

Міністерство освіти і науки України

Системні технології

System technologies

6 (137) 2021

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць

Засновано у січні 1997 року.

У випуску:

- ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОРГАНІЗАЦІЯ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА
- МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ
- СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 6 (137). - Дніпро, 2021. – 215с.

ISSN 1562-9945 (Print).

ISSN 2707-7977 (Online).

Редакційна колегія випуску:

Алпатов А.П. - д.т.н., проф. (відп. редактор)

Архипов О.Є. - д.т.н., проф.

Білозьоров В.Є. - д.ф.-м.н., проф.

Бабічев С.А. (Чеська Республіка) - д.т.н., доц.

Єрьомін О.О. - д.т.н., проф.

Прогресивні інформаційні
технології та організація
сучасного виробництва

Гече Ф.Е. - д.т.н., проф., (відп. редактор)

Гуда А.І. - д.т.н., проф.

Гнатушенко Вік.В. - д.т.н., проф.

Скалозуб В.В. - д.т.н., проф.

Математичне
та програмне забезпечення
інтелектуальних систем

Гнатушенко В.В. - д.т.н., проф., (відп. редактор)

Гожий О.П. - д.т.н., проф.

Кіріченко Л.О. - д.т.н., проф.

Светличний Д.С. (Польща) - д.т.н., проф.

Хандецький В.С. - д.т.н., проф.

Системні технології
обробки інформації
та кібербезпека

Збірник друкується за рішенням Вченої Ради
Національної металургійної академії України
від 22.01.2021 р., № 1

Адреса редакції: 49600, Дніпро, пр. Гагаріна, 4
Національна металургійна академія України,
кафедра Інформаційних технологій та систем.

Тел. +38(056)7135256

Е-mail: st@nmetau.edu.ua

<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

© Національна металургійна академія України,
ІВК «Системні технології», 2021

K.L. Dukhnevich, O.V. Kravets, O.V. Spirintseva

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS INFLUENCE OF A CYLINDRICAL INDUCTOR WITH TWO-LAYER INWALL ON ITS TEMPERATURE

Abstract. The thermal state of a cylindrical inductor with a two-layer inwall was investigated: the inwall temperature of the inductor for 12 pairs of heat-insulating materials of the inwall layers was calculated, and the influence of changes in the thicknesses of inner and outer inwall layers for fireclay-asbestos pair on the inwall temperature.

Key words: thermal calculation, induction heater, inwall, temperature, heat transfer, cylindrical workpiece.

Introduction. Heating of details in inductors at the expense of radiation energy is widely applied in many technological lines of the industry mainly due to the high heating rate and non-contact method of energy transfer. However, for efficient use of induction heaters it is necessary to increase the accuracy and reliability of their design, which is achieved by analysis characteristics of the thermal calculation of the system "heater-part", which must take into account the simultaneous action of several factors that significantly affect the process heating: change of thermo-physical properties of the material of the workpiece depending on the temperature, the drop in its temperature due to energy consumption from surfaces, etc. [6].

Analysis of recent research and publications. Detailed review of research and calculations of thermal and magnetic processes in inductors up to 2011, as well as their impact on the optimization of the design and operation of inductors can be found in [5].

Optimization of the design and geometric dimensions of the inductor associated with heat loss and magnetic field, are devoted to [9, 13].

Thus, the authors in [13] describe the method of design and optimization for a small inductor; calculations are performed to minimize conductivity losses in winding by optimizing the volume of copper and the cross-sectional size of the conductor. The method combines analytical development with modeling using the finite elements method, providing a significant reduction in computing costs. Parametric analysis is performed to determine the optimally efficient induction system.

In [9], the optimization of the thermal heating of the inductor is investigated, which allows to reduce its size. The authors emphasize that complex forms are required inductor cores, and offer a specific methodology for determining the best form factor to optimize the exchange surface on the inductor.

The authors of [11] perform a numerical calculation of the temperature field in an aluminum inductor, which is confirmed by the results of physical experiments.

The purpose of the article [7] is to study the influence of geometric parameters, namely the number of layers and cross-section of the copper busbar and coils of the valve on the power and the speed of the inductor, which affects the temperature change of its components.

In [14] a simple and accurate method of designing inductors with a gap is proposed. The method is simple both in algorithm and in calculation, because it requires only a small number of iteration cycles. The authors demonstrate that the proposed method of calculation can easily include different models, which affect the design of the inductor, including thermal characteristics: temperature, flux density, heat loss.

The authors of [10] consider three-dimensional formulations of a mathematical model of the process of eddy current induction in ferromagnetic materials in order to calculate temperature fields of induction heating devices. Two calculation algorithms have been proposed that can significantly reduce computer consumption time with reasonable accuracy. Using the calculation of temperature fields in molds and vulcanized products as an example, the authors confirm the validity of the proposed approach.

When heated by electromagnetic induction, the shape of the coil and the air gap between the inductor and the workpiece can affect the distribution of the heat source. At work [8] used the finite element method to calculate the distribution of heat sources by different initial parameters of the coil. As a result, changes were investigated heat source distribution.

In [12], the effect of eddy currents of superconducting magnets on the resulting ohmic heating was investigated, which is an undesirable effect because it changes the operating magnet temperature. Numerical simulation of these eddy currents is important to compensate for the control of their adverse effects.

Thus, a review of recent studies shows that the thermal calculation of the inductor as a whole and the determination of the thermal state of its individual layers – very an urgent problem that can be used in the problems of optimizing its design and functioning processes.

The purpose of the study: to establish the effect of changes in the thickness of the outer and inner layers of the two-layer inwall, as well as thermal insulation materials on the temperature inwall of a cylindrical inductor for heating a metal workpiece.

Presentation of the main material of the study. The mathematical model of a cylindrical induction heating system includes three equations in partial derivatives for cylindrical workpiece (1), inwall (2) and magnetic system of inductor (3), respectively [5]:

$$\frac{\partial T_1(r, \theta, x, \tau)}{\partial \tau} = a(T_1) \left[\frac{\partial^2 T_1(r, \theta, x, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1(r, \theta, x, \tau)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1(r, \theta, x, \tau)}{\partial x^2} \right] + a(T_1) \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_1(r, \theta, x, \tau)}{\partial \theta^2} + \frac{1}{c(T_1)\gamma(T_1)} W(r, \theta, x, \tau), \quad r \in (0, R_1), x \in (0, L), \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2(r, x, \tau)}{\partial \tau} = a_2(T_2) \left[\frac{\partial^2 T_2(r, x, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2(r, x, \tau)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2(r, x, \tau)}{\partial x^2} \right], \quad r \in [R_2, R_3], \quad (2)$$

$$\frac{\partial T_3(r, x, \theta, \tau)}{\partial \tau} = a_3(T_3) \left[\frac{\partial^2 T_3(r, x, \theta, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_3(r, x, \theta, \tau)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3(r, x, \theta, \tau)}{\partial x^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_3(r, x, \theta, \tau)}{\partial \theta^2} \right] + \frac{1}{c_2(T)\gamma_2} Q_1(\theta, \tau), \quad r \in [R_3, R_4], \quad (3)$$

where R_1, R_2, R_3, R_4 – radii of the workpiece surface, the inner surface of the inwall, the interface of the inwall and the inductor, as well as the outer surface the magnetic wire of the inductor, respectively;

$W(r, \theta, x, \tau)$ – the internal heat source of the workpiece;

$Q_1(\theta, \tau)$ – the function of the heat source of the inductor;

c, c_2, γ, γ_2 – heat capacity and specific the electrical conductivity of the workpiece and the inductor, respectively.

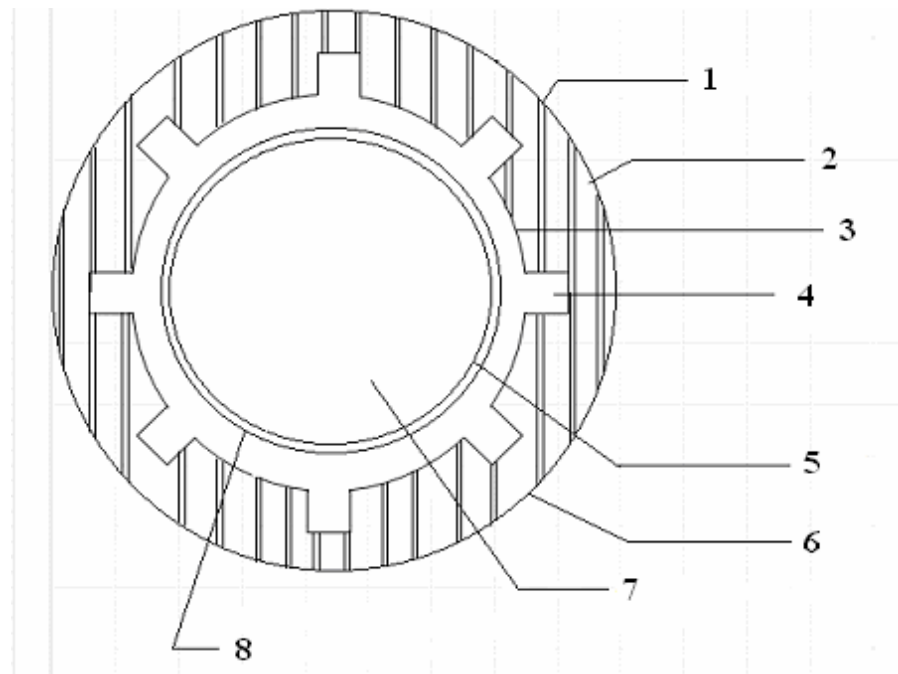
Unambiguous solution of the system (1-3) is possible by setting boundary conditions that involve determining the thermal regime on the side surface of the cylindrical workpiece, on its end surfaces, on the end surfaces of the inwall, on the outer surface of the magnetic wire and on its ends, as well as the task of ideal thermal contact between the surfaces of the inductor and the outer surface of the inwall [5].

This system is further complicated when the inwall has two layers, so to solve the problem, the approach was used, proposed in [6], which is based on solving the equation of heat balance between the workpiece and the inwall of the inductor.

The design scheme of a cylindrical inductor with two layers of inwall is shown in Fig. 1.

The calculations were performed according to the following data:

- the temperature of the outer surface of the workpiece $T_s = 1250^{\circ}\text{N}$;
- the temperature of the outer surface of the inwall adjacent to the winding inductor $T_{\text{IN}} = 30^{\circ}\text{N}$;
- the outer diameter of the outer (first) layer of the inwall $d_3 = 0,074 \text{ м}$;
- the inner diameter of the outer (first) layer of the inwall $d_2 = 0,07 \text{ м}$;
- inner diameter inner (second) layer of inwall $d_1 = 0,045 \text{ м}$;
- radius of cylindrical workpiece $R = 0,02 \text{ м}$.



- 1 – inductor magnetode wire; 2 – insulation;
- 3 – outer diameter d_3 of the first layer of the inwall;
- 4 – winding (coil) of the inductor;
- 5 – inner diameter d_1 of the second layer of the inwall;
- 6 – inductor; 7 – medium for heating the workpiece;
- 8 – outer diameter d_2 of the second layer of the inwall

Figura 1 - Scheme of a cylindrical inductor

In the table 1 presents pairs of materials of the inwall layers used in the calculations and their thermal conductivity coefficients [1, 3-4]. Insulators are selected as

follows in such a way that starting from the pair № 2, the thermal conductivity of the material of each layer of the inwall increases.

Fig. 2 represents the change in the temperature of the inwall on the inner surface of the second layer depending on the selected pair of materials of the inwall layers of table 1. The presented diagram allows to obtain quantitative values of the inwall temperature for a cylindrical inductor with selected characteristics and confirms quality-expected result: the desired highest temperature can be achieved by using materials with lower thermal conductivity.

Table 1

Numbering of materials of inwall layers
and their thermal conductivity coefficients λ_I , W/(m · °C)

Inwall layers	1	2	3	4	5	6
internal	chamotte, 1,33	gravel, 0,93	grit, 0,97	fire- resistant brick, 1,05	faience, 1,15	cement- grit, 1,2
external	asbestos, 0,175	min. cotton wool, 0,045	fiberglass, 0,05	siliceous plates, 0,07	vermi- culite, 0,1	granulated slag, 0,15
Inwall layers	7	8	9	10	11	12
internal	porous concrete, 1,4	gritstone, 1,5	limestone, 1,7	asbestos cement, 1,76	cement slabs, 1,92	quartz glass, 2,1
external	slag wool, 0,167	glassine, 0,17	thermoiz. concrete, 0,18	expanded clay conc- rete, 0,2	bakelite, 0,23	teflon, 0,25

In the second stage of research, the first pair of “chamotte-asbestos” was selected as heat-insulating materials of the inwall layers of the cylindrical inductor in order to establishing the effect of changes in the thickness of the inwall layers on its temperature. The result is presented in Fig. 3.

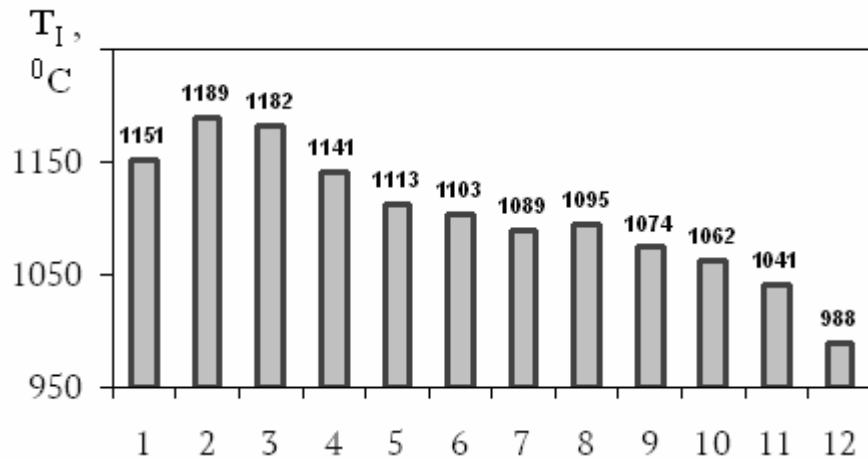
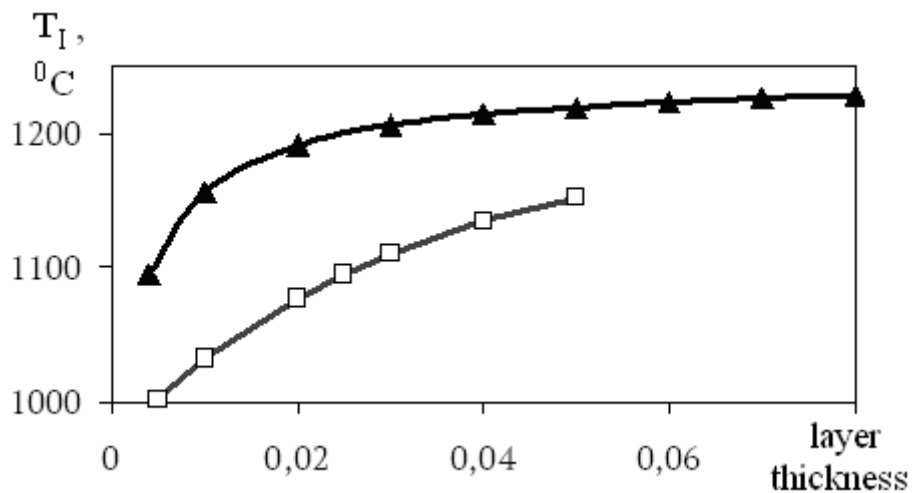


Figura 2 - The temperature of the inner surface of the inwall depending on the pair of materials of its layers



- ▲— – asbestos layer (outer);
- – chamotte layer (inner)

Figura 3 - The dependence of the temperature of the inwall on the thickness of its layers

Analysis of fig. 3. shows that the change in the thickness of the inner layer of chamotte has a much stronger effect on the change in temperature than the change in the thickness of the outer layer of asbestos. In addition, the graph shows that it is impractical to increase the thickness of the outer layer of asbestos more than 0.02 m – this does not lead to a significant change temperature.

The presented results were tested at the XXI International Conference "Human and Space" [2].

Conclusions. In the course of performance of the set task the following types of works were carried out and conclusions were received:

1) the algorithm for calculating the inwall temperature of the electric inductor depending on the thickness of the outer and inner layers, and also depending on the heat-insulating inwall material was created;

2) the testing of the created algorithm on the problem of this class with a known solution obtained by Pavlov in [6] was performed;

3) the inwall temperature of the electric inductor for the following materials: chamotte-asbestos, gravel-mineral cotton wool, grit-fiberglass, fire-resistant brick-siliceous plates, faience-vermiculite, cement-grit- granulated slag, porous concrete-slag wool, gritstone-glassine, limestone-thermoiz. concrete, asbestos cement-expanded clay-concrete, cement slabs-bakelite, quartz glass-teflon), as well as in the range of diameters of the inner and outer layers respectively (inner diameter of chamotte varied from 0.02 to 0.045 m, outer diameter of chamotte – from 0.05 to 0.07 m and outer diameter of asbestos – from 0.074 up to 0.15 m) was calculated;

4) graphs of dependences of inwall temperature on type of heat-insulating material, and also on thicknesses of external and internal layers inwall for pair “chamotte-asbestos” of the electric inductor were constructed.

As a result of the performed investigations the influence of external and internal layers thickness of a two-layer inwall, and also heat-insulating materials on the inwall temperature of the cylindrical inductor for heating the metal workpiece was established.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Бабичев А.П. Физические величины. Справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский. Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
2. Духневич К.Л. Тепловий розрахунок індукційного нагрівача / К.Л. Духневич, О.В.Кравець. – XXI Міжнародна наук.-практ. конф. „Людина і космос”, 10-12 квітня 2019. – с. 31.
3. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
4. Кузнецов Г.Ф. Тепловая изоляция. Справочник строителя / Г.Ф. Кузнецов. – М.: Стройиздат, 1985. – 303 с.
5. Никитина Е.А. Исследование и разработка трехфазного индуктора для нагрева цилиндрических заготовок в поперечном магнитном поле / Е.А. Никитина. – Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Самара, 2011. – 143 с.
6. Павлов Н.А. Инженерные тепловые расчеты индукционных нагревателей / Н.А. Павлов. – М.: Энергия, 1978. – 119 с.

7. Bolyukh V.F. Influence Of Geometrical Parameters Of the Inductor and Armature on the Indicators of a Linear Pulse Electromechanical Converter of an Electrodynamic Type / V.F. Bolyukh, Y.V. Kashanskij, I.S. Schukin // Electrical Engineering & Electromechanics. – 2019. – N. 3. – P. 11-17.
8. Chang L. Effect of Plate Curvature on Heat Source Distribution in Induction Line Heating for Plate Forming / L. Chang, Y. Zhao, H. Yuan, X. Hu, Z. Yang, H. Zhang // Applied Sciences. – 2020. – V. 10 – N. 7. – P. 99-115.
9. Frajer G. Dimensioning and shaping of inductors for power converters / G. Frajer, G. Delette, C. Rado, H. Chazal, P. Perichon, O. Isnard, F. Servant // EPE Journal. – 2017. – V. 27 – N. 3. – P. 98-105.
10. Glebov A.O. Modeling the Induction Heating of Press Equipment in an Automatic-Temperature-Control Mode / A.O. Glebov, S.V. Karpov, S.V. Karpushkin, E.N. Malygin // Journal Of Engineering Physics And Thermophysics. – 2019. – V. 92 – N. 5. – P. 1130-1141.
11. Lekomtsev S.V. Evaluation of the Temperature Regime of the Rods of the Inductor of an MHD Stirrer for Possible Use in an Industrial Aluminum Furnace / S.V. Lekomtsev, S.Y. Khripchenko // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2018. – V. 59 – N. 7. – P. 1189-1196.
12. Niu C. Numerical Analysis of Eddy Current Induced by z-Gradient Coil in a Superconducting MRI Magnet / C. Niu, L. Wang, Y. Wang, Y. Zhai, H. Qu, Y. Liu, Q. Wang // Ieee Transactions On Applied Superconductivity. – 2020. – V. 30 – N. 4. – P. 295-303.
13. Serrano J. Design and Optimization of Small Inductors on Extra-Thin PCB for Flexible Cooking Surfaces / J. Serrano, I. Lope, J. Acero, C. Carretero, J. Burdio, R. Alonso // IEEE Transactions On Industry Applications. – 2017. – V. 53 – N. 1. – P. 371-379.
14. Yang Z. An Improved Design Method for Gapped Inductors Considering Fringing Effect / Z. Yang, H. Suryanarayana, F. Wang // Thirty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference And Exposition. – Anaheim, CA, MAR 17-21, 2019. – P. 1250-1256.

REFERENCES

1. Babichev A.P. Fizicheskie velichiny. Spravochnik / A.P. Babichev, N.A. Babushkina, A.M. Bratkovskiy. Pod red. I.S. Grigor'eva, E.Z. Meylikhova. – M.: Energoatomizdat, 1991. – 1232 p.

2. Dukhnevich K.L. Teploviy rozrakhunok induktsiynogo nagrivača / K.L. Dukhnevich, O.V. Kravets. – XXI Mizhnarodna nauk.-prakt. konph. „Ludina i kosmos”, 2019, 10-12 April. – P. 31.
3. Isachenko V.P. Teploperedacha / V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel. – M.: Energoatomizdat, 1981. – 416 p.
4. Kuznetsov G.Ph. Teplovaya izolyatsya. Spravochnik stroitelya / G.Ph. Kuznetsov. – M.: Stroyizdat, 1985. – 303 p.
5. Nikitina E.A. Issledovanie i razrabotka trekhfaznogo induktora dlya nagreva tsilindricheskykh zagotovok v poperchnom magnitnom pole / E.A. Nikitina. – Diss. na soisk. uch. step. cand. techn. nauk. – Samara, 2011. – 143 p.
6. Pavlov N.A. Inzhenernye teplovye raschety induktsionnykh nagrevateley / N.A. Pavlov. – M.: Energiya, 1978. – 119 p.
7. Bolyukh V.F. Influence Of Geometrical Parameters Of the Inductor and Armature on the Indicators of a Linear Pulse Electromechanical Converter of an Electrodynamic Type / V.F. Bolyukh, Y.V. Kashanskij, I.S. Schukin // Electrical Engineering & Electromechanics. – 2019. – N. 3. – P. 11-17.
8. Chang L. Effect of Plate Curvature on Heat Source Distribution in Induction Line Heating for Plate Forming / L. Chang, Y. Zhao, H. Yuan, X. Hu, Z. Yang, H. Zhang // Applied Sciences. – 2020. – V. 10 – N. 7. – P. 99-115.
9. Frajer G. Dimensioning and shaping of inductors for power converters / G. Frajer, G. Delette, C. Rado, H. Chazal, P. Perichon, O. Isnard, F. Servant // EPE Journal. – 2017. – V. 27 – N. 3. – P. 98-105.
10. Glebov A.O. Modeling the Induction Heating of Press Equipment in an Automatic-Temperature-Control Mode / A.O. Glebov, S.V. Karpov, S.V. Karpushkin, E.N. Malygin // Journal Of Engineering Physics And Thermophysics. – 2019. – V. 92 – N. 5. – P. 1130-1141.
11. Lekomtsev S.V. Evaluation of the Temperature Regime of the Rods of the Inductor of an MHD Stirrer for Possible Use in an Industrial Aluminum Furnace / S.V. Lekomtsev, S.Y. Khripchenko // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2018. – V. 59 – N. 7. – P. 1189-1196.
12. Niu C. Numerical Analysis of Eddy Current Induced by z-Gradient Coil in a Superconducting MRI Magnet / C. Niu, L. Wang, Y. Wang, Y. Zhai, H. Qu, Y. Liu, Q. Wang // Ieee Transactions On Applied Superconductivity. – 2020. – V. 30 – N. 4. – P. 295-303.
13. Serrano J. Design and Optimization of Small Inductors on Extra-Thin PCB for Flexible Cooking Surfaces / J. Serrano, I. Lope, J. Acero, C. Carretero, J. Burdio,

R. Alonso // IEEE Transactions On Industry Applications. – 2017. – V. 53 – N. 1. – P. 371-379.

14. Yang Z. An Improved Design Method for Gapped Inductors Considering Fringing Effect / Z. Yang, H. Suryanarayana, F. Wang // Thirty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference And Exposition. – Anaheim, CA, MAR 17-21, 2019. – P. 1250-1256.

Received 03.09.2021.

Accepted 07.09.2021.

***Дослідження впливу параметрів двошарової футерівки
циліндричного індуктора на її температуру***

Розглядається дослідження теплового стану двошарової футерівки циліндричного індуктора для дванадцяти пар теплоізоляційних матеріалів. Наведено математичну модель процесу, схему циліндричного індуктора, таблицю пар досліджуваних теплоізоляційних матеріалів шарів футерівки. Розраховано та побудовано діаграму температури внутрішньої поверхні футерівки в залежності від пари матеріалів її шарів та графік зміни температури футерівки в залежності від товщин її шарів для пари „шамот-азбест”.

***Исследование влияния параметров двухслойной футеровки
цилиндрического индуктора на ее температуру***

Рассмотрено исследование теплового состояния двухслойной футеровки цилиндрического индуктора для дванадцати пар теплоизоляционных материалов. Приведена математическая модель процесса, схема цилиндрического индуктора, таблица пар исследуемых теплоизоляционных материалов слоев футеровки. Рассчитана и построена диаграмма температуры внутренней поверхности футеровки в зависимости от пары материалов ее слоев, а также график изменения температуры футеровки в зависимости от толщин ее слоев для пары „шамот-асбест”.

Духневич Ксенія Леонідівна – магістр, кафедра аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Кравець Олена Володимирівна – канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Спірінцева Ольга Володимирівна – канд. тех. наук, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Духневич Ксения Леонидовна – магістр, кафедра аэрогидромеханики и энергомассопереноса, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Кравец Елена Владимировна – канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры аэрогидромеханики и энергомассопереноса, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Спиринцева Ольга Владимировна – канд. техн. наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Duknevich Kseniya Leonidivna – master, Department of AeroHydro Mechanics and Energy and Mass Transfer, Oles Honchar Dnipro National University.

Kravets Olena Volodymyrivna – candidate of physical and mathematical sciences, docent, docent of the Department of AeroHydro Mechanics and Energy and Mass Transfer, Oles Honchar Dnipro National University.

Spiritseva Olga Volodymyrivna – candidate of technical sciences, docent of the Department of Electronic Computing Machines, Oles Honchar Dnipro National University.

О.С. Волковський, М.В. Пачевський, Є.О. Обиденний
**КОНЦЕПЦІЯ ЕЛЕКТРОННОГО ГОЛОСУВАННЯ
НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН**

Анотація. У сучасному демократичному цифровому суспільстві зростає актуальність проведення відкритих та об'єктивних голосувань з використанням нових інформаційних технологій. Існуючі рішення для подібних систем голосування зосереджені на технічних та юридичних проблемах, а не на застосуванні нових інформаційних технологій у стадії голосування. Було проведено аналіз проблем сучасних виборчих систем, і, на підставі аналізу їх недоліків запропоновано алгоритми, та практичну реалізацію системи голосування на основі застосувань технології блокчейн зі спеціальною реалізацією смарт-контрактів, у якій недоліки існуючих систем усунуті.

Ключові слова: блокчейн, смарт-контракт, система голосування.

Вступ та постановка проблеми. Нині демократичне голосування є одним із найпопулярніших методів вирішення суспільно важливих питань у розвинутих країнах. Найбільш поширеним методом голосування є паперова система. Даний метод має певні недоліки, серед яких технічні (фальсифікації, помилки в підрахунках, відсутність прозорості проведення), соціальні та економічні (висока вартість для бюджету). Електронні системи голосування не набули свого поширення через проблеми з безпекою, верифікацією результатів або некоректною роботою програмного забезпечення [1, 2].

Технологія блокчейн (від англ. blockchain ланцюжок блоків даних) пропонує нові можливості для розробки абсолютно інших видів цифрових послуг завдяки ключовим особливостям цієї технології, таким як прозорість і захищеність процесу передачі даних. Розробники мають можливість вивести систему голосування на новий інформаційно-технологічний рівень, який відповідає сучасним вимогам. Застосування смарт контрактів у поєднанні з технологією блокчейн допоможе вирішити більшість існуючих проблем сучасних систем голосування.

Аналіз останніх досліджень. Блокчейн-технологія у системах цифрового голосування викликає великий інтерес, що призводить до появи значної кількості досліджень. У роботах [3-5] досліджуються проблеми традиційних виборчих систем. Автори сходяться на думці, що існуючі методи, зокрема електронні системи, не можуть забезпечити достатній рівень прозорості та надійності, що не позначається на довірі виборців. У цих дослідженнях розбирається принцип роботи технології блокчейн, а також переваги її використання в системі виборів.

У табл. 1 представлено огляд та аналіз робіт про системи голосування на основі технології блокчейн.

Необхідно наголосити, що безпека голосування завжди є найбільшою проблемою при розгляді питання про впровадження цифрової системи голосування. Всі автори сходяться на тому, що з урахуванням особливостей технології блокчейн не може бути жодних сумнівів у здатності системи захистити дані від потенційних атак та фальсифікацій. Система голосування є складним механізмом, і при її розробці потрібно враховувати як людський фактор, так і особливості проведення голосувань у конкретній країні.

Таблиця 1

Зміст	Barnes A., Brake C, Perry T. (2018)[3]	Ben Ayed A. (2017)[4]	Boucher P. (2016)[5]
Аналіз існуючих виборчих систем	+	+	+
Огляд технології блокчейн	-	+	-
Перспективи використання технології блокчейн у виборчих системах	+	+	+
Практична реалізація системи голосування на основі технології блокчейн	-	-	-

Незважаючи на те, що автори пояснюють теоретичну основу технології, описують перспективи та переваги подібної системи, жодне з розглянутих вище досліджень не визначає структуру роботи системи голосування на практиці, і в них відсутні конкретні методи, алгоритми та концепти для практичної реалізації системи.

З урахуванням аналізу недоліків зазначених досліджень було поставлено завдання розробки системи голосування на основі технології блокчейн, структури її роботи, а також конкретних алгоритмів і моделей для її практичної реалізації.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є розробка інформаційної системи електронного голосування на базі технології блокчейн. Необхідно розробити алгоритм роботи електронного голосування, з достатнім рівнем безпеки та аналізом всіх можливих обмежень системи, розробити практичну реалізацію системи, привести модель роботи електронного голосування.

Основна частина. Розглянемо алгоритм роботи технології блокчейн на конкретному прикладі голосування:

Виборець хоче вибрати певного кандидата, тобто перевести свій токен (голос) на адресу обраного кандидата.

