних курсах з іноземних мов. Вони розділили таке використання на два основні типи: *on-line* (ті, хто навчаються, працюють в Інтернеті безпосередньо на занятті, відразу перед ним або відразу після нього) та *off-line* (ті, хто навчаються, працюють в Інтернеті позааудиторно, у більш відстроченому режимі, а на наступних заняттях обговорюють результати Інтернет-пошуку).

*On-line*. Типове заняття з використанням Інтернету безпосередньо на цьому занятті доцільно будувати як таке, що складається з трьох основних стадій:

1. Перед-комп'ютерна робота: викладач дає необхідні пояснення, інструкції і ставить завдання щодо роботи в Інтернеті.

2. Комп'ютерна робота: кожен зі студентів виконує конкретне завдання, працюючи в Інтернеті, наприклад, розшукує інформацію у мережі.

3. Після-комп'ютерна робота: студенти звітують про виконану роботу, наприклад, обговорюють знайдену інформацію.

Автори [9] пропонують і деякі інші, менш глобальні та підпорядковані, сценарії використання Інтернету безпосередньо на заняттях з іноземної мови, відразу перед ним або відразу після нього:

– використання тими, хто навчаються, певних Інтернет-сайтів для ілюстрації власних іншомовних презентацій;

– використання викладачем заздалегідь відібраних Інтернет-сайтів для ілюстрації власних пояснень тощо;

– робота тих, хто навчається, в Інтернеті для виконання конкретного навчального проекту;

– виконання тими, хто навчаються, навчальних завдань в Інтернеті безпосередньо перед приходом на заняття, де виконання контролюється, обговорюється, а результати використовуються у наступних завданнях;

– виконання тими, хто навчаються, певних навчальних завдань в Інтернеті безпосередньо після аудиторного заняття для подальшого використання результатів.

**Off-line.** Цю організаційну форму застосування Інтернету в курсах з іноземної мови цитовані вище автори V. Barrett та P. Sharma [9] рекомендують використовувати виключно для здійснення Інтернет-пошуку. Наприклад, продуктом такого пошуку можуть бути автентичні тексти за фахом студентів, що в подальшому (у відстроченому режимі) використовуються в аудиторії для обговорення, студентських презентацій, роботи над навчальними проектами тощо.

Наведені організаційні форми використання Інтернету в навчальному процесі можуть і повинні застосовуватися у мовних курсах, що здійснюються у школах або ЗВО України. Є і інша форма, яку не розглядали автори цитованої роботи. Вона полягає в тому, що учні/студенти проводять роботу в Інтернеті в основному на класних/аудиторних заняттях, опрацьовують результати цієї роботи позакласно/позааудиторно і, нарешті, в тій чи іншій формі звітують про отримані результати у відстроченому режимі на наступних заняттях.

Зиск від такої організації саме для шкіл та ЗВО України полягає в тому, що вона дозволяє проводити саму роботу учнів/студентів в Інтернеті головним чином на заняттях в аудиторії – в одному з комп'ютерних класів даного вищого навчального закладу або школи, оскільки практично в кожному ЗВО і кожній школі України вони вже є. На позакласну/позааудиторну роботу учнів/студентів в Інтернеті можна розраховувати лише обмежено. Комп'ютерні класи у школі/ЗВО (оскільки зазвичай їх не так вже й багато) часто перевантажені після занять, і учні/студенти, користуючись тільки ними, нерідко просто не будуть встигати виконувати свої завдання у зазначений термін. Що ж стосується до роботи студентів в Інтернеті за межами школи/ЗВО, то у значному обсязі на це також немож-

ливо розраховувати. Хоч велика частина учнів/студентів має доступ до Інтернету вдома, але це все ж таки не всі з них, а направляти їх до різних Інтернет-кафе, де послуги платні, навряд чи припустимо.

Але навіть виконуючи роботу в Інтернеті в основному на класних/аудиторних заняттях, не слід очікувати, що це можна зробити на будь-якому з занять, коли викладач вважає потрібним. Зазвичай заняття з іноземних мов проводяться у класах/аудиторіях без комп'ютерів і підключення до Інтернету. Заняття в комп'ютерних класах потрібно планувати заздалегідь для внесення їх у розклад, і навряд чи можливо сподіватися, що викладач отримуватиме можливість працювати зі своєю групою у комп'ютерному класі частіше ніж один раз на два, а то й на три тижні. Тому такі заняття в комп'ютерних класах, коли вони планово проводяться, доцільно цілком присвячувати тільки перед-комп'ютерній та комп'ютерній роботі (див. вище структуру типового заняття з використанням Інтернету), а після-комп'ютерну роботу раціонально виносити на наступні заняття у звичайних аудиторіях.

Таким чином, запропонований тип організації роботи в Інтернеті (учні/студенти виконують цю роботу в основному на аудиторних заняттях у комп'ютерних класах, опрацьовують результати своєї роботи позааудиторно, а потім в тій чи іншій формі звітують про отримані результати у відстроченому режимі на наступних заняттях, що проводяться у звичайних аудиторіях без комп'ютерів) найбільшою мірою відповідає нинішнім реальним умовам навчання іноземних мов у школах та ЗВО України. Цей тип організації, який можна назвати третім типом у порівнянні з першими двома типами, запропонованими V. Barrett та P. Sharma [9].

Все сказане вище свідчить про дуже глибоку, детальну та всебічну розробку як на теоретичному, так і на практичному рівнях методики використання комп'ютерних технологій у сучасному викладанні іноземних мов. Широке впровадження цієї методики робить навчальний процес комбінованим (blended learning [9]), тобто таким, в якому органічно сполучається традиційна робота в аудиторії з роботою студентів з комп'ютерними навчальними програмами і в Інтернеті як на аудиторних заняттях, так і поза їх межами. Що стосується перспектив розвитку в цьому напрямку, то цілком ймовірно, що з часом роль вищеназваної комп'ютерної складової в навчальному процесі буде постійно зростати в напрямі, про який буде сказано у висновках.

**Висновки**

В наш час методика використання комп'ютерних технологій у навчанні іноземних мов дуже ретельно розроблена і все ширше розповсюджується у практиці викладання. Таке широке впровадження цих технологій перетворює навчальний процес з іноземних мов на комбінований з органічним сполучанням у ньому традиційної та комп'ютерної навчальної складової. Частина останньої має тенденцію до зростання, особливо з кожним новим кроком у розвитку комп'ютерних технологій. Якщо ця тенденція закріпиться, то цілком ймовірно стане можливість повністю самостійного і дуже ефективного опанування тими, хто навчаються, іноземних мов з мінімальною участю викладача в цьому процесі.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *Руснак Д.А.* Формування граматичної компетенції в майбутніх викладачів французької мови з комп'ютерною підтримкою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук. – Київ, 2009. – 24 с.
2. *Бєбих В.В.* Організація самостійної роботи майбутніх фінансистів у процесі самостійного навчання англomовного ділового писемного спілкування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук. – Київ, 2009. – 24 с.
3. *Веретенникова В.П., Кузнецова Г.П.* Теоретические основы обучения чтению с использованием компьютерной обучающей программы. // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2008. – № 2. – С.125-127.
4. *Свиридюк В.П.* Методика навчання німецького писемного мовлення студентів-заочників вищих мовних навчальних закладів на основі використання дистанційного курсу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук. – Київ, 2007. – 22 с.
5. *Чірва І.В.* Методика навчання майбутніх інженерів-програмістів англійського діалогічного мовлення з використанням комп'ютерних технологій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук. – Київ, 2008. – 22 с.
6. *Kern R.* Perspectives on technology in learning and teaching languages // TESOL Quarterly. – 2006. – Vol. 40, – No.1. – P.183-210. <https://doi.org/10.2307/40264516>
7. *Motteram G.* Communicating with computers / A special interest in computers. Learning and teaching with information and communications technologies / Ed. by P. Brett and G. Motteram. – Whitstable, Kent: IATEFL, 2000. – P.73-91.
8. *Warschauer M., Whittaker P.F.* The Internet for English teaching: Guidelines for teachers // TESL Reporter. – 1997. – Vol.30 (1). – P.27-33.
9. *Barrett B., Sharma P.* The Internet and Business English. – Oxford: Summertown Publishing, 2003. – 198 p.

10. *Warschauer M.* Researching technology in TESOL: Determinist, instrumental, and critical approaches // TESOL Quarterly. – 1998. – Vol.32. – P.757-761. <https://doi.org/10.2307/3588010>

11. *Warschauer M., Shetzer H., Meloni C.* Internet for English teaching. – Alexandria, VA: TESOL, 2000. – 176 p.

12. *Egbert J.L.* Conducting research on CALL // CALL research perspectives / J.L. Egbert & G.M. Petrie (Eds.). – Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 2005. – P.3-8. <https://doi.org/10.4324/9781410613578>

13. *Городнича Л.В.* Диференційоване навчання молодших школярів аудіювання англійського мовлення з використанням комп'ютера: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук. – Київ, 2009. – 24 с.

14. *Каменський О.І.* Методика формування англomовної компетенції студентів економічних спеціальностей засобами комп'ютерних технологій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук. – Одеса, 2009. – 22 с.

15. *Лук'яненко І.О.* Формування інформаційної культури майбутніх учителів англійської мови: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. – Одеса, 2009. – 22 с.

Надійшла до редакції 27.09.2019

**ВНЕДРЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИЕ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ: ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

*Тарнопольский О.Б., Кабанова М.Р.*

*Начиная с последней четверти прошлого века компьютерные технологии постепенно, но очень уверенно начинают занимать все большее место в обучении иностранным языкам как на уровне среднего, так и на уровне высшего образования. Однако отсутствуют попытки системного исследования истории их внедрения и тех перспектив, которые оно может открыть для дальнейшего развития как методики преподавания иностранных языков, так и педагогической практики. В соответствии с этим цель статьи – отследить историю постепенного внедрения компьютерных технологий в процесс обучения иностранным языкам с выводами о дальнейших перспективах такого внедрения. История внедрения компьютерных технологий в процесс обучения иностранным языкам изучалась по трем направлениям: 1) создание и анализ компьютерных программ (в том числе Интернет-программ) для формирования и развития у обучаемых грамматических, лексических и фонетических навыков иноязычной речи; 2) создание и анализ компьютерных программ (в том числе Интернет-программ) для формирования и развития у обучаемых навыков и умений иноязычной речевой деятельности во всех четырех ее видах: чтения, письма, слушания и говорения; 3) использования Интернета для радикальной перестройки и оптимизации учебного процесса в языковых курсах с целью повышения их интенсивности, коммуникативной направленности, создания возможности выхода за пределы учебной аудитории, в том числе для обеспечения возможности международного общения в реальном времени в этой аудитории, и т.д. В результате проведенного анализа был сделан вывод, что методика использования компьютерных технологий в обучении иностранным языкам уже очень тщательно разработана и все шире распространяется в практике преподавания. Такое широкое внедрение превращает учебный процесс по иностранным языкам в комбинированный с органическим сочетанием в нем традиционной и компьютер-*

ной учебной оставляющей. Доля последней имеет тенденцию к росту, особенно с каждым новым шагом в развитии компьютерных технологий. Если эта тенденция закрепится, то весьма вероятной станет возможность полностью самостоятельного и весьма эффективного овладения обучаемыми иностранными языками с минимальным участием преподавателя в этом процессе.

**Ключевые слова:** компьютерные технологии в обучении иностранным языкам, Интернет в иноязычной подготовке, комбинированное обучение иностранному языку.

## INTRODUCTION OF COMPUTER TECHNOLOGIES INTO FOREIGN LANGUAGE TEACHING: HISTORY AND PROSPECTS

Tarnopolsky O.B., Kabanova M.R.

Alfred Nobel University, Dnipro, Ukraine

*Beginning with the last decades of the 20<sup>th</sup> century, computer technologies have started playing an ever-increasing role in foreign language teaching both on the levels of secondary and tertiary education. However, attempts at systemic investigation of the history of their introduction into such teaching and the prospects that it opens for further development of foreign language teaching methods and for pedagogical practice are quite scarce. In accordance with that, the goal of the article is to trace the history of gradual computer technology introduction into the foreign language teaching/learning process and to draw conclusions as to the prospects of that introduction. The history of computer technology introduction into the foreign language teaching/learning process was studied following the three directions: 1) developing and analyzing computer programs (including the Internet-based ones) for forming learners' grammar, vocabulary, and pronunciation target language skills; 2) developing and analyzing computer programs (including the Internet-based ones) for forming learners' target language communication skills in all the four basic types of communication: reading, writing, listening, and speaking; 3) using Internet for the radical reconstruction and optimization of the teaching/learning process in foreign language courses with the aim of enhancing their intensiveness, communicative direction of learning, as well as for creating opportunities of leaving the classroom boundaries, including the opportunities for international communication within that classroom, etc. As the result of the analysis in the article, the conclusion was drawn that the methodology of using computer technologies in foreign language teaching had already been thoroughly developed and that methodology is now widely spread in teaching practice. Such broad spreading turns the foreign language teaching/learning process into the blended one with harmonious blending in it of traditional and computer-based constituents. The share of the latter constituent has a tendency of growing, especially with every new step in the development of computer technologies. If this tendency gets reinforced, learners' gaining target language command mostly independently and quite effectively with the minimal participation of the teacher becomes quite probable.*

**Keywords:** computer technologies in foreign language teaching, Internet in foreign language training, blended foreign language learning.

### REFERENCES

1. Rusnak D.A. *Formuvannya gramatychnoyi kompetencyi v majbutnix vykladachiv francuzskoyi movy z komp'yuternoyu pidtrymkoyu: avtoref. dy's. na zdobuttya nauk. stupenya kand. ped. nauk* [Developing the grammatical competence of future teachers of French with computer help: candidate of pedagogy dissertation abstract]. Kyiv, 2009, 24 p. (in Ukrainian).
2. Bebyx V.V. *Organizaciya samostijnoyi roboty majbutnix finansy stiv u procesi samostijnogo navchannya angломовного dilovogo py'semного spilkuvannya: avtoref. dy's. na zdobuttya nauk.*
3. Veretennykova V.P., Kuzneczova G.P. *Teoreticheskie osnovy obuchenija chiteniju s ispol'zovaniem komp'yuternoj obuchajushhej programy*. [Theoretical foundations of teaching reading with the use of a computer training program]. Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova, 2008, no.2, pp.125-127 (in Russian).
4. Svyrydyuk V.P. *Metodyka navchannya nimeczkogo py'semного movlennya studentiv-zaochny'kiv vyshhy'x movny'x navchalny'x zakladiv na osnovi vykorystannya dy'stancijnogo kursu: avtoref. dy's. na zdobuttya nauk. stupenya kand. ped. nauk* [Methods of teaching German writing to correspondence students of tertiary language schools on the basis of distance learning course: candidate of pedagogy dissertation abstract]. Kyiv, 2007, 22 p. (in Ukrainian).
5. Chirva I.V. *Metodyka navchannya majbutnix inzheneriv-programmistiv anglijskogo dialogichного movlennya z vykorystannyam komp'yuterny'x texnologij: avtoref. dy's. na zdobuttya nauk. stupenya kand. ped. nauk* [Methodology of teaching future engineers-programmers English dialogic speaking with using computer technologies: candidate of pedagogy dissertation abstract]. Kyiv, 2008, 22 p. (in Ukrainian).
6. Kern R. *Perspectives on technology in learning and teaching languages*. TESOL Quarterly, 2006, Vol. 40, no.1, pp.183-210. <https://doi.org/10.2307/40264516>
7. Motteram G. *Communicating with computers*. A special interest in computers. Learning and teaching with information and communications technologies. Ed. by P. Brett and G. Motteram. Whitstable, Kent: IATEFL, 2000, pp.73-91.
8. Warschauer M., Whittaker P.F. *The Internet for English teaching: Guidelines for teachers*. TESL Reporter, 1997, Vol.30 (1), pp.27-33.
9. Barrett B., Sharma P. *The Internet and Business English*. Oxford: Summertown Publishing, 2003, 198 p.
10. Warschauer M. *Researching technology in TESOL: Determinist, instrumental, and critical approaches*. TESOL Quarterly, 1998, 32, pp.757-761. <https://doi.org/10.2307/3588010>
11. Warschauer M., Shetzer H., Meloni C. *Internet for English teaching*. Alexandria, VA: TESOL, 2000, 176 p.
12. Egbert J.L. *Conducting research on CALL*. CALL research perspectives. J.L. Egbert & G.M. Petrie (Eds.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 2005, pp.3-8. <https://doi.org/10.4324/9781410613578>
13. Gorodny'cha L.V. *Dy'ferencijovane navchannya mladshy'x shkolyariv audiyuvannya anglijskogo movlennya z vykorystannyam komp'yutera: avtoref. dy's. na zdobuttya nauk. stupenya kand. ped. nauk* [Differentiated teaching of English listening with the use of computers to younger schoolchildren: candidate of pedagogy dissertation abstract]. Kyiv, 2009, 24 p. (in Ukrainian).
14. Kamens'kyj O.I. *Metodyka formuvannya angломовnoyi kompetencyi studentiv ekonomichny'x special'nostej zasobamy komp'yuterny'x texnologij: avtoref. dy's. na zdobuttya nauk. stupenya kand. ped. nauk* [Methodology of developing English competence of students of Economics with the help of computer technologies: candidate of pedagogy dissertation abstract]. Odesa, 2009, 22 p. (in Ukrainian).
15. Luk'yanchenko I.O. *Formuvannya informacijnoyi kul'tury majbutnix uchyteliv anglijskoyi movy: avtoref. dy's. na zdobuttya nauk. stupenya kand. ped. nauk* [Developing the information culture of future teachers of English: candidate of pedagogy dissertation abstract]. Odesa, 2009, 22 p. (in Ukrainian).

УДК 004.942+621.774.28

*Хацкелян И.П.<sup>а</sup>, Поворотный В.В.<sup>б</sup>, Вышинский В.Т.<sup>в</sup>, Рахманов С.Р.<sup>в</sup>*

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ КЛЕТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО СТАНА ТПА 350 С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

<sup>а</sup> ООО «ИНТЕРПАЙП НИКО ТЬЮБ», г. Никополь, Украина<sup>б</sup> Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина<sup>в</sup> ООО НПФ «Восток-Плюс», г. Днепр, Украина

Наименее изученным среди динамических процессов, сопровождающих прокатку гильз на автоматическом стане, является поведение станины рабочей клетки, проявляющееся в виде её динамических смещений. Объяснить это можно тем, что на гильзу, взаимодействующую с валками и оправкой, воздействует стержневой механизм удержания оправки на оси прокатки. Возможность динамических смещений может быть также объяснена как проявлением износа опорных поверхностей, так и отклонений от регламентных состояний систем фиксации анкерными болтами. Это послужило обоснованием для выполнения экспертно-технического обследования состояния элементов станины рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 ООО «ИНТЕРПАЙП НИКО ТЬЮБ» методом магнитной памяти; осуществления ультразвукового контроля их металла; мониторинга пространственного положения рабочей клетки с регистрацией динамических смещений и углов отклонения её узлов и деталей; выполнения научно-исследовательской работы по определению напряженно-деформированного состояния основных элементов рабочей клетки при прокатке основных видов труб; контроля целостности анкерных стержней с выявлением недопустимых дефектов. Анализ результатов этого комплекса работ обосновал постановку задачи на разработку компьютерной модели рабочей клетки автоматического стана с целью её использования при проведении имитаций различных вариантов технологических и конструктивных нагружений для обоснования стратегии дальнейшей эксплуатации ТПА 350. Приведены результаты исследований 3D модели автоматического стана ТПА 350 в сопоставлении с результатами научно-исследовательской работы «Определение напряженно-деформированного состояния рабочей клетки ТПА 350». Так, было установлено, что в станине рабочей клетки возникают максимальные напряжения в зонах выявленных ранее трещин, места концентраций максимальных напряжений «мигрируют» при изменении условий закрепления станины.

**Ключевые слова:** агрегат для производства бесшовных горячекатаных труб, очаг деформации автоматического стана, станина рабочей клетки, механизмы удержания рабочей клетки, компьютерное моделирование, конечные элементы, концентраторы напряжений, сетка трёхмерной модели, условия закрепления опорных узлов, поля напряжений.

DOI: 10.32434/2521-6406-2019-6-2-83-90

### *Введение*

Трубопрокатные агрегаты (ТПА) с автоматическим станом, предназначенные для производства бесшовных горячекатаных труб широкого ассортимента. Возможность быстрого пе-

рехода с производства одного вида труб на другой определяет высокую эффективность использования ТПА с автоматическим станом при прокатке малых партий труб. Наименее изученным среди динамических процессов, сопровождаю-

ших процесс прокатки гильз на автоматическом стане, является поведение станины рабочей клетки со всеми механизмами её удержания. Условия, формирующие специфические начальные условия технологического процесса, обуславливают сложное поведение рабочей клетки, проявляющиеся в виде её динамических смещений, возможность которых может быть объяснена не только проявлением износа опорных поверхностей, но и отклонений от регламентных состояний систем фиксации анкерными болтами. Это послужило обоснованием для выполнения мониторинга пространственного положения клетки в процессе эксплуатации с регистрацией динамических смещений и углов отклонения клетки автоматического стана ТПА 350 ООО «ИНТЕРПАЙП НИКО ТЬЮБ» [1]; комплексного экспертно-технического обследования её состояния; описания особенностей её функционирования [2]; научно-исследовательской работы по определению напряженно-деформированного состояния станин при прокатке основных видов труб [3]; постановки задачи на разработку модели клетки автоматического стана ТПА 350 с целью её применения для обоснования стратегии дальнейшей эксплуатации ТПА 350.

#### **Анализ источников**

Многочисленные результаты анализа разрушений базовых деталей тяжелых машин [4-7] показал, что эти разрушения не связаны со старением всего объема материала детали в процессе длительной эксплуатации. Причины разрушения в виде локальных зон, конструктивных и технологических концентраторов напряжений, существовали с самого начала эксплуатации и могли быть «заложены» в машину как заводом-изготовителем на стадиях проектирования, изготовления и монтажа, так и в процессе эксплуатации.

#### **Формулирование целей статьи (постановка задачи)**

Исследование напряженно-деформированных состояний элементов конструкции рабочей клетки автоматического стана ТПА 350, обусловленных динамическими процессами при прокатке гильз.

#### **Изложение основного материала исследования**

В процессе создания 3D модели клетки автоматического стана ТПА 350 была использована не только техническая документация ООО «ИНТЕРПАЙП НИКО ТЬЮБ», но и результаты натурных обследований, позволивших выявить изменения, обусловленные 90-летним

периодом её эксплуатации. При создании сетки модели (рис. 1) особое внимание уделялось зонам конструктивных и технологических концентраторов напряжений, зонам возникновения трещин, проявившихся за предшествующий период эксплуатации и «залеченных» при выполнении ремонтных работ.

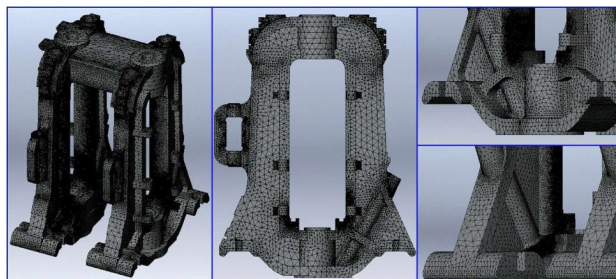


Рис. 1. Отображение сетки на трехмерной компьютерной модели станины автоматического стана ТПА 350

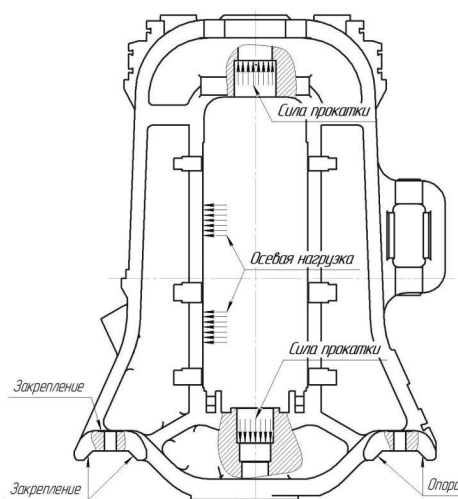


Рис. 2. Схема нагружения станины рабочей клетки автоматического стана ТПА 350

На результаты решений задач по определению напряженно-деформированного состояния объектов с использованием метода конечных элементов существенное влияние оказывает процесс формирования расчётной схемы (рис. 2), включающий выбор величин приложенных усилий, точек и направлений их приложения, указания характера распределения нагрузок, взаимосвязь исследуемого объекта с другими телами не участвующими в исследовании, но воздействующими на объект исследования. В совокупности вышеприведенные факторы являются отдельной наукоёмкой задачей. Усилия, дей-

ствующие на станину рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 можно условно разделить на два вида:

1. Статические силы, которые не зависят от режима прокатки и геометрических характеристик прокатываемых изделий.

2. Силы, возникающие в процессе прокатки, к которым относятся усилия прокатки, передаваемые нажимными винтами через гайки на соответствующие части станины; силы взаимодействия подушек и передних стоек станины, в момент захвата заготовки валками.

При техническом обслуживании рабочей клетки в период проведения научно-исследовательской работы по определению напряженно-деформированного состояния при прокатке основных видов труб установлено, что условия закрепления переднего левого и заднего правого опорных узлов клетки не соответствовали установочным требованиям. На передней левой опоре величина усилия затяжки была ниже значения, регламентируемого нормативными документами; на задней правой опоре наблюдалось отсутствие усилия затяжки. Результаты решений при различных комбинациях затяжки болтов опорных узлов станины, кардинально отличались друг от друга. Следует отметить, что количество возможных вариантов закрепления станины по критериям «болт затянут», «болт отпущен» для данной клетки составляет 40320 вариантов. Из этого следует, что ввиду большого разброса вариантов закрепления станины клетки, целесообразно проводить периодические проверки значений усилий затяжки болтов.

В процессе исследования в рамках научно-исследовательской работы проводились замеры

напряжений, возникающие в станине автоматического стана ТПА 350 при прокате двух пакетов труб: 324×8,3 и 324×7,2 из материала Сталь 20. Напряжения замерялись в различных зонах станины (верхних углах рам, на передних и задних стойках, в районе задних лап станины). На рис. 3 представлены схемы закрепления «розеток» (систем из трёх тензодатчиков) на станине автоматического стана ТПА 350. Также были произведены замеры усилий на верхних нажимных винтах. Величины усилий на нажимных винтах представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Величины усилий при прокате на нажимных винтах

	Величины усилий воздействия подушек на винты нажимных устройств, кН	
	Винт левой полустанины	Винт правой полустанины
Труба 324×8,3	340	966
Труба 324×7,2	392	1094

При исследованиях напряженно-деформированных состояний были выполнены замеры главных и эквивалентных напряжений в зонах трехмерных моделей, соответствующих местам крепления датчиков на станине. Сопоставление результатов, полученных с использованием метода конечных элементов и научно-исследовательской работы, представлены в табл. 2 и 3.

Анализируя данные, приведенные в таблицах 2 и 3, можно сделать следующие выводы:

1. Величины напряжений, полученные в местах крепления «розеток», не превышают значения 6 МПа. Данные напряжения являют-

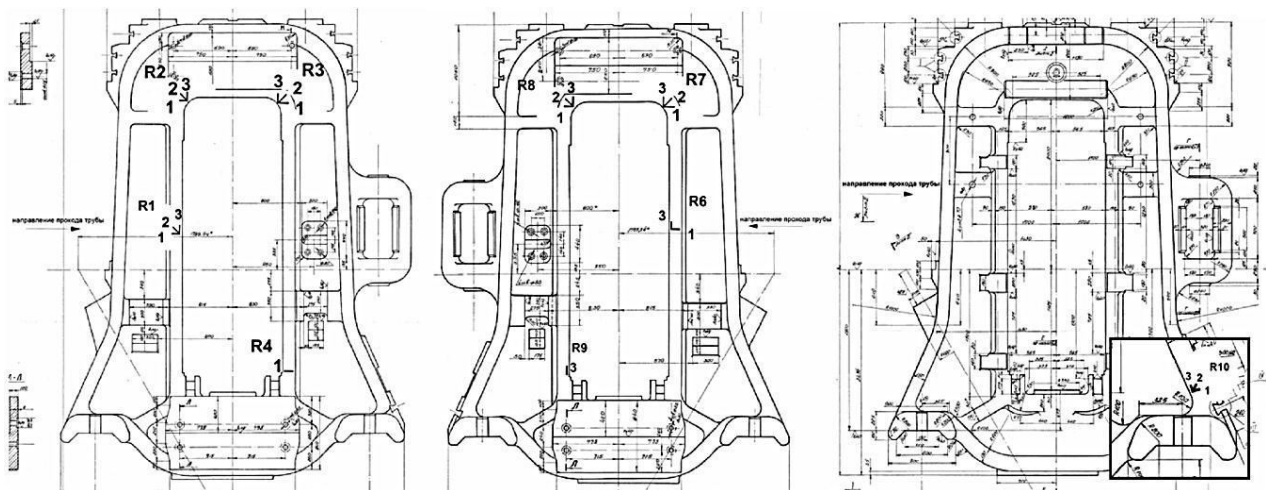


Рис. 3. Расположение «розеток» на станине автоматического стана ТПА 350 при проведении научно-исследовательской работы по определению напряженно-деформированного состояния станин при прокатке основных видов труб

Таблица 2

Данные при прокатке трубы 324x8,3 (силы прокатки: левая станина – 340 кН; правая станина – 966 кН)  
(результаты при имитации идеального закрепления станины)

Метод исследований	Вид напряжений	Значения напряжений в зонах крепления «розеток», МПа					
		1	2	3	7	8	10
Результаты исследований тензометрическим методом	Первое главное напряжение	0,28	0,66	4,68	1,36	0,54	-0,81
	Третье главное напряжение	-0,13	-2,02	0,63	-0,63	-1,27	-3,48
	Эквивалентное напряжение	0,41	2,68	4,05	1,99	1,81	2,67
Исследование трехмерной модели методом конечных элементов	Эквивалентное напряжение	0,70	1,15	2,40	1,60	1,70	2,46
	Первое главное напряжение	0,60	0,65	2,70	2,80	4,60	1,50
	Третье главное напряжение	-0,10	-0,43	-0,12	-0,02	-0,05	-0,88

Таблица 3

Данные при прокатке трубы 324x8,3 (силы прокатки: левая станина – 340 кН; правая станина – 966 кН)  
(условия закрепления переднего левого и заднего правого опорных узлов клетки не соответствовали установочным требованиям)

Метод исследований	Вид напряжений	Значения напряжений в зонах крепления систем тензодатчиков, МПа					
		1	2	3	7	8	10
Результаты исследований тензометрическим методом	Первое главное напряжение	0,28	0,66	4,68	1,36	0,54	-0,81
	Третье главное напряжение	-0,13	-2,02	0,63	-0,63	-1,27	-3,48
	Эквивалентное напряжение	0,41	2,68	4,05	1,99	1,81	2,67
Исследование трехмерной модели методом конечных элементов	Эквивалентное напряжение	0,65	0,86	2,30	2,65	4,50	2,10
	Первое главное напряжение	0,60	0,46	2,38	2,60	4,60	1,97
	Третье главное напряжение	-0,02	-0,40	0	0	-0,01	-0,12

ся незначительными и не несут угрозы разрушения станины в приведенных местах.

2. Величины напряжений, полученные при изменении условий закрепления станины, отличаются по своей величине и в некоторых случаях далеки по своей величине от реальных напряжений. Данное явление подтверждает гипотезу о том, что величины и места концентраций напряжений напрямую зависят от условий закрепления станины.

3. Сравнивая величины напряжений, полученных с использованием метода конечных элементов при прокате двух пакетов труб, наблюдается следующая закономерность: при повышении усилия прокатки, увеличивается величина напряжений, возникающих в конструкции станины. При анализе результатов исследования напряженно-деформированного состояния станины с использованием тензометрического метода, наблюдается отсутствие закономерного увеличения напряжений при увеличении энергосиловых параметров прокатки. Данное явление свидетельствует о том, что в процессе прокатки рабочая клеть дополнительно испытывает предварительно напряженное состояние, изменяющееся после каждого прохода трубы. В

данном случае это может быть связано с возможностью совершать произвольные перемещения при неправильном закреплении клетки.

При исследовании напряженно-деформированного состояния трехмерной модели методом конечных элементов рассматривались как наблюдаемые варианты нагружения станины, так и их возможные варианты. Среди наблюдаемых вариантов рассматривался наиболее часто реализуемый вариант процесса прокатки трубы 324x7,2 в крайнем правом калибре (данную трубу катают в правом калибре более 70-ти лет) как в период установившегося процесса, так и в момент захвата заготовки. Также рассматривался возможный вариант проката трубы 324x7,2 в крайнем левом калибре клетки.

За почти 90-летний период эксплуатации клетки в теле станины могли накопиться повреждения, приводящие к разрушению конструкции. Явления накопления повреждений усугубляются наличием динамических нагрузок, возникающих в результате захвата заготовки, проявлением зазоров в линии привода автоматического стана, зазоров в элементах конструкции станины. Из анализа картин формирования напряженных состояний во время захватов гильз и



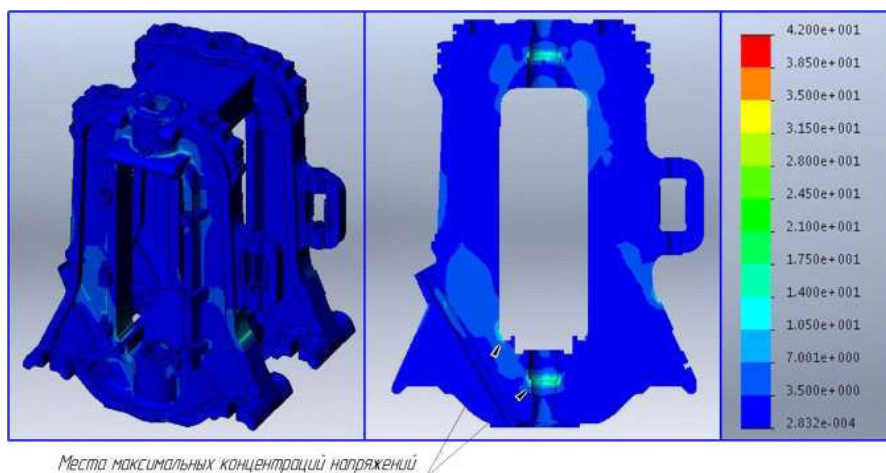


Рис. 4. Поля напряжений, возникающие в станине во время прокатки трубы 324×7,2 из стали Ст. 20 в правом калибре

Таблица 4

**Максимальные напряжения, возникающие в станине автоматического стана ТПА 350 при прокате трубы из стали 12Х18Н10Т**

Место концентрации максимальных напряжений в правой полустанине	Значения напряжений, МПа				
	Главные			Эквивалентные	
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{III}$	$\sigma_{IV}$
Установившийся процесс					
Место установки гайки нижнего нажимного винта	30	30,5	88	58	79
Зона образования трещины	77,1	25,0	20,0	57,1	56,0
Момент захвата заготовки					
Место установки гайки нижнего нажимного винта	110	113	323	213	296
Зона образования трещины	273	88	70	203	207

стационарных периодов прокатки следует, что коэффициент динамичности может достигать 3, что губительно сказывается на её прочности. Этот результат согласуется с данными других исследователей [8,9].

На рис. 4 представлены поля эквивалентных напряжений, возникающие в станине рабочей клетки автоматического стана ТПА 350, а также в плоскости симметрии правой полустанины при прокате трубы 324×7,2 из стали Ст. 20. Результаты исследований показывают, что максимальные напряжения возникают в местах контакта гайки нажимного устройства и тела станины, а также в нижнем углу рамы правой полустанины.