Ця транзакція пересилається в мережу, що складається з комп'ютерів, рівноправних вузлів, званих "нодами" (від англ. Node - вузол). Ця мережа з нод необхідна щоб обробити (підтвердити) цю транзакцію. Перевагою є те, що дана мережа може бути децентралізована, що знизить ймовірність спеціального втручання в роботу системи та підвищить довіру виборців.

Мережа з нод підтверджує транзакцію та статус користувача, використовуючи спеціальні алгоритми. В інших системах підтверджена транзакція може бути не лише "голосом", а також передачею грошей або даних.

Після підтвердження, транзакція поєднується з іншими підтвердженими транзакціями, формуючи новий блок цифрового реєстру.

Даний блок додається в блокчейн з використанням хеша попереднього блоку, тим самим місце кожного блоку в ланцюжку стає унікальним і не підлягає зміні, так як у разі спроби змінити конкретний блок всі наступні блоки стають не валідними.

У результаті транзакція завершена і записана до блокчейну, що гарантує її достовірність і захищеність, а обраний кандидат отримує "голос", що автоматично відображається для всіх спостерігачів.

Практична реалізація системи голосування. Вимоги до системи голосування:

- Аутентифікація. Можливість голосувати має певна кількість людей, які отримали на це право. Система не повинна підтримувати процес самостійної реєстрації, список виборців має бути підготовлений і завантажений заздалегідь. Безпосередньо перед голосуванням виборець повинен пройти

додатковий процес аутентифікації, інакше його голос ("токен") не повинен використовуватись. Також процес додаткової аутентифікації на виборчій дільниці не дасть можливість третім особам використати "голос" виборця поза його відому.

- **Анонімність.** Система голосування повинна виключати будь-які зв'язки між особистістю виборця та його "голосом" (токеном). Виборець та його вибір має залишатися повністю анонімним під час та після голосування.
- **Точність.** Результати повинні бути абсолютно об'єктивними, кожен "голос" (токен) повинен враховуватися, не може бути змінено, продубльовано або видалено.
- **Відкритість.** Система повинна мати можливість перевірки процесу голосування в режимі реального часу.
- **Захищеність.** Система має бути абсолютно захищена від різного виду програмних атак, перехоплення інформації третіми особами або втручання у процес голосування.
- **Масштабованість.** Система має бути розрахована можливість проведення голосувань федерального чи муніципального масштабів.

Обмеження системи. Передбачається, що виборці використовуватимуть захищені пристрої для голосування. Незважаючи на те, що технологія блокчейн гарантує безпеку та об'єктивність процесу голосування, зловмисник має можливість змінити вибір виборця за допомогою шкідливого програмного забезпечення, встановленого на пристрої голосування. Також особливістю технології блокчейн є неможливість зміни вибору у разі помилки користувача. Виборець може віддати свій голос, тобто здійснити вибір, лише один раз.

Пропонована послідовність здійснення процедури електронного голосування на базі технології блокчейн за допомогою смарт-контракту.

Розроблено послідовність здійснення процедури електронного голосування на базі технології блокчейн з використанням смарт-контракту (рис.1).

Смарт-контракт - умова чи алгоритм, призначений для укладання та підтримки контрактів, реалізованих у блокчейні. Смарт-контракти дають можливість здійснювати конфіденційні та надійні операції без участі зовнішніх посередників, оскільки саме ця технологія дозволить автоматизувати та захистити від змін систему цифрового голосування, тож розглянемо її особливості.

Смарт-контракт розміщується у блокчейні, де вся його логічна структура міститься у програмному блоці. Програмний блок пов'язує усі відомості, що

мають відношення до певного смарт контракту. Дані відомості можуть виконувати роль входу та виходу програмного коду і можуть запускати будь-які дії за межами блокчейну.

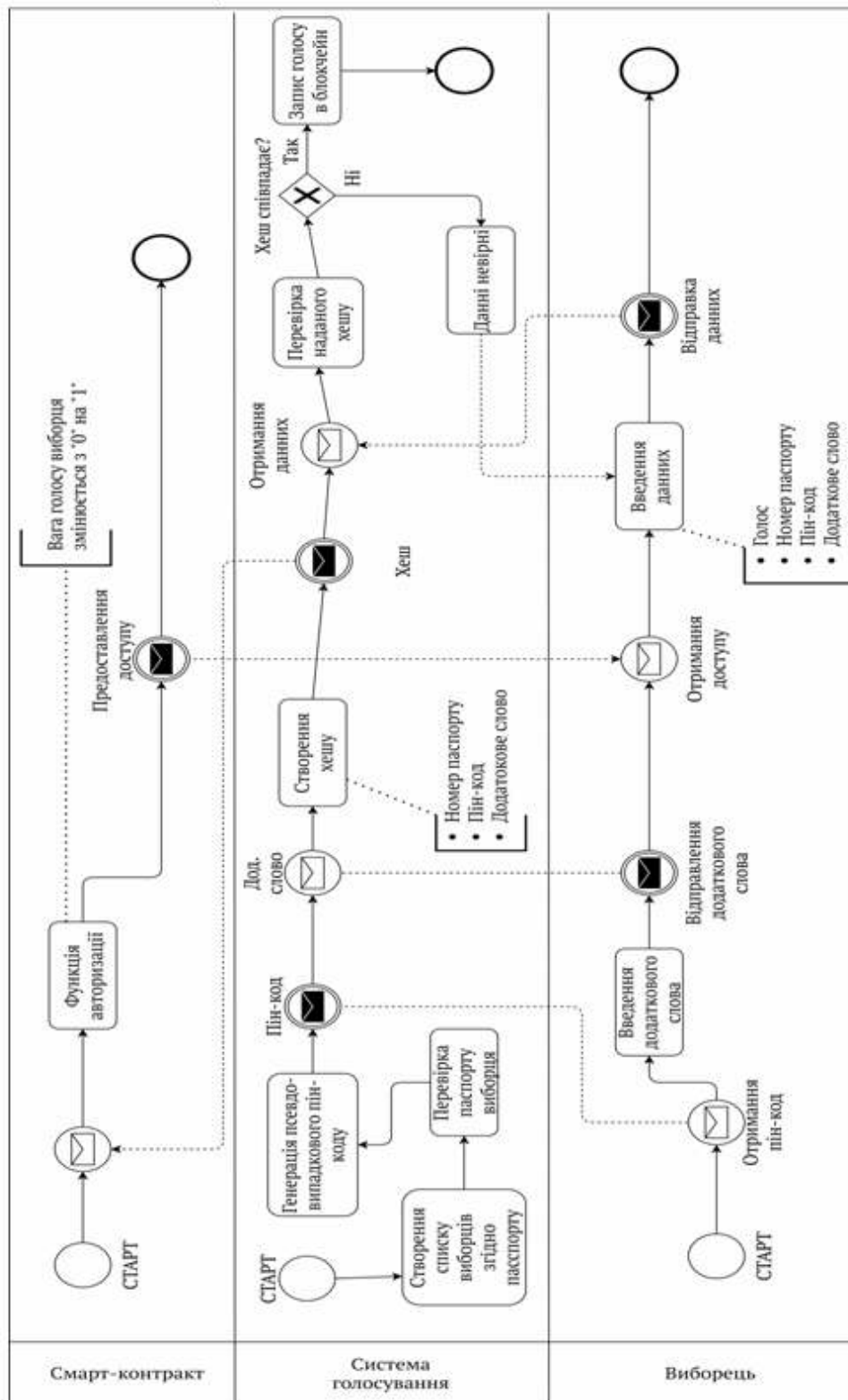


Рисунок 1 - Процедура електронного голосування на базі технології блокчейн

Обов'язковими властивостями смарт контракту є:

- застосування методу електронного підпису на базі публічних або приватних ключів, що знаходяться у двох і більше сторін угоди;
- існування приватної децентралізованого середовища, в якому вноситься смарт контракт;
- суть договору та існування обов'язкових для його виконання інструментів;
- точно відображені умови його виконання, що підтверджуються підписом учасників договору, та надійність джерел даних.

Значна кількість різних договірних відносин як між людьми, так і між людським і державними органами можна реалізувати частково або повністю автоматизованими. Криптографія, яка лежить в основі смарт-контрактів, надає більш високий рівень безпеки та захищеності, ніж традиційні договори, засновані виключно на державному праві. Також смарт-контракти можуть знижувати економічні витрати, ризики неоднозначних трактувань договору, ризики використання "юридичних махінацій" та людський фактор.

У цій послідовності продуманий процес від приходу виборця на ділянку, його автентифікації до голосування за конкретного кандидата. Для роботи подібної системи розроблено смарт контракт, який включає:

1. Структури (програми) "Голосуючий" та "Кандидат". Для реалізації функціонування системи структура "Кандидат" містить поля: ім'я та підрахунок голосів, відданих за даного кандидата. Структура "Голосуючий" включає в себе поля для:

- зарахування токена (голосу) після успішної авторизації для здійснення голосування;
- даних про кандидата, за якого виборець віддав свій голос;
- одержаного хеша виборця;
- індикатора, чи голосував виборець.

2. Функції (програми) "Голосування", "Авторизації", "Створення голосування", "Підрахунки голосів". "Завершення голосування". Встановлення запропонованої системи на виборчих ділянках відбувається наступним чином: на першій ділянці вручну запускається genesis block, що створюється за описом і міститься в конфігураційному файлі.

Також при створенні процедури голосування до смарт-контракту завантажуються:

- список із номерами паспортів виборців (надає сторонній відповідальний орган);

- список кандидатів;
- час проведення голосування.

Далі система генерує пари виду [номер паспорта, псевдовипадковий пін-код] Голосуючий пред'являє паспорт співробітнику виборчої комісії, і його просять вигадати довільне додаткове число або слово.

Після цього система обчислює хеш від трьох параметрів: номер паспорта, псевдовипадковий пін-код, згенерований системою, додаткове число]. Дане додаткове число (слово) використовується як "salt" (сіль), для того, щоб:

- виключити перехоплення працівниками виборчого органу пін-кодів виборців;
- унеможливити підбір зловмисниками хеша.

Далі отриманий хеш автоматично відправляється до смарт-контракту в функцію auth (авторизації), і у користувача з'являється можливість проголосувати. Після цього користувач у терміналі голосування вводить свої дані, пін-код, додаткове слово або код - на підставі цих даних зчитується хеш і порівнюється з тим, який записаний у смарт-контракт. Після повної авторизації він голосує.

За бажанням розроблену систему голосування можна інтегрувати з державними сервісами, що значно спростить процес верифікації, і додаткове число (salt) не буде потрібно. Для цього необхідна завчасна реєстрація кожного учасника голосування у сервісі державних послуг. У такому разі ЦВК зобов'язана надавати сервісу список з номерами паспортів громадян, які мають право брати участь у конкретному голосуванні, а система державних послуг повинна видавати пін-код кожному учаснику голосування, за допомогою якого він зможе пройти ідентифікацію на виборчій дільниці.

Висновки. На підставі огляду систем голосування та аналізу їх недоліків, було запропоновано цифрове вирішення проблеми на основі блокчейн технології та розроблено повністю алгоритмічне вирішення проблеми. розроблено функціонально повну систему електронного голосування та схему проведення виборів на основі технології блокчейн при використанні смарт-контракту.

Ця система при подальшому доопрацюванні та впровадженні може дозволити створювати та проводити достовірну та прозору процедуру голосування, скоротити витрати держави на проведення виборчих компаній.

Спроектовану систему голосування можна застосувати у багатьох випадках, наприклад, у таких:

- Вибори президента, мера міста, голови регіону, але в цьому випадку потрібно буде додатково реалізувати систему мережевих вузлів для рівномірного розподілу навантаження на мережу.
- Вибори в наукових та освітніх закладах (вибори в Академії наук, вибори кращого викладача в університеті, голови студентської ради і т.д.)
- Державні вибори.

Особливістю результатів даного дослідження є той факт, що систему електронного голосування з запропонованою структурою при доопрацюванні для конкретних завдань, а також за допомогою вирішення питань масштабування можна впровадити в роботу державних органів, наукових та освітніх установ.

Крім того, передбачено можливість інтеграції підсистеми авторизації користувача з існуючими державними електронними послугами.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Gerlach J., Grasser U. Three Case Studies from Switzerland: E-voting // Berkman Center Research Publication. 02.04.09.URL: <https://www.alexandria.unisg.ch/52680/> (дата запиту: 04.09.21).
2. Ibrahim S., Kamat M., Salleh M., Aziz S. R. A. Secure E-Voting with Blind Signature // Proceeding of the 4th National Conference of Communication Technology. 14.01.03. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1188334/> (дата запиту: 05.09.21).
3. Barnes A., Brake C., Perry T. Digital Voting with use of Blockchain Technology, available at: <https://www.economist.com/sites/default/files/plymouth.pdf> (дата запиту: 04.09.21).
4. Ben Ayed A. A conceptual Secure Blockchain Electronic Voting System // International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA). 2017. Vol. 9, N. 3. URL: <http://aircconline.com/ijnsa/V9N3/9317ijnsa01.pdf> (дата запиту: 02.09.21).
5. Boucher P. What if blockchain technology revolutionized voting European Union. 2016.URL: [http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/581918/EPRS_ATA\(2016\)581918_EN.pdf](http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/581918/EPRS_ATA(2016)581918_EN.pdf) (дата запиту: 04.09.21).

REFERENCES

1. Gerlach J., Grasser U. Three Case Studies from Switzerland: E-voting // Berkman Center Research Publication. 02.04.09.URL: <https://www.alexandria.unisg.ch/52680/> (access date: 04.09.21).

2. Ibrahim S., Kamat M., Salleh M., Aziz S. R. A. Secure E-Voting with Blind Signature // Proceeding of the 4th National Conference of Communication Technology. 14.01.03. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1188334/> (access date: 05.09.21).
3. Barnes A., Brake C., Perry T. Digital Voting with use of Blockchain Technology, available at: <https://www.economist.com/sites/default/files/plymouth.pdf> (access date: 04.09.21).
4. Ben Ayed A. A conceptual Secure Blockchain Electronic Voting System // International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA). 2017. Vol. 9, N. 3. URL: <http://aircconline.com/ijnsa/V9N3/9317ijnsa01.pdf> (access date: 02.09.21).
5. Boucher P. What if blockchain technology revolutionized voting European Union. 2016. URL: [http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/581918/EPRS_ATA\(2016\)581918_EN.pdf](http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/581918/EPRS_ATA(2016)581918_EN.pdf) (access date: 04.09.21).

Received 06.09.2021.

Accepted 09.09.2021.

Концепция электронного голосования на основе технологии Блокчейн

В настоящее время демократическое голосование является одним из самых популярных методов решения общественно важных вопросов в развитых странах. Наиболее распространенным методом голосования является бумажная система. Данный метод имеет некоторые недостатки, среди которых технические (фальсификации, ошибки в подсчетах, отсутствие прозрачности проведения), социальные и экономические (высокая стоимость для бюджета). Электронные системы голосования не получили своего распространения из-за проблем с безопасностью, верификацией результатов или некорректной работой программного обеспечения [1, 2].

Concept of digital voting based on the Blockchain technology

Democratic voting is one of the most popular methods of resolving socially important issues in developed countries. The most common method of voting is the paper system. This method has certain disadvantages, including technical (falsifications, calculation errors, lack of transparency), social and economic (high cost to the budget). Electronic voting systems have not become widespread due to security issues, verification of results or incorrect operation of software [1, 2].

Blockchain technology offers new opportunities to develop completely different types of digital services due to the key features of this technology, such as transparency and security of the data transfer process. Developers have the opportunity to bring the voting system to a new information technology level that meets modern requirements. The use of smart contracts in combination with blockchain technology will help solve most of the existing problems of modern voting systems

Blockchain technology is based on a transactional model. The principle of operation of blockchain technology is shown in Pic. 1. Each user has his "wallet" with unique public / private keys, which confirm any action of the user. Transactions (agreement, shipment), which are carried out by all users of the system, are stored in successive blocks. Since the hash of the data of the previous block is used when generating the next, the consistency of the data within the blockchain is ensured.

Волковський Олег Степанович - кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (м. Дніпро).

Пачевський Михайло Володимирович - асистент, кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (м. Дніпро).

Обиденний Євген Олександрович – асистент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного ТУ «Дніпровська політехніка».

Волковский Олег Степанович, кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных наук и информационных технологий Днепровского национального университета имени Олеся Гончара (г. Днепр).

Пачевский Михаил Владимирович, ассистент, кафедра компьютерных наук и информационных технологий Днепровского национального университета имени Олеся Гончара (г. Днепр).

Обыденный Евгений Александрович – ассистент кафедры информационных технологий и компьютерной инженерии Национального ТУ "Днепровская политехника".

Volkovskiy Oleg - Candidate of Sciences in Technology, docent of Department of Computer Science and Information Technologies, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine.

Pachevskiy Mykhailo - assistant, Department of Computer Science and Information Technologies, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine.

Obydennyj Evgeniy – Assistant of the Department of Information Technologies and Computer Engineering of the National Technical University "Dneprovsk Polytechnic".

В.В. Гнатушенко, І.О. Гненний, І.М. Удовик, О.С. Шевцова

СЕГМЕНТАЦІЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Анотація. В роботі запропоновано новий метод семантичної сегментації аерокосмічних зображень високого просторового розрізнення на основі згорткових нейронних мереж та генерації масок. Реалізовано мережу, що складається з окремих мереж одного класу. Семантичні ознаки використовуються для зменшення помилок семантичного рівня контуру. Оскільки незалежний тест виявив деякі недоліки в певних класах земного покриву, подальші дослідження будуть присвячено питанням створення каталогу навчальних вибірок для підтримки успішної диференціації об'єктів. Загалом оцінки точності демонструють сучасні характеристики розробленої моделі, а також ефективність цієї комбінації мережі та наборів даних для тестових регіонів. Результати показують, що запропонований алгоритм може ефективно покращити загальну точність семантичної сегментації зображень дистанційного зондування високого просторового розрізнення та скоротити загальний час навчання та час сегментації.

Ключові слова: сегментація, аерокосмічне зображення, машинне навчання, згорткова нейронна мережа.

Постановка проблеми. Зйомка Землі з космосу широко використовується в різних галузях господарства та сферах бізнесу, у тому числі для управління територіями, моніторингу надзвичайних ситуацій, для вивчення та екологічних досліджень нашої планети [1, 2]. За допомогою супутників вчені та дослідники можуть збирати та зберігати зображення високої просторової здатності, які потім можна обробляти, сегментувати та класифікувати. Сегментація зображення призначена для відділення когерентних областей друг від друга. Встановлення порогових значень використовується для вилучення переднього плану із фону на основі інтенсивності або кольору пікселів. Дослідники також використовують текстуру та додають інші фактори для кращого розділення в регіонах. Більш складна версія може варіюватися від заснованої на кольорі для використання більш складних доменів для сортування регіонів. Значного поширення отримали предметно-орієнтовані методи класифікації, засновані на

попередній сегментації зображень з наступним аналізом параметрів виділених зон. Однак їх застосування до реальних аерокосмічних даних утруднено, оскільки для природних ландшафтів зображення високої роздільної здатності зазвичай містять інформацію про текстуру і характеризуються плавними переходами. Це негативно позначається на якості сегментації: на межах сегментів, сформованих за таких умов, виникають зони невизначеності. Інша проблема об'єктно-орієнтованих методів полягає у складності застосування контекстного аналізу до результатів сегментації [3, 4].

Аналіз останніх досліджень. В останні роки великої популярності набула сегментація зображень за допомогою згорткових нейронних мереж (CNN) [3-6]. Суттєвою відмінністю цього підходу є анування віднесення кожного пікселя до того чи іншого класу об'єктів так, що процес навчання подібних мереж повністю контролюється. В основному, як впливає з назви, нейронні згорткові мережі використовують операцію згортки для вилучення ознак. Було досліджено багато нейронних мереж, побудованих на цьому принципі. Але основне використання згорткових нейронних мереж полягає в їхній цінності в комп'ютерному зорі. При великих розмірах зображень штучні нейронні мережі також повинні бути досить великими для розміщення даних, але зі згортковими нейронними мережами ця проблема зменшується в геометричній прогресії, оскільки з кожним шаром розмір даних стає все меншим і меншим. Ці моделі широко використовувалися в моделях виявлення та класифікації об'єктів, таких як сімейства VGG16 та ResNet [4-7]. Цей метод також є основою сегментації зображень. Першою віхою семантичної сегментації була повнозгорткова мережа (FCN), що здійснювала класифікацію пікселів за пікселями або маскою сегментації. З появою FCN для семантичної сегментації відкрилися нові можливості. Вилучені функції можна було не тільки виводити для класифікації зображень, але тепер їх можна також використовувати як вхідні дані для задач сегментації зображень. FCN класифікує зображення лише на рівні пікселів. На відміну від класичної CNN, що використовує пов'язаний рівень для отримання вектора ознак фіксованої довжини для класифікації після згорткового рівня, повнозгорткова мережа може приймати вхідні зображення будь-якого розміру і використовувати рівень деконволюції для останнього рівня згортки, і, нарешті, перейти на карту об'єктів з підвищеною дискретизацією.

Метою даної роботи є розробка методів, алгоритмів та програмних засобів, що дозволить автоматизувати процес сегментації та подальшої

класифікації супутникових зображень високої просторової здатності та підвищити відповідну точність обробки.

Викладення основного матеріалу. На сьогоднішній день не існує чітко регламентованих правил реалізації структури нейронної мережі: кількість та організація шарів, кількість та розмір карт ознак, розмір матриць згортки, вибір алгоритму навчання. При розробці структури CNN слід розуміти, що невелика кількість параметрів мережі може знизити точність сегментації. Однак велика кількість параметрів збільшує обчислювальну складність мережі та не завжди забезпечує покращення класифікувальних здібностей мережі. Таким чином, розробка оптимальної структури нейронної мережі є емпіричним процесом, який включає велику кількість експериментальних досліджень.

В роботі запропоновано новий метод мультикласової сегментації аерокосмічних зображень високого просторового розрізнення на основі CNN та генерації масок та реалізовано мережу, що складається з окремих мереж одного класу (рис.1). Спочатку ми отримуємо маску сегментації окремих індивідуальних класів окремими мережами декодерів, потім об'єднуємо та здійснюємо постобробку для створення необхідної вихідної маски. Зауважимо, що точність згорткової мережі лише з одним класом набагато вища порівняно з метриками моделей, які сегментують усі класи разом. Ми спробували використати цю властивість при створенні моделі, що поєднує окремі сегментовані маски в єдине ціле. Таким чином, у нас є масив індивідуальних мереж згортання для окремих класів. Кожен клас підключається до вихідних даних об'єднаної моделі класів для отримання більш високих результатів. Вхідні дані поділяються на зображення розміром 512 x 512 пікселів. Потім ці вхідні зображення одночасно проходять через декілька окремих мереж та комбіновану мережу. Кожна з цих мереж виводить маску. Крім того, видаляються області, що не перекриваються. Потім видаляються всі несегментовані області. Нарешті, за постобробки отримуємо вихідну маску (рис.1).

Індивідуальні мережі являють собою набір U-Nets, навчених створювати маски одного класу, відповідно 1 для класу, що навчається, і 0 – в іншому випадку. Вхідними даними для мереж є те саме вхідне зображення, що і для всієї моделі. Їх вивід – це маска одного класу з одиниць та нулів. Кожна з мереж U-Net заснована на архітектурі MobileNetV2 [8, 9]. Особливістю MobileNetV2 є використання замість звичайних залишкових блоків зворотних залишкових блоків. Їхня відмінність полягає в тому, що обхід з'єднує блоки з пляшковими горлечками.

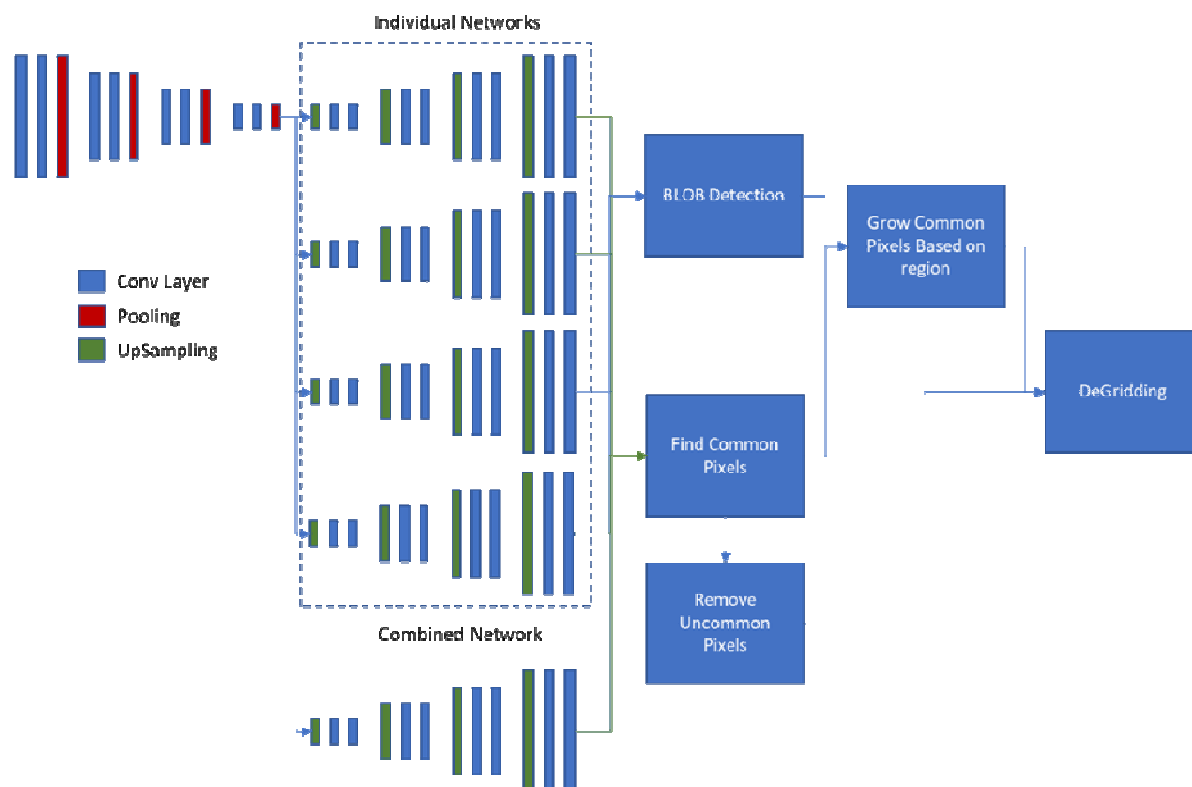


Рисунок 1 - Модель обробки

Комбінована мережа є основою нашої моделі. Подібно до індивідуальних мереж, комбінована мережа є мережею U-Net з MobileNetV2 в якості магістралі. Але замість навчання на двійковій масці мережа навчається на на-земних даних і таким чином видає повну маску прогнозування. Комбінована маска створює зображення 512 x 512 пікселів. При обробці зображення Blob-об'єкти визначаються як область з'єднаних пікселів з однаковим кольором або інтенсивністю. Якщо регіон не пов'язаний з іншим жодним зі своїх пікселів ні безпосередньо, ні по діагоналі, то він вважається окремим Blob-об'єктом. Коли позначений кожен Blob-об'єкт, його мітки передаються наступному блоку. У разі комбінованої мережі готується окремий набір зображень у градаціях сірого для кожного класу, щоб позначити відповідні класи. Потім цей набір зображень передається до наступного блоку. Далі ми видаляємо з базового зображення пікселі, що не перекриваються з масками зображень класів. Спочатку створюється маска відтінків сірого для кожного класу в базовому зображенні і послідовно порівнюється з масками зображень класів, створених з індивідуальних мереж. Якщо піксель «невстановлений» на 1 в обох зображен-нях у градаціях сірого, піксель встановлюється на 0. При цьому ізолюються спільні пікселі від зображень. Але це також дає багато пікселів з 0 у базовій

масці. Ця проблема вирішується в наступному блоці, в якому спочатку визначається порядок зростання пікселів класу, а потім клас, що має найбільшу кількість пікселів у зображенні. Таким чином, упорядкування класів за цим критерієм і наступний процес виконується для кожного з класів на основі одного й того ж порядку. Для кожного пікселя в базовому зображенні обирається сегмент, якому він відповідає як в індивідуальній масці, так і в комбінованій масці. Потім визначаються пікселі, що мають значення 0 в базовій масці та спочатку не були класифіковані як клас 0. Порожнє місце заповнюється значенням класу, якщо піксель знаходиться в одному з можливих місць зростання. Цей процес повторюється для кожного з різних класів, щоб створити остаточну розширену маску. Врешті решт, щоб позбутися артефактів, застосовується середнє значення сегментованих пікселів у блоці 8×8 пікселів. Відповідний процес створює вихідне зображення 512×512 , яке ми об'єднуємо з іншими обрізаними частинами зображення, щоб отримати остаточне зображення, що корелює з вхідним зображенням. Фрагмент результатів роботи запропонованого підходу подано на рис.2.



Рисунок 2 - Фрагмент результатів роботи нейронної мережі

Для оцінки якості сегментації застосовано стандартні метрики, зокрема IoU (intersection over union), що оцінює близькість передбачуваної маски до оригінальної [6]. Для кожного класу об'єктів за I позначається кількість пікселів, де клас передбаченої маски збігається з оригінальним, а за U кількість пікселів, де хоча б одна з масок вказала на об'єкт даного класу. Знаходимо відношення I/U. Якість сегментації зображення – середнє значення даної мет-

рики за всіма класами. Оціночні індекси, отримані в результаті сегментації, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Оцінка		Ліс	Луга	Тіні	Ґрунт	Будівлі	Дороги
Precision		89	82	86	84	83	88
Recall		86	87	88	89	91	90
IoT		82	74	73	75	74	78

Висновки. В роботі запропоновано новий метод мультикласової сегментації аерокосмічних зображень високого просторового розрізнення на основі CNN та генерації масок та реалізовано мережу, що складається з окремих мереж одного класу. Семантичні ознаки використовуються для зменшення помилок семантичного рівня контуру. Оскільки незалежний тест виявив деякі недоліки в певних класах земного покриття, подальші дослідження будуть присвячено питанням створення каталогу навчальних вибірок для підтримки успішної диференціації об'єктів. Загалом оцінки точності демонструють сучасні характеристики розробленої моделі, а також ефективність цієї комбінації мережі та наборів даних для тестових регіонів. Результати показують, що запропонований алгоритм може ефективно покращити загальну точність семантичної сегментації зображень дистанційного зондування високої роздільної здатності та скоротити загальний час навчання та час сегментації.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Hordiiuk, D. M., Hnatushenko, V. V. (2017). Neural network and local laplace filter methods applied to very high resolution remote sensing imagery in urban damage detection. 2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF).doi:10.1109/ysf.2017.8126648.
2. Mozgovoy Dmitriy, Hnatushenko Volodymyr, Vasyliiev Volodymyr. Accuracy evaluation of automated object recognition using multispectral aerial images and neural network. Proc. SPIE 10806, Tenth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2018), 108060H (9 August 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2502905>.
3. Brand A.K., Manandhar, A.: SEMANTIC SEGMENTATION OF BURNED AREAS IN SATELLITE IMAGES USING A U-NET-BASED CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLIII-B3-2021, 47–53, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-47-2021>, 2021.