Наряду с исследованием напряженно-деформированного состояния станины автоматического стана ТПА 350, при прокате трубы 324×7,2 из стали Ст. 20, выполнены исследования напряженно-деформированного состояния станины при прокате труб из труднодеформируемых сплавов. Результаты исследований напряженно-деформированного состояния стани-

ны автоматического стана ТПА 350, представленные в виде максимальных напряжений, возникающих в станине при прокате трубы из стали 12Х18Н10Т, отображенные в таблице 4, свидетельствуют о превышении предела текучести на кратковременный срок (в пределах 0,1 секунды) в момент захвата заготовки. Данное обуславливает наличие процесса накопления повреждений, что в дальнейшем создает предпосылки образования трещин в конструкции станины.

За время эксплуатации станины автоматического стана ТПА 350 в её конструкции возникали трещины, которые устранялись при ремонтах. На рис. 5 представлены поля напряженно-деформированного состояния зоны, в которой возникла трещина, имитация которой формировалась по геометрическим характеристикам реальной трещины.

Сравнение результатов исследований методом конечных элементов и обследования станины автоматического стана ТПА 350 методом ультразвукового контроля [1] свидетельствуют о соответствии мест концентрации напряжений

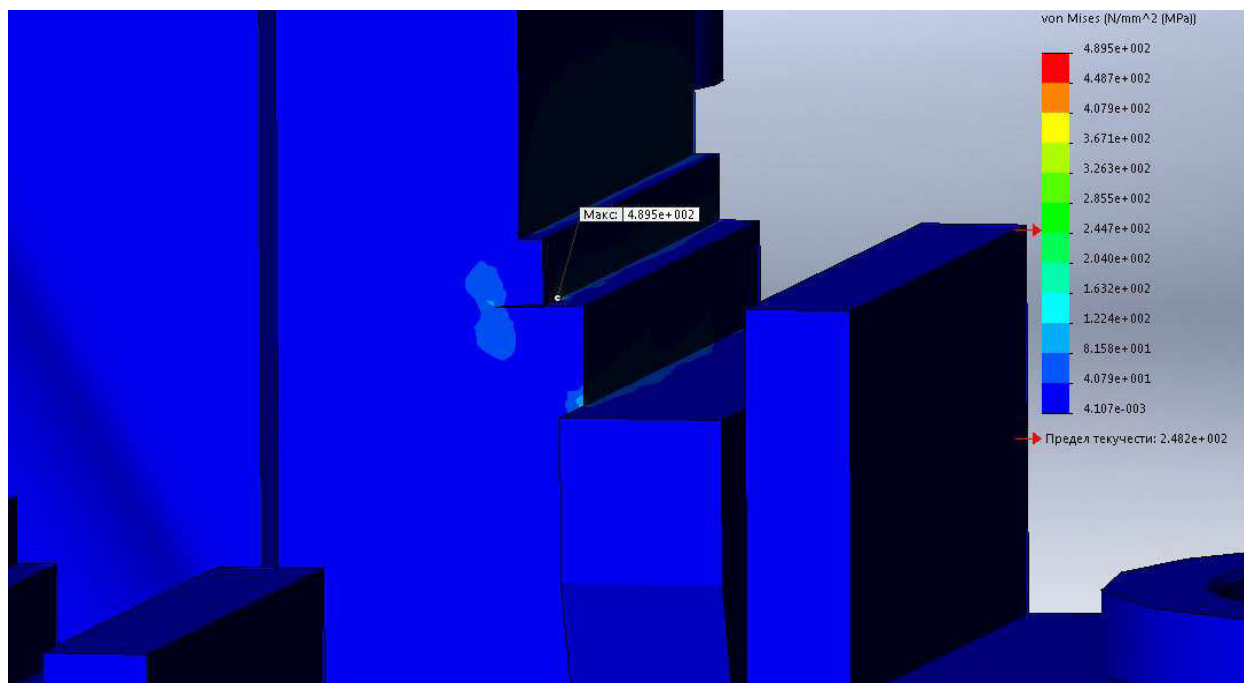


Рис. 5. Поля эквивалентных напряжений в зоне имитированной трещины, возникающие в станине рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 при прокатке трубы из стали 12Х18Н10Т в правом калибре

местам возникновения неоднородностей в теле станины.

#### **Выводы**

Опираясь на результаты исследований напряженно-деформированного состояния станины автоматического стана ТПА 350 можно установить:

1. В процессе прокатки трубы в автоматическом стане, в станине рабочей клетки возникают максимальные напряжения в зонах выявленных ранее трещин, а также в месте контакта гаек нажимного устройства с телом станины. При этом, напряжения, возникающие в теле станины в среднем не превышают величины в 10 МПа, что подтверждает наличие 8-10 кратного запаса прочности, устанавливаемого при проектировании в начале прошлого века. Критическими напряжения, обусловленные высоким уровнем динамичности, становятся в момент захвата заготовки рабочими валками.

2. В процессе исследования напряженно-деформированного состояния станины автоматического стана ТПА 350 было установлено, что места концентраций максимальных напряжений «мигрируют» при изменении условий закрепления станины. Было установлено, что при несоответствии условий закрепления станины условиям, указанным в технической документации, максимальные касательные напряжения возни-

кают в задних лапах станины, тем самым приводя к образованию неоднородности металла на определенной глубине в теле станины.

3. Результаты исследований напряженно-деформированного состояния станины автоматического стана ТПА 350 показали, что при прокате трубы из трудно деформируемых сплавов (например, стали из сплава 12Х18Н10Т), напряжения, возникающие в станине при установившемся процессе, не несут угрозы разрушения станины, чего нельзя сказать о фазе захвата заготовки рабочими валками.

4. Опираясь лишь на исследование напряженно-деформированного состояния станины автоматического стана ТПА 350 нельзя однозначно сказать о допустимых величинах усилий прокатки, а также прогнозировать срок службы станины и вероятность её разрушения.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Технический* отчёт мониторинга пространственного положения клетки в процессе эксплуатации с регистрацией динамических смещений и углов отклонения клетки автоматического стана ТПА 350. – Никополь, 2018. – 287 с.
2. *Рахманов С.Р., Вышинский В.Т., Пача С.В.* Особенности функционирования рабочей клетки автоматического стана трубопрокатного агрегата // Компьютерное моделирование

ня: аналіз, управління, оптимізація. – 2018. – № 2 (4). – С.65-72. <https://doi.org/10.32434/2521-6406-2018-4-2-65-72>.

3. *Отчёт* по научно-исследовательской работе «Определение напряженно-деформированного состояния рабочей клетки ТПА 350 (автоматический стан)». – Днепр, 2019. – 26 с.

4. *Морозов Б.А.* Моделирование и прочность металлургических машин. – М.: Машгиз, 1963. – 284 с.

5. *Васильев В.В.* Исследование напряжений в угловых элементах несущих деталей прокатных станов и прессов: диссерт. канд. техн. наук: 05.02.09. – Москва, ВНИИМЕТМАШ, 1962. – 115 с.

6. Комплексное изучение условий нагружения и напряженного состояния станины блюминга 1100 КМК / Морозов Б.А., Софронов Е.И., Сурков А.И., Коновалов Л.В., Кузнецов Б.Г. // Труды первой всес.конфер. по расчетам на прочность металлургических машин, Сб., ВНИИМЕТМАШ. – № 24. – Москва, 1969. – С.3-16.

7. *Shlomchak G.G., Mamuzich I., Vodopivec F.* Optical modeling of non-stationary rolling process // Materials science and technology. – № 3. – 1995. – P.312-316. Access mode: <https://doi.org/10.1179/mst.1995.11.3.312>.

8. *Зиомковский В.М.* Совершенствование конструкции автоматстанов ТПА-140 и ТПА-220 на основе моделирования динамики привода: диссерт. канд. техн. наук: 05.02.09. – Екатеринбург, ФГАОУВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 2012. – 169 с.

9. *Єрмокрацьєв В.О., Кононов Д.О.* Дослідження динаміки головної силової лінії автоматичного стану ТПА-350 / *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2018. – № 7. – С.133-138.

Поступила в редакцию 06.11.2019

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РОБОЧОЇ КЛІТИ АВТОМАТИЧНОГО СТАНУ ТПА 350 ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Хацькелян І.П., Поворотній В.В., Вишинський В.Т., Рахманов С.Р.*

Найменш вивченою серед динамічних процесів, які супроводжують прокатку гільз на автоматичному стані, є поведінка станини робочої кліти, що виявляється у вигляді її динамічних зсувів. Пояснити це можна тим, що на гільзу, що взаємодіє з валками і оправкою, впливає стержневий механізм утримання оправки на осі прокатки. Можливість динамічних зсувів може бути також пояснена як проявом зносу опорних поверхонь, так і відхиленнь від регламентних станів систем фіксації анкерними болтами. Це слугувало обґрунтуванням для виконання експертно-технічного обстеження стану елементів станини робочої кліти автоматичного стану ТПА 350 ТОВ «ІНТЕРПАЙП НІКО ТБЮБ» методом магнітної пам'яті; здійснення ультразвукового контролю їх металу; моніторингу просторового положення робочої кліти з реєстрацією динамічних зсувів і кутів відхилення її вузлів і деталей; виконання науково-дослідницької роботи з визначення напружено-дефор-

мованого стану основних елементів робочої кліти під час прокатки основних видів труб; контролю цілісності анкерних стержнів з виявленням неприпустимих дефектів. Аналіз результатів цього комплексу робіт обґрунтував постановку задачі на розробку комп'ютерної моделі робочої кліти автоматичного стану з метою її використання при здійсненні імітацій різних варіантів технологічних і конструктивних навантажень для обґрунтування стратегії подальшої експлуатації ТПА 350. Наведено результати досліджень 3D моделі автоматичного стану ТПА 350 в зіставленні з результатами науково-дослідної роботи «Визначення напружено-деформованого стану робочої кліти ТПА 350». Так, було встановлено, що в станині робочої кліти виникають максимальні напруження в зонах виявлених раніше тріщин, місця концентрацій максимальних напружень «мігрують» при зміні умов закріплення станини.

**Ключові слова:** агрегат для виробництва безшовних гарячекатаних труб, вогнище деформації автоматичного стану, станина робочої кліти, механізми утримання робочої кліти, комп'ютерне моделювання, кінцеві елементи, концентратори напружень, сітка тривимірної моделі, умови закріплення опорних вузлів, поля напружень.

## THE STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE WORKING STAND OF THE AUTOMATIC MILL TPA 350 USING INFORMATION TECHNOLOGY

*Khatskelyan I.P.<sup>a</sup>, Povorotny V.V.<sup>b</sup>, Vishinskiy V.T.<sup>c</sup>, Rakhmanov S.R.<sup>c</sup>*

<sup>a</sup> LLC Interpipe Nico Tube, Nikopol, Ukraine

<sup>b</sup> National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

<sup>c</sup> Research and Production Company «Vostok-Plus», Dnipro, Ukraine

The least studied among the dynamic processes accompanying the rolling of sleeves on an automatic mill is the behavior of the bed of the working stand, manifested in the form of its dynamic displacements. This can be explained by the fact that the core mechanism for holding the mandrel on the rolling axis acts on the sleeve interacting with the rollers and the mandrel. This served as the basis for the expert-technical examination of the state of elements of the bed of the working stand of the automatic mill TPA 350 LLC INTERPIPE NIKO TUBE using magnetic memory; carry out ultrasonic testing of their metal; monitoring the spatial position of the working stand with registration of dynamic displacements and deviation angles of its nodes and parts; carrying out research work to determine the stress-strain state of the main elements of the working stand during rolling of the main types of pipes; integrity control of anchor rods with the identification of unacceptable defects. An analysis of the results of this set of works substantiated the statement of the problem for the development of a computer model of the working stand of an automatic mill for the purpose of its use in simulating various technological and structural loads to justify the strategy for the further operation of TPA 350. The results of studies of the 3D model of the automatic TPA 350 mill are presented in comparison with the results of the research work «Determination of the stress-strain state of the working stand of TPA 350». So, it was found that in the bed of the working stand maximum stresses arise in the zones of previously identified cracks, the places of concentration of maximum stresses «migrate» when the conditions for fixing the bed change.

**Keywords:** unit for the production of seamless hot-rolled pipes, deformation zone of the automatic mill, bed of the working stand, mechanisms for holding the working stand, computer simulation, finite elements, stress concentrators, three-dimensional model mesh, conditions for fixing the support nodes, stress fields.

## REFERENCES

1. *Tekhnicheskij otchjot monitoringa prostranstvennogo polozhenija kleti v processe jekspluatacii s registraciej dinamičeskikh smeshhenij i uglov otklonenija kleti avtomatstana TPA 350* [Technical report of monitoring the spatial position of the stand during operation with registration of dynamic displacements and deviation angles of the stand of automatic machine TPA 350]. Nikopol', 2018, 287 p. (in Russian).
2. Rakhmanov S.R., Vyshynskiy V.T., Pacha S.V. *Osobnosti funkcionirovanija rabochej kleti avtomatičeskogo stana truboprolatnogo agregata* [Features of functioning of the working stand of the automatic mill in the pipe-rolling unit]. *Komp'juterne modeluvannâ: analiz, upravlinnâ, optimizaciâ* [Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization], 2018, no 2 (4), pp.65-72. <https://doi.org/10.32434/2521-6406-2018-4-2-65-72>. (in Russian).
3. *Otchjot po nauchno-issledovatel'skoj rabote «Opređenje naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija rabochej kleti TPA 350 (avtomatičeskij stan)»* [Report on research work «Determination of the stress-strain state of the working stand TPA 350 (automatic mill)»]. Dnepr, 2019, 26 p. (in Russian).
4. Morozov B.A. *Modelirovanie i prochnost' metallurgičeskikh mashin* [Modeling and strength of metallurgical machines]. Moscow, Mashgiz, 1963, 284 p. (in Russian).
5. Vasil'ev V.V. *Issledovanie naprjazhenij v uglovyh jelementah nesushhijh detalej prokatnyh stanov i pressov* [The study of stresses in the corner elements of the bearing parts of rolling mills and presses]. Dissert. kand. tehn. nauk, 05.02.09, Moscow, VNIIMETMASH, 1962, 115 p. (in Russian).
6. Morozov B.A., Sofronov E.I., Surkov A.I., Konovalov L.V., Kuznecov B.G. *Kompleksnoe izučenie uslovij nagruženija i naprjazhennogo sostojanija staniny bljuminga 1100 KMK* [Comprehensive study of loading conditions and stress state of the blooming bed 1100 KMK]. *Trudy pervoj vses.konfer. po raschetam na prochnost' metallurgičeskikh mashin* [Proceedings of the first All-Union Conference on Strength Analysis of Metallurgical Machines], Sb. VNIIMETMASH, Moscow, 1969, no. 24, pp.3-16. (in Russian).
7. Shlomchak G.G., Mamuzich I., Vodopivec F. Optical modeling of non-stationary rolling process. *Materials science and technology*, 1995, no. 3, pp.312-316. <https://doi.org/10.1179/mst.1995.11.3.312>.
8. Ziomkovskij V.M. *Sovershenstvovanie konstrukcii avtomatstanov TPA-140 i TPA-220 na osnove modelirovanija dinamiki privoda* [Improving the design of automatic machines TPA-140 and TPA-220 based on simulation of drive dynamics]. Dissert. kand. tehn. nauk, 05.02.09, Ekaterinburg, FGOUVO «Ural'skij federal'nyj universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'cina». 2012, 169 p.
9. Ermokrat'ev V.O., Kononov D.O. *Doslidžennja dinamiki golovnoj silovoï linii avtomatičnogo stana TPA-350* [Investigation of the dynamics of the main power line of the automatic mill TPA-350] *Metallurgičeskaja i gornorudnaja promyšlennost'* [Metallurgical and mining industry]. 2018, no. 7, pp.133-138.

УДК 004.4

*Царенко Д.Ю., Денисюк О.Р.***ІНФОРМАЦІЙНА ПІДСИСТЕМА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАТЬ СТУДЕНТІВ****ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна**

У роботі розглядаються процеси виконання тестування знань студентів, сучасні розробки, які оптимізують здійснення цих процесів, та запропоновано метод, що може покращити тестування. Питання якісної перевірки отриманих в процесі навчання знань є дуже актуальним в межах сучасної сфери освіти. Важливим є питання підготовки якісних завдань для тестування, тому що це потребує витрат великої кількості часу та зусиль викладача. Тому, як метод, що може спростити цей процес, в роботі розглядається генерація умов задач з декількох розділів теорії ймовірностей. Завдяки генерації, можна отримати дуже велику кількість варіантів умов для задач, що мають один шаблон, але різні числові значення. Процес генерації складається з випадкового вибору одного з декількох питань до умови задачі, окремої генерації числових значень і поєднання отриманих значень в єдину умову. Ймовірність отримати збіг кожного значення при генерації є дуже малою, і це зменшує ризик вирішення задачі за допомогою сторонньої допомоги. Також для зменшення ризику запропоновано створити у програмному забезпеченні таймер для обмеження часу на відповідь. У роботі спроектовано та створено програмне забезпечення, що допомагає оптимізувати процес перевірки знань та зменшити навантаження на викладача при створенні завдань для тестування. В процесі проектування були виявлені усі необхідні вимоги до створюваного програмного забезпечення. Також у роботі розглянуто існуючі інформаційні системи, що надають викладачам інструмент для створення завдань на різні тематики, їх переваги та недоліки. Наведені результати дослідження допомагають визначити актуальність використання програми з функцією генерації умови.

**Ключові слова:** тестування, генерація, теорія ймовірностей, програмне забезпечення, оптимізація, проектування, інформаційна система, автоматизація.

**DOI:** 10.32434/2521-6406-2019-6-2-91-96

***Постановка проблеми***

На сьогоднішній день контроль якості вищої освіти є дуже актуальною проблемою для всієї України. Зокрема це відноситься до спеціальностей, що пов'язані з інформаційними технологіями та інформаційними системами. Це обумовлено швидким розвитком цих галузей в сучасному світі та широким використанням їх в усіх сферах людської діяльності. Процеси перевірки отриманих студентами знань є дуже важливим аспектом підготовки компетентних спеціалістів. Актуальною проблемою для викладачів є створення таких завдань, які зможуть точно оцінити рівень підготовки та передбачити можливість використання студентами сторонніх джерел інформації. Складання достатньої

кількості унікальних завдань для перевірки знань є досить трудомістким процесом. Саме тому з розвитком інформаційних технологій та автоматизації багатьох сфер людської діяльності постало питання про створення програмного забезпечення, яке дозволило би спростити процес підготовки завдань для тестування та забезпечити унікальні умови задач.

Одним з методів, який може допомогти досягнути вищевказаної мети, є автоматична генерація умови завдань. Завдяки використанню даного методу, можна створити цільну умову задачі з включенням в формулювання всіх необхідних числових значень.

Це дозволить мінімізувати участь людини в процесі підготовки завдань для тестування, та,

завдяки генерації значень в заданих діапазонах, суттєво зменшити ймовірність отримання двох однакових умов. Тому автоматична генерація завдань є одним із найбільш доцільних способів вирішення описаного ряду проблем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

На сьогоднішній день існує програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати підготовку завдань для тестування та перевірки знань студентів. Наприклад, комплекс програмного забезпечення MyTestX має функціонал для створення завдань з різних дисциплін, з можливістю використання різних типів завдань. Його можливості включають в себе також виконання одночасного тестування групи студентів по локальній мережі [1]. Більш складний комплекс TestMaker, окрім зазначених функцій, дозволяє створювати тестові завдання, градуюючи їх за рівнями важкості [2]. Наведені комплекси програмного забезпечення, проте, потребують створення завдань викладачем, не дозволяючи автоматизувати цей процес.

**Формулювання мети дослідження**

Метою дослідження даної роботи є проектування та реалізація програмного забезпечення, яке, завдяки генерації умови задачі, допоможе автоматизувати процеси підготовки завдань для тестування студентів та дозволить підви-

щити якість перевірки знань, завдяки унікальності отриманих задач. Програма має включати в себе простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача. Крім створення завдань, розроблений програмний продукт повинен перевіряти відповіді студентів і виводити результати оцінювання.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Для демонстрації можливостей підходу до розробки програмного забезпечення для тестування студентів, заснованого на автоматичній генерації умови задачі, було використано стандартні задачі з дисципліни «Теорії ймовірностей». Курс теорії ймовірностей викладається на більшості технічних спеціальностей, тому розроблена програма має досить широку область застосування.

Перед початком розробки програмного продукту, що відповідає усім зазначеним вище вимогам, потрібно створити проект системи [3,4]. Для цього можна використовувати ErWin Process Modeler, що дозволяє представити систему, яка розробляється, у вигляді набору взаємопов'язаних функцій та декомпонувати кожен з них до необхідної глибини [5]. Згідно з зазначеними вимогами, програма повинна генерувати умову задачі разом із чисельними значеннями, приймати відповіді від студента, роз-

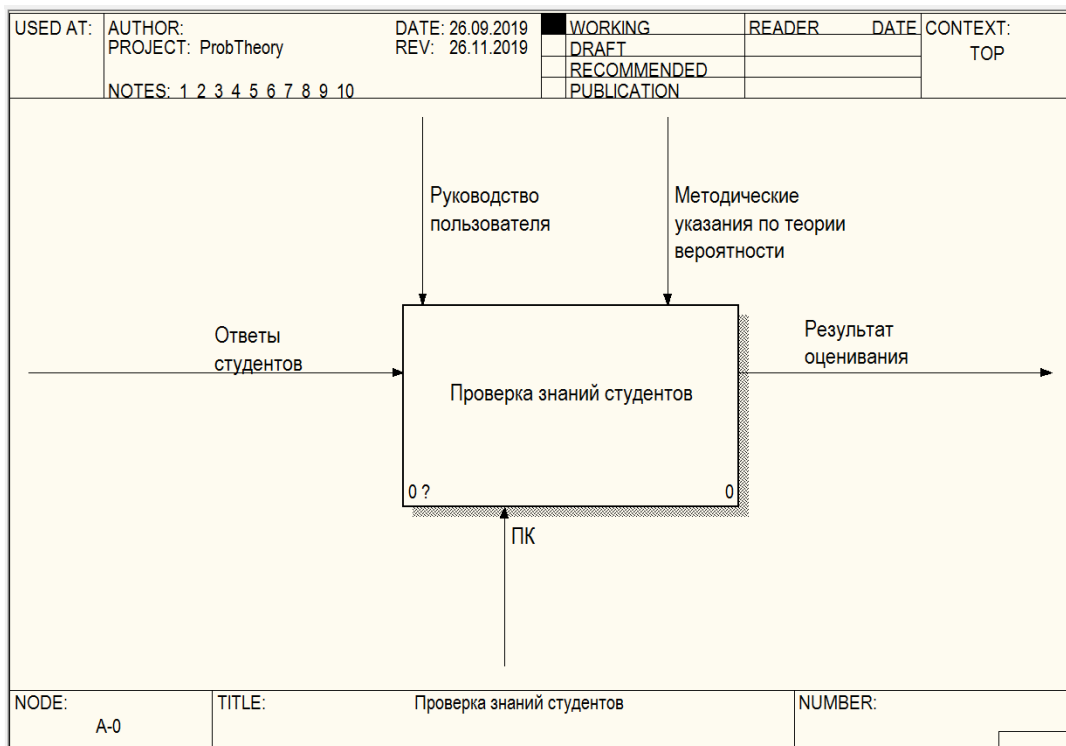


Рис. 1. Контекстна діаграма A0

в'язувати згенеровану задачу та порівнювати отриманий результат з відповіддю студента. Після закінчення тестування необхідно вивести на екран кількість правильних і неправильних відповідей. Для обмеження часу на розв'язок задачі, потрібно передбачити в програмі таймер. Якщо час на таймері вийшов раніше, ніж студент надав відповідь, необхідно перейти до наступної задачі та зарахувати попередню як розв'язану неправильно. З урахуванням всіх вищевказаних умов, було створено контекстну діаграму системи (рис. 1).

Відповідно із контекстною діаграмою на вхід програми поступають відповіді студентів. Вихідною інформацією є результат тестування. В свою чергу, засобами управління є керівництво користувача та методичні вказівки з теорії ймовірностей. Виконавчий механізм в даній контекстній діаграмі – персональний комп'ютер. Для детальнішого зображення роботи програми та коректного опису виконуваних функцій необхідно провести декомпозицію контекстної діаграми (рис. 2).

В результаті декомпозиції можна побачити, що процес перевірки знань студентів складається з чотирьох основних робіт: генерація умови, розв'язок задачі, перевірка відповіді та обробка результатів. Ці процеси пов'язані між

собою: з виходу першої роботи на вхід другої надходять згенеровані для умови значення, з другої на третю – правильна відповідь до цієї задачі, з третьої на четверту – мітка відповіді – деякий маркер, що позначає, правильну чи неправильну відповідь вказав студент при розв'язанні задачі. Після обробки усіх результатів на виході відповідної роботи отримується результат тестування. Далі потрібно виконати декомпозицію отриманих процесів для їх більш детального пояснення. На рис. 3 надано результат декомпозиції процесу генерації умови, на рис. 4 – результат декомпозиції процесу обробки результатів. Декомпозицію робіт виконано з використанням нотації IDEF3 для того, щоб показати послідовність виконання цих процесів.

Декомпозиція процесу генерації умови надана у вигляді послідовності дій. Спочатку генерується випадкове число, яке є номером одного з декількох питань, потім, у залежності від обраного числа, обирається питання, далі генеруються усі числові значення та вони поєднуються в єдину умову. Після цього числові значення використовуються при остаточному формулюванні умови завдання.

Декомпозиція процесу обробки результатів надана в вигляді послідовності дій. Після того, як студент відповідь послідовно на всі питан-

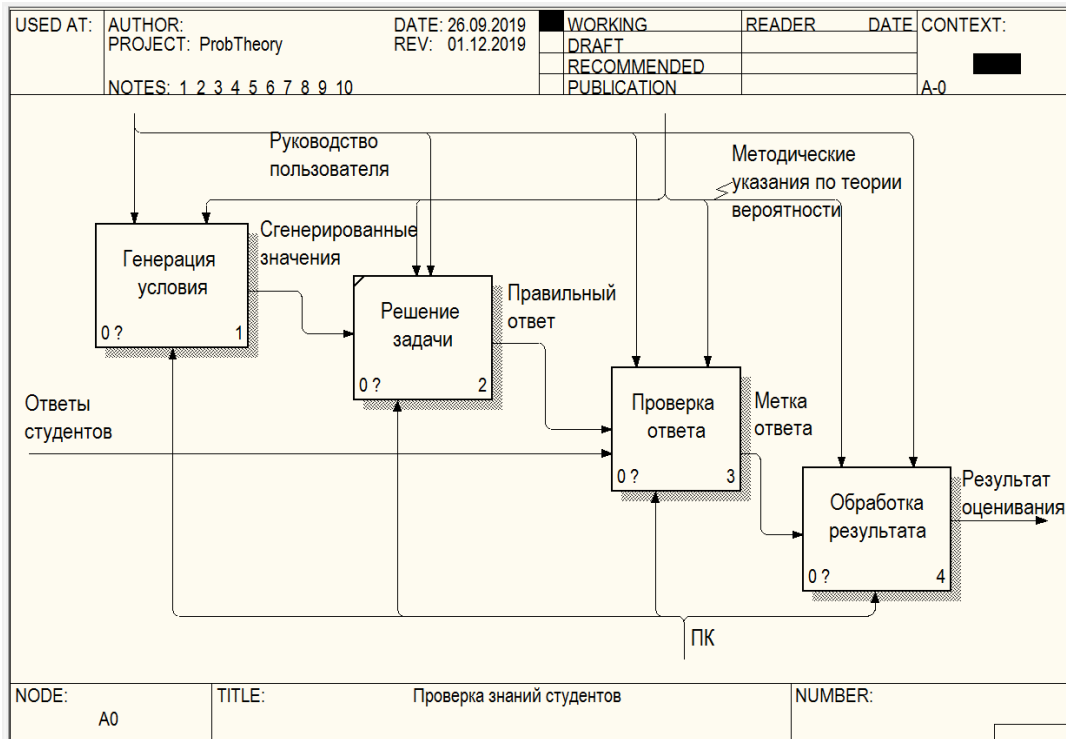


Рис. 2. Результат декомпозиції контекстної діаграми

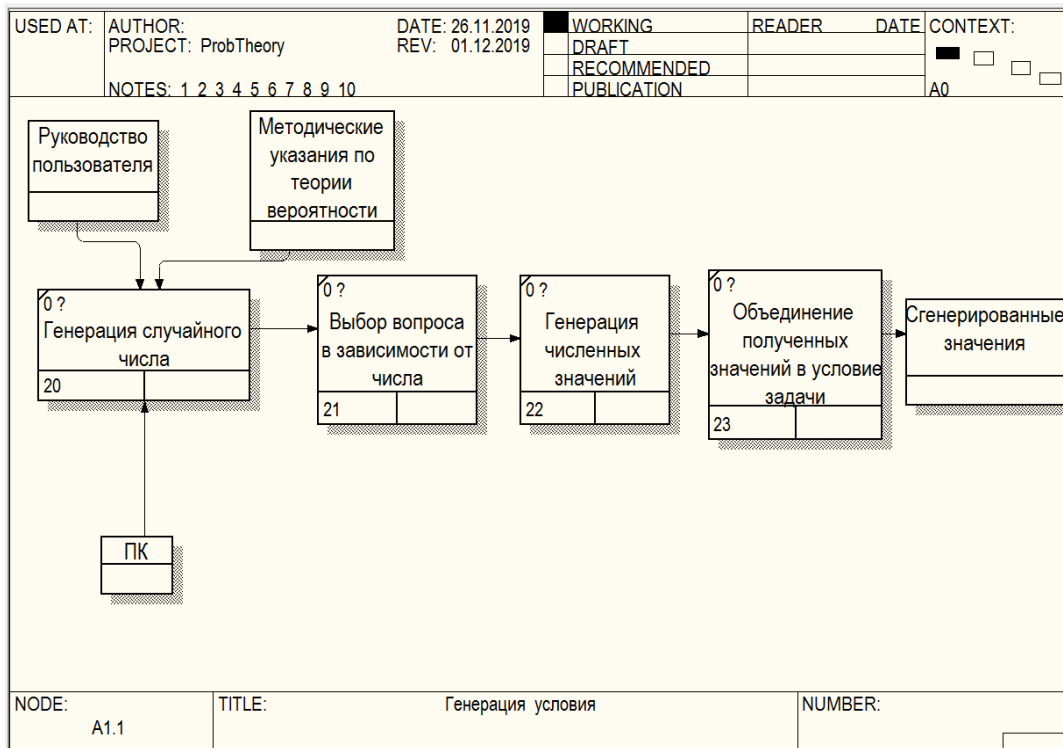


Рис. 3. Результат декомпозиции процессу генерации условия

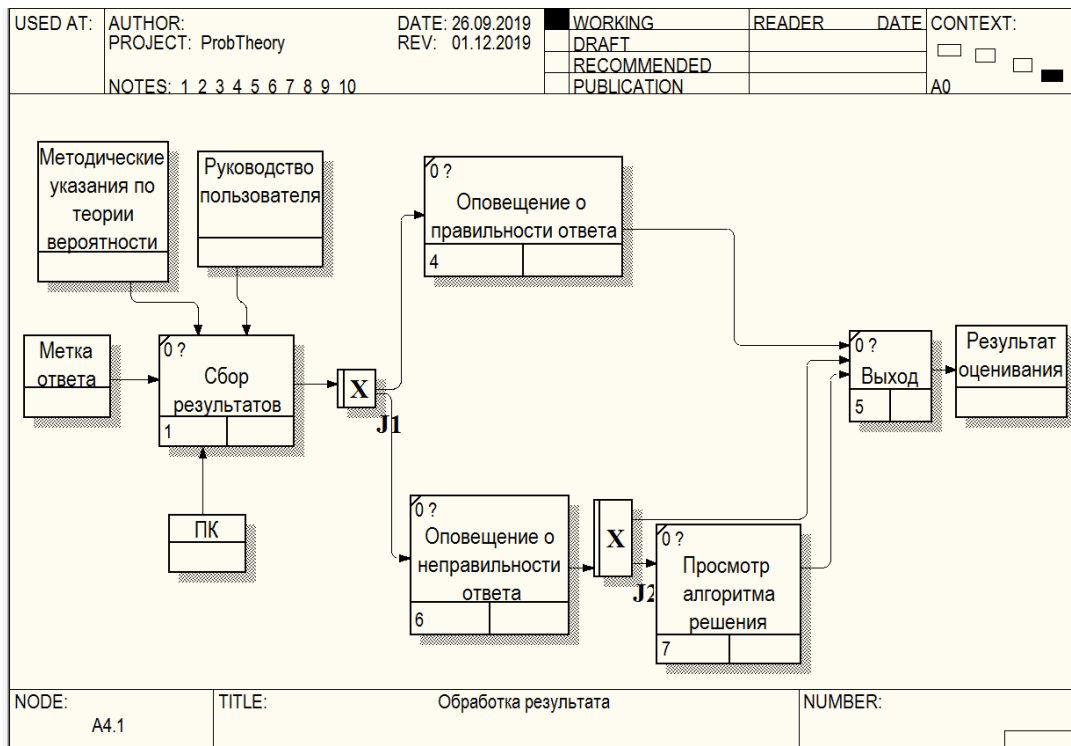


Рис. 4. Результат декомпозиции процессу обработки результатов



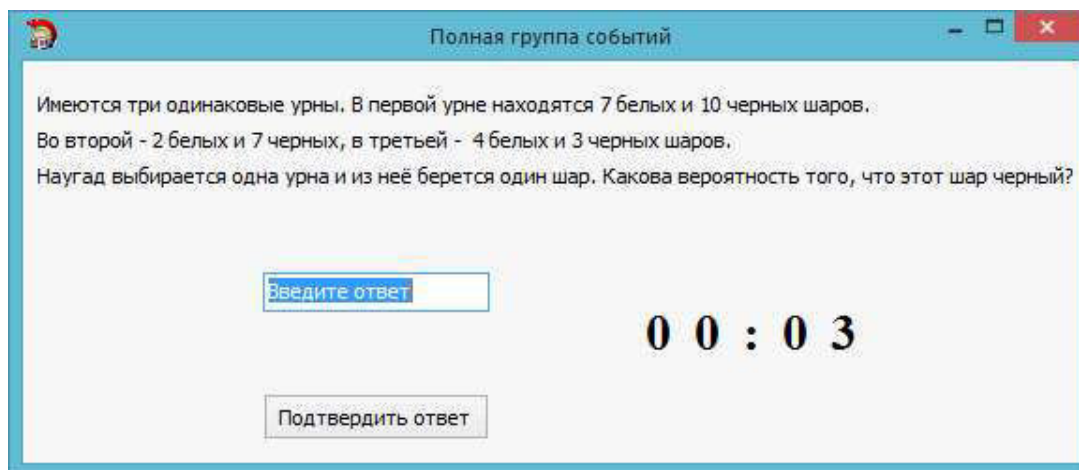


Рис. 5. Результат работы программы

ня, програма надає можливість переглянути кількість правильних та неправильних відповідей. У випадку, якщо відповідь буде неправильною, у студента буде можливість переглянути алгоритм розв'язання задач за даною темою для перевірки своїх знань.

Таким чином, інформації, що отримана під час проектування, достатньо для створення програмного продукту. Окрім зазначених вище вимог, програма повинна мати зрозумілий інтерфейс користувача. Для виконання даного завдання обрано мову програмування C++ [6]. Інтерфейс користувача розробленої програми можна побачити на рис. 5.