4. Hnatushenko V., Zhernovyi V. (2020) Method of Improving Instance Segmentation for Very High Resolution Remote Sensing Imagery Using Deep Learning. In: Babichev S., Peleshko D., Vynokurova O. (eds) Data Stream Mining & Processing. DSMP 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1158. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_21
5. Hnatushenko Volodymyr, Zhernovyi Vadym, Udovik Iryna, Shevtsova Olga. Intelligent System for Building Separation on a Semantically Segmented Map. 2 International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security (IntelITSIS-2021) Khmelnytskyi, Ukraine. <http://ceur-ws.org/Vol-2853/keynote1.pdf>
6. Marushko E.E, Doudkin A.A, Zheng X. Identification of Earth's surface objects using ensembles of convolutional neural networks. Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics. 2021;2:114–123.
7. Simonyan, K., Zisserman, A. (2015). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. CoRR, abs/1409.1556.
8. Sandler M., Howard A., Zhu M., Zhmoginov A. and Chen L. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018, pp. 4510–4520, doi: 10.1109/CVPR.2018.00474.
9. Knapheide J., Stabernack B., Kuhnke M. A High Throughput MobileNetV2 FPGA Implementation Based on a Flexible Architecture for Depthwise Separable Convolution. 30th International Conference on Field-Programmable Logic and Applications (FPL), 2020, pp. 277–283, doi: 10.1109/FPL50879.2020.00053.

REFERENCES

1. Hordiiuk, D. M., Hnatushenko, V. V. (2017). Neural network and local laplace filter methods applied to very high resolution remote sensing imagery in urban damage detection. 2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF).doi:10.1109/ysf.2017.8126648.
2. Mozgovoy Dmitriy, Hnatushenko Volodymyr, Vasyliiev Volodymyr. Accuracy evaluation of automated object recognition using multispectral aerial images and neural network. Proc. SPIE 10806, Tenth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2018), 108060H (9 August 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2502905>.
3. Brand A.K., Manandhar, A.: SEMANTIC SEGMENTATION OF BURNED AREAS IN SATELLITE IMAGES USING A U-NET-BASED CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLIII-B3-2021, 47–53, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-47-2021>, 2021.

4. Hnatushenko V., Zhernovyi V. (2020) Method of Improving Instance Segmentation for Very High Resolution Remote Sensing Imagery Using Deep Learning. In: Babichev S., Peleshko D., Vynokurova O. (eds) Data Stream Mining & Processing. DSMP 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1158. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_21
5. Hnatushenko Volodymyr, Zhernovyi Vadym, Udovik Iryna, Shevtsova Olga. Intelligent System for Building Separation on a Semantically Segmented Map. 2 International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security (IntelITSIS-2021) Khmelnytskyi, Ukraine. <http://ceur-ws.org/Vol-2853/keynote1.pdf>
6. Marushko E.E, Doudkin A.A, Zheng X. Identification of Earth's surface objects using ensembles of convolutional neural networks. Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics. 2021;2:114–123.
7. Simonyan, K., Zisserman, A. (2015). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. CoRR, abs/1409.1556.
8. Sandler M., Howard A., Zhu M., Zhmoginov A. and Chen L. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018, pp. 4510-4520, doi: 10.1109/CVPR.2018.00474.
9. Knapheide J., Stabernack B., Kuhnke M. A High Throughput MobileNetV2 FPGA Implementation Based on a Flexible Architecture for Depthwise Separable Convolution. 30th International Conference on Field-Programmable Logic and Applications (FPL), 2020, pp. 277-283, doi: 10.1109/FPL50879.2020.00053.

Received 07.09.2021.
Accepted 10.09.2021.

Сегментация аэрокосмических изображений с использованием свёрточных нейронных сетей

В работе предложен новый метод сегментации аэрокосмических изображений высокого пространственного разрешения на основе свёрточных нейронных сетей и генерации масок. Реализована сеть, состоящая из отдельных сетей одного класса, работающих над расширением сегментации. Семантические признаки используются для уменьшения ошибок семантического уровня контура. Поскольку независимый тест выявил некоторые недостатки в определенных классах земной поверхности, дальнейшие исследования будут посвящены вопросам создания каталога обучающих выборок для поддержки успешной дифференциации объектов. В целом, полученные оценки точности демонстрируют современные характеристики разработанной модели, а также эффективность этой комбинации сети и наборов данных для тестовых регионов. Результаты показывают, что предложенный алгоритм может эффективно улучшить общую точность се-

мантической сегментации изображений дистанционного зондирования высокого пространственного разрешения и сократить время обучения сегментации.

Segmentation of aerospace images using convolutional neural networks

To solve practical problems, including for the management of territories, monitoring of emergencies, for the development of the ecology of our planet, for the study and ecological research of our planet, effective algorithms for the segmentation of multispectral images are needed. In recent years, image segmentation using convolutional neural networks has become very popular. A significant difference of this approach is the annotation of the assignment of each pixel to a particular class of objects, so that the learning process of such networks is completely controlled. *The paper proposes a new method for segmentation of aerospace images of high spatial resolution based on convolutional neural networks and mask generation. Our model is based on a combined U-Net network with MobileNetV2 as the backbone. It trains on ground data and provides a full prediction mask. A network has been implemented, consisting of separate networks of the same class, working on the expansion of segmentation. Semantic features are used to reduce errors at the semantic level of the outline. Since an independent test revealed some shortcomings in certain classes of the earth's surface, further research will be devoted to the creation of a catalog of training samples to support successful differentiation of objects. In general, the obtained accuracy estimates demonstrate the modern characteristics of the developed model, as well as the effectiveness of this combination of network and datasets for test regions. The results show that the proposed algorithm can effectively improve the overall accuracy of the semantic segmentation of high spatial resolution remote sensing images and reduce the training time and segmentation time.*

Гнатушенко Володимир Володимирович - д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Гнений Ігор Олексійович - аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Удовик Ірина Михайлівна - к.т.н., доцент, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Шевцова Ольга Сергіївна - аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Гнатушенко Владимир Владимирович - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и компьютерной инженерии национального технического университета «Днепропетровская политехника» (г. Днепр).

Гненний Игорь Алексеевич - аспирант кафедры программного обеспечения компьютерных систем национального технического университета "Днепро-ская политехника" (г. Днепр).

Удовик Ирина Михайловна - к.т.н., доцент, заведующий кафедрой программного обеспечения компьютерных систем национального технического университета "Днепро-ская политехника" (г. Днепр).

Шевцова Ольга Сергеевна - аспирант кафедры программного обеспечения компьютерных систем национального технического университета "Днепро-ская политехника" (г. Днепр).

Hnatushenko Volodymyr - doctor of technical science, professor, head of department of information technologies and computer engineering, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

Gnennyi Igor - post-graduate student of the department of software for computer systems, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

Udovyk Iryna - candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of software for computer systems, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

Shevtsova Olga - post-graduate student of the department of software for computer systems, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ МЕТОДІВ ПОШУКУ ОБЛИЧ НА МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ

Анотація. Все більша кількість застосунків використовує пошук облич безпосередньо на мобільних пристроях. Однак, фокусом сучасних досліджень за напрямком є підвищення якості пошуку, незважаючи на час роботи, що робить ряд цікавих та ефективних алгоритмів незастосовними у практичних сценаріях. У даній роботі розроблено адаптації п'яти «класичних» та нейромережових алгоритмів пошуку облич до виконання на мобільних пристроях. Проаналізовано час та якість роботи алгоритмів в залежності від ряду факторів (швидкості процесора мобільного пристрою, типового сценарію використання, тощо), показано неочевидну залежність часу виконання від змісту зображення. Сподіваємось, що наведені практичні рекомендації щодо використання алгоритмів поширять їх застосовність у мобільних застосунках та підштовхнуть подальший розвиток їх модифікацій.

Ключові слова: пошук облич, час виконання, мобільні пристрої, нейронні мережі, крайові обчислення.

Постановка проблеми. Попередньо було показано значущість швидкої роботи алгоритмів пошуку облич на мобільних пристроях для практичних застосунків [1] таких, як відстежування сонливості водія під час керування, визначення емоцій або системи контролю доступу [2]. Однак, загальним фокусом сучасних робіт є підвищення якості, незважаючи на час роботи, що робить багато новітніх якісних розробок незастосовними у практичних сценаріях.

В даній роботі: 1) проведено адаптацію низки «класичних» та нейромережових алгоритмів пошуку облич для мобільних пристроїв; 2) проаналізовано якість та час виконання таких алгоритмів в залежності від ряду факторів; 3) показано неочевидну закономірність, що час виконання ряду алгоритмів залежить від змісту зображення (кількість облич, чи вони великі або маленькі). Завдяки цьому аналізу, буде зроблено рекомендації щодо того, які алгоритми слід використовувати в залежності від швидкості процесора мобільного пристрою та типового сценарію використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для початку коротко розглянемо вже усталені методи пошуку облич. Першим з таких методів є **каскадний класифікатор облич Хаара** [3], також відомий як метод Віоли-Джонса. Для свого часу цей метод пропонував краще співвідношення якості та часу. Автори запропонували швидкий метод обчислення фільтрів Хаару, на основі яких алгоритм градієнтного бустінгу AdaBoost передбачає належність кожного із регіонів зображення до класів «обличчя» чи «не обличчя». Каскадна архітектура дозволяє витратити більше часу на регіони, схожі на обличчя, та швидко відкидати частини зображення, що не є обличчям. Метод пошуку облич на основі **локальних бінарних шаблонів (LBP)** продовжує ідею Віоли та Джонса, але використовує LBP ознаки, що є ще простішими до обчислення. Як правило, цей алгоритм працює швидше, але дещо гірше попереднього. Загальнодоступні реалізації обох алгоритмів можна знайти в бібліотеці OpenCV [4]. Метод на основі **гістограми орієнтовних градієнтів (HOG)**, початково запропонований в [5] для пошуку людей та пізніше адаптований до пошуку облич. В цьому методі HOG дескриптори поєднуються із SVM класифікатором. Даний алгоритм реалізовано в [6].

Тепер більш детально розглянемо сучасні нейромережеві методи пошуку облич. Multi-task Cascaded Convolutional Networks (**MTCNN**) [7] – це перший із обраних для подальших досліджень методів, що заснований на нейронних мережах. Згідно авторам, кращу якість навчання можна отримати, якщо навчати нейронну мережу відразу декільком задачам: 1) пошук рамок облич; 2) передбачення вірогідності, що кожна з рамок містить обличчя; 3) виділення п'яти ключових точок обличчя, таких як: очі, кінчик носу, кути рота. Також замість однієї нейронної мережі авторами запропоновано 3, які виконуються одна після іншої, а саме: 1) мережа пропозицій (P-Net) – швидка мережа, що опрацьовує подане зображення у декількох масштабах; 2) мережа уточнення (R-Net); 3) мережа виводу (O-Net). Останні дві мережі опрацьовують передбачення, отримані із попереднього кроку, та відфільтровують або уточнюють їх. Для фільтрації передбачень використовується так званий алгоритм подавлення немаксимумів (NMS). Слід зауважити, що для багатьох методів роботи із обличчями передбачається вирівнювання обличчя (коли необхідно повернути зображення так, щоб очі були розташовані горизонтально). Для таких випадків ключових точок, передбачених алгоритмом MTCNN, буде достатньо. А, отже, додатковий час на пошук ключових точок іншими алгоритмами не витратиметься.

BlazeFace [8] – новітня розробка для пошуку облич, єдина з розглянутих, яку було спеціально розроблено для мобільних пристроїв. Авторами було взято за основу відомому архітектурі для пошуку довільних об'єктів SSD [9] із підмережею MobileNetV2 [10]. Незважаючи на те, що MobileNetV2 – це мережа, орієнтована на мобільні пристрої, автори помітили, що ускладнення так званих Bottleneck блоків (основних будівних блоків мережі MobileNetV2) одночасно із зменшенням їх кількості має переваги за відношенням часу до якості. Новий блок було названо BlazeBlock. Наступним кроком було спрощення архітектури SSD саме для пошуку облич, прибравши модулі, що не додавали якості саме для цієї задачі. І на останок було помічено, що алгоритм NMS (який було використано і в MTCNN) дає помітні «стрибки» у передбаченнях рамок обличчя на сусідніх кадрах, що може зменшувати практичну застосовність алгоритму на відео. Для вирішення проблеми, було запропоновано окремий невеличкий модуль регресії, що значно стабілізує передбачення. Окрім облич, даний алгоритм також передбачає ключові точки (у даному випадку це: очі, вуха, центр рота, кінчик носу). Слід зауважити, що незважаючи на значні нововведення даного алгоритму, авторами не було порівняно його із альтернативними методами. Крім того, навчання відбувалось на закритому наборі даних. У даній роботі таке порівняння буде виконано. Також на відміну від розглянутих алгоритмів, BlazeFace працює не із зображеннями довільного розміру, а має дві фіксовані модифікації: для фотографій на передню камеру із роздільною здатністю 128x128 та на задню – 256x256. Авторами було запропоновано саме 2 різні мережі, оскільки для передньої камери типовим досить великі обличчя, а для задньої вони, як правило, малі.

Метою даної роботи є розробка мобільних адаптацій описаних алгоритмів, аналіз якості та часу їх виконання, а також надання практичних рекомендацій щодо їх застосування.

Основна частина. Для проведення експериментів нами було розроблено мобільний застосунок для операційної системи Android для пошуку облич (рис. 1). У меню конфігурації передбачено широкий спектр налаштувань (рис. 1, б). Першим є роздільна здатність зображення, що подається до алгоритму пошуку облич. Тут є і типові значення для виконання алгоритмів: 128x128, 256x256, 480x360, 640x480; й наднизькі: 32x32, 64x64 – що дозволить проаналізувати, чи є алгоритми здатними до роботи із зображеннями із дуже малою деталізацією. Наступним пунктом є конфігурація моделі, де можна обрати алгоритм пошуку облич, та чи хочемо ми отримувати з нього інформацію про ключові точки обличчя.

чові точки (якщо вона наявна). Далі доступна конфігурація діагностики, яка відображається під час виконання алгоритму у таблиці згори (рис. 1, а). Діагностика може відображатися у вигляді середнього та вибіркової середньоквадратичного відхилення, розрахованого за заданий проміжок часу, або ж у вигляді масиву спостережень із окремими значеннями часу роботи алгоритмів.

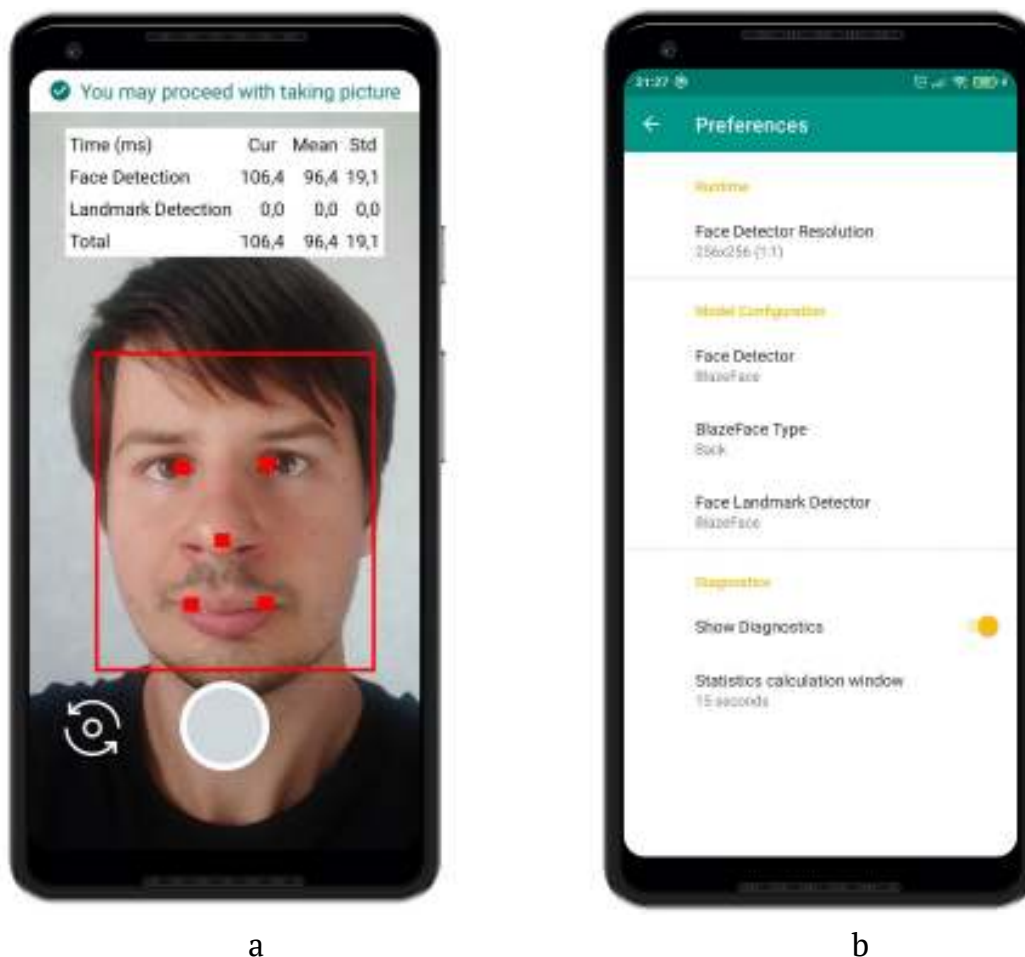


Рисунок 1 – Інтерфейс мобільного застосунку: а – пошук обличчя та ключових точок; б – панель налаштувань

Маючи на увазі операційну систему Android, у якості апаратної платформи нами було відібрано 2 смартфони із процесорами компанії Qualcomm серії Snapdragon. Процесори даної серії широко представлені на ринку, а отже, проведені нами експерименти будуть затребувані та легко відтворювані. Перший процесор – Snapdragon 800 – це флагманський процесор 2013-го року випуску. Враховуючи зріст швидкості роботи процесорів, станом на 2021-й рік такий процесор виступає на рівному із процесорами нижнього цінового сегменту. Другий процесор – Snapdragon 845 – флагманський процесор 2018-го року.

Шляхом проведення експериментів на ньому ми покриваємо сучасний верхній ціновий сегмент.

Кожен із представлених алгоритмів буде оцінено за трьома критеріями: 1) час виконання алгоритму на мобільному пристрою за заданих налаштувань та процесора; 2) успішність пошуку облич на одному із тестових сценаріїв; 3) візуальні особливості передбачень алгоритму, такі як нестабільність («тремтіння») передбачення на відео.

Експерименти. Перший експеримент було проведено з метою оцінки середнього часу виконання алгоритмів для обох процесорів, а також вибіркового середньоквадратичного відхилення часу передбачень. В табл. 1 показано результати експерименту для зображень із роздільною здатністю 256x256. Загалом, на більш старому процесорі алгоритми виконуються у 2,13 – 5,64 разів довше. Цікавість викликає той факт, що відносний зріст часу для нейромережевих алгоритмів є меншим, ніж для «класичних», незважаючи на те, що нейромережеві алгоритми є обчислювально більш складними. Це призвело до того, що, наприклад, каскади Хаара почали виконуватись довше, ніж нейромережеві алгоритми, хоча на Snapdragon 845 каскади Хаара виконувались швидше.

Таблиця 1

Швидкість виконання алгоритмів на мобільних процесорах.

μ - середнє, sd – вибіркове середньоквадратичне відхилення

Алгоритм	Snapdragon 845		Snapdragon 800		Швидше (разів)
	μ (мс)	sd	μ (мс)	sd	
MTCNN	98,9	24,1	210,3	100,4	2,13
BlazeFace	83,0	18,8	253,2	57,4	3,05
LBP	14,5	4,2	72,8	19,0	5,02
HAAR	71,2	7,2	401,8	87,6	5,64
HOG	25,2	4,0	90,6	28,1	3,60

Попередньо було відмічено, що більшість відібраних алгоритмів можуть виконуватись на зображеннях із різною роздільною здатністю. На рис. 2 показано час виконання в залежності від розміру вхідного зображення для процесора Snapdragon 845, а на рис. 3 – для Snapdragon 800. Рожевою горизонтальною лінією позначено орієнтир виконання алгоритмів у реальному часі (25 кадрів на секунду). Зауважимо, що оскільки для BlazeFace є дві моделі із різною архітектурою: для зображень, що сфотографовано на фронтальну камеру і мають

розмір 128x128 (авторами зазначено, що обличчя на таких знімках, зазвичай, досить великі), та для зображень на задню камеру (де обличчя менші) та розміру 256x256, результати між цими двома експериментами інтерполювати не можна, тому заміри на рис. 2, 3 показані окремими точками, а проміжні значення не мають сенсу.

Із рис. 2, 3 можна зробити висновок, що алгоритм на основі каскадів Хаару у всіх сценаріях працює досить повільно. Інші ж алгоритми можуть виконуватись достатньо швидко для зображень 128x128 або у деяких випадках (LBP, HOG) 256x256 на новому процесорі, та лише деякі з них (BlazeFace, LBP, HOG) для зображень не більше 128x128 на старому.

Як було показано, не всі алгоритми є застосовними (за часових обмежень) для зображень великого розміру. Однак, нами не було вказано, як залежить якість розпізнавання від розміру зображення. Оскільки алгоритми, що представлено в даній роботі, було навчено на різних наборах даних, тестування буде проведено для нашого цільового сценарію, а саме мобільного застосування у системі контролю доступу [2].

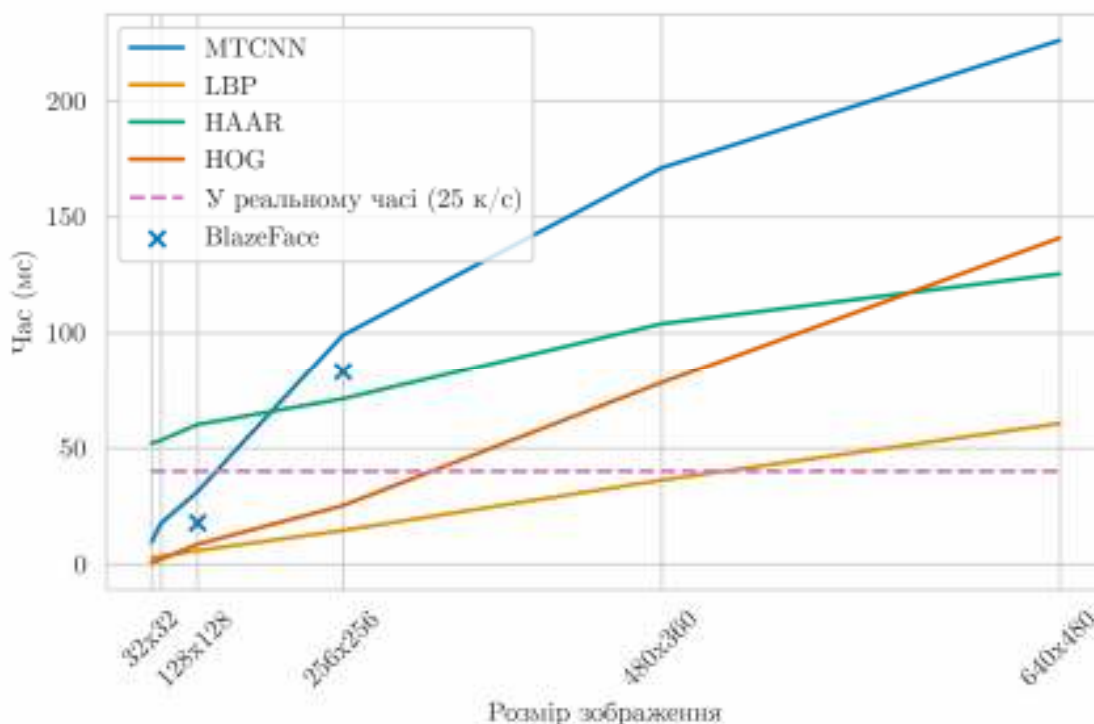


Рисунок 2 – Залежність часу виконання алгоритмів від розміру вхідного зображення для процесора Snapdragon 845

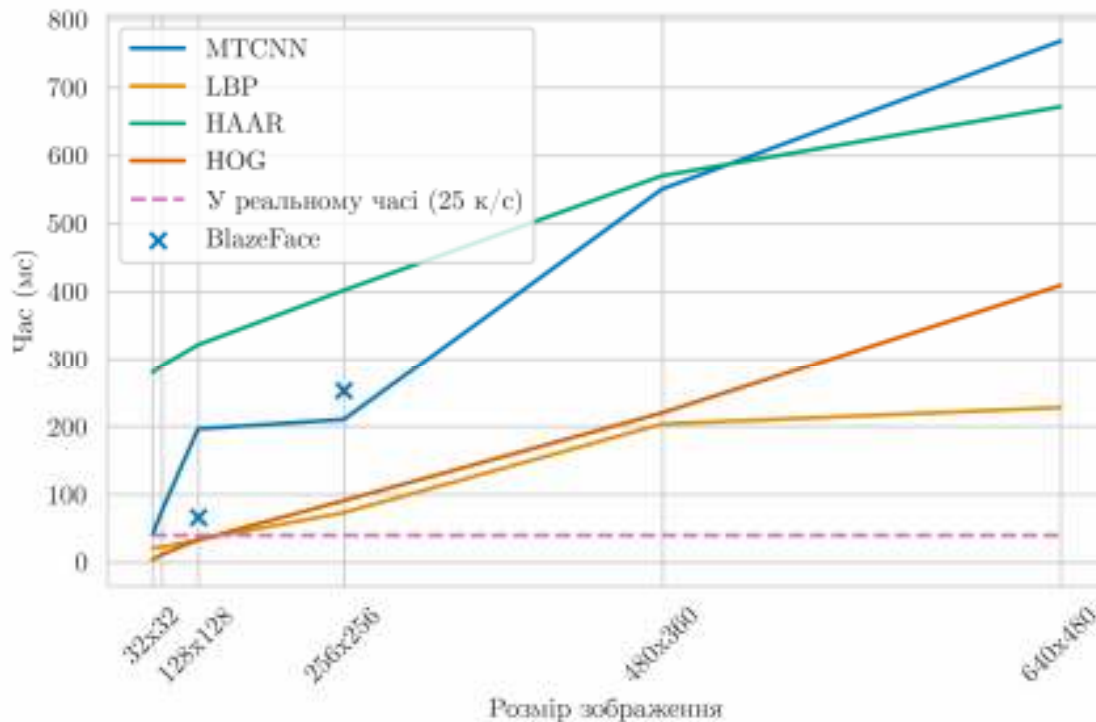


Рисунок 3 – Залежність часу виконання алгоритмів від розміру вхідного зображення для процесора Snapdragon 800

Отже, у другому експерименті кожному із алгоритмів ми виставлятимемо оцінку від нуля до трьох по одному балу за: 1) на знімку, що не містить облич, алгоритм не знаходить неіснуючі обличчя; 2) алгоритм знаходить одне велике обличчя, що присутнє на знімку; 3) алгоритм знаходить обидва невеличкі обличчя. Результати тестування показано на рис. 4, де зеленим кольором показане успішне виконання усіх сценаріїв, а жовтим і червоним – двох і одного відповідно. Зауважимо, що в нашому тестовому середовищі жоден із алгоритмів не передбачував обличчя на порожньому (майже білому знімку), отже кожен із алгоритмів отримав якнайменше один бал.

Візуальні зауваження алгоритмам. Каскади Хаара: на зображеннях розміру 480x360 і вище даний алгоритм знаходить неіснуючі обличчя, в більшості випадків такі «обличчя» то з'являються, то зникають на сусідніх кадрах тестових сценаріїв. LBP: на зображеннях розміру 256x256 або менше алгоритм не знаходить одне або обидва обличчя. HOG: досить якісно знаходить обличчя для знімків 256x256 або вище. MTCNN: знаходить велике обличчя навіть на знімках 32x32, що робить його найбільш адаптивним серед обраних. BlazeFace має дві фіксовані конфігурації та на обох відпрацьовує відмінно. Також слід зауважи-

ти, що завдяки розробленому модулю регресії, що стабілізує передбачення, «тремтіння» рамки обличчя на сусідніх кадрах майже відсутнє.

Розмір зображення	32x32		1	1	1	2
	64x64		1	1	1	2
	128x128	3	3	2	2	3
	256x256	3	3	3	2	3
	480x360		3	3	3	3
	640x480		3	3	3	3
		BlazeFace	HAAR	HOG	LBP	MTCNN
		Алгоритм				

Рисунок 4 – Оцінка роботи алгоритмів на тестових сценаріях

В табл. 1 нами було помічено, що стандартне відхилення для різних алгоритмів суттєво відрізняється – цікаво зрозуміти таку поведінку. На рис. 5 показано час виконання кожного із алгоритмів в залежності від тестової сцени. Можна побачити, що для усіх каскадних алгоритмів, а саме: MTCNN, каскади Хаара, LBP наявний суттєвий зріст часу виконання алгоритму в залежності від типу сцени, тобто алгоритм «економить» час на обробці зображень, що не містять регіонів, схожих на обличчя. Така особливість алгоритмів корелює із тим, як працює мозок людини – ми витрачаємо значно менше часу на розпізнавання зображень із знайомими нам об'єктами, ніж із чимось невідомим або нечітким. Також цікаве те, що найсучасніший із обраних алгоритмів – BlazeFace – майже не має залежності від часу для моделі BlazeFace (front) та має обернену залежність для BlazeFace (back). Тобто коли кадр не містить облич, алгоритм витрачає більше часу на їх більш детальний пошук, аніж, коли наявне хоча б одне обличчя. Така відмінність робить цей алгоритм менш застосовним через вищу обчислювальну складність у випадках, коли більшість кадрів не буде містити обличчя.

Вдячності. Автор виражає вдячність Коряшкіній Ларисі Сергіївні к.ф.-м.н., доценту Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за плідну дискусію роботи та корисні зауваження. Роботу виконано у рамках державної бюджетної тематики за номером: 0121U109787.