В даному випадку надано автоматично згенеровану задачу на тему «Повна група подій» [7]. В процесі генерації, в умові обираються чисельні значення та питання – чорний шар було обрано з урни чи білий. В даній задачі є сім значень, що генеруються. Чисельні значення обираються із діапазону від 2 до 9. В результаті, ймовірність отримати дві однакові умови дорівнює 0,0000005. Також на цій формі присутні поле для введення відповіді, кнопка, при натисканні якої відповідь буде підтверджена та передана до програми, та таймер. Якщо студент не встигає дати відповідь за відведений час, поточна форма закриється і відкриється наступна, а відповідь буде зараховано як неправильну. Завдяки отриманим результатам, можна стверджувати, що використання подібного програмного забезпечення може автоматизувати процес перевірки знань студентів.

#### **Висновки**

В даній роботі розглянуто актуальність питання якісної перевірки знань студентів вищих навчальних закладів, та проблематику підготов-

ки завдань для тестування. Запропоновано використання програмного забезпечення з можливістю генерування умови задачі та оцінювання знань студентів. Переглянуто переваги та недоліки існуючих систем. Зроблено проектування інформаційної системи, розглянуто усі аспекти розробленого програмного забезпечення. Відповідно до вимог, створено необхідне програмне забезпечення. Наведено результати виконання роботи.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *Сипайло С.В.* Текущий контроль знаний студентов с помощью системы электронного тестирования MyTestX // Труды БГТУ. – 2014. – № 8. – С.145-146.
2. *Ильина Т.В., Кузьмин А.И., Мамонова В.С.* Обзор возможностей программных комплексов TestMaker и VeralTestEditor // Образовательные технологии и общество. – 2017. – № 2. – С.346-354.
3. *Ляшенко О.А., Шулак В.О.* Застосування функціонально-модульного підходу до проектування підсистеми визначення збалансованого раціону харчування // Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація. – 2018. – № 2 (4). – С.34-44. <https://doi.org/10.32434/2521-6406-2018-4-2-34-44>
4. *Солодка Н.О., Ляшенко О.А.* Проектування та розробка клієнт-серверного додатку на основі однорангових мереж / Н.О. Солодка, О.А. Ляшенко // Математичне моделювання: Науковий журнал. – Кам'янське: ДДТУ, 2016. – № 2(35). – С. 87-93.
5. *Flowers R., Edeki Ch.* Business Process Modeling Notation // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. – 2013. – Vol.2. – P.35-40.
6. *Borland C++ Builder 6.* Руководство разработчика / Д. Холлингворт, Б. Сворт, М. Кэшман, П. Густавсон. – Пер.

с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 976 с.

7. Крупин В.Г., Павлов А.Л., Попов Л.Г. Высшая математика. Теория вероятностей, математическая статистика, случайные процессы. Сборник задач с решениями: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 368 с.

Надійшла до редакції 19.11.2019

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДСИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Царенко Д.Ю., Денисюк О.Р.

В работе рассматриваются процессы проведения тестирования знаний студентов, современные разработки, которые оптимизируют проведение этих процессов, и также предложен метод, который может улучшить тестирование. Вопрос качественной проверки, полученных в процессе обучения знаний, является очень актуальным в пределах современной сферы образования. Важным является вопрос подготовки качественных задач для тестирования, так как это требует затрат большого количества времени и усилий преподавателя. Поэтому, как метод, который может упростить этот процесс, в работе рассматривается генерация условий задач из нескольких разделов теории вероятностей. Благодаря генерации, можно получить очень большое количество вариантов условий для задачи, имеющие один шаблон, но различные числовые значения. Процесс генерации состоит из случайного выбора одного из нескольких вопросов к условию задачи, отдельной генерации числовых значений и сочетание полученных значений в единственное условие. Вероятность получить совпадение каждого значения при генерации очень мала, и это уменьшает риск решения задачи с помощью посторонней помощи. Также для уменьшения риска предложено создать в программном обеспечении таймер для ограничения времени ответа. В работе спроектировано и создано программное обеспечение, помогающее оптимизировать процесс проверки знаний и уменьшить нагрузку на преподавателя при создании задач для тестирования. В процессе проектирования были обнаружены все необходимые требования к создаваемому программному обеспечению. Также в работе рассмотрены существующие информационные системы, предоставляющие преподавателям инструмент для создания задач на различные тематики, их преимущества и недостатки. Приведенные результаты исследования помогают определить актуальность использования программы с функцией генерации условия.

**Ключевые слова:** тестирование, генерация, теория вероятностей, программное обеспечение, оптимизация, проектирование, информационная система, автоматизация.

## INFORMATION SUBSYSTEM FOR ASSESSING KNOWLEDGE OF STUDENTS

Tsarenko D.Yu., Denysiuk O.R.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

This paper examines student knowledge testing processes, current developments that optimize these processes, and suggests a method that can improve testing. The question of qualitative verification of knowledge acquired in the process of learning is very relevant within the modern sphere of education. It is important to prepare qualitative tasks for testing because it requires a lot of time and effort on the part of the teacher. Therefore, as a method that can simplify this process, the paper considers the generation of task conditions from several sections of probability theory. Due to the

generation, you can get a lot of variants of the task conditions, which have one pattern but different numerical values. The generation process consists of randomly selecting one of several questions to a task condition, separately generating numeric values, and combining the obtained values into a single condition. The likelihood of each match being generated at generation is very small, and this reduces the risk of the problem being solved with the help of a third party. Also, to reduce the risk, it is suggested to create a timer in the software to limit the response time. The software is designed and created to help streamline the knowledge assessment process and reduce the burden on the teacher when creating test tasks. During the process of designing all the necessary requirements for the created software were identified. The paper also examines existing information systems that provide teachers with the tools to create assignments on a variety of topics, their advantages and disadvantages. The results of the study help to determine the relevance of the program with the function of generating a condition.

**Keywords:** testing, generation, probability theory, software, optimization, designing, informational system, automation.

## REFERENCES

1. Sipajlo S.V. Tekushhij kontrol' znaniy studentov s pomoshh'ju sistemy jelektronnogo testirovaniya MyTestX [Current control of students' knowledge using the MyTestX electronic testing system] *Trudy BGTU*. 2014, no. 8, pp.145-146. (in Russian).
2. Il'ina T.V., Kuz'min A.I., Mamonova V.S. *Obzor vozmozhnostej programmnyh kompleksov TestMaker i VeralTestEditor* [Overview of the capabilities of TestMaker and VeralTestEditor software systems]. *Obrazovatel'nye tehnologii i obshchestvo* [The educational technologies and society], 2017, no. 2, pp.346-354. (in Russian).
3. Liashenko O.A., Shulak V.O. *Zastosuvannja funkcional'no-modul'nogo pidhodu do proektuvannja pidsistemi viznachennja zbalansovanogo racionu harchuvannja* [Application of a functional-modular approach to designing a subsystem for determining the balanced diet]. *Komp'uterne modelivannâ: analiz, upravlinnâ, optimizaciâ* [Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization], 2018, № 2 (4), pp.34-44. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32434/2521-6406-2018-4-2-34-44>
4. Solodka N.O., Liashenko O.A. *Proektuvannja ta rozrobka klient-servernogo dodatku na osnovi odnorangovih merezh* [Design and development of a client-server application based on peer-to-peer networks] *Matematichne modeljuvannja: Naukovij zhurnal* [Mathematical Modeling: A Scientific Journal], Kam'jans'ke, DDTU, 2016, № 2(35), pp.87-93. (in Ukrainian).
5. Flowers R., Edeki Ch. *Business Process Modeling Notation*. International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 2013, vol.2, pp.35-40.
6. Hollingvort D., Svort B., Kjeshmjnen M., Gustavson P. *Borland C++ Builder 6. Rukovodstvo razrabotchika* [Borland C++ Builder 6. Developer's Guide]. Per. s angl. Moscow, Williams Publishing House, 2003, 976 p. (in Russian).
7. Krupin V.G., Pavlov A.L., Popov L.G. *Vysshaja matematika. Teorija verojatnostej, matematicheskaja statistika, sluchajnye processy. Sbornik zadach s reshenijami: uchebnoe posobie*. [Higher mathematics. Probability theory, mathematical statistics, random processes. Collection of problems with solutions: a tutorial]. Moscow, Publishing House MPEI, 2013, 368 p. (in Russian).

UDC 004.94+621.391.175

*Chumakov L.D., Mysov O.P., Savchenko M.O., Kravets V.I., Titova E.V.***EVALUATION OF CONTROL PERIODICITY OF OPERATIVE CONDITION OF TECHNICAL SYSTEM WITH THE «2 OF 3» SCHEME OF CHANNELS RESERVATION ON THE BASIS OF THE GIVEN VALUE OF EFFICIENCY****Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine**

The paper discusses the issues of finding the duration of the interval between checks of the serviceable condition of technical systems with redundant channels according to the scheme «2 of 3» and «1 of 3» when monitoring the health of the channels carried out according to the criterion of a set value of availability function. The influence of the degree of approximation of the objective function on the value of the interval between checks and the efficiency of using technical systems is investigated. The main task of designing equipment is to ensure a high level of its efficiency during operation. This is achieved both by constructive methods and by the choice of operational characteristics. In most cases, during the entire assigned lifetime, it is planned to carry out its maintenance in order to identify possible failures and restore an up state. In this case, there may be a latent failure in a certain set of parameters that determine the up state of the system. To eliminate it, the equipment is checked for operative condition. Different groups of parameters can be monitored continuously, periodically or not monitored throughout the assigned lifetime of the device. The article considers the case of periodic monitoring of an up state. One of the important operational characteristics of the equipment is the size of the interval between checks. The issues of determining the duration of the interval between checks of the up state of technical systems with redundant channels according to the «2 of 3» and «1 of 3» schemes for monitoring the up state of the channels carried out according to the criterion of the set value of the availability factor are discussed. Channel operating time distribution is assumed to be exponential. An approximate solution to the problem consists in expanding the exponent for the availability factor in a row and finding the roots of the nonlinear equation. The analysis of the influence of the expansion terms number on the accuracy of solving the problem is carried out. Use of this method will reduce the number of checks compared to the optimal number.

**Keywords:** verification, technical system, reservation, frequency of control, fault assessment.**DOI:** 10.32434/2521-6406-2019-6-2-97-102***Formulation of the problem and analysis of recent research and publications***

There is a large number of hazardous industries, including nuclear, chemical and biological objects of a particular danger, therefore the issue of their effective operation during the entire life cycle becomes urgent.

Modern technological systems include a large number of functionally interconnected technological equipment, which may result in failure of the entire system as a result of the failure.

To prevent the occurrence of emergency situations in the process of work and eliminate their consequences, special emergency systems are created.

Emergency systems in the process cycle are in a state of readiness to prevent and eliminate hazardous situations.

Periodically it is required to check their serviceability, which leads to certain losses in the implementation of the technological process.

In this regard, to ensure high efficiency of use of the technological system during the entire assigned service life, it is necessary to carry out its maintenance in order to identify possible failures and restore its operational status [1–6].

***Main research material***

One of the important operational characteristics of an emergency system is the value of the interval

© Chumakov L.D., Mysov O.P., Savchenko M.O., Kravets V.I., Titova E.V., 2019

between checks.

To determine it, as a rule, the optimization problem is solved:

$$K_{af}(\bar{\theta}^*) = \max_{\bar{\theta} \in R} K_{af}(\bar{\theta}),$$

where  $K_{af}(\bar{\theta})$  is the availability factor;  $\bar{\theta}$  is a set of intervals between checks;  $\bar{\theta}^*$  is an optimal set of intervals between checks;  $R$  is the area that defines the set of valid control strategies.

Usually, the curve of dependence of availability factors on the magnitude of the interval between checks in the optimum area has a smooth form and, therefore, the number of checks can be reduced from the condition that the requirements for availability are met.

Then the selection condition for the quantity  $\theta^*$  has the form:

$$K_{af}(\theta^*) = K_{af}^g,$$

where  $\theta^*$  is the set of intervals between checks when the above condition is met;  $K_{af}^g$  is the set value of the availability factor.

In this article, technical systems are considered that are in a state of readiness to accomplish their task on an interval  $[0, T]$ , where  $T$  is the designated useful life.

At a random moment of time, evenly distributed over the interval  $[0, T]$ , a command may be received to use a technical system. In this case, there may be a hidden failure according to some set of parameters that determine the performance of a system. To eliminate it, checks are performed on a technical system. Different groups of parameters can be monitored continuously, periodically or not monitored over the entire life cycle.

Let the up state of one channel of a system with a reserve be distributed according to the exponential law  $F(t) = 1 - e^{-lt}$  where  $l$  is the intensity of its failures.

If we assume that the replacement time is insignificant, the expression for the availability factor for redundancy according to the «2 out of 3» scheme can be written as follows:

$$K_{af}(\theta) = \frac{\frac{3}{2}(1 - e^{-2\lambda\theta}) - \frac{2}{3}(1 - e^{-3\lambda\theta})}{\lambda(\theta + \tau)}, \quad (1)$$

where  $\theta$  is a value of the interval between checks;  $\tau$  is check duration.

An approximate solution of the problem can be searched for by decomposition of exponents in

the expression (1) in a row and taking different numbers of expansion terms.

Formula (1) will have a following form: for 3 expansion members:

$$K_{af}(\theta) \approx (\theta - \lambda^2\theta^3) / (\theta + \tau); \quad (2)$$

for 4 expansion members:

$$K_{af}(\theta) \approx \frac{\theta - \lambda^2\theta^3 + \frac{5}{4}\lambda^3\theta^4}{\theta + \tau}; \quad (3)$$

for 5 expansion members:

$$K_{af}(\theta) \approx \frac{\theta - \lambda^2\theta^3 + \frac{5}{4}\lambda^3\theta^4 - \frac{19}{20}\lambda^4\theta^5}{\theta + \tau}. \quad (4)$$

Let's the channel of the system consist of one computer with a failure rate of  $\lambda = 0.8649 \text{ Y}^{-1}$ . The check time of the system is  $\tau = 0.0044 \text{ Y}$  [7]. With an optimal control strategy,  $K_{af}^{opt} = 0.9176$ . If it is required to ensure  $K_{af}^g = 0.95$ , then, in this case, it is necessary to apply channel redundancy, for example, with reservation of channels on the scheme of «2 of 3».

We investigate the dependence of the system efficiency on the control strategy.

The graphs of the dependence of the system availability factor on the length of the intervals between checks, built on the basis of the formulas (1–4) are shown in fig. 1.

We write expressions for equations, from which it is possible to calculate the value of the interval between checks.

Using expression (2), we obtain the following equation:

$$\lambda^2\theta^3 - (1 - K_{af}^g)\theta + K_{af}^g\tau = 0. \quad (5)$$

If we use the expression (3), then the equation will have the following form:

$$\frac{5}{4}\lambda^3\theta^4 - \lambda^2\theta^3 + (1 - K_{af}^g)\theta - K_{af}^g\tau = 0, \quad (6)$$

Transforming the expression (4), we obtain the equation of the 5th degree:

$$\frac{19}{20}\lambda^4\theta^5 - \frac{5}{4}\lambda^3\theta^4 + \lambda^2\theta^3 - (1 - K_{af}^g)\theta + K_{af}^g\tau = 0. \quad (7)$$

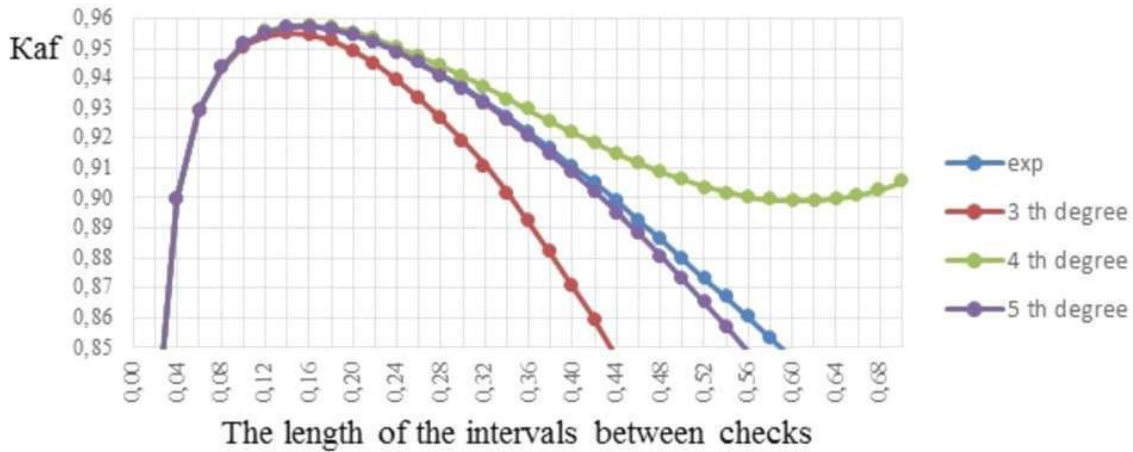


Fig. 1. Dependence of availability factor on the intervals between checks

The solution of such equations causes certain difficulties; however, algorithms have been developed that makes it possible to find their solutions [8]. The best approximate solutions are obtained by using the expression (7).

Let's us estimate the values of the desired and optimal inspection intervals for our example (table 1).

Table 1  
Values of inspection intervals and availability factors

The equation	$\theta^*Y$	$\theta^{opt}Y$	$K_{af}^{af}(\theta^*)$	$K_{af}^{af}(\theta^{opt})$	$\theta^*/\theta^{opt}$
Exponents	0.235	0.15	0.9499	0.9576	1.57
3rd degree	0.196	0.14	0.9499	0.9553	1.4
4th degree	0.244	0.16	0.95	0.9578	1.53
5th degree	0.234	0.15	0.9499	0.9575	1.56

If it is required to ensure  $K_{af}^g = 0.98$ , then, in this case, it is necessary to apply channel redundancy according to the «1 of 3» scheme.