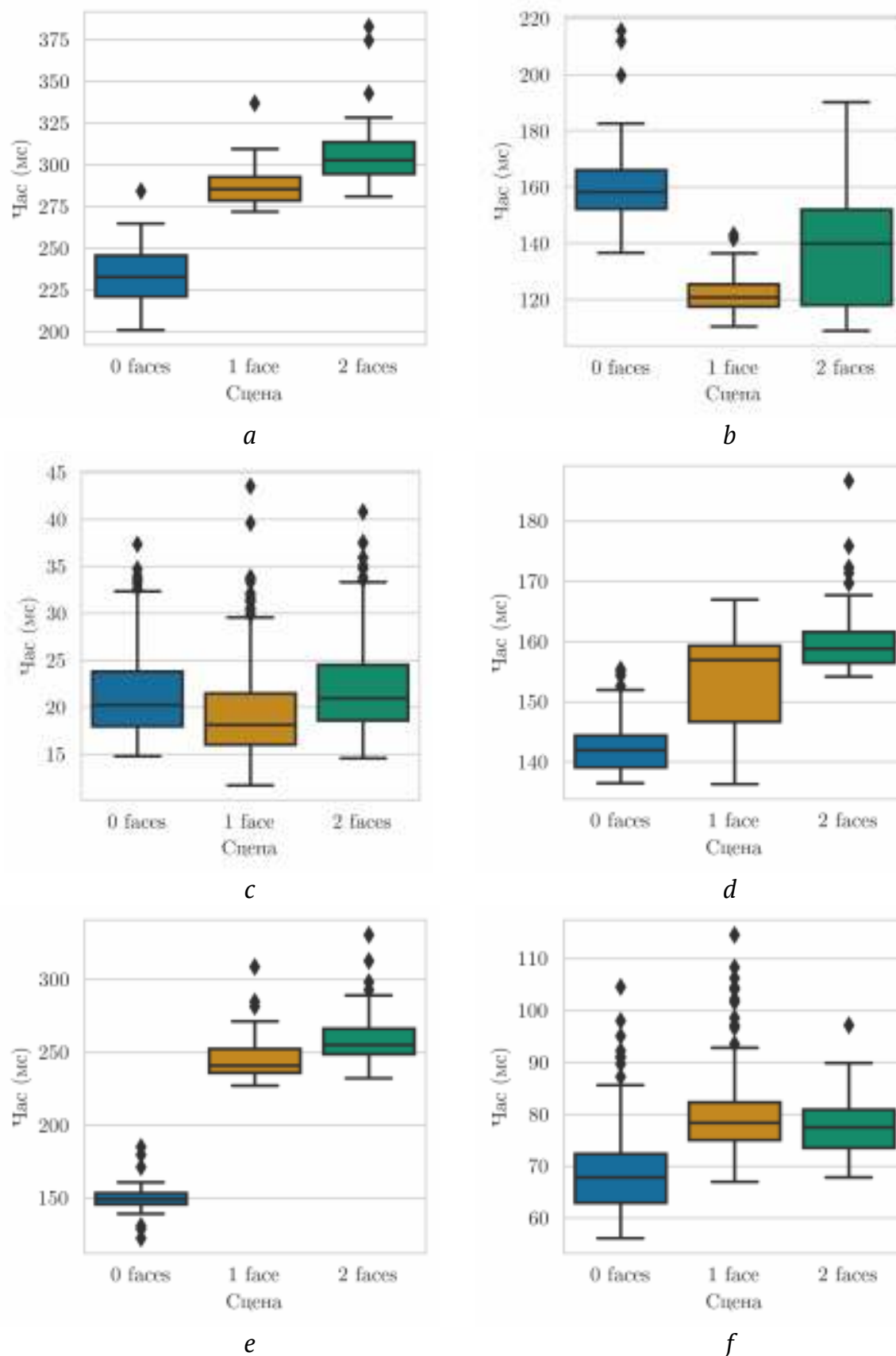


Рисунок 5 – Час виконання: *a* – MTCNN, *b* – BlazeFace (back),
c – BlazeFace (front), *d* – HOG, *e* – каскади Хаара, *f* – LBP

Висновки. В даній роботі було розроблено мобільні адаптації для 5 алгоритмів пошуку облич. З проведеного аналізу можна зробити висновок, що для практичного застосування найкращими є: 1) BlazeFace, який має стабільні та точні передбачення, однак, метод приймає на вхід зображення лише двох фіксованих розмірів, нетиповим є і більший час виконання для порожніх картинок порівняно із зображеннями з обличчями; 2) MTCNN економить обчислювальні ресурси, коли облич немає, та є найбільш адаптивним до різних розмірів вхідних зображень; 3) якщо ж найбільше значення має час виконання, то може бути використаний метод на основі HOG дескрипторів. Також в роботі було показано, що використання каскадів із детекторів дозволяє адаптивно змінювати час виконання методів в залежності від складності та змісту зображення. Автор сподівається, що отримані нові практичні результати поширять використання описаних методів у мобільних застосунках та підштовхнуть подальший розвиток їх модифікацій.

REFERENCES

1. Khabarлак K. Fast Facial Landmark Detection and Applications: A Survey / K. Khabarлак, L. Koriashkina // arXiv:2101.10808 [cs]. – 2021.
2. Khabarлак K.S. Mobile Access Control System Based on RFID Tags and Facial Information / K.S. Khabarлак, L.S. Koriashkina // Bulletin of National Technical University “KhPI”. Series: System Analysis, Control and Information Technologies. – 2020. – № 2 (4). – P. 69-74.
3. Viola P. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features / P. Viola, M. Jones // Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001. – 2001. – Vol. 1. – P. I-I.
4. Bradski G. The OpenCV Library / G. Bradski // Dr. Dobb’s Journal of Software Tools. – 2000.
5. Dalal N. Histograms of oriented gradients for human detection / N. Dalal, B. Triggs // 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR’05). – 2005. – Vol. 1. – P. 886-893 vol. 1.
6. King D.E. Dlib-ml: A Machine Learning Toolkit / D.E. King // Journal of Machine Learning Research. – 2009. – Vol. 10. – P. 1755-1758.
7. Joint Face Detection and Alignment Using Multitask Cascaded Convolutional Networks / K. Zhang [et al.] // IEEE Signal Processing Letters. – 2016. – Vol. 23. – № 10. – P. 1499-1503.
8. BlazeFace: Sub-millisecond Neural Face Detection on Mobile GPUs / V. Bazarevsky [et al.] // arXiv:1907.05047 [cs]. – 2019.

9. SSD: Single Shot MultiBox Detector / W. Liu [et al.] // Computer Vision – ECCV 2016. – Cham: Springer International Publishing, 2016. – P. 21-37.
10. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks / M. Sandler [et al.] // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2018. – P. 4510-4520.

Received 11.09.2021.

Accepted 20.09.2021.

Особенности работы методов поиска лиц на мобильных устройствах

Всё большее количество приложений использует поиск лиц непосредственно на мобильных устройствах. Однако, фокусом современных исследований по направлению является увеличение качества поиска, вне зависимости от времени работы, что делает ряд интересных и эффективных алгоритмов неприменимыми в практических сценариях. В данной работе разработано адаптации 5 «классических» и нейросетевых алгоритмов поиска лиц для выполнения на мобильных устройствах. Проанализировано время и качество работы алгоритмов в зависимости от ряда факторов (скорости процессора мобильного устройства, типичного сценария использования, и др.), показано неочевидную зависимость времени выполнения от содержимого изображения. Надеемся, что приведенные практические рекомендации касательно использования алгоритмов увеличат их применимость в мобильных приложениях и подтолкнут дальнейшее развитие их модификаций.

Mobile Face Detection Algorithm Inference Traits

An ever-growing number of applications uses mobile face detection. However, most of the modern research papers focus on increasing detection quality while paying no attention to detection time. This means that many of the state-of-the-art algorithms are inapplicable on mobile due to excessively large detection time.

The goal of this this paper is to adapt 5 of the face detection algorithms for inference on mobile devices and analyze their performance characteristics. These algorithms include established methods: Haar Cascades, LBP, HOG, as well as, novel neural-network-based algorithms: MTCNN, BlazeFace.

The main research material. We conduct the experiments on three scenes typical for mobile face recognition systems: when there are no faces, 1 or 2 faces. For testing we have implemented an Android application. 2 widespread processors, namely Snapdragon 800 and 845, were selected for time measurements. Having tested the algorithms, we note that all them can run at real-time speeds for images of size 128x128 and only 2 of them (LBP, HOG) on 256x256 on the faster Snapdragon 845. On the slower Snapdragon 800 only BlazeFace, LBP, HOG can run at resolutions not higher than 128x128. We suggest not using Haar or LBP cascades in practice as their accuracy is quite low.

Conclusions. Based on the research conducted, we suggest that for the practical use-cases the best algorithms are: 1) BlazeFace, which has stable and accurate predictions, however, the method accepts only two image resolutions as input, in addition, higher inference time for empty

images than for images with faces is untypical; 2) MTCNN, thanks to the cascaded architecture, conserves the resources when input frames have no faces. This algorithm is also the most adaptive and can run at resolutions as low as 32x32 given that the faces are quite large; 3) in case if inference time is of the most importance, we suggest using HOG-based algorithm. In this paper we have also shown that cascaded algorithm architecture dynamically changes execution time depending on image content and its complexity, which follows how we, humans, think. We hope that the novel practical results obtained, will increase the use of the above-described methods in mobile applications and will boost the development of the algorithm modifications.

Хабарлак Костянтин Сергійович – аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна.

Хабарлак Константин Сергеевич – аспірант, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Украина.

Kostiantyn Khabarlak – Postgraduate student, Dnipro University of Technology, Ukraine.

FORMATION OF A SET OF INFORMATIVE FEATURES WHEN DECIDING PROBLEMS OF PREDICTING THE DURABILITY OF STRUCTURES

Annotation. The paper proposes a method for extracting informative features for the training sample in the problems of predicting the durability of corroding structures. The work aims to analyze and evaluate the informative features that improve the quality of the data and to structure them. Kendall's method is used to determine the value of each trait. It is proposed to use the training sample to work with a neural network or to build a fuzzy knowledge base only after the formation of a set of information attributes on their value.

Keywords: information features, extraction and formation of information features, Kendall's method

1. Introduction. Working with multidimensional data sets requires preliminary processing and analysis. This is due to many reasons, including the need to lower the dimension of space; identification of informative signs and their assessment; identification of abnormal or noisy elements in samples. These factors are generally aimed at improving the quality of data, at the same time, the extraction of informative features (IF) allows them to be structured [1, 2, 7, 8, 10].

The formation of a set of IF makes it possible to somewhat rank the variables of the set under consideration. As a rule, the features that may be insignificant or not too significant may be duplicated and/or even noisy. Therefore, the process of identifying and forming a set of information features when working with multidimensional data in any subject area can hardly be overestimated [13].

2. The problem. The work will consider a training sample, which has been repeatedly used in training neural networks of different types in the tasks of predicting the durability of corroding structures (CS) [4, 11]. However, for the first time, it is proposed to consider the informative features of these data and evaluate them.

This approach can be useful both for training neural networks of various architectures [5, 6], and for clustering (clear or fuzzy [4, 9, 11]), and for building a knowledge base when solving problems of this class.

Prediction of the durability of the CS (direct problem) is an integral part of the problem of optimal design of corrosive structures, in which the direct problem acts as the constraint functions (CF) of the inverse problem. The optimization problem statement is formulated and known [3, 11, 12]. Both problems describe the process of modeling the behavior of complex nonlinear dynamic systems that operate in an aggressive environment. Problems of increasing the efficiency of computational methods of such systems occupy a special place.

There are enough works devoted to these problems because the reduction of computational costs of direct and inverse problems is interconnected. The author thinks it expedient to formulate a sequence of problematic aspects that are interrelated and lead to a change in computational costs when solving this class of problems.

When setting the problem of predicting the durability, the CS is described by a set of independent parameters, each of which is characterized by a numerical value. The structure operates in an aggressive working environment that causes corrosive wear, which leads to a change in its initial geometric dimensions. At the same time, the structure must maintain its bearing capacity, that is, satisfy the limitations in strength and stability. The solution to the problem of predicting the resource of corroding structures involves determining the value of the durability of the system, during which it will function without failure.

In general, the mathematical formulation of the problem of predicting durability can be written as follows:

$$t^* = \min\{t_i\}; \quad i = \overline{1, N}. \quad (1)$$

Here t_i is the durability of the i -th structural element, determined by the conditions of strength and stability:

$$\begin{cases} [\sigma] - \sigma_i(t, v_0) = 0; & i = \overline{1, N} \\ \sigma_j^*(t) - \sigma_j(t, v_0) = 0; & j \in J \end{cases}, \quad (2)$$

Where $[\sigma]$ is permissible stress; $\sigma_i(t)$ is stress in i -th element; σ_j^* is critical buckling stress; v_0 is a corrosion rate in the absence of stresses; J is a set of compression elements; N is the number of elements in the system; t^* is definable durability.

There are a large number of mathematical models to describe corrosive wear, which makes it problematic to build a unified approach to solving the problem. Note

that the following assumptions are made for the considered corrosion process: 1) corrosion occurs by an electrochemical mechanism and consists of the spontaneous destruction of the metal in the electrolyte; 2) there is a case of general corrosion, the mechanism of which is described for the entire surface of the structure; 3) irregularity of corrosion is determined by the degree of inhomogeneity of the stress field over the area of the structure.

The paper proposes to use Dolinsky's model:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = v_0 [1 + k \sigma_{eq}], \quad (3)$$

Where σ_{eq} is the absolute value of the equivalent voltage; $k = 0.003 \text{ MPa}^{-1}$ is a coefficient taking into account the effect of stresses on the rate of the corrosion process; where $\bar{\delta}$ is a vector of depths of corrosion of all elements.

As noted in the works [3, 4, 11, 12] the solution of this system of differential equations is possible only numerically, since its right-hand sides are computational algorithms. The stresses in the right-hand sides (3) are calculated using the equations of mechanics of a deformed solid: systems of equations of equilibrium and compatibility of deformations, Cauchy relations, and physical relations (for elastic bodies - Hooke's law). Consequently, the choice of the parameters of the numerical procedures will significantly affect the error of the result obtained. With a decrease in the integration step, it is possible to achieve greater accuracy, but this will negatively affect the computational efficiency of the algorithm.

3. Analysis of requirements. Obviously, concerning the error of the obtained solution ε for the inverse problem, the following options are possible $D = D_1 \cup D_2 \supset D_3$:

1) the first subset of points of the solution space D_1 , for which the error in calculating the CF will exceed the maximum permissible ε^* : $\varepsilon > \varepsilon^*$;

2) the second subset of points D_2 for which the error is less than the permissible $\varepsilon < \varepsilon^*$;

3) the third subset D_3 , the power of which is incomparably less than the two previous ones, for which the error in calculating the CF turns out to be within the permissible value, that is, in a certain neighborhood γ : $|\varepsilon - \varepsilon^*| \leq \gamma$, which can be considered as.

In the latter case, the conditions for the accuracy and efficiency of the computational algorithm are satisfied. It is obvious that the desired set of the solution space, which does not lead to excessive computational costs and satisfies $D \approx D_3$. If

the desired error of the numerical solution is given in advance, then such an approach requires a certain module for controlling the accuracy of the numerical result for a given error $[\varepsilon]$. The problem statement is formulated:

$$\begin{cases} h_t(\varepsilon, \bar{c}) \rightarrow \max \\ \varepsilon(\bar{c}, h_t) \leq [\varepsilon] \end{cases} \quad (4)$$

Here $\bar{c} = \{v_0, k, \sigma_0, A_0, P_0\}$ is a vector of factors influencing the value of the integration step h_t ; where σ_0 is initial stress; A_0, P_0 are geometric characteristics of structural elements (area and perimeter, respectively).

Since the direct problem has been solved several times, therefore, there are quite large amounts of data that are of an unordered nature. The author believes that if we carry out a preliminary analysis of them, which consists of extracting information about each feature, then it is possible to structure them in a certain way and, according to the author, influence the efficiency of the computational algorithm. This is the purpose of this work. Let us formulate the formulation of the problem of forming a set of information features based on their value for the class of problems under consideration.

Let us have input data in the form of a matrix $C = \{v_{0i}, \sigma_{0i}, A_{0i}, P_{0i}, [\varepsilon]\}$, $i = \overline{1, N}$, where N is the sample size. It is necessary, using clustering methods, to arrange the features in descending order of their informativeness. Since quantitative features are considered in the work, it is possible to use either the distance matrix approximation method or the Kendall method to solve the problem. It is the latter that will be considered.

For each characteristic, the following steps must be performed:

1. Construct a frequency matrix for each feature $C = \{v_{0i}, \sigma_{0i}, A_{0i}, P_{0i}, [\varepsilon]\}$, here $i = \overline{1, N}$.
2. Find the change interval of the characteristic values, which is common for all clusters.
3. Calculate Inf_j ($j = 1 \div 5$ is a number of features) as the number of objects of all classes, the values of which for a particular feature did not fall into the joint interval.

Further, the features are ordered in descending order Inf_j , which corresponds to their ranking of decreasing individual value. The quantities Inf_j ($j = 1 \div 5$) can be considered as weights of features: the larger the value of Inf_j , the more significant it is, and, therefore, more objects can be recognized by this feature. Therefore, this feature is more informative.

As you know, when the number of classes is more than two, Kendall's method is applied to each pair of classes, and the weights obtained are averaged over the number of pairs [7].

4. Results of numerical experiments. Let there be a sample of volume $N = 5000$ samples, which is characterized by the following features $C = \{v_{0i}, \sigma_{0i}, A_{0i}, P_{0i}, [\varepsilon]\}$. Based on the results of observations of objects using fuzzy clustering [4], five clusters are considered, which are considered hereinafter as class labels. We have a degeneration of the clustering problem into a classification problem. According to the steps described above, frequency matrices are built for each feature: corrosion rate, initial stresses, and geometric characteristics of structural elements (area and perimeter, respectively), errors.

The paper proposes to average the obtained weights not for each pair of classes, but for all at the same time. This approach presupposes more stringent requirements, however, according to the author, this allows taking into account the individual value of each trait for all classes at the same time.

The results of numerical experiments are shown in Table 1.

Here are informative signs: Inf_1 is for corrosion rate v_0 ; Inf_2 is for the informative sign for initial stresses σ_0 ; Inf_3 is for area A_0 ; Inf_4 is for the perimeter of the cross-section of the structural element P_0 ; Inf_5 is for a given error $[\varepsilon]$.

Table 1

Results of numerical experiments

Informative features for elements of the training sample				
Inf_1	Inf_2	Inf_3	Inf_4	Inf_5
0.7198	1,000	0.9936	0.9936	0.9698

Next, you can build informative features according to their value. The results obtained indicate that the least informative feature is the corrosion rate, and the most informative feature is the initial stresses. Therefore, it can be concluded that for the further use of the training sample, for example, when training neural networks [11] or for classification [4], attention should be paid to the least informative feature. It is possible, of course, to exclude it and not be considered as an input parameter when determining the parameters of numerical procedures. On the other hand, v_0 - is a parameter of an aggressive environment that makes a significant contribution to the operation of the structure. Therefore, according to the author, here the problem can be solved by reducing the number of classes for this input variable.

5. Results. The approach considered in the work allows you to streamline the features and extract information about the information content of each of them. This will allow, during further work with training samples, to structure the data and improve the quality of their further use.

REFERENCES

1. Dy J.G. Feature Selection for Unsupervised Learning /J.G. Dy, C.E. Brodley //J. of Machine Learning Research. – 2004. – Vol. 5. – P. 845–889.
2. Kolesnikova S.I. Metody analiza informativnosti raznotipnyh priznakov [Methods for analyzing the informativeness of different types of signs] /S.I. Kolesnikova// Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika. – 2009. - № 1(6), Obrabotka informacii. – S. 69-80. (in Russian)
3. Korotka L.I, Zelentsov D.G. Method of solving optimal design problems based on flexible tolerance strategy / L.I. Korotka, D.G. Zelentsov // International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation. – 2020. – Vol.10, No.3. – pp. 255-269. DOI: 10.1504/IJMMNO.2020.108613
4. Korotka L.I. The use of fuzzy clustering in solving problem in predicting the durability of corrosive structures/ L.I. Korotka // Mathematical modeling. – 2020. – №2(43). C. 44-54. DOI: 10.31319/2519-8106.2(43)2020.219266
5. Levkin D.A., Berezhna N.H., Makarov O.A., Kutia O.V. Matematychni modeliuvannia tekhnichnykh system [Mathematical modeling of technical systems] /D.A. Levkin, N.H. Berezhna, O.A. Makarov, O.V. Kutia// Vcheni zapysky Tavriiskoho Natsionalnoho Universytetu imeni V.I. Vernadskoho. – 2021. – Vol. 32, Issue 71. – S. 98-102. (in Ukrainian)
6. Lohvin A.O. Typy heneratyvnykh neironnykh merezh [Types of generative neural networks]/ A.O Lohvin // Informatyka, obchysliuvalna tehnika ta avtomatyzatsiia: Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriia: Tekhnichni nauky. – 2021. – C. 103-109. DOI: 10.32838/2663-5941/2021.1-1/17 (in Ukrainian)
7. Matsuha, O.M. Informatsiini tekhnolohii rozpoznavannia obraziv: Navchalnyi posibnyk do vyvchennia kursu ["Information technologies of pattern recognition"] /O.M. Matsuha, Yu.M. Arkhanhelska, N.M. Yereshchenko. – D.:RVV DNU, 2016.–60s. (in Ukrainian)
8. Paklin N.B. Biznes-analitika: ot dannyh k znaniyam: ucheb. posobie [Business analytics: from data to knowledge: textbook. Allowance] /N.B. Paklin, V.I. Oreshkov. – SPb: Piter, 2013. – 704 s. (in Russian)

9. Vjatchenin D.A. Nechetkie metody avtomaticheskoy klassifikacii [Fuzzy methods of automatic classification] /D.A. Vjatchenin. – Mn.: UP «Tehnoprint», 2004. – 219 s. (in Russian)
10. Zagorujko N.G. Prikladnye metody analiza dannyh i znaniy [Applied methods of data and knowledge analysis] /N.G. Zagorujko. – Novosibirsk: IM SO RAN, 1999. – 270 s. (in Russian)
11. Zelentsov D.G., Korotkaya L.I. Tehnologii vyichislitelnogo intellekta v zadachah modelirovaniya dinamicheskikh sistem: monografiya [Technologies of Computational Intelligence in Tasks of Dynamic Systems Modeling: Monograph] / D.G. Zelentsov, L.I. Korotkaya,. – Balans-Klub, Dnepr, 2018. – 178 p. DOI: 10.32434/mono-1-ZDG-KLI (in Russian)
12. Zelentsov D.G., Korotka L.I., Denysiuk O. R. The Method of Correction Functions in Problems of Optimization of Corroding Structures /D.G. Zelentsov, L.I. Korotka, O.R. Denysiuk// Advances in Computer Science for Engineering and Education III (ICCSEEA 2020), 2020. – pp 132-142. DOI: 10.1007/978-3-030-55506-1_12
13. Zelentsov D., Us S., Koryashkina L., Stanina O. Solving Continual Two-Stage Problems of Optimal Partition of Sets / D. Zelentsov, S. Us, L. Koryashkina, O. Stanina// International Journal of Research Studies in Computer Science and Engineering (IJRSCSE). 2017. – Volume 4, Issue №4. – P. 72-80.

Received 13.09.2021.

Accepted 15.09.2021.

Формування набору інформативних ознак

при розв'язанні задач прогнозування довговічності конструкцій

У роботі запропоновано спосіб здобуття інформативних ознак для навчальної вибірки у задачах прогнозування довговічності кородуючих конструкцій. Метою роботи є аналіз та оцінка інформативних ознак, які дозволяють покращити якість даних та структурувати їх. Для здобуття цінності кожної ознаки використовується метод Кендалла. Пропонується користуватися навчальною вибіркою для роботи з нейронними мережами або для побудови нечіткої бази знань тільки після формування набору інформативних ознак за їх індивідуальною цінністю.

Формирование набора информативных признаков

при решении задач прогнозирования долговечности конструкций

В работе предложен способ извлечения информативных признаков для обучающей выборки в задачах прогнозирования долговечности корродирующих конструкций. Целью работы является анализ и оценка информативных признаков, которые позволяют улучшить качество данных и структурировать их. Для определения ценности каждого признака используется метод Кендалла. Предлагается применять обучающую выборку для

работы с нейронной сетью или для построения нечеткой базы знаний только после формирования набора информационных признаков по их индивидуальной ценности.

Коротка Лариса Іванівна - к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет».

Короткая Лариса Ивановна - к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных систем ГБУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет».

Korotka Larysa Ivanivna - Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of Information Systems Ukrainian State University of Chemical Technology.

SEARCH ENGINES FOR VIDEO

Annotation. The article is devoted to an overview of search engines that process media files. The relevance of the work is due to the fact that more and more information in the Internet is represented not by text, but either images or video. The purpose of the study is to identify problems that affect the search engines work performance. The key points for any search engine are the form of saving the tag tags used in the search and the algorithms used for the search (these factors determine the speed of the search), as well as how accurately the tags characterize the video (this factor determines the accuracy of the search). We are primarily interested in the accuracy of constructing tags that describe video clips. To increase a system efficiency it is necessary to make a model that would simultaneously combine sound and images (i.e. combine information that was produced during analysis of both), regarding the history of sounds and images of the video and form logical connections with minimal information loss.

Key words: search engines, video analysis, tag building.

Introduction. The amount of video content in the World Wide Web actively grows, hence an ability to examine it effectively becomes severe. To find wishful information users undergo a long and exhausting search in the Internet, caused by software engines that provide more video records both that fill and unfill requirements. As a result users need to analyze those records to extract essential one.

According to web sources reports, based on society researches [1], the amount of Internet content will increase up to 80% in 2021 year. It means that video content popularity grows every day, thus video operations that ameliorate working with it is a promising direction.

Research purpose. The aim of the research is to reveal problems that affect video searching function efficiency of search engines.

The structure of a search engine comprises of three modules. Modules are responsible for:

- video data receiving;
- data analysis;
- providing of analysis results in a structured logically correct way.

The research is dedicated to the data analysis module, which is planned to be optimized in future studies. Hence now the task is to find a prototype system which would provide users the most suitable video results according to users requirements.

System should be represented as a software system.

1. System input data: video files.
2. Files formats: MPEG, AVI, MP4.
3. File attributes that will be analyzed:
 - static;
 - dynamic.

Static attributes: format, name, size, quality that help to estimate video analysis (i.e. dynamic attributes) – speed of the process and quality of the process results. Examples: time analysis of AVI format video file will vary from WMV video, because of files structures difference; meaningful file name may describe its content and speed up its analysis; file size determines analysis time.

Dynamic attributes: sounds and images of video objects. Objects are natural, artificial or abstract (something that can be comprehended intellectually e. g. definitions or events) elements. Object is characterized by its state, behavior (that can be described as an action list) and identity [2]. People examine characteristics of objects with the help of sight, hearing, touch, smell organs. Considering that fact a video provides sound and image information, people can use sight and hearing organs without an ability to touch or smell it. From that fact it is can be inferred that sound complements image and vice versa, because:

- image analysis provides information about objects sizes/shapes/colors/origin/materials/use;
- sound analysis concomitant provides information about the actions of objects;
- analysis of sequentially connected sounds/images provides with processes (actions) information that are performed by objects and object states changes (more in [3]).

Based on the last dynamic attributes fact it was deduced a rule: to obtain complete accurate information about the content of a video (compared to human capabilities), a system should analyze each dynamic attribute of the video in the context of the whole video (thus "analysis of related images/sounds sets" describes the proc-

esses, rather than taken out of context, objects without knowledge of changes in their states and behavior). This rule is applied during the review phase of existing video analysis systems to determine its quality. A system is of a high quality if provides complete and accurate information about video content in the shortest possible time compared to existing analysis systems (including human).

Analysis of recent research and publications. Currently, there are many search engines on the market that can work with video [4]. According to the scope, they can be grouped into the following categories (for each of the categories given its typical representatives):

- any (Amazon Rekognition [5], IBM Watson Visual Recognition [6]);
- recommendation systems (film or video clips searching – YouTube video recommendation system [7]);
- manufacturing (image recognition/operational equipment – Cogniac [8]);
- sport (people recognition, events registration – Kinovea [9], SkillSpector [10]);
- distance education (proctoring systems – Dartfish [11]);
- security systems (video surveillance, security, incident analysis [12]).

According to the input information, search engines are divided into those that analyze:

- image (an overview of such systems is in [13]);
- image and sound (an overview of such systems is in [14]);
- image and text (an overview of such systems is in [15]);
- image, sound and text (an overview of such systems is in [16]).

Video elements that can be recognized by search engines in a recognition complexity order:

- sound to text conversion (subtitles creation);
- image text recognition
- person face and identity recognition;
- object recognition by its characteristics;
- object trajectory recognition;
- events identification and description.

Video recognition (both sound and image) is a relatively simple task, which is currently well developed and implemented in all considered systems at a high level.

To solve the problem of face recognition in most cases, classifiers are used, most often based on the method of k nearest neighbors (kNN and the method of reference vectors SVM), and neural networks of different types [17].

Recognition of objects by features is similar in principle to the recognition of faces with their subsequent identification, but requires a much broader basis for the preservation of reference samples and a more complex model for their classification. There is also a need to re-train the model to add a new recognizable object. To solve this problem, neural networks are mostly used [16, 17, 18]

Object trajectory recognition is a relatively new task that requires large computing power to be solved. Now methods for its solution are offered: the hidden Markov model, multi-object tracking on the basis of Siamese neural networks and use of heterogeneous associative graphs [16, 19, 20].

And the last – identification, a coherent description of events or processes, can be solved as a combination of previous tasks. Currently, there are few such solutions and they can be improved [16, 21].

The results of the search engine work can be in the form of:

- video files or their fragments that match the specified search keys;
- a list of tags that best describe the video;
- a list of objects and/or people present in the video;
- a list of events recorded on video;
- detailed logically-connected structured text description of properties and behavior of objects, and also directly or indirectly connected processes.

The key points for any search engine are the form of saving the tag tags used in the search and the algorithms used for the search (these factors determine the speed of the search), as well as how accurately the tags characterize the video (this factor determines the accuracy of the search) [22–26].

We are primarily interested in the accuracy of constructing tags that describe video clips. In this case, the greatest attention should be paid to the identification of events and objects involved in these events.

Conclusions. The main problem of existing systems is the lack of a logically connected detailed summary of video living/man-made/automatic systems [27], which would describe the events, behavior, properties and relationships of the video objects.

Excessive conversions of video information from data to text or image to text, use of only one information source (either sound or image) lead to the loss of relationships and other information of objects. To increase a system efficiency it is necessary to make a model that would simultaneously combine sound and images (i. e. combine information that was produced during analysis of both), regarding the history of sounds and images of the video and form logical connections with minimal

information loss. For example, let's describe a moment in time: there is a sound of a shot, image with a bursting inflatable ball: first we combine sound and image – if the human can describe the event, she/he immediately names and describes it, if not, then can begin to create logical connections regarding event history, previously analyzed information about objects existed in a video and acquired for the life knowledge base.

Thus, the next step in improving video systems is to create models (such as neural networks), which can be used to build logical inferences as humans do.

REFERENCES

1. Best Free Social Media Search Tool – Talkwalker [Electronic resource] Accessed (2021-06-15): <https://www.talkwalker.com/social-media-analytics-search>
2. Grady Booch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engle, Bobbi J. Young, Jim Conallen, Kelli A. Houston "Object-Oriented Analysis and Design with Applications". The Addison-Wesley Object Technology Series, 2007 – 717 pages, ISBN 0-201-89551-X
3. Herbert A. Simon "The Architecture of Complexity," in Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 106, No. 6, pp. 467-482, Dec. 12, 1962. <https://www.jstor.org/stable/985254>
4. Best Image Recognition Software [Electronic resource] Accessed (2020-12-25): <https://www.g2.com/categories/image-recognition>
5. Amazon Rekognition [Electronic resource] Accessed (2021-05-10): <https://aws.amazon.com/ru/rekognition/?blog-cards.sort-by=item.additionalFields.createdDate&blog-cards.sort-order=desc>
6. IBM Watson Visual Recognition [Electronic resource] Accessed (2021-05-10): <https://www.ibm.com/products/maximo/remote-monitoring>
7. J. Davidson, "The YouTube video recommendation system", Proc. 4th ACM Conf. Rec. Syst., pp. 293-296, 2010.
8. Cogniac [Electronic resource] Accessed (2021-05-10): https://store.sap.com/dcp/en/product/display-0000059790_live_v1
9. Kinovea [Electronic resource] Accessed (2021-05-10) <https://www.kinovea.org/features.html>
10. SkillSpector [Electronic resource] Accessed (2021-05-10): <https://skillspector.software.informer.com/1.3/>
11. Dartfish [Electronic resource] Accessed (2021-05-10): <https://www.dartfish.com/>
12. Video Surveillance [Electronic resource] Accessed (2021-05-10): <https://www.g2.com/search?utf8=%E2%9C%93&query=Video+Surveillance>

13. Kanrar, S., Mandal, N.K." Video traffic analytics for large scale surveillance", in *Multimed Tools Appl* 76, 13315–13342, 2017.
<https://doi.org/10.1007/s11042-016-3752-0>
14. B. Huurnink, C. G. M. Snoek, M. de Rijke and A. W. M. Smeulders, "Content-Based Analysis Improves Audiovisual Archive Retrieval," in *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 14, no. 4, pp. 1166-1178, Aug. 2012.
<https://doi.org/10.1109/TMM.2012.2193561>
15. R. Zhou, D. Xia, J. Wan and S. Zhang, "An Intelligent Video Tag Recommendation Method for Improving Video Popularity in Mobile Computing Environment," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 6954-6967, 2020.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2961392>
16. Deldjoo Y. Enhancing Video Recommendation Using Multimedia Content. In: Pernici B. (eds) *Special Topics in Information Technology*. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Springer, Cham, 2020.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-32094-2_6
17. T. Schenkel, O. Ringhage, and N. Branding, 'A Comparative Study of Facial Recognition Techniques : With focus on low computational power', Dissertation, 2019.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1327708/FULLTEXT01.pdf>
18. Sanmoy, P., Acharya, S., & Bhuva, K. A review on facial recognition algorithms and their application in retail stores. *Academy of Marketing Studies Journal*, vol. 22, no 3, 7396, 2018.
<https://www.abacademies.org/articles/a-review-on-providing-loyalty-discounts-to-customers-in-retail-stores-7396.html>
19. Zhang, W. L., Yang, K., Xin, Y. T., & Zhao, T. S. "Multi-Object Tracking Algorithm for RGB-D Images Based on Asymmetric Dual Siamese Networks," in *Sensors* (Basel, Switzerland), vol. 20, no 23, 6745, 2020.
<https://doi.org/10.3390/s20236745>
20. Sheng H., Zhang Y., Chen J., Xiong Z., Zhang J. Heterogeneous association graph fusion for target association in multiple object tracking. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* 2018;11:3269–3280.
<https://doi.org/10.1109/TCSVT.2018.2882192>
21. M. Tavassolipour, M. Karimian and S. Kasaei, "Event Detection and Summarization in Soccer Videos Using Bayesian Network and Copula," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 24, no. 2, pp. 291-304, Feb. 2014.
<https://doi.org/10.1109/TCSVT.2013.2243640>
22. Sedky Adly, M. S. Abdelwahab, I. Hegazy and T. Elarif, "Issues and Challenges for Content-Based Video Search Engines A Survey," 2020 21st International Arab Conference on Information Technology (ACIT), pp. 1-18, 2020.
<https://doi.org/10.1109/ACIT50332.2020.9300062>

23. M. Wang, R. Hong, G. Li, Z. Zha, S. Yan and T. Chua, "Event Driven Web Video Summarization by Tag Localization and Key-Shot Identification," in IEEE Transactions on Multimedia, vol. 14, no. 4, pp. 975-985, Aug. 2012.
<https://doi.org/10.1109/TMM.2012.2185041>
24. G. Doumenis, S. Papastefanos, V. Mateevitsi, F. Andritsopoulos, N. Achilleopoulos and A. V. Mikhalev, "Video index and search services based on content identification features," 2008 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, pp. 1-4, 2008.
<https://doi.org/10.1109/ISBMSB.2008.4536659>
25. J. Li and J. Z. Wang, "Real-Time Computerized Annotation of Pictures," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 30, no. 6, pp. 985-1002, June 2008.
<https://doi.org/10.1109/TPAMI.2007.70847>
26. B. Z. Yao, X. Yang, L. Lin, M. W. Lee and S. Zhu, "I2T: Image Parsing to Text Description," in Proceedings of the IEEE, vol. 98, no. 8, pp. 1485-1508, Aug. 2010.
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2010.2050411>
27. J.G. Miller "Living Systems," McGraw-Hill, 1978 – 1102 pages, ISBN 978-0070420151

Received 13.09.2021.

Accepted 18.09.2021.

Пошукові системи

Стаття присвячена огляду пошукових систем, що можуть працювати з медіафайлами. Актуальність роботи пов'язана з тим, що все більше інформації і інтернеті представлено не текстом, а зображеннями або відео. Мета дослідження – виявити проблеми, що впливають на ефективність роботи пошукових систем для роботи з медіафайлами.

Для отримання повної точної інформації про вміст відео система повинна аналізувати кожен динамічний атрибут відео в контексті цілого відео (цілого, так як "аналіз набору пов'язаних зображень/звуків" описує процеси, а не вирвані з контексту, об'єкти, без знань про зміни їх поведінки). Дане правило застосовано під час етапу огляду варіантів існуючих систем аналізу відео для визначення якості системи: система вважається якісною, коли надає максимально повну і точну інформацію про вміст відео в найкоротші строки порівняно з існуючими системами аналізу, включаючи людину.

Ключовими моментами для роботи будь-якої пошукової системи є форма збереження міток-тегів, по яким відбувається пошук, та алгоритми, що використовуються для пошуку (ці фактори обумовлюють швидкість пошуку), а також наскільки точно мітки характеризують відео (цей фактор обумовлює точність пошуку). Нас в першу чергу цікавить точність побудови тегів, що описують

відеофрагменти.

Найголовніша проблема існуючих систем - відсутність побудованої по відео логічно-зв'язаної детальної living system, яка б описувала події, поведінку і властивості об'єктів цієї системи. Від зайвих конвертацій даних звук-текст, зображення-текст та від використання при конвертації тільки одного джерела інформації (тільки звук або тільки зображення) губиться інформація про зв'язки між об'єктами. Для підвищення ефективності системи варто зробити модель, яка б одночасно поєднувала звук і зображення (проаналізовану інформацію про них), враховувала історію звуків і зображень у загальній системі всього відео, що ми аналізуємо, і утворювала б логічні зв'язки з мінімальними втратами інформації за рахунок уникнення, при можливості, конвертації.

Поисковые системы

В статье выполнен обзор поисковых систем, которые могут выполнять поиск в медиафайлах. Актуальность работы обусловлена тем, что всё больше информации в интернете представлено не в виде текста, а изображениями или видео. Цель исследования – выявить проблемы, влияющие на эффективность поисковых систем, работающих с медиафайлами.

Ліхоузова Тетяна Анатоліївна – к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Ліневич Ольга Олександрівна – аспірантка кафедри технічної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Лихоузова Татьяна Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры технической кибернетики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Линевич Ольга Александровна – аспирантка кафедры технической кибернетики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Likhousova Tetiana – PhD, associate professor, Department of Technical Cybernetics National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

Linevych Olha – post-graduate student, Department of Technical Cybernetics National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

**СТРУКТУРА ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КУЛЬТУРНИХ ЦІННОСТЕЙ**

Анотація. У статті розглядається алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень ідентифікації культурних цінностей і користувача з нею, питання визначення основних сценаріїв роботи і обмежень. Автором наводиться доцільність поділу програмної реалізації системи на окремі модулі, що дозволить зробити процес масштабування системи менш трудомістким і більш ефективним. Наводиться набір інструментарію для вирішення поставленого завдання. При чому для ідентифікації та аналізу різних типів об'єктів культурних цінностей можуть бути передбачені різні типи нейронних мереж. Також відзначається складність і комплексність підходу вирішення поставленого завдання, визначені перспективи та шляхи подальшого дослідження даної предметної області.

Ключові слова: алгоритм, система підтримки прийняття рішень, нейрона мережа, інтелектуальний аналіз даних, ідентифікація культурних цінностей.

Вступ. Питання дослідження та розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (СППР) ідентифікації культурних цінностей (КЦ) є актуальним та з урахуванням наявності сучасних методів та засобів може бути вирішено. Велика кількість типів та різновидів об'єктів КЦ може значно ускладнити розробку моделей та алгоритмів, які б враховували би всі ці особливості, тому авторами на початковому етапі, для апробації результатів, та для доцільності подальшого розвитку системи, робиться акцент на таких об'єктах як картини (оригінальні художні твори живопису), як одного з типів об'єктів КЦ, авторами було розглянуто це питання в роботі [1]. З технічної точки зору, представляє інтерес саме об'єкти матеріальної культури, що мають художнє, історичне, етнографічне та наукове значення і підлягають збереженню, відтворенню та охороні відповідно до законодавства України.

Постановка проблеми. При ідентифікації об'єктів КЦ на початковому етапі користувачам та експертам доводиться покладатися виключно на свій до-

свід та наявність в них довідкових матеріалів (каталогів чи інформаційних систем з предметної області). Як зазначають експерти, рішення про детальну експертизу в спеціалізованих лабораторіях доводиться приймати, в більшості випадків, виключно в результаті візуального огляду об'єкта та його певних ознак чи характеристик, відповідно до типу КЦ. На сьогодні не існує універсальної інформаційно-довідкової та/або інтелектуальної СППР для ідентифікації КЦ.

Впровадження та використання сучасних математичних та програмно-апаратних засобів, підходів та інструментів при створенні систем подібного типу та використання системного підходу, на думку автора, є більш ефективним.

Мета дослідження. В результаті аналізу предметної галузі, розробки моделі та методів ідентифікації КЦ, створити та надати користувачу дієвий інструмент для вирішення поставленої задачі. Підвищення якості та ефективності ідентифікації КЦ за рахунок впровадження та використання зазначеної інтелектуальної СППР.

Викладення основного матеріалу дослідження. Запропонована автором система має великі перспективи використання та велику потенційну аудиторію користувачів. Але, як зазначалося автором в своїх роботах раніше, користувачам буде надано різні права та права доступу. Таким чином система, що розробляється, має працювати за відповідними режимами[1, 4].

Отже автором пропонується в системі розробити два принципово різні режими її роботи:

– Інформаційно-довідковий режим. В першу чергу призначений для користувачів, які будуть використовувати систему для пошуку довідкової інформації за певними ознаками, наприклад, назва, автор, розмір і т.п. Даний режим може бути цікавим, наприклад: для експертів в області культурних цінностей та предметів мистецтва для вивчення та вдосконалення своїх знань; навчальним закладам; організаціям для створення та наповнення каталогів культурних цінностей та предметів мистецтва; пересічним користувачам системи (гостям ресурсу); історикам; аукціонам з продажів культурних цінностей та предметів мистецтва; тощо.

– Режим інтелектуальної СППР. В першу чергу призначений для користувачів, які будуть використовувати систему для аналізу об'єкта для формування довідки при прийнятті рішень щодо подальших дій з об'єктом. Окрім пошука співпадінь зображення об'єкта з зображеннями бази даних системи, та фор-

мування додаткових довідкових відомостей, у функціонал інтелектуальної СППР закладається й функція аналізу цього об'єкту. Під аналізом, автором розуміється результат роботи нейронної мережі для встановлення оригінальності об'єкту, його відповідності еталону зображення, що знаходиться в базі даних, а також співвідношення його основних ознак.

Інформаційно-аналітична система, що розробляється в межах даного наукового дослідження має бути універсальна та охоплювати всі аспекти ідентифікації всіх типів КЦ, тобто, при проектуванні структури системи, закладаються можливості подальшого масштабування та вдосконалення системи.

Було прийнято рішення умовно розділити розробку системи на три окремі складові, що значно спрощує як етап проектування так і розробки:

- «База даних КЦ»;
- «Аналітичний модуль СППР»;
- «Користувацький інтерфейс».

В дослідженні акцент робиться на ідентифікації культурних цінностей та їх різноманітті, що в свою чергу формує різні умови і обмеження для завдання прийняття рішення та формування довідки. Врахування різних категорій ознак різних типів об'єктів КЦ, та поєднання в одній БД та СППР відрізняється від типового рішення задачі прийняття рішення. Окрім процесу ідентифікації об'єкта, за певними характерними рисами та показниками, система матиме змогу надавати аналітичну довідку про оригінальність, приналежності руки автора, епохи або часового діапазону. Саме в такій різниці від існуючих СППР й буде оригінальність підходу рішення задачі та наукова новизна роботи.

Оскільки на початковій стадії розробки для апробації роботи системи акцент робиться на картинах, то для зазначеної категорії в першу чергу необхідно визначити список ознак/критеріїв, важливість та актуальність цього розглянуто в роботі [2]. Було проаналізовано предметну область та визначено наступний типовий список ознак/характеристик що стосуються картин:

- Тип (картина, ікона, фото, чеканка, вирізана (панно), вишивка);
- Назва (мова оригіналу, англійська та українська мови);
- Автор (якщо встановлено, або країна та місце походження);
- Дата створення (якщо чітко встановлено, або приблизний);
- Габаритні розміри (довжина, висота, ширина (мм));
- Маса (г);

- Матеріал основи (дерево, метал, пластик, полотно, бумага, якщо можна визначити конкретно, наприклад: дерево – бук, дуб, сосна, береза, тощо; метал – золото, срібло, мідь, тощо);
- Матеріал (для картин фарба: акварель, гуаш, акрил, масло, і т.п.);
- Наявність рамки(багета) (так/ні);
- Матеріал рамки (дерево, метал, пластик, бумага, якщо можна визначити: дерево – бук, дуб, сосна, тощо; метал – золото, срібло, тощо);
- Власник (фізична, юридична особа, держава);
- Фото (з визначеною якістю та бажано якісне та кольорове);
- Довідка (опис про можливі особливі прикмети: подряпина, пляма, за-світи, тощо).

В таблиці 1 наведено типовий перелік характеристик для отаблиці з бази даних, що відповідатиме саме за картини.

Таблиця 1

Список характеристик таблиці з картинами для бази даних КЦ

ID, унікальний ідентифікатор		
Тип (картина, ікона, фото, чеканка, вирізана (панно), вишита)		
Назва (мова оригіналу, англ. та укр.)		
Автор (якщо можна встановити, або країна та місце походження)		
Дата створення (якщо можна чітко встановити, або приблизний)		
довжина, (мм)		Габаритні розміри (Зол)
ширина, (мм)		
висота(товщина), (мм)		
Маса (г)		
Матеріал основи(дерево, метал, пластик, полотно, бумага, або: дерево – бук, дуб, сосна, береза...; метал – золото, срібло, мідь...)		
Матеріал фарба(акварель, гуаш, акрил, масло, і т.п.; для вишивки – бісер, нитки і т.п.)		
Рамка ((багет) так/ні)		
Матеріал рамки(дерево, метал, пластик, полотно, бумага, або: дерево – бук, дуб, сосна, береза...; метал – золото, срібло, мідь...)		
Власник (фізична, юридична особа, держава)		
Фото (бажано якісне та кольорове)		
Довідка (опис про можливі особливі прикмети)		
Посилання на джерело		
Коефіцієнт довіри до джерела		

Додатково, на думку автора, доцільно ввести такі характеристики як: джерело надходження інформації до БД, та ступінь довіри до нього.

На рисунку 1 наведено типовий алгоритм роботи інтелектуальної СППР ідентифікації КЦ. В роботі [1] авторами в запропонованій концептуальній моделі даної системи було розглянуто питання можливої роботи з системою за різними ролями та категоріями користувачів: саме користувач, експерт, адміністратор СППР, системний адміністратор програмно-апаратного комплексу та розробник системи.

В даній роботі розглядається саме робота користувача та його дії при ідентифікації об'єкта.

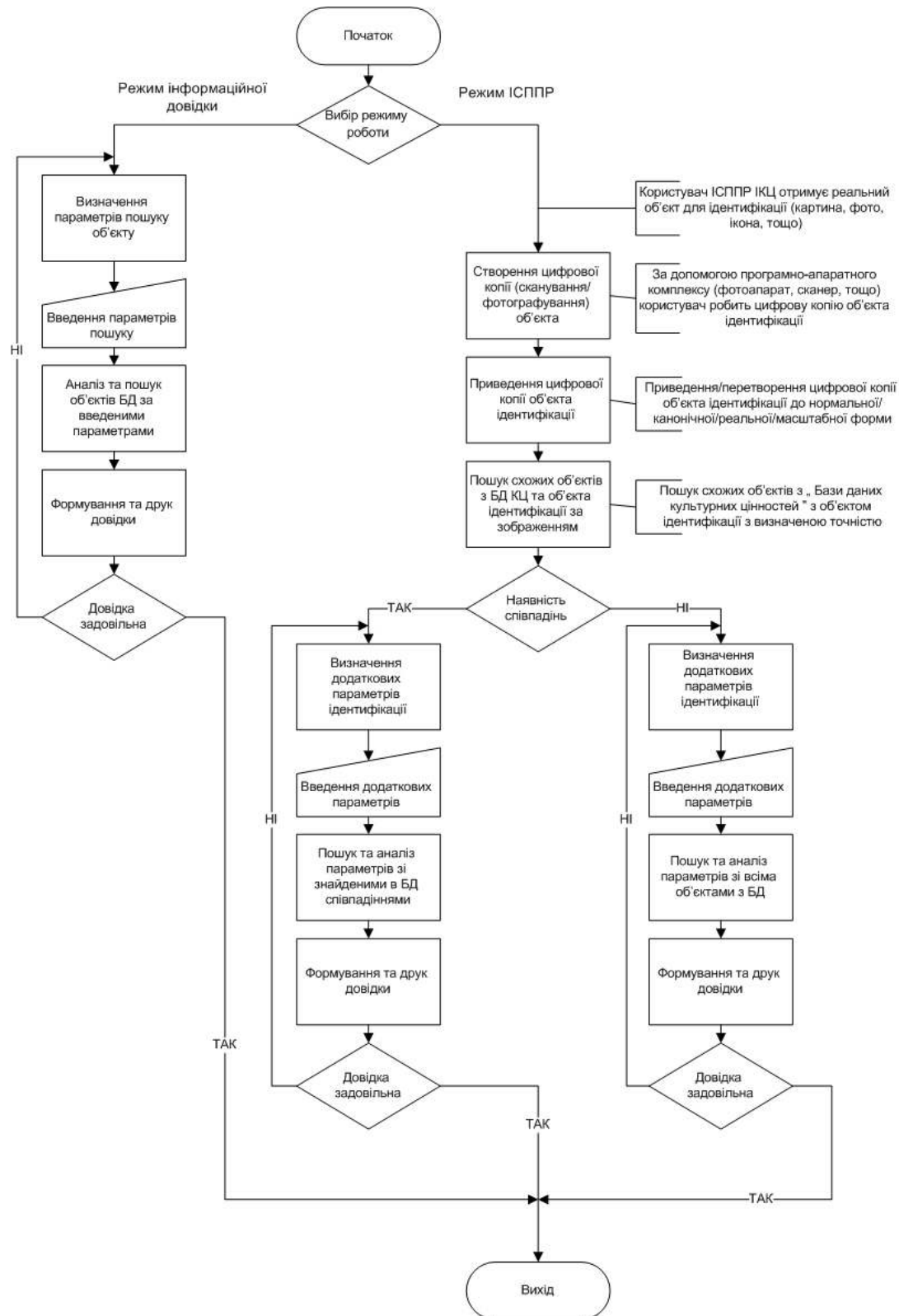


Рисунок 1 - Блок-схема алгоритму роботи користувача з інтелектуальною СППР ідентифікації КЦ

Якщо розглянути наведену блок-схему алгоритму роботи системи та користувача, то можна зазначити, що робота з системою відбувається за такими ключовими етапами:

1-й етап. Вибір режиму роботи, на якому користувач визначається з функціоналом для використання: «Інформаційно-довідковий» чи «Режим інтелектуальної СППР».

2-й етап. За допомогою системи технічних (програмно-апаратних засобів) користувач робить скан або фото копію об'єкта для ідентифікації, доцільність її використання зазначалася авторами в роботах [3, 4]. Далі відбувається процес приведення/перетворення цифрової копії об'єкта ідентифікації до визначеної масштабної форми для подальшої роботи з пошуку відповістей цифрової копії об'єкта з об'єктами, що містяться в базі даних (БД), системі необхідно привести її до встановлених розмірів. В даному випадку, можна використовувати один з відомих алгоритмів масштабування.

Після приведення цифрової копії об'єкта до зазначених (визначених) значень, він подається на вхід нейронної мережі (НМ), в даному випадку проводиться експеримент на базі рекурентної нейронної мережі (РНМ) типу LSTM (Long short-term memory, НМ з довгою короткочасною пам'яттю).[6] На даному етапі система обробляє БД лише за зображенням об'єкта і визначає співпадіння з визначеною/зазначеною точністю/ймовірністю та проводить його певний аналіз. Питання використання НМ, в якості інструментарію побудови системи, було розглянуто автором в роботі [5].

3-й етап. Після опрацювання НМ цифрової копії об'єкта, що було подано на її вхід, система в подальшому матиме два можливі сценарії роботи:

- якщо знайдено в БД КЦ співпадіння, то користувачу надається можливість визначитися з додатковими ознаками та серед знайдених в БД об'єктів (від одного до декілька об'єктів), подати ці ознаки на вхідний шар іншої додаткової НМ і додатково провести пошук і аналіз об'єкта КЦ для збільшення точності ідентифікації;
- якщо співпадіння за зображенням з зазначеною точністю в БД КЦ не знайдено, то користувачу також надається можливість визначитися з ознаками об'єкта та серед всіх об'єктів в БД (яких може бути сотні тисяч різних типів) і подати ці ознаки на вхідний шар НМ та додатково провести пошук і аналіз об'єкта КЦ для збільшення точності ідентифікації, але це може значно збільшити час обробки.

4-й етап. Формування та друк довідки СППР, де у випадку якщо довідку буде прийнято користувачем задовільною, то він завершує роботу з системою. В разі, якщо під час ознайомлення з довідкою у користувача виникнуть додаткові питання та ідеї щодо додаткової перевірки, то він матиме можливість повернутися на попередні етапи та додатково уточнити ознаки/параметри ідентифікації та отримати нову уточнену довідку від системи.

Висновки. Використання зазначеної в статті системи побудованої на базі нейронних мереж та сучасних програмно-апаратних засобах дозволить користувачу, в умовах невизначеності та в умовах обмеження часу, отримати додаткову допомогу при прийнятті рішення при ідентифікації КЦ, використання системи подібного типу є актуальним та перспективним.

Запропонований автором підхід до створення зазначеної системи є зручний та ефективний, має потужний потенціал для подальшого розвитку та вдосконалення системи. Поєднання в одній системі баз даних та знань разом з потужним математичним і аналітичним апаратом дозволить вийти на більш високий рівень в порівнянні лише зі звичайними базами даних та каталогами.

Також при аналізі предметної галузі автору прийшлося стикнутися з такими питаннями, які є завданням на подальше вдосконалення системи:

- особливості різних категорій КЦ та відмінності в підходах до їх ідентифікації;
- часові обмеження ідентифікації;
- необхідні інструменти, обладнання, лабораторії та тести;
- довідкові джерела інформації, за допомогою яких експерти обґрунтовують і підкріплюють свої висновки;
- юридична правомірність тих чи інших видів досліджень по ідентифікації та юридичні наслідки прийнятих рішень по ідентифікації КЦ.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Martynenko A., Moroz B., Hulina I., & Syrotkina O. (2020). Conceptual model of an intelligent decision support system to identify cultural values. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (40), P. 51-57. URL: <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/156>
2. Калашникова О. Л. Порівняльний аналіз міжнародної та української систем реєстрації та ідентифікації культурних цінностей / О. Л. Калашникова // Митна безпека. - 2013. - № 2. - С. 70-75. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mb_2013_2_12.

3. А.А. Мартиненко, Б.І. Мороз, І.Г. Гуліна СХОВИЩА ДАНИХ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КУЛЬТУРНИХ ЦІННОСТЕЙ XIV міжнародна конференція: проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості. м. Дніпро, 28-29 листопада 2019, С. 35-39.
4. Martynenko A., Moroz V., & Hulina I. (2020). An intelligent decision support system for cultural property identification. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (39), P. 78-82.
URL: <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/126>
5. Martynenko A., Moroz, B., & Hulina I. (2020). Building tools of an intelligent decision support system to identify cultural values. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (41), P. 71-75. URL: <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/189>
6. Understanding LSTM Networks URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>

REFERENCES

1. Martynenko A., Moroz B., Hulina I., & Syrotkina O. (2020). Conceptual model of an intelligent decision support system to identify cultural values. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (40), P. 51-57. URL: <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/156>
2. Kalashnikova O.L. Comparative analysis of international and Ukrainian systems of registration and identification of cultural values / O.L. Kalashnikova // Customs security. - 2013. - № 2. - P. 70-75. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mb_2013_2_12.
3. A.A. Martynenko, B.I. Moroz, I.G. Gulina DATA STORAGE SYSTEMS FOR DECISION-MAKING SUPPORT SYSTEMS IDENTIFICATION OF CULTURAL VALUES. XIV International Conference: Problems of Information Technology in Education, Science and Industry. Dnipro, November 28-29, 2019, P. 35-39.
4. Martynenko A., Moroz V., & Hulina I. (2020). An intelligent decision support system for cultural property identification. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (39), P. 78-82.
URL: <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/126>
5. Martynenko A., Moroz, B., & Hulina I. (2020). Building tools of an intelligent decision support system to identify cultural values . COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (41), P. 71-75. URL: <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/189>

6. Understanding LSTM Networks URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>

Received 16.09.2021.

Accepted 21.09.2021.

**Структура и алгоритм работы интеллектуальной системы
поддержки принятия решений для идентификации культурных ценностей**

В статье рассматривается алгоритм работы интеллектуальной системы поддержки принятия решений идентификации культурных ценностей и пользователя с ней, вопросы определения основных сценариев работы и ограничений.

Автором приводится целесообразность разделения программной реализации системы на отдельные модули, что позволит сделать процесс масштабирования системы менее трудозатратным и более эффективным.

Приводится набор инструментария для решения поставленной задачи. При чем для идентификации и анализа разных типов объектов культурных ценностей могут быть предусмотрены разные типы нейронных сетей.

Также отмечается сложность и комплексность подхода решения поставленной задачи, определенные перспективы и пути дальнейшего исследования данной предметной области.

***The structure and algorithm of the intelligent decision support system
for the identification of cultural values***

The article discusses the algorithm of the work of an intelligent decision support system for identifying cultural values and the user with it, the issues of determining the main scenarios of work and restrictions.

The author provides the expediency of dividing the software implementation of the system into separate modules, which will make the process of scaling the system less labor-intensive and more efficient.

A set of tools for solving the problem is presented, where a decision is made as such. Moreover, for the identification and analysis of different types of cultural property objects, different types of neural networks can be provided.

It also notes the complexity and complexity of the approach to solving the problem, certain prospects and ways of further research of this subject area.

The use of the system specified in the article, built on the basis of neural networks and modern software and hardware, will allow the user, in conditions of uncertainty and in conditions of limited time, to receive additional help in making decisions in identification and CC, the use of a system of this type is relevant and promising.

The approach proposed by the author to the creation of this system is convenient and effective, has a powerful potential for further development and improvement of the system. The combination of databases and knowledge in one system, together with a powerful mathematical and analytical apparatus, will allow reaching a higher level of identification and analysis of objects of cultural property in comparison with conventional databases and catalogs.

The conclusions set tasks for solving organizational, legal and technical issues related to the implementation and operation of the system.

Мартиненко Андрій Анатолійович – старший викладач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Мартыненко Андрей Анатольевич – старший преподаватель кафедры программного обеспечения компьютерных систем Национального технического университета «Днепропетровская политехника».

Martynenko Andrii – Senior Lecturer of the Department of Software Engineering of the National Technical University "Dnipro Polytechnic".

Д.А. Богдан, В.Ф. Балакін, М.М. Штода, Ю.М. Николаєнко

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИЛОВОЇ ТА ДЕФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ
СМУГИ І ВАЛКІВ ПРИ ПРОКАТЦІ
З ІНТЕНСИВНОЮ ПЛАСТИЧНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ**

Анотація. Все більш жорсткі вимоги пред'являються до якості нафтогазових труб, зокрема, до їх корозійної стійкості. Використання вуглецевих марок для їх виготовлення за традиційною технологією не забезпечує достатнього рівня захисту від корозії або є надто дорогим. Застосування механізму інтенсивної пластичної деформації дає змогу значно змінити зернистість і тим самим підвищити механічні властивості металу та його корозійну стійкість. Розроблена схема простого процесу прокатки з холостим роликком передбачає використання інтенсивної пластичної деформації. Математична модель процесу дозволяє встановити справжню ступінь деформації смуги, спроектувати лабораторний експеримент, визначити корозійну стійкість металу та розробити промислову установку для обробки внутрішньої поверхні труб.