Consider a system with redundancy «1 of 3». Expression for availability:

$$K_{af}(\theta) = \frac{18(1 - e^{-\lambda\theta}) - 9(1 - e^{-2\lambda\theta})}{6\lambda(\theta + \tau)} + \frac{2(1 - e^{-3\lambda\theta})}{6\lambda(\theta + \tau)}. \tag{8}$$

By decomposing the exponents in expression (8) in a row and taking different numbers of expansion terms, we get:

for 2-members expansion:

$$K_{af}(\theta) \approx \left( \theta - \frac{1}{4}\lambda^3\theta^4 \right) / (\theta + \tau); \tag{9}$$

for 3 expansion members:

$$K_{af}(\theta) \approx \frac{\theta - \frac{1}{4}\lambda^3\theta^4 + \frac{3}{10}\lambda^4\theta^5}{\theta + \tau}; \tag{10}$$

for 4 expansion members:

$$K_{af}(\theta) \approx \frac{\theta - \frac{1}{4}\lambda^3\theta^4 + \frac{3}{10}\lambda^4\theta^5 - \frac{5}{24}\lambda^5\theta^6}{\theta + \tau}; \tag{11}$$

for 5 expansion members:

$$K_{af}(\theta) \approx \frac{1}{\theta + \tau} \left( \theta - \frac{1}{4}\lambda^3\theta^4 + \frac{3}{10}\lambda^4\theta^5 - \frac{5}{24}\lambda^5\theta^6 + \frac{3}{28}\lambda^6\theta^7 \right). \tag{12}$$

The graphs of the dependence of the system availability factor on the value of the interval between inspections, built on the basis of the formulas (9–12) are shown in Fig. 2.

Using expression (9), we obtain the following equation:

$$\lambda^3\theta^4 - 4(1 - K_{af}^g)\theta + K_{af}^g\tau = 0. \tag{13}$$

If we use the expression (10), then the equation will have the following form:

$$12\lambda^4\theta^5 - 10\lambda^3\theta^4 + 40(1 - K_{af}^g)\theta - 40K_{af}^g\tau = 0. \tag{14}$$

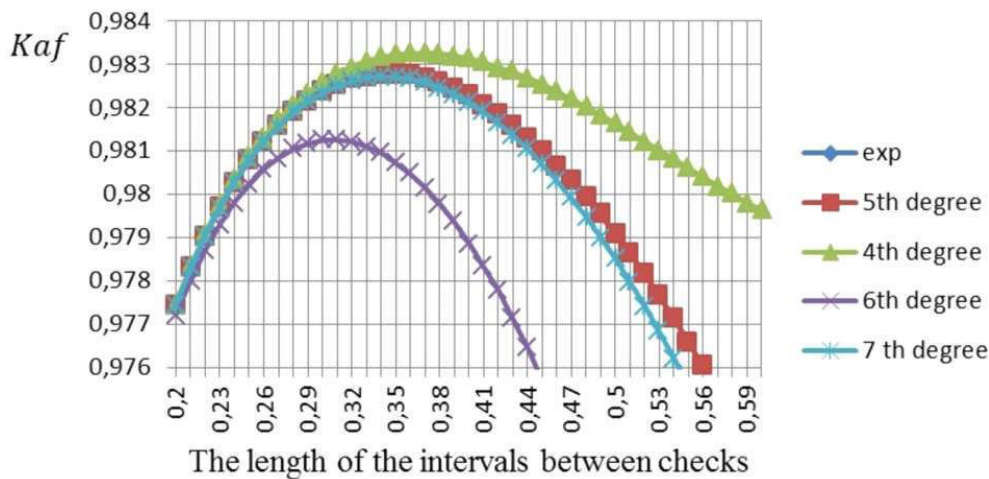


Fig. 2. Dependence of availability factor on the value of the interval between checks for the «1 of 3» scheme

And, transforming the expression (11), we obtain the equation of the 6th degree:

$$111\lambda^5\theta^6 - 216\lambda^4\theta^5 + 180\lambda^3\theta^4 - 720(1 - K_{af}^g)\theta + 720K_{af}^g\tau = 0. \tag{15}$$

From the expression (12), follows:

$$4247\lambda^6\theta^7 - 777\lambda^5\theta^6 + 1512\lambda^4\theta^5 - 1260\lambda^3\theta^4 + 5040(1 - K_{af}^g)\theta - 5040K_{af}^g\tau = 0. \tag{16}$$

Values of inspection intervals and availability factors are shown in table 2.

Table 2

**Values of inspection intervals and availability factors**

The equation	$\theta^*Y$	$\theta^{opt}Y$	$K^{af}(\theta^*)$	$K^{af}(\theta^{opt})$	$\theta^*/\theta^{opt}$
Exponents	0.235	0.15	0.9499	0.9576	1.57
3rd degree	0.196	0.14	0.9499	0.9553	1.4
4th degree	0.244	0.16	0.95	0.9578	1.53
5th degree	0.234	0.15	0.9499	0.9575	1.56

**Conclusions**

Thus, refusal to assign the optimal values of the intervals between checks and the use of intervals that provide a given level of readiness can reduce the number of checks and the operation cost.

Studies have been carried out to determine the interval between inspections of the technical system

with redundancy according to the «2 of 3» and «1 of 3» scheme from the condition of meeting the requirements for its effectiveness.

It is shown that this approach can reduce the number of checks compared to the optimal strategy and provide an economic effect.

**REFERENCES**

1. *Волик Б.Г.* Работоспособность управляющих систем. Датчики и системы. – 2010. – № 5. – С.75-78.
2. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.* Математические методы в теории надежности: Основные характеристики надежности и их статистический анализ. Изд.2. – М.: URSS, 2013. – 584 с.
3. *Черкесов Г.Н.* Надежность аппаратно-программных комплексов: учеб, пособие. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
4. *Шубинский И.Б.* Функциональная надежность информационных систем: методы анализа. – Ульяновск : Надежность, 2012. – 297 с.
5. *Сердаков А.С.* Автоматический контроль и техническая диагностика. – Киев: Техника, 1971. – 244 с.
6. *Пархоменко П.П., Согомонян Е.С.* Основы технической диагностики / Под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1981. – 320 с.
7. *Chumakov L.D.* Selection of strategy of control of good state of technical system with duplication of channels and verification of their good state on the basis of given value of efficiency, System technologies. – Vol.4(123). – Dnipro. – 2019. – P.106-111. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-123-2019-11>
8. *Calculation of the roots of a polynomial* [Electronic resource]: Electronic data., Access Mode: [www.wolframalpha.com](http://www.wolframalpha.com), free, The title from the screen.

Received 15.11.2019

### ОЦІНКА ПЕРІОДИЧНОСТІ КОНТРОЛЮ СПРАВНОГО СТАНУ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА СХЕМОЮ РЕЗЕРВУВАННЯ КАНАЛІВ «2 з 3» НА ОСНОВІ ЗАДАНОГО ЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ

Чумаков Л.Д., Мисов О.П., Савченко М.О., Кравець В.І., Тітова О.В.

В статті обговорюються питання знаходження тривалості інтервалу між перевірками справного стану технічних систем з резервуванням каналів за схемою «2 з 3-х» і «1 з 3-х» при здійсненні контролю справності каналів за критерієм заданої величини коефіцієнта готовності. Досліджено вплив ступеня наближення цільової функції на величину інтервалу між перевірками і ефективність використання технічних систем. Основним завданням проектування обладнання є забезпечення високого рівня його ефективності в процесі експлуатації. Це досягається як конструктивними методами, так і вибором експлуатаційних характеристик. У більшості випадків протягом усього призначеного терміну експлуатації планується виконувати його обслуговування з метою виявлення можливих збоїв і відновлення стану. У цьому випадку може статися прихований збій у певному наборі параметрів, що визначають стан роботи системи. Для його усунення обладнання перевіряється на справний стан. Різні групи параметрів можуть відслідковуватися постійно, періодично або не контролюватися протягом відведеного терміну експлуатації пристрою. У статті розглядається випадок періодичного моніторингу стану. Однією з важливих експлуатаційних характеристик обладнання є розмір інтервалу між перевірками. Питання визначення тривалості інтервалу між перевірками стану технічних систем із надлишковими каналами за схемами «2 з 3» та «1 з 3» для моніторингу стану каналів, що здійснюються за критерієм заданого значення коефіцієнта доступності обговорюються. Розподіл часу роботи каналу вважається експоненціальним. Наближене рішення задачі полягає у розширенні показника для коефіцієнта доступності підряд і пошуку коренів нелінійного рівняння. Виконано аналіз впливу на точність вирішення задачі про кількість термінів розширення. Використання цього методу зменшить кількість перевірок порівняно з оптимальною кількістю.

**Ключові слова:** перевірка, технічна система, резервування, періодичність контролю, оцінювання несправності.

### ОЦЕНКА ПЕРИОДИЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ИСПРАВНОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО СХЕМЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ КАНАЛОВ «2 ИЗ 3» НА ОСНОВЕ ЗАДАННОГО ЗНАЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Чумаков Л.Д., Мисов О.П., Савченко М.О., Кравець В.І., Тітова О.В.

В статье обсуждаются вопросы нахождения длительности интервала между проверками исправного состояния технических систем с резервированием каналов по схеме «2 из 3-х» и «1 из 3-х» при осуществлении контроля исправности каналов по критерию заданной величины коэффициента готовности. Исследовано влияние степени приближения целевой функции на величину интервала между проверками и эффективность использования технических систем. Основной задачей проектирования оборудования является обеспечение высокого уровня его эффективности при эксплуатации. Это достигается как конструктивными методами, так и выбором эксплуатационных характеристик. В большинстве случаев в течение всего назначенного срока службы планируется проводить техническое обслуживание, чтобы выявить возможные

сбои и восстановить работоспособное состояние. В этом случае возможен скрытый сбой в определенном наборе параметров, которые определяют состояние системы. Чтобы устранить это, оборудование проверяется на исправность. Различные группы параметров могут отслеживаться непрерывно, периодически или не контролироваться в течение всего назначенного срока службы устройства. В статье рассмотрен случай периодического мониторинга работоспособного состояния. Одной из важных эксплуатационных характеристик оборудования является величина интервала между проверками. Вопросы определения продолжительности интервала между проверками работоспособного состояния технических систем с резервными каналами по схемам «2 из 3» и «1 из 3» для мониторинга работоспособного состояния каналов, выполняемых по критерию установленного значения коэффициента доступности. Распределение времени работы канала предполагается экспоненциальным. Приближенное решение задачи состоит в увеличении показателя степени для коэффициента доступности в ряд и нахождении корней нелинейного уравнения. Проведен анализ влияния на точность решения задачи числа членов разложения. Использование этого метода уменьшит количество проверок по сравнению с оптимальным количеством.

**Ключевые слова:** поверка, техническая система, резервирование, периодичность контроля, оценка несправности.

### EVALUATION OF CONTROL PERIODICITY OF OPERATIVE CONDITION OF TECHNICAL SYSTEM WITH THE «2 OF 3» SCHEME OF CHANNELS RESERVATION ON THE BASIS OF THE GIVEN VALUE OF EFFICIENCY

Chumakov L.D., Mysov O.P., Savchenko M.O., Kravets V.I., Titova E.V.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The paper discusses the issues of finding the duration of the interval between checks of the serviceable condition of technical systems with redundant channels according to the scheme «2 of 3» and «1 of 3» when monitoring the health of the channels carried out according to the criterion of a set value of availability function. The influence of the degree of approximation of the objective function on the value of the interval between checks and the efficiency of using technical systems is investigated. The main task of designing equipment is to ensure a high level of its efficiency during operation. This is achieved both by constructive methods and by the choice of operational characteristics. In most cases, during the entire assigned lifetime, it is planned to carry out its maintenance in order to identify possible failures and restore an up state. In this case, there may be a latent failure in a certain set of parameters that determine the up state of the system. To eliminate it, the equipment is checked for operative condition. Different groups of parameters can be monitored continuously, periodically or not monitored throughout the assigned lifetime of the device. The article considers the case of periodic monitoring of an up state. One of the important operational characteristics of the equipment is the size of the interval between checks. The issues of determining the duration of the interval between checks of the up state of technical systems with redundant channels according to the «2 of 3» and «1 of 3» schemes for monitoring the up state of the channels carried out according to the criterion of the set value of the availability factor are discussed. Channel operating time distribution is assumed to be exponential. An approximate solution to the problem consists in expanding the exponent for the availability factor in a row and finding the roots of the nonlinear equation. The analysis of the influence of the expansion terms number on the accuracy of solving the problem is carried out. Use of this method

will reduce the number of checks compared to the optimal number.

**Keywords:** verification, technical system, reservation, frequency of control, fault assessment.

#### REFERENCES

1. Volik B.G. *Rabotosposobnost' upravlyayushchikh sistem. Datchiki i sistemy* [The performance of control systems. Sensors and Systems], no. 5, 2010, pp.75-78 (in Russian).
2. Gnedenko B.V., Belyayev Yu.K., Solov'yev A.D. *Matematicheskiye metody v teorii nadezhnosti: Osnovnyye kharakteristiki nadezhnosti i ikh statisticheskiy analiz* [Mathematical methods in the theory of reliability: The main characteristics of reliability and their statistical analysis]. vol. 2, Moskow, URSS, 2013, 584 p. (in Russian).
3. Cherkesov G.N. *Nadezhnost' apparatno-programmykh kompleksov* [Reliability of hardware and software systems]. Textbook, manual., St. Petersburg: Peter, 2005, 479 p. (in Russian).
4. Shubinskiy I.B. *Funktsional'naya nadezhnost' informatsionnykh sistem: metody analiza* [Functional reliability of information systems: analysis methods]. Reliability, Ulyanovsk, 2012, 297 p. (in Russian).
5. Serdakov A.S. *Avtomateskiy kontrol' i tekhnicheskaya diagnostika* [Automatic control and technical diagnostics]. Technique, Kiev, 1971, 244 p. (in Russian).
6. Parkhomenko P.P., Soghomonyan E.S. *Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki* [Fundamentals of technical diagnostics], Ed. P.P. Parkhomenko. Moskow, Energy, 1981, 320 p. (in Russian).
7. Chumakov L.D. *Selection of strategy of control of good state of technical system with duplication of channels and verification of their good state on the basis of given value of efficiency*, System technologies, 4(123), Dnipro, 2019, pp.106-111. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-123-2019-11>.
8. Calculation of the roots of a polynomial [Electronic resource]: Electronic data, Access Mode: [www.wolframalpha.com](http://www.wolframalpha.com), free, The title from the screen.



УДК 004.4'2

*Юскович-Жуковська В.І., Богут О.М.*

## УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ АДМІНІСТРАТИВНОГО WEB-САЙТУ З ВИКОРИСТАННЯМ CMF DRUPAL

Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука,  
м. Рівне, Україна

В представленій роботі наведені результати дослідження стану розвитку web-сайтів органів виконавчої влади, виконано комплексний аналіз їх структури в цілому та окремих їх елементів, досліджено наведені етапи життєвого циклу та запропоновано модель ефективного керування адміністративним web-сайтом за допомогою CMF Drupal. Оприлюднення в мережі Internet інформації про діяльність органів виконавчої влади полягає не лише в інформуванні, а й в обслуговуванні, тобто наданні електронних адміністративних послуг громадськості. Це потребує створення спеціальних адміністративних сайтів з розміщенням каталога електронних адміністративних послуг на web-сторінках в режимі on-line. Дослідження показали, що адміністративний web-сайт має подвійну природу: з однієї сторони, це – інформаційний ресурс, а з другої сторони, це – об'єкт права інтелектуальної власності. На основі нормативно-законодавчих актів з електронного урядування було сформовано п'ять основних етапів життєвого циклу адміністративного web-сайту, кожен з яких, в свою чергу, ділиться на сукупність окремих технічних і програмних задач. Інформаційне наповнення, захист інформації від несанкціонованої модифікації та технічне забезпечення функціонування web-сайтів органів виконавчої влади зазначені органи здійснюють самостійно. При цьому користувачі адміністративних послуг повинні бути впевнені, що їх електронна інформація захищена від несанкціонованого доступу. Професійне створення такого адміністративного сайту пов'язане з розробкою нового web-продукту. Оскільки конкуренція серед web-розробок носить міжнародний характер, це висуває високі вимоги до змісту та оформлення гіпертекстових документів, об'єднаних за різною тематикою. Створений адміністративний web-сайт для органів виконавчої влади з використанням CMF Drupal реалізує виконання застосовань (application), які можуть програмно викликатися та розміщатися за допомогою WWW на кожному з етапів життєвого циклу сайту.

**Ключові слова:** електронні адміністративні послуги, інформаційні ресурси, інформаційно-комунікаційні технології, web-розробка, авторське право на комп'ютерну програму, фреймворк керування контентом.

DOI: 10.32434/2521-6406-2019-6-2-103-109

### *Постановка проблеми*

Однією з форм оперативного отримання інформації являється web-сайт. При цьому існують різноманітні алгоритми автоматизованого збору, передавання, накопичення, зберігання, обробки, пошуку, поширення і видачі інформації. Web-сайт являє собою складний багатоконпонентний інформаційний ресурс, який з технічної точки зору – це сукупність програмних засобів, розміщених за унікальною адресою

в мережі Internet і, одночасно, з правової точки зору – це сукупність об'єктів авторського права та суміжних прав на web-сторінках.

Функціонування web-сайтів органів виконавчої влади призначене, насамперед, для інформування та обслуговування громадян та юридичних осіб через мережу Internet. Це організовується як системні багаторівневі об'єднання різних сервісів для забезпечення максимальної можливості доступу до публічної інформації та надан-

ня електронних адміністративних послуг.

Web-середовище дозволяє створювати web-сторінки із застосуванням елементів мультимедіа, гіпертексту та мобільного коду, формувати інформаційні ресурси та систему адміністративних послуг органів виконавчої влади в режимі on-line, робити спілкування громадськості з владними структурами максимально простим і доступним.

На сьогодні у світі не розроблено уніфікованих вимог до моделі web-сайта органів виконавчої влади, відсутні єдині загальнодержавні стандарти до програмного забезпечення розвитку електронних адміністративних послуг. Особливостями надання електронних адміністративних послуг в розвинутих країнах є: інформаційна відкритість і прозорість охоплення, орієнтація на потреби громадськості, інтеграція послуг.

Для того, щоб web-сайт органів виконавчої влади був ефективним, необхідно сформувати та дослідити його життєвий цикл і визначити моделі керування web-сайтом на кожному з етапів цього циклу.