Ключові слова: інтенсивна пластична деформація, смуга, валки, математична модель, механічні властивості, корозійна стійкість.

Постановка проблеми. Умови експлуатації труб нафтогазового сортаменту визначають жорсткі вимоги до їх структури та властивостей, зокрема, корозійної стійкості. Відомо, що механічні властивості і корозійна стійкість сталей істотно залежать від ступеня подрібнення зерна і однорідності структури. Одним із способів формування дрібнозернистої структури, підвищення механічних та корозійних властивостей є інтенсивна пластична деформація.

З метою визначення впливу інтенсивної пластичної деформації на деформаційне опрацювання сталевих смуг була розроблена схема простого процесу прокатки з холостим роликком. Можливий вплив інтенсивної пластичної деформації в такій схемі на структуру металу зажадало розробки математичної моделі, метою якої є визначення величини істинної пластичної деформації. Передбачається на основі результатів математичного моделювання, лабораторного експерименту при прокатці смуг і визначенні їх корозійної стійкості в за-

пропонованій схемі розробити промислову установку для обробки внутрішньої поверхні труб.

Результати роботи. Математичну модель запропонованої схеми прокатки з певною величиною інтенсивної пластичної деформації передбачається описати чотирьома етапами.

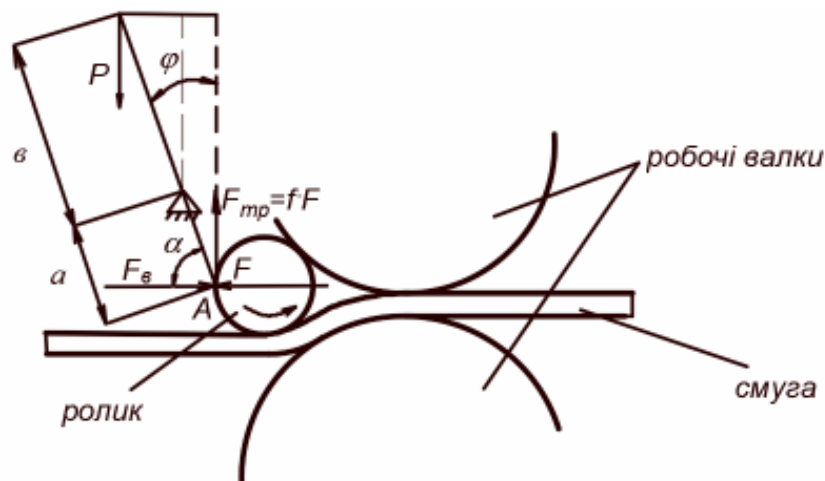
Перший – визначення сили притиснення холостого ролика в матеріал при фіксованій величині зусилля, прикладеного до важеля механізму.

Другий – визначення величини сили тиску холостого ролика на смугу, що прокатується та робочий валок.

Третій – визначення глибини вдавлення ролика в смугу при заданому навантаженні в відсутності обертання валків.

Четвертий – визначення дійсного та еквівалентного ступеня деформації смуги холостим роликом.

1. Визначення сили вдавлення холостого ролика за допомогою важільного механізму на лабораторному стані «180» (рисунок 1).



P – вага вантажів на вільному кінці важеля; $L = a + b$ – довжина важеля;

F_g – сила вдавлювання ролика в осередок деформації;

F – сила, зворотна по відношенню до сили вдавлення F_g (сила реакції з боку ролика); F_{mp} – сила тертя ковзання між важелем і роликом;

f – коефіцієнт тертя ковзання; A – точка контакту важеля і ролика в місці горизонтального діаметра ролика; φ – кут між важелем і вертикальною віссю;

α – кут між важелем і горизонтальною віссю

Рисунок 1 – Розрахункова схема

За пишемо векторне співвідношення при знаходженні системи в рівновазі

$$\vec{F}_e = -F. \quad (1)$$

За пишемо рівняння балансу моментів, тобто рівняння рівноваги відносно опори важеля

$$P \cdot e \cdot \sin \varphi + F_{mp} \cdot a \cdot \sin \varphi - F \cdot a \cdot \cos \varphi = 0. \quad (2)$$

$$P \cdot e \cdot \sin \varphi + f \cdot F \cdot a \cdot \sin \varphi - F \cdot a \cdot \cos \varphi = 0. \quad (3)$$

Тоді сила реакції з боку ролика F визначиться з виразу

$$F = \frac{P \cdot e \cdot \sin \varphi}{a \cdot \cos \varphi - f \cdot a \cdot \sin \varphi}, \text{ при } 0 \leq \alpha \leq 90^\circ. \quad (4)$$

Використовуючи рівняння (1), отримаємо величину (модуль) сили вдавнення ролика

$$F_e = F = \frac{P \cdot e \cdot \sin \varphi}{a \cdot \cos \varphi - f \cdot a \cdot \sin \varphi}, \quad (5)$$

або

$$F_e = \frac{P \cdot e}{a} \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi - f \cdot \sin \varphi}, \quad (6)$$

У разі відсутності обертання ролика і валків можна покласти в рівняння (6) $f=0$, тоді

$$F_e = \frac{P \cdot e}{a} \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{P \cdot e}{a} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (7)$$

2. Визначення величини сили тиску ролика на смугу при прокатці (рисунк 2).

Визначимо кути α , β і γ з наступних співвідношень [1]

$$\cos \gamma = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2AB}, \quad \sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma}. \quad (8)$$

У відсутності обертання $F_{mp} = 0$, $f_1 = f_2 = 0$, тоді рівняння рівноваги ролика набувають такий вигляд:

$$\sum X = +F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \beta = F_e, \quad (9)$$

$$\sum Y = -F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta = 0,$$

тоді

$$F_1 = \frac{F_e \cos \beta}{\sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta} = \frac{F_e \cos \beta}{\Delta}, \quad (10)$$

$$F_2 = \frac{F_e \cos \alpha}{\sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta}, \quad (11)$$

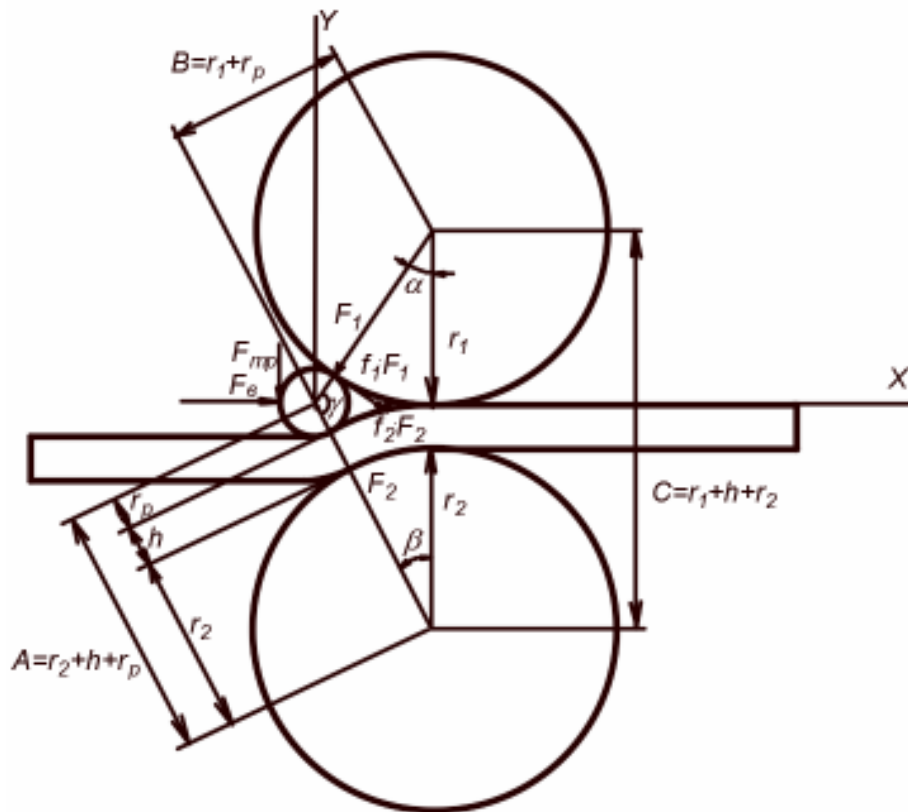
де $\Delta = \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta$.

Оскільки початкова товщина смуги h не перевищує 1,5% від суми радіусів робочого валка і ролика, прийmemo $h=0$, тоді $\alpha = \beta$ і рівняння (10), (11) трансформуються у вираз

$$F_2 = F_1 = \frac{F_\theta \cos \alpha}{2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha} = \frac{F_\theta}{2 \cdot \sin \alpha}, \quad (12)$$

Визначимо α відповідно до рівняння (8) по співвідношенням:

$$\cos \gamma = \frac{2A^2 - C^2}{2A^2},$$



F_θ , F_{mp} – сили вдавнення і тертя з боку важеля на ролик;

F_1 , F_2 – сила тиску з боку верхнього валка на ролик, нижнього валка на метал смуги і смуги на ролик; f_1 , f_2 – коефіцієнти тертя ролика з валком і ролика з смугою; r_p – радіус ролика; r_1 , r_2 – радіуси верхнього і нижнього валків

Рисунок 2 – Розрахункова схема до визначення величини сили тиску ролика на смугу при прокатці

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma}, \quad (13)$$

$$\sin \alpha = \frac{A}{C} \sin \gamma,$$

де $A = r + r_p$ ($r = r_1 = r_2$), $C = 2r$.

3. Визначення глибини вдавнення ролика в смугу при заданому навантаженні у відсутності обертання валків (рисунки 3).

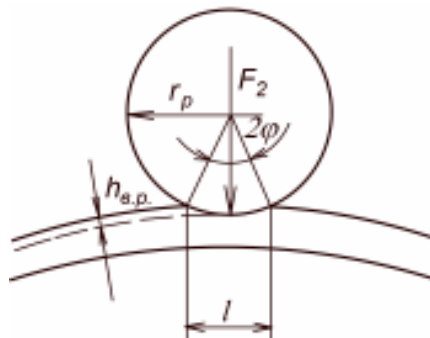
Умови рівноваги у відсутності обертання валків і ролика

$$F_2 = \sigma_T \cdot l \cdot B, \quad (14)$$

де σ_T – межа плинності металу;

l – довжина осередку деформації;

B – ширина смуги.



$h_{в.р.}$ – глибина вдавнення ролика; 2φ – центральний кут ролика при вдавненні

Рисунок 3 – Розрахункова схема до визначення глибини вдавнення ролика в смугу

Дугу контакту ролика з смугою замінимо хордою. Тоді, використовуючи відоме співвідношення в теорії прокатки $\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$ [2] і рівняння (14) визначимо 2φ і $h_{в.р.}$:

$$2\varphi = \frac{l}{\pi d_p}, \quad (15)$$

$$\frac{2\varphi}{2} = \sqrt{\frac{h_{в.р.}}{r_p}}, \quad (16)$$

тоді

$$h_{в.р.} = \sqrt{\sqrt{r_p} \varphi}. \quad (17)$$

4. Визначення дійсного та еквівалентного ступеня деформації смуги холостим роликом.

Порівняння схеми деформування при крученні під високим гідростатичним тиском в ковадлах Бріджмена і в запропонованій схемі – тиском холостим

роликом дозволяє зробити висновок про їх аналогію. Можна припустити, що за умови повного прилипання металу до поверхонь смуги і ролика, об'єм, що знаходиться між ними підвергається зсуву на величину переміщення l однієї з поверхонь, яка визначається з рівняння (14) (рисунок 4).

Визначимо істинну деформацію e при прокатці з роликом з виразу для кручення [3]

$$e = \ln\left(\frac{2\varphi \cdot r}{h}\right). \quad (18)$$

де φ – половина кута дуги контакту ролика з валком, рад.;

r – радіус ролика, мм;

h – товщина смуги, мм.

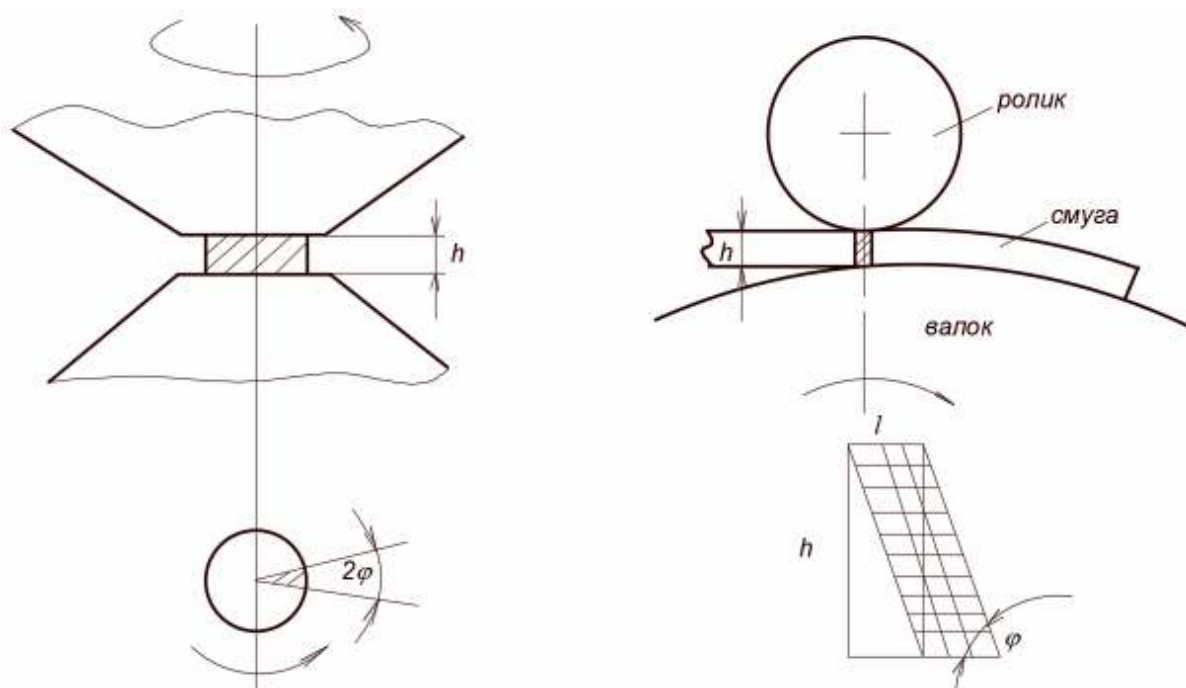


Рисунок 4 – Схема деформації в ковадлах Бріджмена і при прокатці з роликом

Для зіставлення ступені зсувної деформації при крученні зі ступенем деформації при простому процесі прокатки визначимо еквівалентну деформацію в співвідношенні з критерієм Мізеса

$$e_{екв} = \frac{e}{\sqrt{3}}. \quad (19)$$

Слід зазначити, що ступені деформації розраховані для запропонованої схеми з використанням рівнянь (18) і (19) приблизно відповідають тим величинам ступеня деформації, які мають місце в реальності. Експериментальні дослідження мікроструктури прокатного металу, його корозійних властивостей

дозволяє встановити залежності між теоретичними результатами і експериментом, використовувані при подальшому проектуванні.

5. Результати рішення тестової задачі по визначенню величини істинної деформації при заданих умовах проведення експерименту.

Прокатку здійснювали на стані «180» ДГТУ.

Матеріал зразків сталь 3 та сталь 20.

Розміри смуг: $H_0=1,5$ мм, $B=30$ мм; $L=400$ мм.

Діаметр роликів: 30 мм та 23,3 мм.

Матеріал валків – вибілений чавун.

Матеріал роликів – загартована оправочна сталь 60С2ХФА.

Обтиснення у валках за прохід $\Delta h=0,2$ мм.

Розміри елементів важільної системи (див. рис. 1): $a=500$ мм; $e=1570$ мм;

$$\frac{e}{a} \approx 3.$$

1. Визначимо силу вдавнення ролика в разі відсутності обертання, приймаючи $f=0$ і $\varphi=30^\circ$

$$F_e = \frac{P \cdot e}{a} \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{P \cdot e}{a} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

$$F_e = 195 \cdot 3 \cdot 0,5774 = 338 \text{ кг.}$$

При $\varphi=20^\circ$, $\operatorname{tg} \varphi=0,3640$ і

$$F_e = 195 \cdot 3 \cdot 0,3640 = 213 \text{ кг.}$$

При наявності обертання F_e легко розраховується за формулою (6).

2. Розрахунок сили вдавнення роликів F у разі відсутності смуги, тобто $h=0$, тоді при $d_p=30$ мм і $r=180$ мм

$$A = B = r + r_p = 195 \text{ мм,}$$

$$C = r_1 + r_2 = 2r = 360 \text{ мм,}$$

$$\cos \gamma = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2AB} = \frac{2A^2 - C^2}{2A^2} = \frac{76050 - 129600}{76050} = -\frac{53550}{76050} = -0,704142,$$

$$\gamma = 90^\circ + 45^\circ = 135^\circ, \sin \gamma = 0,7071,$$

$$\sin \alpha = \sin \gamma \frac{A}{C} = 0,7071 \frac{195}{360} = 0,3830,$$

$$\sin \beta = \sin \alpha = 0,3830,$$

$$\cos \alpha = \cos \beta = \sqrt{1 - 0,3830^2} = 0,9224,$$

$$\alpha = \beta = \frac{180 - 135}{2} = 22,5^\circ.$$

Графічна побудова підтвердила знайдені кути $\alpha = \beta = 22,5^\circ$.

Відповідно до рівняння (12) визначимо

$$F_1 = F_2 = \frac{F_b}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{338}{2 \cdot 0,3830} = 441 \text{ кг.}$$

3. Розрахунок сили F в разі наявності смуги $h=1,5$ мм, $d_p=30$ мм

$$A = 195 + 1,5 = 196,5 \text{ мм, } B = 195 \text{ мм,}$$

$$C = r_1 + r_2 + h = 361,5 \text{ мм,}$$

$$\cos \gamma = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2AB} = \frac{38612 + 38025 - 130682}{76635} = -0,705226,$$

приймаємо $\approx -0,7071 = \cos 135^\circ$

$$\gamma = 90^\circ + 45^\circ = 135^\circ, \sin \gamma = 0,7071,$$

$$\sin \alpha = \sin \gamma \frac{A}{C} = 0,7071 \frac{196,5}{361,5} = 0,384,$$

$$\sin \beta = \sin \gamma \frac{B}{C} = 0,7071 \frac{195}{361,5} = 0,381.$$

Таким чином, практично $\alpha \approx \beta \approx 22,5^\circ$, тобто наявності смуги в валках незначно впливає на результати розрахунку.

Приймемо

$$\sin \alpha = 0,383; \cos \alpha = 0,924;$$

$$\sin \beta = 0,383; \cos \beta = 0,924;$$

тоді

$$\Delta = \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta = 2 \cdot 0,383 \cdot 0,924 = 0,708.$$

Визначимо за формулами (10) і (11)

$$F_1 = \frac{F_g \cos \beta}{\Delta} = \frac{338 \cdot 0,924}{0,708} = 445 \text{ кг,}$$

$$F_2 = \frac{F_g \cos \alpha}{\Delta} = \frac{338 \cdot 0,924}{0,708} = 445 \text{ кг.}$$

4. Розрахунок сили вдавнення роликів у разі відсутності смуги ($h=0$) при $d_p=23$ мм і $r=180$ мм

$$A = B = r + r_p = 180 + 11,5 = 191,5 \text{ мм,}$$

$$C = 2r = 360 \text{ мм,}$$

$$\cos \gamma = \frac{2A^2 - C^2}{2A^2} = \frac{73344,5 - 129600}{73344,5} = -0,7670,$$

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma} = \sqrt{1 - 0,7670^2} = 0,6416, \gamma = 40^\circ,$$

$$\sin \alpha = \sin \gamma \frac{A}{C} = 0,6416 \cdot \frac{191,5}{360} = 0,3413, \alpha = 20^\circ,$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,3413^2} = 0,94,$$

Тоді при $\varphi = 30^\circ$, $r_p = 23$ мм, $r = 180$ мм і $\alpha \approx \beta = 20^\circ$, отримаємо

$$F_1 = F_2 = \frac{F_g \cos \beta}{\Delta} = \frac{338 \cdot 0,9460}{0,6416} = 495 \text{ кг.}$$

Таким чином, зменшення діаметра ролика призводить до збільшення сили вдавнення $\approx 11\%$.

5. Розрахунок сили вдавнення ролика при зміні діаметра валків.

Прийmemo $h = 0$ мм, $d_p = 30$ мм, $r = 90$ мм, тоді

$$A = B = r + r_p = 90 + 15 = 105 \text{ мм,}$$

$$C = 2r = 180 \text{ мм,}$$

$$\cos \gamma = \frac{2A^2 - C^2}{2A^2} = \frac{2 \cdot 105^2 - 180^2}{2 \cdot 105^2} = -0,469,$$

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma} = \sqrt{1 - 0,2199^2} = 0,8832,$$

$$\sin \alpha = \sin \gamma \frac{A}{C} = 0,8832 \cdot \frac{105}{180} = 0,5152,$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,5152^2} = 0,8571.$$

Тоді при $\varphi = 30^\circ$, $r_p = 30$ мм, $r = 90$ мм і $\alpha \approx \beta = 21^\circ$, отримаємо

$$\Delta = \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta =$$

$$= 0,5152 \cdot 0,9335 + 0,8571 \cdot 0,3583 = 0,4809 + 0,3135 = 0,7944.$$

$$F_1 = F_2 = \frac{F_g \cos \beta}{\Delta} = \frac{338 \cdot 0,8751}{0,7944} = 372 \text{ кг.}$$

Зменшення діаметра валків в 2 рази призводять до зменшення сили вдавнення ролика на 25%.

6. Розрахунок сили вдавнення ролика $\varnothing 23$ мм.

Прийmemo $h = 1,5$ мм, $d_p = 23$ мм, $r = 90$ мм, тоді

$$A = r_1 + h + r_p = 90 + 1,5 + 11,5 = 103 \text{ мм,}$$

$$C = r_1 + r_2 + h = 90 + 90 + 1,5 = 181,5 \text{ мм},$$

$$B = r_1 + r_p = 90 + 11,5 = 101,5 \text{ мм},$$

$$\cos \gamma = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2AB} = \frac{10609 + 10302 - 32942}{2 \cdot 103 \cdot 101,5} = -0,5753,$$

$$\gamma = 125^\circ, \sin \gamma = 0,8191,$$

$$\sin \alpha = \sin \gamma \frac{A}{C} = 0,8191 \cdot \frac{103}{181,5} = 0,4648,$$

$$\sin \beta = \sin \gamma \frac{B}{C} = 0,8191 \cdot \frac{101,5}{181,5} = 0,4580,$$

тоді

$$F_1 = \frac{F_g \cos \beta}{\Delta} = \frac{338 \cdot 0,8910}{0,4648 \cdot 0,8910 + 0,8829 \cdot 0,4580} = \frac{301,158}{0,4141 + 0,4043} = 367,98 \text{ кг},$$

$$F_2 = \frac{338 \cdot 0,8829}{0,8184} = 364 \text{ кг}.$$

7. Визначення істинного і еквівалентного ступеню деформації смуги холодним роликом.

Визначимо довжину дуги контакту ролика з металом l для двох діаметрів валків 360 мм і 180 мм та двох діаметрів роликів 30 і 23 мм. Виходячи з рівняння (14)

$$F_2 = \sigma_T \cdot l \cdot B,$$

тоді

$$l = \frac{F_2}{\sigma_T \cdot B}.$$

Прийmemo межу плинності сталі 20 $\sigma_{0,2} = 25 \text{ кг/мм}^2$

$$\begin{aligned} D_g = 360 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} \quad l = \frac{445}{25 \cdot 30} = 0,593 \text{ мм} \\ & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} \quad l = \frac{495}{25 \cdot 30} = 0,66 \text{ мм} \\ D_g = 180 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} \quad l = \frac{372}{25 \cdot 30} = 0,496 \text{ мм} \\ & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} \quad l = \frac{364}{25 \cdot 30} = 0,486 \text{ мм} \end{aligned}$$

Визначимо 2ϕ з рівняння (15) для кожного поєднання діаметрів валків і роликів

$$\begin{array}{lll} D_{\phi}=360 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} & 2\varphi = 0,00629 \text{ мм} \\ & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} & 2\varphi = 0,00302 \text{ мм} \\ D_{\phi}=180 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} & 2\varphi = 0,00526 \text{ мм} \\ & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} & 2\varphi = 0,00664 \text{ мм} \end{array}$$

Істинну та еквівалентну деформації визначимо з рівнянь (18) та (19)

$$e = \ln\left(\frac{2\varphi \cdot r_p}{h}\right); e_{екв} = \frac{e}{\sqrt{3}}$$
$$\begin{array}{lll} D_{\phi}=360 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} & e = \ln \frac{0,00628 \cdot 15}{1,5} = -2,766 \text{ мм} \\ & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} & e = \ln \frac{0,00902 \cdot 11,5}{1,5} = -2,67 \text{ мм} \\ D_{\phi}=180 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} & e = \ln \frac{0,00526 \cdot 15}{1,5} = -2,94 \text{ мм} \\ & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} & e = \ln \frac{0,00664 \cdot 11,5}{1,5} = -2,97 \text{ мм} \end{array}$$

Висновки. Порівняння еквівалентної деформації $e_{екв}$ роликом і деформації валками діаметром 180 мм з обтисненням $\Delta h=0,2$ мм; $\mu=1,15$; $e=0,139$ показує на порядок більшу величину деформації роликом.

Таким чином, розроблена математична модель запропонованого способу прокатки з інтенсивною пластичною деформацією, проведені розрахунки дають можливість припустити значні зміни структури матеріалу, зменшення розмірів зерен. Останнє безумовно повинно відобразитися на зміні фізико-механічних властивостей матеріалу, а саме підвищення його корозійної стійкості і рівня механічних властивостей.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
2. Динник А.А. Энергосиловые и кинематические параметры процесса прокатки: Учебное пособие / А.А. Динник. – Днепропетровск: ДМетИ, 1974. – 85 с.
3. Томсен Э. Механика пластических деформаций при обработке металлов / Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши. – М.: Машиностроение, 1968. – 504 с.

REFERENCES

1. Bronstein IN Handbook of mathematics for engineers and students of universities / IN Bronstein, K.A. Semendyaev. - M.: Nauka, 1986. - 544 p.

2. Dinnik AA Energy and kinematic parameters of the rolling process: Textbook / AA Dinnik. - Dnepropetrovsk: DMetI, 1974. - 85 p.
3. Thomsen E. Mechanics of plastic deformations in metalworking / E. Thomsen, C. Young, S. Kobayashi. - M.: Mashinostroenie, 1968. - 504 p.

Received 17.09.2021.

Accepted 23.09.2021.

Математическая модель силового и деформационного взаимодействия полосы и валков при прокатке с интенсивной пластической деформацией

Все более жесткие требования предъявляются к качеству нефтегазовых труб, в частности, к их коррозионной стойкости. Использование углеродистых марок для их изготовления по традиционной технологии не обеспечивает достаточного уровня защиты от коррозии или есть слишком дорогой. Применение механизма интенсивной пластической деформации позволяет значительно изменить зернистость и тем самым повысить механические свойства металла и его коррозионную стойкость. Разработана схема простого процесса прокатки с холостым роликом предусматривает использование интенсивной пластической деформации. Математическая модель позволяет установить истинную степень деформации полосы, спроектировать лабораторный эксперимент, определить коррозионную стойкость металла и разработать промышленную установку для обработки внутренней поверхности труб.

Mathematical model of force and deformation interaction of strip and rolls during rolling with intense plastic deformation

The operating conditions of oil and gas pipes determine strict requirements for their structure and properties, in particular, corrosion resistance. It is known that the mechanical properties and corrosion resistance of steels significantly depend on the degree of grinding of the grain and the homogeneity of the structure. One of the ways to form a fine-grained structure, increase mechanical and corrosion properties is intense plastic deformation.

In order to determine the effect of intense plastic deformation on the deformation treatment of steel strips, a scheme of a simple rolling process with a blank roller was developed. The possible influence of intense plastic deformation in such a scheme on the structure of the metal required the development of a mathematical model, the purpose of which is to determine the magnitude of the true plastic deformation. Based on the results of mathematical modeling, laboratory experiment in rolling strips and determining their corrosion resistance in the proposed scheme, it is envisaged to develop an industrial installation for processing the inner surface of pipes.

The mathematical model of the proposed rolling scheme with a certain value of intense plastic deformation is expected to be described in four stages.

The first is to determine the force of pressing the idler roller into the material at a fixed amount of force applied to the lever of the mechanism.

The second is to determine the magnitude of the pressure force of the idler roller on the rolled strip and the working roll.

The third is to determine the depth of indentation of the roller in the strip at a given load in the absence of rotation of the rolls.

Fourth - determining the actual and equivalent degree of deformation of the strip by a blank roller.

Conclusion. Comparison of equivalent deformation $e_{екв}$ roller and deformation rollers with a diameter of 180 mm with compression $\Delta h=0,2$ мм; $\mu=1,15$; $e=0,139$ shows an order of magnitude greater deformation of the roller. The mathematical model of the offered way of rolling with intensive plastic deformation is developed, the carried-out calculations give the chance to assume considerable changes of structure of material, reduction of the sizes of grains. The latter should certainly be reflected in the change of physical and mechanical properties of the material, namely the increase of its corrosion resistance and the level of mechanical properties.

Богдан Дмитрий Алексеевич - директор по качеству и технологии «Интерпайп НТЗ».

Балакин Валерий Федорович - д.т.н., профессор кафедры качества, стандартизации и сертификации Национальной металлургической академии Украины.

Штода Максим Николаевич - к.т.н., доцент кафедры обработки металлов давлением Днепропетровского государственного технического университета.

Николаенко Юлия Николаевна - старший преподаватель кафедры теории, технологии и автоматизации металлургических процессов Национальной металлургической академии Украины.

Богдан Дмитро Олексійович - директор з якості та технології «Інтерпайп НТЗ».

Балакін Валерій Федорович - д.т.н., професор кафедри якості, стандартизації та сертифікації Національної металургійної академії України.

Штода Максим Миколайович - к.т.н., доцент кафедри обробка металів тиском Дніпровського державного технічного університету.

Николаєнко Юлія Миколаївна - старший викладач кафедри теорії, технології та автоматизації металургійних процесів Національної металургійної академії України.

Bohdan Dmytro Oleksiiovych - Director of Quality and Technology, Interpipe NTZ.

Balakin Valeriy Fedorovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Quality, Standardization and Certification of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Shtoda Maksym Mykolayovych - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal Pressure Processing, Dnipro State Technical University.