Незважаючи на широке застосування web-сайтів в органах виконавчої влади, створення web-сторінок про їх діяльність з елементами інтерактивності та постійним оновленням довідкової та публічної інформації, нерозв'язаною залишається проблема функціонування звернень громадськості до виконавчої влади в режимі on-line для отримання електронних адміністративних послуг за допомогою цифрових підписів.

Це потребує комплексного аналізу структури адміністративного web-сайту, удосконалення окремих його елементів та керування життєвим циклом сайту з використанням CMS або CMF.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У сучасному інформаційному суспільстві значно зросла потреба в прискореному обігу інформації, що в свою чергу потребує якісних інформаційних ресурсів, зокрема, web-сайтів органів виконавчої влади. Проте ефективно подання різних типів державних організацій, закладів, установ у глобальному середовищі WWW не розглядається у наукових колах України як окрема проблема.

Брак наукових публікацій з web-розробок та досліджень повного життєвого циклу web-сайтів пояснюється тим, що ІТ-дослідники та практики-програмісти у цій галузі не є консолідованими [1]. У юридичних науках також приділяється занадто мало уваги дослідженням правового режиму web-сайтів як інформаційних

ресурсів, що містять об'єкти права інтелектуальної власності [2,3].

Виділені такі основні етапи web-розробки, як: проектування сайту, створення макетів сторінок, наповнення контенту, обслуговування працюючого сайту або його програмної основи, подальше просування сайту в мережі Internet та підняття його рейтингу [4] не відображають повний життєвий цикл адміністративного web-сайту.

Життєвий цикл web-сайту – це період часу від ідеї його створення, подальшого використання і вилучення з WWW. Трапляється, що програмне забезпечення стає неактуальним вже до того, як мають окупитися витрати на його розробку. З плином часу проект розробки може стати неактуальним. Неуспішним може стати і сам web-продукт, як результат роботи web-розробника.

За останні роки набули популярності й широкого використання системи керування контентом web-сайтів (CMS) та фреймворки управління контентом (CMF) [5]. Можливість вибору сучасних web-технологій для розробки web-сайтів органів виконавчої влади надає необхідні зручності у використанні. CMS та CMF дозволяють оперативно змінювати контент сайту, забезпечують процес створення, редагування та керування контентом [6]. Під час забезпечення захисту контенту web-сайту необхідно враховувати всі характеристики складових частин web-сторінок [7]. При цьому недостатньо уваги приділяється при розробці процесу захисту web-сайтів від внутрішніх та зовнішніх небезпек [8].

Серед закордонних джерел архітектура життєвого циклу web-сайту в контексті керування контентом також не має сталого стандартизованого визначення. Існує низка підходів, запропонованих різними авторами. Зарубіжні тенденції виділяють наступні етапи життєвого циклу (SDLC): ініціація, планування, виконання, завершення [9]. Даний концепт передбачає застосування лінійно-водоспадної методології менеджменту проекту, як такої що найбільш відповідає архітектурі етапів життєвого циклу.

#### **Формулювання цілей статті (постановка завдання)**

Способи надання публічної інформації та адміністративних послуг на власних web-сайтах органів виконавчої влади визначене порядком оприлюднення у мережі Інтернет інформації про діяльність органів виконавчої влади, Порядком інформаційного наповнення та технічного забезпечення Єдиного web-порталу органів вико-

навчої влади, Законами України: «Про електронні довірчі послуги», «Про електронний цифровий підпис», «Про авторське право та суміжні права».

Зазначені нормативні документи та закони регулюють супроводження офіційного web-сайту та його інформаційне наповнення в процесі надання адміністративних послуг в електронному форматі.

Правові аспекти доступу та обробки персональних даних регулюються Європейським регламентом GDPR [10], який, втім, на території України має суто рекомендаційний характер.

Метою статті є дослідити життєвий цикл web-сайту органу виконавчої влади, призначеного по-перше, для надання публічної інформації, по-друге, для надання адміністративних послуг в режимі on-line.

#### **Виклад основного матеріалу**

Етапи розвитку web-сайтів органів виконавчої влади визначаються як:

1. Розміщення інформації (базова присутність органів виконавчої влади в Internet).

2. Зворотний зв'язок (інтерактивна взаємодія з громадськістю, систематичне оновлення сторінок web-сайту).

3. Транзакції (взаємодія органів влади з громадянами в режимі реального часу).

4. Інтерактивні інтегровані послуги (здійснення користувачами платежів за отримані адміністративні послуги через портали органів виконавчої влади).

Інформаційні процеси, що відбуваються на

web-сайтах – це процеси збору, передавання, накопичення, зберігання, обробки, пошуку, видачі і доведення інформації до користувача. Чим складніший об'єкт, тим більш мобільним, гнучким і доброзичливим має бути інтерфейс з кінцевим споживачем послуг. Структура сайту являє собою множину різноманітних елементів: тексту, графіки, аудіо, відео та зв'язків між ними.

При цьому web-сайту органу виконавчої влади властиві якості цілісності, поділу та відносності. Цілісність вказує на узгодженість мети функціонування всього сайту з метою функціонування його складових та окремих елементів. Поділ означає, що web-сайт можна представити таким, що складається з відносно самостійних частин, кожна з яких може функціонувати окремо. Відносність залежить від мети дослідження. Наприклад, деякі елементи і взаємозв'язки між ними слабко узгоджуються з метою функціонування всього сайту, через те на такі самі елементи можуть накладатися обмеження. В разі здійснення змін для отримання нової онтології в каталозі адміністративних послуг можна здійснити інтеграцію за рівнями на: відповідність (alignment), часткову сумісність (partial compatibility), удосконалення й уніфікацію (inification).

Оскільки адміністративний web-сайт має подвійну природу, то доцільно виділити п'ять основних етапів життєвого циклу web-сайту:

1. Створення (розробка) web-сайту.
2. Правова охорона web-сторінок сайту.
3. Функціонування та просування web-сайту.

#### **Етапи життєвого циклу адміністративного web-сайту**

№	Життєвий цикл	Технічні та програмні задачі	Дотримання міжнародних стандартів
I	Створення (розробка) web-сайту	Мови програмування, розмітки та стилізації: HTML, CSS, PHP, Java Script, Python, SQL та ін.	ISO, IES, ITU-T W3C
II	Правова охорона web-сайту	Складний об'єкт права інтелектуальної власності, що складається з окремих web-сторінок із специфічними ознаками	Патенти та свідоцтва на програмне забезпечення текстовий, графічний, аудіо-, відео-контент, ЄСПЛ
III	Функціонування та просування web-сайту	Фреймворки для реалізації фронтенд і бекенд компонентів web-сайту	Стандарти кодування в контексті відповідного фреймворку
IV	Захист web-сайту	Методи організації захисту контенту та даних користувачів від несанкціонованого доступу або знищення	Стандарти безпечного кодування в контексті відповідного фреймворку, використання захищених протоколів передачі даних
V	Закриття web-сайту	Виключення web-сайту з ланок бізнес-процесів. Забезпечення коректного видалення сайту із індексів пошукових систем	Регламенти видалення з пошукових індексів основних пошукових систем: Google, Bing

4. Захист web-сайту.
5. Закриття web-сайту.

Кожен з цих етапів життєвого циклу, в свою чергу, ділиться на сукупність окремих технічних і програмних задач. Загальну послідовність етапів життєвого циклу адміністративного web-сайту та їх задач зображено у таблиці.

Для побудови практичної реалізації використано фреймворк керування контентом CMF Drupal. Концепція фреймворку Drupal дозволила вибудувати на адміністративному web-сайті декілька незалежних ієрархій, зв'язуючи одні й ті ж самі документи з різноманітними кореневими таксонами.

Перший етап життєвого циклу – етап створення (розробки) web-сайту вимагає вирішення наступних технічних задач:

- визначення основної мети розробки сайту;
- дослідження ресурсів, необхідних для розробки web-сайту;
- вироблення стратегії інформаційного ресурсу, який при систематичному оновленні та модифікації не втрачав би своєї актуальності;
- планування капіталовкладень в процесі створення, функціонування та просування web-сайту в мережі Internet;
- укладення договору для розробки гіпертекстових документів, що визначають взаємовідносини між замовником і розробниками;
- вибір структури гіпертекстових сторінок;
- вибір web-адреси для розміщення майбутнього сайту в мережі Internet;
- вибір логотипа та інформації для демонстрації головної сторінки;
- подання текстового, графічного та мультимедійного контенту.

Для якісного електронного обслуговування фізичних та юридичних осіб необхідне якісне інформаційне наповнення, простота користування контентом і комплексна стратегія побудови мережі взаємодії. Математична частина робочого проекту містить вибрані моделі, методи, алгоритми пошуку та програми для роботи з web-сайтом. Технічна частина робочого проекту передбачає опис технологічного процесу обробки вхідної та вихідної інформації web-сайту.

Для того, щоб web-сайт органу виконавчої влади був ефективним та доступним в мережі Internet, необхідно перш за все при створенні відразу дотримуватись процесів стандартизації IT. Концепція стандартизації в сучасній світовій практиці заключається у виділенні трьох головних напрямів, що забезпечують:

- мобільність даних, здатність систем взаємодіяти;
- мобільність прикладних програм, уніфікація системних інтерфейсів;
- мобільність користувачів, послідовність досвіду.

Процес стандартизації в галузі IT підтримують три основні міжнародні організації:

- ISO-International Organization for Standardization;
- IES- International Electrotechnical Commission;
- ITU-T- International Telecommunication Union.

Окремо варто виділити міжнародний консорціум W3C який визначає стандарти та стратегію розвитку web.

Етап створення (розробки) закінчується впровадженням і прийомом в експлуатацію адміністративного web-сайту.

Другий етап життєвого циклу – етап правової охорони web-сайту. Цей процес надає можливість набутти права володіння, користування та розпорядження на складені частини та весь web-сайт в цілому, як об'єкти права інтелектуальної власності. Сутність правової охорони web-сайту, його web-сторінок, або окремих частин полягає в тому, що замовник або розробники (за домовленістю сторін) отримує державний реєстраційний охоронний документ, а саме: патент або свідоцтво на об'єкт права інтелектуальної власності. Мета правової охорони полягає у запобіганні неправомірному використанню прав на web-сайт без дозволу власника.

Виділимо можливі форми правової охорони окремих об'єктів, що складають web-сайт органу виконавчої влади:

- на доменне ім'я та логотип установи правова охорона виникає в результаті їх державної реєстрації як товарного знака;
- на комп'ютерну програму авторське право виникає в результаті її державної реєстрації як літературного твору;
- на дизайн web-сайту та його окремих елементів правова охорона виникає в залежності від оригінальності та унікальності сайту, від видів елементів, охорона виникає в результаті державної реєстрації як промислового зразка або товарного знака;
- на текстовий контент правова охорона виникає автоматично, не потребує державної реєстрації, в зв'язку з постійним оновленням контенту необхідна лише постійна фіксація пріоритету.

Керування web-сайтом на етапі його правової охорони є базовою складовою діяльності будь-якої установи.

Третій етап життєвого циклу – етап функціонування та просування web-сайту. Керування web-сайтом на цьому етапі – це процес, спрямований на отримання кінцевого результату, тобто користі внаслідок його розробки. Ефективне, ідеальне функціонування web-сайту органу виконавчої влади означає узгодження інтересів замовників, розробників та користувачів. Деякі з найкращих сайтів є найпростішими з дизайнерської точки зору та найбільш фундаментальними з точки зору контенту.

Для уникнення конфлікту інтересів між замовником та розробниками, необхідно чітко обумовлювати всі процедури, які б гарантували права, обов'язки та відповідальність сторін не лише на етапі розробки web-сайту, а й на етапі функціонування та супроводу web-сайту.

Клієнтські та серверні частини коду дозволяють формувати web-сторінки не лише статичного, а й динамічного змісту, а також відокремлювати функціональну частину, зміст від подання, тобто web-дизайну.

Для створення (розробки), функціонування та просування web-сайтів органів виконавчої влади, які б виконували функції надання публічної інформації та надання адміністративних послуг в режимі on-line доцільним є використання засобів автоматизації управління контентом, зокрема систем керування контентом та фреймворків керування контентом. Вибір CMF Drupal ґрунтується на провідних цілях надання електронних адміністративних послуг.

Наразі, на ринку програмного забезпечення існує велика кількість прикладних рішень, однак, враховуючи закордонний досвід, одним з найбільш ефективних є використання фреймворку управління контентом CMF Drupal. CMF Drupal має низку переваг: функціональність, гнучкість, масштабованість, висока швидкість роботи, захищеність та регулярний вихід оновлень безпеки. CMF Drupal є однією з найбільш популярних платформ для керування контентом web-сайтів та засобом побудови мобільних додатків (decoupled development).

Так, зокрема, даний фреймворк успішно використовується на великій кількості урядових ресурсів, як, наприклад, портал обробки петицій при Білому Домі США [11], портал Міністерства економіки республіки Естонія [12] та багато інших.

Web-сайт органу виконавчої влади є досить

складним з функціонування, має високі вимоги та потреби до кастомізації та організації контенту, тому згідно з концепцією життєвого циклу адміністративного сайту CMF Drupal є одним з кращих рішень, з огляду на гнучкість та масштабованість архітектури системи. Крім того, програмне забезпечення CMF Drupal поширюється в рамках програми ліцензування GPLv2, отже не потребує додаткових витрат на ліцензування.

Четвертий етап життєвого циклу – захист web-сайту. Вміст та програмно-апаратний комплекс захищаються в рамках існуючої нормативно-правової бази. Однак, даний захист дозволяє здійснювати регуляцію в рамках правового поля вже за фактом вчинення тих чи інших несанкціонованих дій.

Для фактичного захисту web-сайту використовується низка методів та технологій, які дозволяють певною мірою унеможливити несанкціоноване втручання в роботу web-сайту, а також захистити контент від несанкціонованого доступу та зміни або знищення.

Зокрема, використовуються методи захищених протоколів доступу (https) з використанням підтверджених сертифікатів відповідності (SSL); розподілений доступ користувачів до контенту, в тому числі з використанням багатофакторної автентифікації; технології електронного цифрового підпису; розподілений та захищений доступ до ресурсів адміністрування (використання VPN, механізмів проксування, хмарних сховищ, засобів реплікації даних та активного резервного копіювання, тощо).

Основною особливістю даного етапу життєвого циклу є те, що заходи з організації захисту web-сайту повинні мати комплексний та багаторівневий характер.

П'ятий етап життєвого циклу – закриття web-сайту. Закриття web-сайту вказує на те, що web-сайт більше не є актуальним, є морально застарілим, не виконує потрібним чином покладені на нього функції, тощо. Процес виводу з експлуатації (закриття) також є комплексним і може бути як частиною заходів з редизайну, так і реалізовувати повне закриття web-ресурсу. В рамках здійснення закриття web-сайту здійснюються операції з резервного копіювання та зберігання всіх необхідних даних, в разі потреби – організація рециркуляції найбільш необхідних посилань на нові web-ресурси. Також здійснюється комплекс заходів з видалення web-сайту з індексів пошукових систем. Зняття доменного імені з реєстрації та вивільнення апаратних ресурсів.

### Висновки

Існує багато рішень з управління життєвим циклом web-сайту органу виконавчої влади. Такі рішення пропонують безліч безкоштовних платформ і фреймворків керування контентом, протоколів обміну повідомленнями, мов опису програмних інтерфейсів адміністративних послуг, класифікаторів web-послуг, описів взаємодії між надавачем та отримувачем електронних послуг, ведення протоколів обміну повідомленнями. Проаналізовано методи, засоби інформаційно-комунікаційних технологій та сучасного web-програмування. Вирішення задач органу виконавчої влади з надання адміністративних послуг громадськості в режимі on-line свідчить про недостатній рівень наукового та методологічного дослідження цієї проблеми.

Запропоновано виділити п'ять етапів життєвого циклу web-сайту органу виконавчої влади, що дозволяє говорити про можливість підвищення ефективності функціонування кожного з етапів життєвого циклу адміністративного web-сайту.