Nykolayenko Yulia Mykolayivna - Senior Lecturer of the Department of Theory, Technology and Automation of Metallurgical Processes of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Т.А. Желдак, Л.С. Коряшкіна, Д.М. Гаранжа, Д.О. Сердюк

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРО ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛУ В БАГАТОЕТАПНОМУ ПРОКАТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Анотація. Представлена система підтримки прийняття рішень базується на реалізації математичної моделі задачі оптимального використання металу в двоетапному процесі його розподілу при виробництві прокатної продукції, а саме: на етапі розливки сталі з ковша при конвертерному виробництві і під час формування заготовок в машинах з неперервним литтям. Критерієм оптимальності є мінімізація втрат металу. При цьому враховується вид продукції, що виробляється, і можливі варіанти розкрою в двох переділах прокатки. Важливою частиною СППР є попередня обробка великого замовлення, яке містить різні типи продукції і передбачає виконання декількох плавов. Запропонований евристичний алгоритм розбиття великого замовлення на такі частини, які можна виконати в межах лише однієї плавки з якомога більшим заповненням ковша. Наведені результати обчислювальних експериментів підтверджують коректність математичної моделі задачі оптимального розподілу металу на виконання плану виробництва прокатної продукції. Представлені розрахунки демонструють також можливість застосування розробленої системи на металургійних підприємствах під час виробництва прокатної продукції для забезпечення мінімальної кількості переналадок обладнання різальних машин і раціональне використання металу.

Ключові слова: витратний коефіцієнт металу, мірність, оптимізаційна задача розкрою, двоетапна модель, замовлення, алгоритм.

Постановка проблеми. Металургійна промисловість є однією з провідних галузей економіки України. Її продукція знаходить широке застосування в усіх галузях народного господарства. Внутрішній ринок металопродукції є базою розвитку країни. Основними чинниками, які характеризують зростання попиту на металопродукцію на внутрішньому ринку, є: зростання потреби в продукції гірничо-металургійного комплексу; розширення масштабів будівництва і реалізація реформ у житлово-комунальному господарстві; імпортозаміщення окремих видів машин і устаткування; необхідність технічного переоснащення основних фондів галузей економіки; реалізація нових проектів в промисловості та енергетиці, в першу чергу національних; оновлення парку

рухомого складу на залізничному транспорті; відновлення та розвиток машинобудування та ін.

Як зазначається в [1], рушійними силами в розвитку як вітчизняної, так і світової металургії на сьогоднішній день є прагнення передових металургійних компаній задовольняти запити як ринку в цілому, так і окремих клієнтів, розробка нових продуктів, діджиталізація процесів, удосконалення наявних технологій і імплементація нових «зелених» проектів.

Стимулювання стратегічних зрушень на металургійних підприємствах сприяє їх розвитку на інтенсивній основі, досягненню позитивного ефекту в будівництві, машинобудуванні, розбудові дорожньо-транспортного комплексу, створенню нових робочих місць і формуванню передумов для стійкого економічного зростання країни [2]. Тому дослідження проблем, пов'язаних з інтенсифікацією роботи підприємств металургійної галузі і вирішенням актуальних виробничих питань, заслуговує уваги з боку дослідників та науковців.

Важливими стратегічними заходами розвитку підприємств металургійної галузі є створення та впровадження новітніх і удосконалених традиційних технологій, в тому числі, енерго- та ресурсозберігаючих. В роботі [3] розглянуто технологічний процес виробництва металопрокату і запропонована математична модель задачі оптимального використання металу як на етапі розливки сталі з ковша при конвертерному виробництві, так і під час формування заготовок в машинах з неперервним литтям. При цьому враховуються всі види продукції, що вироблятиметься, і можливі варіанти розкроювання в двох перedілах прокатки. Дана робота присвячена розробці алгоритму і програми, що реалізує вказану модель, а також обґрунтуванню можливості і особливостям її використання на металургійних підприємствах.

Мета дослідження. Розробка системи підтримки прийняття рішень щодо використання металу під час багатоетапного виробництва прокатної продукції в межах заданого плану і забезпечення зниження енергетичних та ресурсних витрат за рахунок використання розробленого математичного і програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з найефективніших способів вдосконалення прокатного виробництва є, безумовно, впровадження інформаційних технологій. Тому невід'ємною частиною сучасних прокатних станів є електронні системи проектування, розрахунку, контролю та обліку виробничих процесів. Серед основних напрямків науково-технічних досягнень в області виробництва листового і сортового прокату в роботі [4] виділені розро-

бка засобів комп'ютерного моделювання процесів виробництва гарячекатаних і холоднокатаних смуг, арматурного прокату, катанки і профілів високої точності для машинобудування; прогнозування показників якості прокату; вдосконалення технології їх виробництва. Автори зазначають, що на сьогодні ними розроблено комплекс математичних моделей розрахунку температурно-швидкісних, деформаційних, енергосилових параметрів гарячої прокатки смуг і сортового прокату, а також прогнозування показників механічних властивостей цих видів продукції. На основі цих моделей розроблено метод визначення раціональних схем виробництва гарячекатаного листового і сортового прокату з безперервно литих заготовок в ливарно-прокатних комплексах. Метод заснований на аналізі результатів математичного моделювання параметрів прокатки і прогнозування показників якості прокату із застосуванням теорії прийняття рішень. Він дозволяє обґрунтовано підходити до вибору конструктивно-структурних схем ливарно-прокатних комплексів в залежності від показників якості прокату, заданого сортаменту і продуктивності.

В роботі [5] розглянуто актуальну проблему виробництва сортового прокату в прутках на діючому виробництві стана 370/150 ВАТ «БМЗ керуюча компанія холдингу» БМК» (Білорусь). Наведено коротку технологічну модель отримання сортового прокату в прутках, розроблений алгоритм системи визначення оптимального розкрою сортового прокату, який дозволяє не тільки значно знизити втратний коефіцієнт металу при виробництві, але й контролювати сам процес в момент розкроювання.

Методику розв'язання задачі оптимального розкрою, що ґрунтується на комбінаторному аналізі можливих варіантів формування розкрійних планів для розрізання довгомірного прокату і зіставлення їх за критерієм максимального виходу товарного прокату замовний (заданої) довжини і максимальної вартості товарного прокату запропоновано в [6]. На першому етапі розглядався детермінований випадок з відомою координатою торця довгомірного прокату, а на другому випадок, коли становище торця довгомірного прокату описувалося ймовірнісними характеристиками. Авторами встановлені загальні закономірності, які забезпечують найкращий розкрій довгомірного прокату на різних стадіях виробництва стрижневого прокату.

В даній статті розглядається двоетапний процес розподілу металу при виробництві сортового прокату, математична модель оптимізації якого була запропонована в роботі [3], базуючись на результатах досліджень в [7, 8].

Викладення основного матеріалу дослідження. Схема технологічного процесу виробництва прокату включає послідовність наступних операцій: 1) виплавка сталі, 2) розливка зливків у виливниці, 3) нагрівання зливків, 4) прокатка блюмів, 5) обріз блюмів парогідравлічним ножом, 6) прокатка передільної заготовки, 7) розкроювання передільної заготовки, 8) нагрівання штанг-заготовок, 9) прокатка профілів готової продукції, 10) розкроювання профілів готової продукції, 11) завершальна обробка готової продукції. Вочевидь, кожна з операцій суттєво впливає на виконання наступних.

Отже, розкрій злитка здійснюється в два етапи. На першому – весь злиток поділяється на передільні заготовки, довжина яких може лежати в межах від 2,4м до 3,2м з кроком 0,05м. На другому – кожна передільна заготовка розкочується в готовий виріб (швелер, куточок, балка, обід ...) і ділиться на мірні штанги довжиною 12, 11,7, 9 або 6 м згідно замовленню (визначається логістичними вимогами клієнта).

Математично задача сформульована за наступних припущень: а) відома кількість блюмів певного перерізу, яку необхідно використати для виготовлення продукції за планом; б) між виливницями і блюмами встановлена однозначна відповідність, тобто відомо, з якої виливниці метал розкатується у блюм заданого перерізу; в) кожна передільна заготівка розкроюється на штанги тільки одного розміру, при цьому поділ здійснюється з урахуванням наперед розрахованої методом повного перебору оптимальної довжини передільної заготовки для кожного виду продукції, тобто для кожної довжини передільної штанги. Оскільки деякі перерізи блюмів передбачають виготовлення не одного виду готового виробу, а відразу кілька, комбінуючи довжини передільних заготовок в різній кількості, можна максимально використовувати всю довжину отриманого блюма (всю масу налитого злитка).

Зазначена вище математична модель передбачає пошук такої маси металу в ковші і такого її розподілу на зливки на етапі 2), які б дозволяли на наступних операціях розкроювати передільні заготовки і готову продукцію з останніх, мінімізуючи можливі обрізки і враховуючи поточний розмір замовлення на сортовий прокат:

$$Z(q, x) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$Z(q, x) = \sum_{n=1}^n \left(\frac{q_n}{a_n c_n \rho_n} - \sum_{m=1, M; \sigma_{nm}=1} \sum_{p=1}^4 \text{length}_m^p \cdot x_m^{p,n} \right);$$

за умов

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n \leq Q; \quad (2)$$

$$\sum_{n=1}^N x_n^{p,n} = \text{NumberZag}_m^p, m = 1, 2, \dots, M; p = 1, 2, 3, 4; \quad (3)$$

$$\text{NumberZag}_m^p = \frac{b_m^p}{\text{amount}_m^p}, m = 1, 2, \dots, M; p = 1, 2, 3, 4; \quad (4)$$

$$\sum_{m=1, \overline{M}; \sigma_{nm}=1} \sum_{p=1}^4 \text{length}_m^p \cdot x_n^{p,n} - \frac{q_n}{a_n c_n \rho_n} \leq 0, n = 1, 2, \dots, N; \quad (5)$$

$$q_{\min} \leq q_n \leq q_{\max}, n = 1, 2, \dots, N; \quad (6)$$

$$x_n^{p,n} \geq 0, x_n^{p,n} - \text{цiлі}, p = 1, 2, 3, 4; m = \overline{1, M}; n = \overline{1, N}; \sigma_{nm} = 1. \quad (7)$$

Тут Q – максимальна кількість металу в ковші (кг); ρ – густина металу (кг/м³); N – кількість виливниць для розливки зливоків $q_n, n = 1, 2, \dots, N$ – маса зливку в n -й виливниці; $q_{\min}, q_{\max}$ – мінімально і максимально можлива маса зливку; M – кількість видів продукції, що виготовляється; $b_m^p = \overline{1, M}, p = \overline{1, 4}$; – план виготовлення продукції (штанг) $l_p, p = 1, 2, 3, 4$; – можливі довжини штанг відповідно замовленню; length_m^p – оптимальна довжина передільної заготовки для виробництва відповідної продукції; NumberZag_m^p – кількість заготовок довжини length_m^p , яку необхідно отримати в результаті розкрою злитків для виконання замовлення; amount_m^p – кількість штанг відповідної продукції, отримана після розкрою однієї заготовки довжини length_m^p ; $x_n^{p,n}$ – кількість заготовок довжини length_m^p , яку отримаємо після розкрою n -го блюму.

Якщо I – кількість варіантів блюмів, що відрізняються площею поперечного перерізу, то зв'язок між блюмами та продукцією встановлюється за допомогою матриці $H = \{h_{im}\}, i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M}$; з елементами:

$$h_{im} = \begin{cases} 1, & \text{якщо з } i\text{-го блюму можна отримати } m\text{-ту продукцію} \\ 0 & \text{у протилежному випадку;} \end{cases}$$

А отже, кожному індексу n поставлений у відповідність номер перерізу блюму, що зазначимо в матриці $D = \{d_{in}\}, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}$, елементи якої визначаються за правилом:

$$d_{in} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } n\text{-й блюм має переріз } i\text{-го типу} \\ 0, & \text{у протилежному випадку.} \end{cases}$$

Якщо величина $\sigma_{nm} = \sum_{i=1}^I h_{im} d_{in}$ дорівнює 1, їй відповідають чотири цілі невід’ємні змінні $x_n^{p,n}$. Коли σ_{nm} змінної $x_n^{p,n}$ не існує.

Довжина n -го блюму після прокатки $l_n = \frac{q_n}{a_n c_n \rho_n}$, де $a_n = \sum_{i=1}^I d_{in} \bar{a}_i$, $c_n = \sum_{i=1}^I d_{in} \bar{c}_i$

– розміри перерізу блюму.

Розглянемо особливості реалізації наведеної моделі. По-перше, зазначимо, що задача (1) – (7) є задачею частково-цілочисельного лінійного програмування, для розв’язання якої застосовується метод гілок та меж. По-друге, оскільки модель (1) – (7) сформульовано в межах однієї плавки, а розмір замовлення (загалом) на прокатну продукцію з однієї марки сталі може значно перевищувати розмір одного ківша, то потрібно здійснити розбиття всього замовлення на частини, кожна з яких може бути виконана за одну плавку. По-третє, саме замовлення на практиці вимірюється не в штангах певної довжини, а в тонах готової продукції. А, отже, реалізація побудованої моделі передбачає етап попередньої обробки вихідних даних, на якому: 1) з усіх поточних замовлень формується єдине замовлення; 2) отримане замовлення, що вимірюється тонами, конвертується в таке, що вимірюється в штангах готової продукції; 3) останнє в свою чергу поділяється на декілька частин так, щоб для кожної частини виконувалася умова розв’язності задачі (1) – (7): $\sum_{p=1}^4 \sum_{m=1}^M mass_m^p b_m^p \leq Q$, де $mass_m^p$ – маса

1 штанги відповідної продукції (маса 1 н.м. $\cdot l_p$). Крім того, оцінюється, скільки блюмів і якого перерізу потрібно використовувати для виконання замовлення:

$$\frac{1}{M_{\max}} mass_m^p b_m^p h_{im} \leq w_i \leq \frac{1}{M_{\min}} mass_m^p b_m^p h_{im}, i = \overline{1, I},$$

де $M_{\max}$ і $M_{\min}$ – максимальна і мінімальна кількість металу, що вміщується в блюм. Величини w_i визначимо так, щоб виконувалась рівність $\sum_{i=1}^I w_i = N$.

Таким чином, ухвалення рішень про використання металу в процесі виконання замовлень на сортовий прокат здійснюється в розробленій комп’ютерній системі за схемою, наведеною на рис. 1.

Продемонструємо роботу СППР на прикладі задачі мінімізації втрат металу при виконанні 5 замовлень, склад яких відображений в табл. 1 і містить тип продукції (номер швелера), її довжину і потрібну масу.

Приклад замовлення			
№ замовлення	№ швелера	Довжина (м)	Маса (т)
1	8; 10; 16	9; 11,7; 6	14; 27; 24
2	12; 12; 16	6; 9; 11,7	100; 25; 35
3	8; 10; 14; 12	9; 12; 11,7; 6	30; 27; 15; 5
4	8; 12; 14; 10	12; 12; 11,7; 6	10; 29; 10; 14
5	10; 14; 14; 16	9; 11,7; 6; 11,7	15; 15; 10; 9

З усіх замовлень формується єдиний, сортований за номером продукції, список, де фіксується загальна маса виробів за їх типом та перерізом (табл. 2).

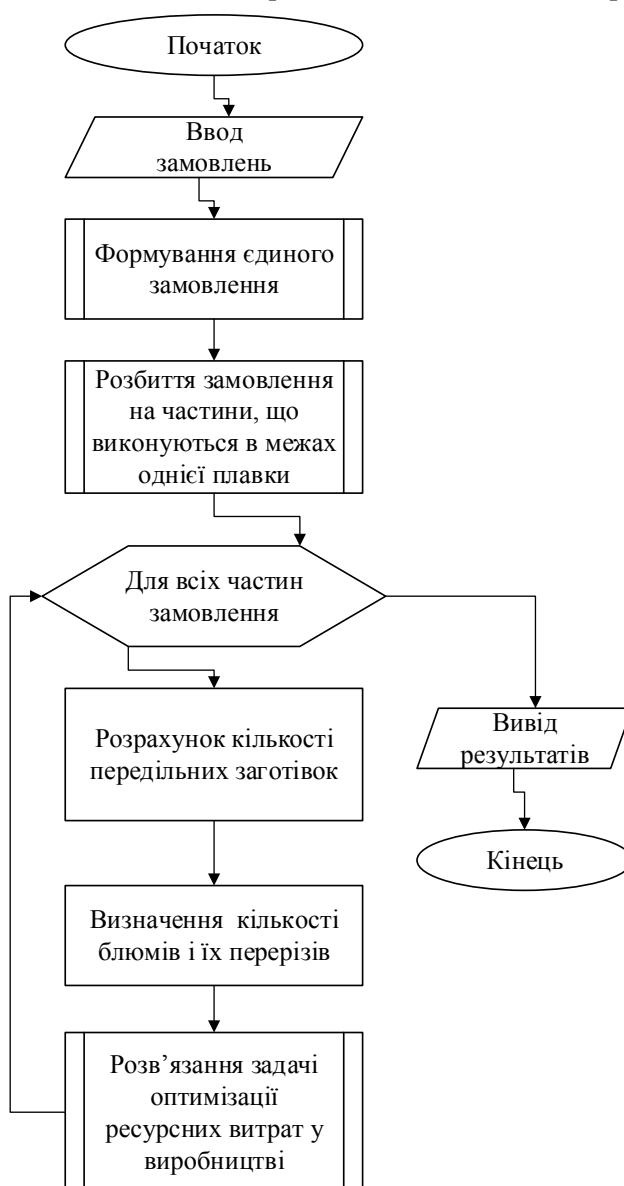


Рисунок 1 – Послідовність процедур з обробки замовлень, що виконуються в розробленій СППР

Оскільки технологічний процес передбачає обмежену кількість металу, що використовується в межах однієї плавки (від 50т до 60 т), то велике замовлення цілеспрямованим перебором розбивається на частини так, щоб маса кожної з них не виходила за вказані границі. Алгоритм розбиття розроблений таким чином, щоб на одну плавку приходилося якомога менше типів продукції. Так, замовлення з табл. 2 поділено на 7 частин, інформація про які наведена в табл. 3. Слід зазначити, що на практиці частина замовлень може бути не включена до жодної з плавки. Тоді вона додається до замовлення наступного дня.

Таблиця 2

Загальне денне замовлення

Швелер №	Довжина, м	Маса (т)
8	9	44
8	12	10
10	11.7	27
10	12	27
10	6	14
10	9	15
12	6	105
12	9	25
12	12	29
14	11.7	40
14	6	10
16	6	24
16	11.7	44

Оскільки математична модель (1) – (7) задачі оптимізації витрат металу у прокатному виробництві передбачає план розкроювання блямбів на першому етапі, вимірюваний в передільних заготовках, то обов'язково розраховується така кількість цих заготовок відповідної довжини (див. останній стовпчик табл. 3), яка дозволить отримати на другому етапі розкроювання злитків потрібний обсяг продукції. При цьому враховуються знайдені повним перебором оптимальні варіанти довжин передільних заголовки для фасонних профілів типу швелер, що виготовляються прокатним цехом №2 (Стан 550) ПАО «ДМЗ» (м. Дніпро) [3].

Приклад замовлення на сім плавов

№ плавки	Типи швелерів		Довжини, м		Маси, тон		Кількість передільних заготовок, шт (штанг)	
1	8	8	9	12	44	10	139 (695)	29 (116)
2	10	10	11,7	12	27	27	67 (268)	87 (261)
3	12		6		52,5		107 (856)	
4	12		6		52,5		107 (856)	
5	10	14	6	11,7	14	40	38 (266)	94 (282)
6	14	16	6	11,7	10	44	19 (133)	90 (270)
7	12	12	9	12	25	29	54 (270)	59 (236)

В табл. 4 наведені довжини передільних заготовок, які забезпечують мінімальні втрати металу на другому етапі розкроювання для продукції із замовлення, що розглядається.

В табл. 5 наведені результати розв'язання задачі оптимізації (1) – (7). Для кожної з плавов вкажемо: масу металу, що подається в ковш; розподіл його по блюмах; кількість передільних заготовок, які отримано у результаті розкроювання за розмірами, відповідно до продукції, що виробляється. Також розрахований відсоток втрат металу під час виконання замовлення.

Таблиця 4

Оптимальні довжини передільних заготовок

Номер швелеру,	Довжина виробу (м)	Перетин, мм*мм	Довжина передільної заготовки, м	Кількість штанг, шт
8	9	125*125	2,75	5
8	12	125*125	2,9	4
10	11,7	130*130	3,2	4
10	12	130*130	2,45	3
12	6	150*150	2,95	8
12	9	150*150	2,75	5
12	12	150*150	2,95	4
14	11,7	150*150	2,55	3
14	6	150*150	3,05	7
16	11,7	150*150	2,9	3

Таблиця 5

Оптимальний розподіл металу по блюмах, їх розкрій і втрати металу

№ плавки	Маса металу в ковші, кг	Розподіл металу по блюмах		Тип швелеру: кількість передільних заготовок, шт	Загальна маса продукції, кг	Втрати, %
		№ блюму	Маса, кг			
1	57244	1-6	7088,8	8(9): 21 ; 8(12): 0	54000	5,67
		7	7328,2	8(9): 8 ; 8(12): 13		
		8	7383,4	8(9): 5 ; 8(12): 16		
2	56764	1 - 3	7156,1	10(11,7): 0 ; 10(12): 22	54000	4,87
		4 - 6	7222,5	10(11,7): 17 ; 10(12): 0		
		7	6505,6	10(11,7): 0 ; 10(12): 20		
		8	7122,9	10(11,7): 16 ; 10(12): 1		
3, 4	55794	1 - 7	7300,2	12(6): 14	52500	5,9
		8	4693,0	12(6): 9		
5	57000	1 - 2	7315,4	10(6): 19 ; 14(11,7): 0	54000	5,26
		3 - 7	7211,8	10(6): 0 ; 14(11,7): 16		
		8	6310,3	10(6): 0 ; 14(11,7): 14		
6	56378	1 - 3	7291,4	12(9): 15 ; 12(12): 0	54000	4,22
		4 - 7	7300,2	12(9): 0 ; 12(12): 14		
		8	5939,1	12(9): 9 ; 12(12): 3		
7	57014	1 - 6	7176,5	14(6): 0 ; 16(11,7): 14	54000	5,29
		7	6310,3	14(6): 6 ; 16(11,7): 6		
		8	7008,5	14(6): 13 ; 16(11,7): 0		

Оскільки на практиці допускається значення втрат металу до 10%, то можна зробити висновок, що розроблена математична модель дозволяє вирішувати проблему надвитрат металу під час виробництва прокатної продукції і кількісно обґрунтовувати прийняття відповідних рішень.

Висновки. В даній роботі було розроблено систему підтримки прийняття рішень про раціональне використання металу під час виробництва сортового прокату. В основі системи лежить алгоритм, що реалізує математичну модель задачі оптимального розподілу металу на виконання плану виробництва прокатної продукції, який дозволяє мінімізувати не тільки втрати металу в момент його розливки у виливниці, але й обрізки в ході розкроювання отриманих злитків на передільні заготовки. При цьому враховується можливість наперед оці-

нити оптимальний розмір передільної заготовки, виходячи з бажаного розк-
роювання по довжині готової продукції, допустимих для даної продукції про-
філів передільної заготовки та обмежень на вагу одного зливка згори та знизу.
Задачу узагальнено на випадок, коли розмір замовлення перевищує розмір
плавки, а також на випадок паралельного виконання кількох замовлень на
прокатну продукцію з однієї марки сталі. Результати обчислювальних експе-
риментів свідчать про можливість застосування розробленого алгоритму як ос-
нови системи прийняття рішень про раціональне використання металу у про-
катному виробництві.

Роботу виконано у рамках державної бюджетної тематики за номером:
0121U109788.

ЛІТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Современные технологии и мировые тенденции в металлургии [Электрон-
ный ресурс] // Metinvest. – 13 марта 2020. – Режим доступа:
<https://metinvestholding.com/ru/media/article/sovremennye-tehnologii-v-metallurgii-i-mirovie-tendencii>.
2. Пилипенко А.А. Стратегічні напрями розвитку підприємств металургійної
галузі [Електронний ресурс] / А.А. Пилипенко // Ефективна економіка, 2014. –
№ 1. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2800>.
3. Hnatushenko V.V. Mathematical model of steel consumption minimization
considering the two-stage billets cutting / V.V. Hnatushenko, T.A. Zheldak,
L.S. Koriashkina // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. –
2021. – № 2. – Р. 118-124.
4. Приходько И.Ю. Основные направления исследований и актуальные разра-
ботки прокатного отдела Института черной металлургии Национальной акаде-
мии наук Украины / И.Ю. Приходько, С.А. Воробей, В.Г. Раздобреев // ЧЕРНАЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ. Бюллетень научно-технической и экономической информа-
ции. 2019. – №75(11). – С. 1270-1275.
5. Панковец И.А. Разработка и внедрение автоматизированной системы опти-
мального раскроя прутка на стане 370/150 ОАО «БМЗ – управляющая компания
холдинга «БМК» / И.А. Панковец // Литье и металлургия, 2019. – № 4. – С. 38-42.
6. Бешта А. С. Оптимальный раскрой длинномерного проката на прокат товар-
ной длины / А. С. Бешта, М. Ю. Кузьменко, О. А. Бойко, А. С. Соколова // Научо-
вый вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 2. – С. 76-85.

7. Желдак Т.А. Системний аналіз факторів, що визначають мірність сортового прокату та шляхи мінімізації немірної продукції / Т.А. Желдак, Д.М. Гаранжа // Науковий вісник НГУ. – 2009. – №8. – С. 73-77.
8. Slesaryev V.V. Using of the Tabu search method in optimization the rolled stock layout / V.V. Slesaryev, T.A. Zheldak, D.M. Garanzha and O.D. Stanina // Scientific Reports on Resource Issues : Rock Strength, Rock Fragmentation and Effective Use of Energy Potential of Geotechnical Systems. TU Bergacademie Freiberg. – 2012. – Vol. 2 – P. 87-99.

REFERENCES

1. Modern technologies and world trends in metallurgy [Electronic resource] // Metinvest. – 13 March 2020. – Access mode: <https://metinvestholding.com/ru/media/article/sovremennie-tehnologii-v-metallurgii-i-mirovie-tendencii>.
2. Pylypenko AA Strategic directions of enterprises metallurgical industry development [Electronic resource] / A. A. Pylypenko // Effective economy, 2014. – № 1. – Access mode : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2800>.
3. Hnatushenko V.V. Mathematical model of steel consumption minimization considering the two-stage billets cutting / V.V. Hnatushenko, T.A. Zheldak, L.S. Koriashkina // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2021. – № 2. – P. 118-124.
4. Prihod'ko I.Yu. The basic areas of research and actual developments of the rolling department of the Institute of Ferrous Metallurgy, Ukraine' National Academy of Sciences / I.Yu. Prihod'ko, S.A. Vorobei, I. G. Razdobreev // Ferrous metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic information. 2019. – Vol. 75. – № 11. – С. 1270-1275.
5. Pankovets I.A. Development and implementation of an automated system of optimal bar cutting at the mill 370/150 at OJSC «BSW – Management Company of the Holding «BMC». Litiya i Metallurgiya (Foundry production and metallurgy). – 2019. – Vol. 4. –P. 38-42. (In Russ.)
6. Beshta A.S. Optimal deviding of long products into rolled products of marketable length / A.S. Beshta, M.Yu. Kuzmenko, O.A. Boyko, A.S. Sokolova // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2014. – № 2. – P. 76-85.
7. Zheldak T.A. Системний аналіз факторів, що визначають мірність сортового прокату та шляхи мінімізації немірної продукції / Т.А. Zheldak, D.M. Haranzha // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2009. – № 8. – P. 73-77.

8. Slesaryev V.V. Using of the Tabu search method in optimization the rolled stock layout / V.V. Slesaryev, T.A. Zheldak, D.M. Garanzha and O.D. Stanina // Scientific Reports on Resource Issues : Rock Strength, Rock Fragmentation and Effective Use of Energy Potential of Geotechnical Systems. TU Bergacademie Freiberg. – 2012. – №. 2 – P. 87-99.

Received 27.09.2021.

Accepted 30.09.2021.

***Система поддержки принятия решений об использовании металла
в многоэтапном прокатном производстве***

Представленная система базируется на реализации математической модели задачи оптимального расхода металла в двухэтапном процессе его распределения при производстве прокатной продукции, а именно: на этапе разливки стали из ковша при конвертерном производстве и при формировании заготовок в машинах с непрерывным литьем. Критерием оптимальности является минимум потерь металла. При этом учитывается вид производимой продукции и возможные варианты раскроя в двух переделах прокатки. Важной частью СППР является предобработка большого заказа, содержащего различные типы продукции и предусматривающего выполнение нескольких плавов. Предложен эвристический алгоритм разбиения большого заказа на такие части, которые можно выполнить в пределах только одной плавки с как можно полным заполнением ковша. Приведенные результаты вычислительных экспериментов подтверждают корректность математической модели задачи оптимального распределения металла при выполнении плана производства прокатной продукции. Представленные расчеты показывают также возможность применения разработанной системы на металлургических предприятиях при производстве прокатной продукции для обеспечения минимального количества переналадок оборудования режущих машин и рационального использования металла.

Decision support system for the use of metal in multi-stage rolling production

The presented system is based on the implementation of a mathematical model of the problem of optimal metal consumption in a two-stage process of its distribution in the production of rolled products, namely: at the stage of casting steel from a ladle during converter production and during the formation of blanks in machines with continuous casting. The criterion of optimality is the minimum loss of metal. This takes into account the type of products produced and possible options for cutting in two rolling stages. The mathematical model is a problem of partial-integer linear programming. For its solving, we use the method of branches and boundaries. An important part of the DSS is the preprocessing of a large order containing various types of products and providing for the execution of several heats. The proposed heuristic algorithm for dividing a large order into parts that can be performed within only one heat with as complete filling of the ladle as possible. Moreover, the received order, measured in tons, is converted into that measured in the bars of the finished product. The presented results of computational experiments confirm the correctness of the mathematical model of the problem of optimal metal distribution when fulfilling the plan for the production of rolled products. The presented calculations also show the possibility of using the developed system at metallurgical enterprises in the

production of rolled products to ensure the minimum number of changeovers of the equipment of cutting machines and the rational use of metal.

Желдак Тимур Анатолійович – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна.

Коряшкіна Лариса Сергіївна – канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна.

Гаранжа Дмитро Миколайович – старший викладач кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна.

Сердюк Дмитро Олегович – магістр кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна.

Желдак Тимур Анатольевич – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой системного анализа и управления, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина.

Коряшкіна Лариса Сергіївна – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Днепр, Украина.

Гаранжа Дмитро Миколайович – старший преподаватель кафедры системного анализа и управления, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина.