Застосування CMF Drupal дозволило підвищити якість керування адміністративним сайтом. Проаналізовано переваги використання CMF Drupal в якості засобу для побудови адміністративного web-сайту. Для практичної реалізації створено адміністративний web-сайт з використанням запропонованих методів та засобів CMF Drupal.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Березко О.Л., Пелешин А.М., Жежнич П.І. Концепція створення веб-сайта національного університету «Львівська політехніка» // Львів: Видавництво Львівської політехніки. – 2012. – № 731. – Вип.2012-1. – С.57-65.
2. Бурило Ю.П. Веб-сайт як інформаційний ресурс та об'єкт права інтелектуальної власності // Науковий вісник Ужгородського національного університету. – 2015. – Вип.34(2). – С.67-70.
3. Некіт К.Г. Веб-сайт як комплексний об'єкт цивільних прав // Часопис цивілістики. – 2017. – Вип.26. – С.69-73.
4. Мороз В.М. Технології створення та супроводження веб-сайтів // Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій. – Тернопіль 16-17 листопада 2017. – С.123-124.
5. Галкіна М.В. Сучасні технології створення веб-сайтів // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 2011. – № 1. – С.33.
6. Балашов О.Ф., Скорін Ю.І., Лосєв М.Ю. Система управління контентом та безпека web-сайту фан-клубу «Інжек-металіст» // Системи обробки інформації. Information processing systems. 36. наук. пр.- Харків. – 2012. – Вип.4(1) (102). – С.9-12.
7. Ткаченко В.П., Огірко І.В., Огірко О.І. Математична модель оцінювання захисту web-сайтів // Сб. Поліграфічне, мультимедійне і вебтехнології. Т1. – Харків: ХНУРЕ, 2016. – С.98-101.
8. Бондаренко О., Укаленко І. Безпека web-додатків: актуальні проблеми та їх аналіз // Формування ринкової економіки в Україні. – Львів, 2017. – Вип.38. – С.28-36.
9. Mr Joshua Boyde A Down-To-Earth Guide To SDLC Project Management (2nd Edition): Getting your system / software development life cycle project successfully across the line using PMBOK adaptively. Amazon Digital Services LLC. – June 19 2014. 2nd edition. – P.38.
10. Communication from the commission to the european parliament and the council. Режим доступу: [https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection\\_en](https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection_en)
11. Petition the White House on the Issues that Matter to You. Режим доступу: <https://petitions.whitehouse.gov/>
12. Republic of Estonia. Ministry of Economic Affairs and Communications. Режим доступу: <https://www.mkm.ee/en>

Надійшла до редакції 25.10.2019

### УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ АДМИНИСТРАТИВНОГО WEB-САЙТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CMF DRUPAL

*Юскович-Жуковская В.И., Богут А.Н.*

*В представленной работе приведены результаты исследования состояния развития web-сайтов органов исполнительной власти, проведен комплексный анализ их структуры в целом и отдельных их элементов, исследованы и приведены этапы жизненного цикла, предложена модель эффективного управления административным web-сайтом с помощью CMF Drupal. Обнародование в сети Internet информации о деятельности органов исполнительной власти заключается не только в информировании, но и в обслуживании, то есть предоставлении электронных административных услуг общественности. Это требует создания специальных административных сайтов с размещением каталога электронных административных услуг на web-страницах в режиме on-line. Исследования показали, что административный web-сайт имеет двойственную природу: с одной стороны, это - информационный ресурс, а с другой стороны, это - объект права интеллектуальной собственности. На основе нормативно-законодательных актов по электронному управлению было сформировано пять основных этапов жизненного цикла административного web-сайта, каждый из которых, в свою очередь, делится на совокупность отдельных технических и программных задач. Информационное наполнение, защита информации от несанкционированной модификации и техническое обеспечение функционирования web-сайтов органов исполнительной власти указанные органы осуществляют самостоятельно. При этом пользователи административных услуг должны быть уверены, что их электронная информация защищена от несанкционированного доступа. Профессиональное создание такого административного сайта связано с разработкой нового web-продукта. Поскольку конкуренция среди web-разработок носит международный характер,*

это предъявляет высокие требования к содержанию и оформлению гипертекстовых документов, объединенных по различной тематике. Созданный административный веб-сайт для органов исполнительной власти с использованием CMF Drupal реализует выполнение приложений (application), которые могут программно вызываться и размещаться с помощью WWW на каждом из этапов жизненного цикла сайта.

**Ключевые слова:** электронные административные услуги, информационные ресурсы, информационно-коммуникационные технологии, веб-разработка, авторское право на компьютерную программу, фреймворк управления контентом.

## LIFE CYCLE MANAGEMENT OF THE ADMINISTRATIVE WEB SITE USING CMF DRUPAL

*Yuskovych-Zhukovska V.I., Bogut O.M.*

International University of Economics and Humanities named after academician Stepan Demianchuk, Rivne, Ukraine

*This article presents results of research on the state of development of web-sites of the executive bodies. The complex analysis of their structure as a whole and their separate elements was provided, the life cycle stages are presented, and the model of effective management of the administrative web-site using CMF Drupal was proposed. The publication of information about the activities of executive authorities at the Internet includes not only informing, but also providing electronic administrative services to the public. It requires the creation of special administrative sites with placement of catalogues of electronic administrative services on web pages (online). The results of research have shown, that an administrative website has dual structure. On the one hand - it is an information resource, and on the other, it's an object of intellectual property rights. Five basic stages of administrative web site's life cycle have been formed on the basis of e-government regulations. Each of these stages, in turn, is divided into a set of specific technical and program tasks. Content management, protection of information from unauthorized modification, and technical support of the web-sites are carried out by executive bodies independently. But in this case, users of administrative services must be sure that their electronic information is protected from unauthorized access. The professional creation of such an administrative site is associated with the development of a new web product. As the competition in web-development is international, it puts high demands on the content and design of hypertext documents, combined on different topics. The administrative web site for executive authorities using CMF Drupal implements applications that can be programmatically invoked and hosted by WWW at each stage of the site's life cycle.*

**Keywords:** electronic administrative services, information resources, information and communication technology, web-development, copyright for a computer program, content management framework.

## REFERENCES

1. Berezko O.L., Peleshchyn A.M., Zhezhnych P.I. Kontseptsiia stvorennia veb-saita natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» [The concept of the creation of the web-site of the national university "Lviv Polytechnic"]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki [Vidavnytstvo, Lviv Polytechnic], 2012, IVNZ, no. 731, vol.2012-1, pp.57-65. (in Ukrainian).
2. Burylo Yu.P. Veb-sait yak informatsiinyi resurs ta ob'ekt prava intelektualnoi vlasnosti [Website as an information resource and an object of intellectual property rights]. Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu [Science News of Uzhgorod National University], 2015, vol.34 (2), pp.67-70. (in Ukrainian).
3. Nekt K.H. Veb-sait yak kompleksnyi ob'ekt tsyvilnykh prav [Website as a complex object of civil rights]. Chasopys tsyvilistyky [Chasis of civil law], 2017, vol.26, pp.69-73. (in Ukrainian).
4. Moroz V.M. Tekhnologii stvorennia ta suprovodzhennia veb-saitiv [Technology and superconducting website]. Materialy VI mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv. Aktualni zadachi suchasnykh tekhnologii [Materials of the VI International Science-and-Technology Conference of Young Students and Students. Actual tasks of current technologies]. Ternopil, 2017, pp.123-124. (in Ukrainian).
5. Halkina M.V. Suchasni tekhnologii stvorennia veb-saitiv [Successful website development]. Kompiuter u shkoli ta simi [Computer at school and that], 2011, no. 1, pp.33. (in Ukrainian).
6. Balashov O.F., Skorin Yu.I., Losiev M.Iu. Systema upravlinnia kontentom ta bezpeka veb-saitu fan-klubu «Inzhek-metalist» [Content management system and bezpeka to the web-site of the fan club "Inzhek-metalist" ]. Systemy obrobky informatsii. Information processing systems. Zb. nauk. pr. [Information processing systems. Information processing systems. Zb. sciences. Pr] Kharkiv, 2012, vol.4(1) (102), pp.9-12. (in Ukrainian).
7. Tkachenko V.P., Ohirko I.V., Ohirko O.I. Matematychna model otsiniuvannia zakhystu veb-saitiv [The mathematical model is to evaluate the seizure of web-sites]. Sb. Polyhrafycheskye, multymedyiinye y veb-tekhnologyy [Sat.-Printing, multimedia and web technologies]. TI. Kharkov: KhNURE, 2016, pp.98-101. (in Ukrainian).
8. Bondarenko O., Ukalenko I. Bezpeka veb-dodatkov: aktualni problemy ta yikh analiz [Bezpeka web-datas: actual problems and analysis]. Formuvannia rynkovoi ekonomiky v Ukraini [Form of market economy in Ukraine]. Lviv, 2017, vol..38, pp.28-36. (in Ukrainian).
9. Mr Joshua Boyde A Down-To-Earth Guide To SDLC Project Management (2nd Edition): Getting your system / software development life cycle project successfully across the line using PMBOK adaptively. Amazon Digital Services LLC, 2014. 2nd edition., pp.38.
10. Communication from the commission to the european parliament and the council. Access mode: [https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection\\_en](https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection_en).
11. Petition the White House on the Issues that Matter to You. Access mode: <https://petitions.whitehouse.gov>.
12. Republic of Estonia. Ministry of Economic Affairs and Communications. Access mode: <https://www.mkm.ee/en>.

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**АЛЕКСАНДРОВ Олександр Григорович** – к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-0442-0008

**БЛОШАПКА Олена Олексіївна** – м.н.с. відділу технологічного обладнання та систем управління Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (м. Дніпро, Україна)

**БЄЛЬКОВА Алла Іванівна** – к.т.н., с.н.с. відділу фізико-хімічних проблем металургійних процесів Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (м. Дніпро, Україна)

**БОГУТ Олег Михайлович** – старший викладач кафедри інформаційних систем та обчислювальних методів Міжнародного економіко-гуманітарного університету імені академіка Степана Дем'янчука (м. Рівне, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-0426-6303

**БОРЗОВ Сергій Олексійович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри вищої математики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

**ВИШИНСЬКИЙ Валерій Трохимович** – к.т.н., головний конструктор науково-виробничої фірми «Восток-Плюс» (м. Дніпро, Україна)

**ВИШНЯКОВ Валерій Іванович** – науковий співробітник відділу технологічного обладнання та систем управління Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (м. Дніпро, Україна)

**ДЕНИСЮК Ольга Ростиславівна** – к.т.н., доцент кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-9818-5298

**ІВАНЧА Микола Григорович** – с.н.с. відділу технологічного обладнання та систем управління Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (м. Дніпро, Україна)

**ЗЕЛЕНЦОВ Дмитро Гегемонівч** – д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-5785-9858

**КАБАНОВА Марина Романівна** – к.ф.н., доцент, доцент кафедри прикладної лінгвістики і методики навчання іноземних мов Університету ім. Альфреда Нобеля (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-2364-8382

**КРАВЕЦЬ Василь Іванович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри матеріалознавства ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

**КУЗЯЄВ Іван Михайлович** – д.т.н., професор, професор кафедри інноваційної інженерії ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-7073-1197

**ЛИХОЛАТ Вадим Сергійович** – магістрант кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)



---

**ЛОБОДЕНКО Антоніна Вікторівна** – к.т.н., доцент кафедри інноваційної інженерії ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0003-4255-7272

**ЛОСІХІН Дмитро Анатолійович** – ст.викл. кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-6325-7263

**ЛЯШЕНКО Оксана Анатоліївна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-9983-5504

**МАНКО Геннадій Іванович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-2242-5064

**МАТЧЕНКО Максим Миколайович** – майстер АТ «ДНІПРОАЗОТ» (м. Кам'янське, Україна)

**МИСОВ Олег Петрович** – к.т.н., доцент, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

**МИТРОХІН Олександр Анатолійович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри інноваційної інженерії ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-8197-1014

**МУРАВЬОВА Ірина Геннадіївна** – д.т.н., зав. відділом технологічного обладнання та систем управління Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0001-5926-7787

**НИКОЛЬСЬКИЙ Валерій Євгенович** – д.т.н., доцент, професор кафедри енергетики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0001-6069-169x

**ОКСАНИЧ Ірина Григорівна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (м. Кременчук, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-4570-711X

**ПЕТРЕНКО Микола Григорович** – д.т.н., провідний науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (м. Київ, Україна);  
ORCID ID: 0000-0001-6440-0706

**ПОВОРОТНІЙ Віктор Володимирович** – аспірант кафедри машин і агрегатів металургійного виробництва Національної металургійної академії України (м. Дніпро, Україна)

**РАХМАНОВ Сулейман Рахманович** – к.т.н., директор науково-виробничої фірми «Восток-Плюс» (м. Дніпро, Україна)

**РЕШЕТНЯК Ірина Леонідівна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри енергетики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

**САВЧЕНКО Марія Олегівна** – к.т.н., доцент кафедри кафедра технології неорганічних речовин і екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

**ПТОВА Олена Василівна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

**ТАРНОПОЛЬСКИЙ Олег Борисович** – д.пед.н., професор, завідувач кафедри прикладної лінгвістики та методики навчання іноземних мов Університету ім. Альфреда Нобеля (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0001-8507-0216

**ХАЦКЕЛЯН Ігор Павлович** – провідний спеціаліст ТОВ «ІНТЕРПАЙП НІКО ТЬЮБ» (м. Нікополь, Україна)

**ЧУМАКОВ Лев Дмитрович** – д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

**ШЕВЧЕНКО Ігор Васильович** – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (м. Кременчук, Україна);  
ORCID ID: 0000-0003-3009-8611

**ЮСКОВИЧ-ЖУКОВСЬКА Валентина Іванівна** – к.т.н., доцент, декан факультету кібернетики Міжнародного економіко-гуманітарного університету імені академіка Степана Дем'янчука (м. Рівне, Україна);  
ORCID ID: 0000-0002-4236-1467

**ЯРІЗ Вадим Олексійович** – к.т.н., доцент кафедри інноваційної інженерії ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», директор ТОВ «СОЮЗТЕХНОПРОМ Продакшн Ко» (м. Дніпро, Україна);  
ORCID ID: 0000-0001-8162-5122

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК		ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ		NAME INDEX	
АЛЕКСАНДРОВ О.Г.	43	АЛЕКСАНДРОВ А.Г.	43	ALIEKSANDROV O.	43
БІЛОШАПКА О.О.	35	БЕЛОШАПКА Е.А.	35	BELKOVA A.I.	35
БЕЛЬКОВА А.І.	35	БЕЛЬКОВА А.И.	35	BELOSHAPKA E.A.	35
БОГУТ О.М.	103	БОГУТ А.Н.	103	BOGUT O.M.	103
БОРЗОВ С.О.	3	БОРЗОВ С.А.	3	BORZOV S.O.	3
ВИШИНСЬКИЙ В.Т.	83	ВЫШИНСКИЙ В.Т.	83	CHUMAKOV L.D.	97
ВИШНЯКОВ В.І.	35	ВИШНЯКОВ В.И.	35	DENYSIUK O.R.	91
ДЕНИСЮК О.Р.	91	ДЕНИСЮК О.Р.	91	IVANCHA N.G.	35
ЗЕЛЕНЦОВ Д.Г.	58	ЗЕЛЕНЦОВ Д.Г.	58	KABANOVA M.R.	74
ІВАНЧА М.Г.	35	ИВАНЧА Н.Г.	35	KHATSKELYAN I.P.	83
КАБАНОВА М.Р.	74	КАБАНОВА М.Р.	74	KRAVETS V.I.	97
КРАВЕЦЬ В.І.	97	КРАВЕЦ В.И.	97	KUZYAYEV I.M.	10
КУЗЯЄВ І.М.	10	КУЗЯЕВ И.М.	10	LIASHENKO O.A.	35
ЛИХОЛАТ В.С.	17	ЛИХОЛАТ В.С.	17	LIKHOLAT V.S.	17
ЛОБОДЕНКО А.В.	43	ЛОБОДЕНКО А.В.	43	LOBODENKO A.V.	43
ЛОСІХІН Д.А.	23	ЛОСИХИН Д.А.	23	LOSIKHIN D.A.	23
ЛЯШЕНКО О.А.	35	ЛЯШЕНКО О.А.	35	MANKO G.I.	17
МАНКО Г.І.	17	МАНКО Г.И.	17	MATCHENKO M.M.	43
МАТЧЕНКО М.М.	43	МАТЧЕНКО М.Н.	43	MITROKHIN O.A.	10
МИСОВ О.П.	97	МЫСОВ О.П.	97	MURAVYEVA I.G.	35
МИТРОХІН О.А.	10	МИТРОХИН А.А.	10	MYSOV O.P.	97
МУРАВЬОВА І.Г.	35	МУРАВЬЕВА И.Г.	35	NIKOLSKY V.E.	43
НІКОЛЬСЬКИЙ В.Є.	43	НИКОЛЬСКИЙ В.Е.	43	OKSANUCH I.G.	51
ОКСАНИЧ І.Г.	51	ОКСАНИЧ И.Г.	51	PETRENKO M.G.	58
ПЕТРЕНКО М.Г.	58	ПЕТРЕНКО Н.Г.	58	POVOROTNY V.V.	83
ПОВОРОТНІЙ В.В.	83	ПОВОРОТНИЙ В.В.	83	RAKHMANOV S.R.	83
РАХМАНОВ С.Р.	83	РАХМАНОВ С.Р.	83	RESHETNYAK I.L.	43
РЕШЕТНЯК І.Л.	43	РЕШЕТНЯК И.Л.	43	SAVCHENKO M.O.	97
САВЧЕНКО М.О.	97	САВЧЕНКО М.О.	97	SHEVCHENKO I.V.	51
ТАРНОПОЛЬСЬКИЙ О.Б.	74	ТАРНОПОЛЬСКИЙ О.Б.	74	TARNOPOLSKY O.B.	74
ТІТОВА О.В.	97	ТИТОВА Е.В.	97	TITOVA E.V.	97
ХАЦКЕЛЯН І.П.	83	ХАЦКЕЛЯН И.П.	83	TSARENKO D.Yu.	91
ЦАРЕНКО Д.Ю.	91	ЦАРЕНКО Д.Ю.	91	VISHINSKIY V.T.	83
ШЕВЧЕНКО І.В.	51	ШЕВЧЕНКО И.В.	51	VISHNYAKOV V.I.	35
ЧУМАКОВ Л.Д.	97	ЧУМАКОВ Л.Д.	97	YUSKOVYCH-	
ЮСКОВИЧ-		ЮСКОВИЧ-		ZHUKOVSKA V.I.	103
ЖУКОВСЬКА В.І.	103	ЖУКОВСКАЯ В.И.	103	YARIZ V.A.	43
ЯРІЗ В.О.	43	ЯРИЗ В.А.	43	ZELENTSOV D.G.	58

Науковий журнал «Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація» («Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization») приймає до розгляду наукові статті, а також оглядові роботи, які стосуються теоретичних та прикладних питань з комп'ютерних наук, комп'ютерної інженерії, прикладної математики, прикладної механіки, автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

**Науковий журнал зареєстровано та індексується:**

*у вітчизняних та міжнародних базах даних:*

Index Copernicus (Польща), Ulrich's Periodicals Directory (США), OCLC WorldCat (США), Crossref (США), Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського (Україна), Бібліометрика української науки (Україна), ResearchBib (Японія), CiteFactor (USA);

*у наукових електронних бібліотеках:*

«Elektronische Zeitschriftenbibliothek, EZB (Electronic Journals Library)» (Німеччина), University Library of Regensburg (Німеччина), «Bibliotheksverbund Bayern (BVB)» (Німеччина), «Universitätsbibliothek der TUM» (Німеччина), «Koninklijke Bibliotheek» (Нідерланди);

*проіндексований пошуковими системами:*

RefSeek, Bing, Microsoft Academic, Google Scholar.

Зареєстровано профіль журналу у бібліографічних посиланнях служби Google Scholar.

Всім статтям з 2018 року присвоюється індекс DOI (Crossref).



ДВНЗ  
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
м. ДНІПРО