Сердюк Дмитро Олегович – магистр кафедры системного анализа и управления, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина.

Zheldak Timur Anatolijovych – Candidate of Technical Science, Head of the Department of System Analysis and Control, Dnipro University of Technology, Ukraine.

Koriashkina Larysa Sergiyivna – Candidate of Physics and Mathematics Science, Associate Professor of the Department of System Analysis and Control, Dnipro University of Technology, Ukraine.

Haranzha Dmytro Mykolaiovych – Senior teacher of the Department of System Analysis and Control, Dnipro University of Technology, Dnipro.

Serdiuk Dmytro Olegovich – Student, Dnipro University of Technology, Ukraine.

В.І. Корнієнко, О.В. Герасіна, Д.С. Тимофєєв, О.О. Сафаров, Ю.В. Ковальова
**МОДЕЛІ МОНІТОРИНГУ САМОПОДІБНОГО ТРАФІКУ ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ АТАК**

Анотація. Розглянуті авторегресійні, фрактальні та мультифрактальні моделі мережевого самоподібного трафіку, які дозволяють формувати адекватну еталонну модель (шаблон) «нормального» трафіку і за нею виявляти аномалії трафіку в системах виявлення та запобігання атак. Шляхом моделювання визначено, що сигнали нейромережевого і нейровейвлетного адаптивних фільтрів-апроксиматорів, а також гібридної та бета мультивейвлетних моделей адекватні експериментальному сигналу трафіка та мають відповідні статистичні закономірності і характеристики.

Ключові слова: системи виявлення атак, самоподібний трафік, мультифрактальні вейвлет моделі, адаптивні фільтри-апроксиматори, авторегресійні моделі.

Постановка проблеми. Захист критичних об'єктів інфраструктури від кібератак є надзвичайно важливим. При цьому, наприклад, до основних загроз для промислових систем управління відносяться, зокрема: мережеві атаки через корпоративні мережі; атаки на стандартні мережеві компоненти; атаки типу «відмова в обслуговуванні» тощо [1].

Одним із рішень актуальної задачі захисту інформаційно-комунікаційних мереж (ІКМ) від кібератак є розробка та вдосконалення систем виявлення та запобігання атак (СВА) [1-3]. Головним завданням таких систем є саме виявлення мережевих атак, спроб несанкціонованого доступу та використання ресурсів мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основна задача СВА зводиться до оперативного виявлення вторгнень в ІКМ та ініціювання ефективного захисного сценарію щодо припинення факту порушення конфіденційності, доступності та цілісності інформаційних ресурсів, сервісів [4]. За способами виявлення атак в СВА розрізняють системи виявлення зловживань та системи виявлення аномалій [2-4].

Технологія виявлення атак на основі аномалій побудована на припущенні, що аномальна поведінка суб'єкта інформаційної діяльності (атака), зазвичай,

проявляється як відхилення від нормальної поведінки, що проявляється в мережевому трафіку. При цьому в процесі функціонування СВА виконується моніторинг мережевої активності ІКМ, на основі чого оцінюються показники, що характеризують штатне функціонування ІКМ, тобто визначається «нормальний» мережевий трафік. Опісля за статистичними правилами (критерієм) приймається рішення о стані ІКМ [2, 4-6].

Головною перевагою такого підходу в СВА є можливість в процесі моніторингу мережевого трафіку відрізнити «нормальну» мережеву активність від «аномальної».

Основний недолік такого підходу полягає у складнощах визначення шаблону «нормального» трафіку.

При цьому перспективним є використання моделей захисту на основі розпізнавання аномалій в ІКМ [7-10], оскільки поточний трафік є реалізацією випадкового процесу, а його адекватна модель – статистично стійка закономірність цього процесу.

Трафік в ІКМ є нелінійним стохастичним процесом з властивостями самоподоби та з хаотичною і фрактальною динамікою. Крім того, встановлено, що агрегований трафік від різних джерел на малих часових масштабах проявляє мультифрактальний характер [11, 12].

Оцінка характеристик мережевого трафіку необхідна для побудови його адекватної моделі, що дозволяє сформувати еталонну модель (шаблон) «нормального» трафіку і за нею виявляти аномалії трафіку в СВА.

Таким чином, невирішеною задачею є побудова адекватних моделей мережевого самоподібного трафіку, які б дозволяли їх використання в СВА для виявлення мережевих аномалій в реальному масштабі часу з достатньою ефективністю відносно похибок та достовірності.

Мета роботи – дослідження та обґрунтування моделей мережевого самоподібного трафіку для виявлення його аномалій при використанні в системах виявлення та запобігання атак.

Викладення основного матеріалу дослідження. Моделі мережевого самоподібного трафіку. Фрактальним (самоподібним) є стаціонарний випадковий процес X із постійним середнім і автокореляційною функцією (АКФ), яку можна записати як:

$$r(k) \sim L_1(t)k^{-\beta} \text{ при } k \rightarrow \infty \quad (1)$$

де L_1 – поволі змінювана на нескінченності функція, тобто для $x > 0$ вона має $\lim_{t \rightarrow \infty} L_1(xt) / L_1(t) = 1$; $\beta = 2 - 2H$; $0 < \beta < 1$; H – показник Херста.

Показник Херста H характеризує ступінь самоподоби процесу. Він свідчить про наявність тренда або про випадковість процесу, а також характеризує еволюцію системи (процесу). Якщо $0,5 < H < 1$, то процес характеризується довготривалою пам'яттю і є персистентним, для якого ймовірним є збереження тенденції еволюції системи в майбутньому. Якщо ж $0 < H < 0,5$, то це говорить про антиперсистентність процесу. Його часові реалізації мінливі і складаються з частих реверсів спад-підйом. Тобто для них збільшення (зменшення) значень в минулому означає ймовірне їх зменшення (збільшення) в майбутньому.

Для самоподібних процесів АКФ має довготривалу залежність, спектральна щільність підкорюється ступеневому закону, а розподіл має «важкий хвіст» [11].

Якщо дисперсія вибіркового середнього має повільніший спад, ніж величина, зворотна довжині вибірки, то даний процес є самоподібним.

Найчастіше для апроксимації гістограм експериментальних даних самоподібних процесів застосовуються функції субекспоненціальних законів розподілу, для перевірки адекватності яких використовуються критерії згоди Колмогорова і Пірсона.

Для перевірки нульової гіпотези про незалежність і тотожність розподілу значень часового ряду використовується BDS-тест, який дозволяє виявити нелінійність породжуючої системи, відрізнити випадкові системи від детермінованого хаосу або від нелінійних стохастичних систем.

Для визначення режиму породжуючого процесу оцінюють його ентропію Колмогорова K , яка характеризує швидкість втрати інформації про стан динамічної системи в часі. К-ентропія дорівнює нулю при регулярному русі, нескінченна для випадкових систем, позитивна і обмежена для хаотичних систем.

Значення кореляційної ентропії K_C є нижньою межею К-ентропії і дозволяє оцінити інтервал точної прогнозованості процесу T_C . За час, більший T_C , можливе тільки статистичне прогнозування.

Розмірність фазового простору d , починаючи з якої кореляційна розмірність D_C перестає змінюватися, є мінімальною розмірністю вкладення атратора (найменшою цілою розмірністю фазового простору, що вміщує весь атратор). Таким чином, розмірність d визначає порядок породжуючої системи (глибину її пам'яті).

Моделі фрактальних рухів. Фрактальний броунівський рух (ФБР) – це процес, що має приріст координати броунівської частинки для будь-якої пари моментів часу t і t_0 виду

$$x(t) - x(t_0) \sim \xi |t - t_0|^H, \quad (t \geq t_0), \quad 0 < H < 1, \quad (2)$$

де $x(t_0)$ – координата частинки в деякий початковий момент часу t_0 ; ξ – стандартний гаусовий випадковий процес з незалежними прирістами; H – показник Херста. ФБР має нульове середнє, дисперсію приростів, яка збільшується з часом, а також нескінченно великий час кореляції.

Фрактальний гаусовий шум (ФГШ) – це строго самоподібний в широкому сенсі стохастичний процес з нульовим середнім та дисперсією виду

$$D[B_H(t) - B_H(t_0)] = D[\xi] \cdot |t - t_0|^{2H}, \quad (3)$$

де B_H – ФБР з показником Херста H і АКФ виду

$$r(k) = \left[|k+1|^{2H} - |2k|^{2H} + |k-1|^{2H} \right], \quad (4)$$

де $k \in N$, $0 < H < 1$.

Для побудови ФБР застосовують, наприклад, метод біортогональних вейвлетів, залежних від заданого базису і параметра Херста H . Основна ідея полягає у використанні дискретного вейвлет-перетворення (ДВП), деталізуючі коефіцієнти на кожному рівні якого є незалежними нормально розподіленими випадковими величинами, а апроксимуючі коефіцієнти – результат використання фрактальної авторегресійної інтегральної моделі з ковзним середнім (FARIMA) процесу:

$$B_H(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \Phi_H(t-k) S_k^{(H)} + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} 2^{-jH} \Psi_H(2^j t - k) \varepsilon_{j,k} - b_0, \quad (5)$$

де Ψ_H , Φ_H – біортогональний вейвлет та відповідна їй скейлінг функції; $S_k^{(H)}$ – стаціонарний гаусовий процес FARIMA; $\varepsilon_{j,k}$ – незалежні гаусові випадкові величини; b_0 – константа, така що $B_H(0) = 0$.

Перевагами моделей ФБР і ФГШ є властивості самоподоби і довготривалої залежності, що відповідають властивостям експериментальних даних, а також можливість їх аналітичного трактування. Проте, їх недоліки полягають в обмеженнях опису мережевого трафіку і складнощах підбору значень параметрів для генерації трафіку, подібного до експериментальних даних. Крім цього, єдиного параметра, що характеризує кореляційну структуру (асимптотичне убування) ФБР і ФГШ, недостатньо для моделювання трафіку.

Фрактальний рух Леві є узагальненням ФБР, представником класу α -стійких процесів. Він має властивості самоподоби і нескінченний інтервал кореляції. Прирости даного процесу є самоподібними з $H = 1/\alpha$ і залежними один від одного, а також мають розподіли з «важкими хвостами». Відповідно, модель враховує два показники: Херста $H \in [1/2, 1]$ і Леві $\alpha \in [0, 1]$. Позитивами даної моделі є можливість її математичного опису, а також здатність враховувати розподіл з «важким хвостом». Серед недоліків варто відзначити необхідність враховувати декілька параметрів, що визначають стан моделі (зокрема, для визначення показника α відсутній прямий метод оцінки).

Переваги моделей фрактальних рухів: концептуально прості; можуть описати складну динаміку багатьох реальних систем; відносно мале число параметрів і їх вибір наочний; дозволяють виявити стійкі стани системи.

Авторегресійні моделі припускають, що поточне значення процесу є сумою постійної, зваженої суми попередніх значень і похибки моделі. Прикладами таких моделей є: ARMA (авторегресійна модель ковзного середнього), ARIMA (авторегресійна інтегральна модель ковзного середнього) і FARIMA.

При оцінюванні та ідентифікації процесів для реалізації авторегресійних моделей використовують також адаптивні фільтри-апроксиматори (АФА), процес адаптації яких включає оцінювання шуканого виходу фільтра та корегування його параметрів в залежності від значення вихідної похибки.

Серед них можна виділити нейромережеві (НМ) та нейро-вейвлетні (НВ) АФА [11]. Нейромережеві (НМ) моделі представляють собою набір сполучених між собою нейронів, для яких перетворення вхідного вектора у вихідний задається значеннями вагів мережі. Вихідні значення нейронів залежать від вибору функції активації.

Серед НМ моделей найкращі результати показує гетерогенна мережа, що складається з прихованих шарів з нелінійною функцією активації нейронів і вихідного лінійного нейрона.

Рівняння АФА на основі НМ прямого розповсюдження з прихованим шаром представляється у вигляді рівняння згортки [11]:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{\tau \in P} F_{\hat{x}} \left\{ \sum_{l \in Q} v_l[\tau] \cdot F_l \left(\sum_{m \in Q} v_{l,m}[\tau] \cdot u_m[k-\tau] \right) \right\}, \quad (6)$$

де P – множина глибин пам'яті відповідних входів; $F_{\hat{x}}$ – активаційна функція вихідного шару НМ; Q – множина входів нейронів; l – порядковий номер входу вихідного шару НС; v_l – вагові коефіцієнти вихідного шару; F_l – активаційна

функція нейронів прихованого шару; m – порядковий номер входу НМ; $v_{l,m}$ – вагові коефіцієнти зв'язку m -го входу і l -го нейрона; u_m – вхід НМ.

Параметрами настройки цієї НМ є $\{v_l, v_{l,m}\} \subset a$, де a – вектор параметрів навчання мережі.

Зазвичай для настройки параметрів НМ прямого розповсюдження (6) використовують градієнтні алгоритми, наприклад, алгоритм зворотного поширення помилки в просторі параметрів a при заданій архітектурі НМ і структурних функціях F .

Перевагами НМ моделей є: автоматичне набуття знань; масштабованість; можливість навчання; нелінійність моделей; адаптивність; одноманітність аналізу і проектування. Серед недоліків варто відзначити: складний аналіз навченої мережі; процес їх навчання вимагає немало часу; труднощі вибору алгоритму навчання і архітектури мережі; жорсткі вимоги до навчальної вибірки.

Фільтри з частотним перетворенням мають переваги над фільтрами зі згортою в часовій області, завдяки скороченню об'єму обчислень і покращенню властивості збіжності алгоритмів адаптації. При цьому, в наслідок здатності представляти нестационарні сигнали більш доцільним є використання дискретного час-частотного (вейвлет) перетворення, якому притаманні властивості ортонормованості, компактності, відновлення без втрат і малого об'єму обчислень.

Прикладом такого фільтру є нейронний вейвлет (НВ) АФА [11], в основу фільтрації якого покладена процедура прямого ДВП. Для зменшення впливу шуму у фільтрі здійснюють трешолдинг – порогове обмеження коефіцієнтів вейвлет розкладання. НМ використовується для прогнозування значень коефіцієнтів, по яким за допомогою зворотнього ДВП визначається прогнозований сигнал.

Рівняння НВ АФА має вигляд:

$$\hat{x}[k+1] = \sum_{p=1}^{P_l} \hat{a}_{L,p} \cdot \phi_{L,p}[k+1] + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^{P_l} \hat{d}_{l,p} \cdot \psi_{l,p}[k+1]. \quad (7)$$

де ϕ, ψ – масштабуюча і відповідна їй вейвлет функції; L – кількість рівнів розкладання; P_l – кількість коефіцієнтів на рівні розкладання l ; $\hat{a}_{L,p}$, $\hat{d}_{L,p}$ – коефіцієнти апроксимації і деталізації відповідно.

До параметрів АФА, що навчаються (адаптуються), відносяться тип базисного вейвлета ψ , кількість рівнів розкладання L , а також параметри трешолдинга і НМ.

Мультифрактальні моделі ґрунтуються на використанні мультиплікативних каскадів, що застосовують ітеративну процедуру.

Спочатку одиничний інтервал ділиться на два рівні підінтервали, вагові коефіцієнти яких r_1 і $r_2 = 1 - r_1$ відповідно. Для кожного підінтервалу процедура повторюється. Вагові коефіцієнти є незалежними, випадковими і однаково розподіленими величинами $R \in [0,1]$ з функцією розподілу вірогідності $F_R(x)$, $M[R] = 1/2$. На k -ому кроці ітеративної процедури міра $\mu(\Delta t_k)$ підінтервалу довжини $\Delta t_k = 2^{-k}$ задовольняє співвідношенню масштабування:

$$M[\mu(\Delta t_k)^q] = (M[R^q])^k = \Delta t_k^{-\log M[R^q]}, \quad (8)$$

яке визначає мультифрактальний процес з функцією масштабування:

$$\tau_0(q) = -\log_2 M[R^q]. \quad (9)$$

Завдання каскадного моделювання полягає в знаходженні розподілу вірогідності для множників R такого, щоб виконувалась рівність (9).

Не менш поширеними є мультифрактальні вейвлет моделі (MBM) [12], що дозволяють моделювати позитивні часові ряди заданої довжини. В основі їх функціонування лежить метод вейвлет перетворення, а часовий має вигляд:

$$x(t) = \sum_k U_{J_0,k} \phi_{J_0,k}(t) + \sum_{i=J_0}^{\infty} \sum_k W_{j,k} \psi_{j,k}(t), \quad (10)$$

де $\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k)$, $\phi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \phi(2^j t - k)$ – вейвлет та відповідна йому масштабуюча функція; $W_{j,k} = \int x(t) \psi_{j,k}(t) dt$ – деталізуючі коефіцієнти; $U_{j,k} = \int x(t) \phi_{j,k}(t) dt$ – апроксимуючі (скейлінг) коефіцієнти; j – кількість рівнів вейвлет-розкладання; $j = J_0$ – найменша роздільна здатність; k показує просторове розташування аналізу.

Враховуючи, що на практиці часто розглядається дискретний сигнал $x^{(n)}(k)$ з кінцевою тривалістю, що апроксимує сигнал $x(t)$ з роздільною здатністю 2^{-n} , то напівнескінченну суму в (10) необхідно замінити на суму з кінцевим числом масштабів, тобто $0 \leq j \leq n$:

$$U_{j-1,k} = 2^{-1/2} (U_{j,2k} + U_{j,2k+1}), \quad (11)$$

$$W_{j-1,k} = 2^{-1/2} (U_{j,2k} - U_{j,2k+1}), \quad (12)$$

$$W_{j,k} = A_{j,k} U_{j,k}, \quad (13)$$

де $A_{j,k}$ – незалежні, випадкові, симетричні відносно нуля змінні $A_{j,k} \in [-1,1]$. Для простоти і гнучкості генерування множників $A_{j,k}$ використовується симетричний бета-розподіл та розподіл точкових мас.

Тоді отримаємо

$$U_{j,2k} = 2^{-1/2}(1 + A_{j+1,k})U_{j-1,k}, \quad (14)$$

$$U_{j,2k+1} = 2^{-1/2}(1 - A_{j+1,k})U_{j-1,k} \quad (15)$$

Скейлінг-коефіцієнти, обчислені при детальній роздільній здатності, є вихідними значеннями процесу, тобто

$$x^{(n)}[k] = 2^{-n/2}U_{n,k}, \quad k = 0, \dots, 2^n - 1. \quad (16)$$

Мультифрактальні моделі забезпечують гнучкіший закон масштабної поведінки і вдало відтворюють трафік, агрегований від декількох джерел, що істотно відрізняються; аналітично прості. Проте вони оцінюють тільки верхню огинаючу мультифрактального спектру, що може призводити до помилкових результатів.

Аналіз та моделювання мережевого трафіку. Використовувався експериментальний сигнал трафіку, що передавався через мережу Інтернет і який являє собою залежність розміру Ethernet кадрів в байтах від часу [13]. Для того, щоб привести початкові дані до еквідистантної шкали по часовій осі була проведена процедура агрегації з кроком в 5 с.

Результати аналізу та моделювання наведені на рис. 1-3 та в табл. 1.

Породжуючий процес експериментального сигналу має властивості, притаманні самоподібним процесам: гіперболічне убавання АКФ із зростанням часової затримки (рис. 1,а), ступеневий закон графіка його спектральної щільності (рис. 2,а) та поволі убаваючу дисперсію (рис. 3,а). На графіках АКФ також наведені їх апроксимації у вигляді поволі (ПУЗ) та швидко (ШУЗ) убаваючих залежностей.

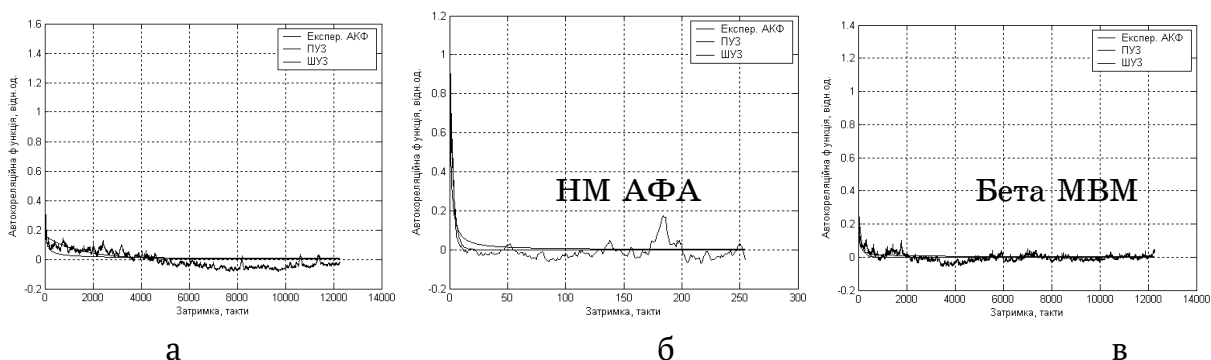


Рисунок 1 - АКФ експериментального (а) та модельних: НВ АФА (б), Бета MBM (в) сигналів

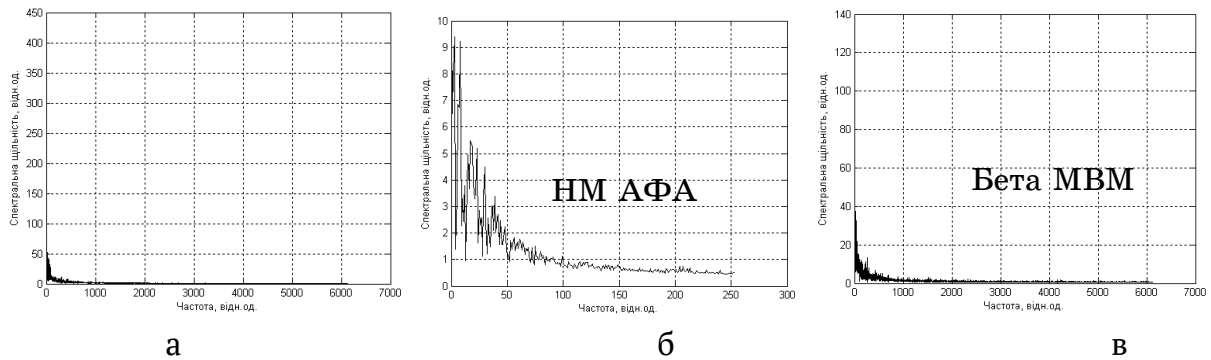


Рисунок 2 - Спектри експериментального (а) та модельних: НВ АФА (б), Бета MBM (в) сигналів

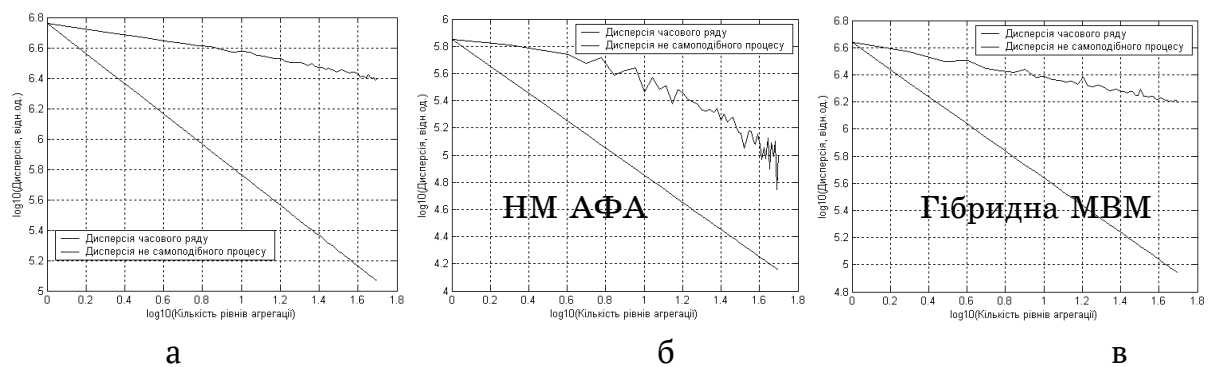


Рисунок 3 - Дисперсії експериментального (а) та модельних: НВ АФА (б), гібридна MBM (в) сигналів

Сигнал трафіку має (табл. 1) розподіл з «важким хвостом» (показник «важкості хвоста» становить $\alpha = 1,4$), гістограма експериментального розподілу згідно з критеріями згоди Колмогорова і Пірсона відповідає розподілу Парето, скейлетон вейвлет-перетворення сигналу має деревоподібну структуру, а показник Херста має діапазон значень $[0,888; 0,980]$. Процес також є нелінійним відповідно до результатів BDS-тесту. Гіпотези про тотожність розподілу значень сигналу приймалися з вірогідністю 95 %.

Значення кореляційних ентропії і розмірності атрактору, а також інтервал точної передбачуваності (глибина точного прогнозу) експериментального сигналу наведені в табл. 1.

При моделюванні у якості моделей трафіку використовувались НМ і НВ АФА, а також мультифрактальні вейвлет моделі двох типів: MBM з бета-розподілом та гібридна MBM, в якій бета розподіл використовується на грубих масштабах, а розподіл точкових мас – на точних масштабах.

Характеристики експериментального та модельних сигналів

	Експери- менталь- ний	Бета МВМ	Гібридна МВМ	НМ АФА	НМ АФА
АКФ	ПУЗ			ШУЗ	
Спектр	Ступеневий закон				
Вейвлет- перетворення	Деревоподібна структура скейлетона				
Дисперсія	Поволі убуваюча				
Закон розподілу за критерієм: - Колмогорова - Пірсона	Парето Парето		Парето Логнорм	Логнорм Логнорм	Парето Експоненц
Показник «важкості хвоста»	~1,4	~1,5	~1,2	~1,2	~1,5
BDS-тест	Хаотичний нелінійний процес				
Показник Херста: - періодограмний метод - метод агрегованої дисперсії - R/S аналіз	0,980 0,888 0,913	0,940 0,843 0858	0,884 0,869 0,877	0,936 0,687 0,788	0,974 1,454 0,764
Кореляційна роз- мірність	2,956	2,978	2,864	3,992	3,483
Кореляційна ент- ропія	0,640	0,742	0,857	0,826	0,643
Інтервал прогно- зованості	2,525	2,178	1,886	3,063	2,987
Розмірність фазо- вого простору	3	3	3	4	4

В результаті адаптації та навчання моделей, АКФ (див рис. 1,б,в), спектри (див. рис. 2,б,в) та дисперсії (див. рис. 3,б,в) модельних сигналів якісно відповідають графікам експериментального сигналу. Крім того, якісні та числові зна-

чення характеристик модельних сигналів в цілому відповідають характеристикам експериментального сигналу (див. табл. 1).

При цьому бета МВМ мають меншу похибку визначення характеристик, ніж гібридні МВМ, а відносна середньоквадратична похибка апроксимації експериментального сигналу за допомогою НМ АФА не перевищує 0,046.

Статистична перевірка за непараметричним критерієм знаків дозволила встановити адекватність експериментального і модельних сигналів з рівнем значущості 0,01.

Висновки

Розглянуті авторегресійні, фрактальні та мультифрактальні моделі мережевого самоподібного трафіку, які дозволяють формувати адекватну еталонну модель (шаблон) «нормального» трафіку і за нею виявляти аномалії трафіку в СВА.

Визначено, що сигнали нейромережевого і нейровейвлетного адаптивних фільтрів-апроксиматорів, а також гібридної та бета мультивейвлетних моделей адекватні експериментальному сигналу трафіка та мають відповідні статистичні закономірності і характеристики.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку та використання прогнозуючих моделей самоподібного трафіку в СВА, що дозволить підвищити оперативність виявлення атак.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Проблеми захисту критично важливих об'єктів інфраструктури / Н. Лукова-Чуйко, В. Наконечний, С. Толюпа, Р. Зюбіна // Безпека інформаційних систем і технологій. – 2020. – № 1(2). – С. 31-39.
2. Браницкий А.А. Анализ и классификация методов обнаружения сетевых атак / А.А. Браницкий, И.В. Котенко // Труды СПИИРАН. – 2016. – № 2(45). – С. 207-244. [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.proceedings.spiiras.nw.ru.
3. Носенко К.М. Огляд систем виявлення атак в мережевому трафіку / К.М. Носенко, О.І. Півторак, Т.А. Ліхоузова // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». – 2014. – № 1(24). – С. 67-75.
4. Довбешко С.В. Застосування методів інтелектуального аналізу даних для побудови систем виявлення атак / С.В. Довбешко, С.В. Толюпа, Я.В. Шестак // Сучасний захист інформації. – 2019. – №1(37). – С. 6-15.
5. Смирнов А. Имитационная модель NIPDS для обнаружения и предотвращения вторжений в телекоммуникационных системах и сетях / А. Смирнов, Ю. Дрейс, Д. Даниленко // Ukrainian Scientific Journal of Information Security. – 2014. – Vol. 20, issue 1. – P. 29-35.

6. Лазаренко С.В. Особливості функціонування систем виявлення атак на автоматизовані системи / С.В. Лазаренко // Сучасний захист інформації. – 2015. – № 1. – С. 33-40.
7. Гулак Г.М. Модель системи виявлення вторгнень з використанням двоступеневого критерію виявлення мережевих аномалій / Г.М. Гулак, В.В. Семко, П.М. Складанний // Сучасний захист інформації. – 2015. – №4. – С. 81-85.
8. Разработка модели интеллектуального распознавания аномалий и кибератак с использованием логических процедур, базирующихся на покрытиях матриц признаков / Г. Бекетова, Б. Ахметов, А. Корченко, В. Лахно // Ukrainian Scientific Journal of Information Security. – 2016. – Vol. 22, issue 3. – P. 242-254.
9. Петров О. Метод та модель інтелектуального розпізнавання загроз інформаційно-комунікаційному середовищу транспорту / О. Петров, О. Корченко, В. Лахно // Ukrainian Scientific Journal of Information Security. – 2015. – Vol. 21, issue 1. – P. 26-34.
10. Карачанская Е.В. Метод выявления аномалий сетевого трафика, основанный на его самоподобной структуре / Е.В. Карачанская, Н.И. Соседова // Безопасность информационных технологий. – 2019. – С. 98-110. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/1185>.
11. Корнієнко В.І. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів в системах керування, кібербезпеки, телекомунікацій: підручник / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусєв, О.В. Герасіна; за заг. ред. В.І. Корнієнка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 536 с.
12. A multifractal wavelet model with application to network traffic / R.H. Riedi, M.S. Crouse, V. Ribeiro, R.G. Baraniuk // IEEE Transactions on Information Theory. – 1999. – V. 45. – P. 992-1018.
13. Архів трафіку [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ita.ee.lbl.gov>.

REFERENCES

1. Problemy zakhystu krytychno vazhlyvykh ob'ektiv infrastruktury / N. Lukova-Chuiko, V. Nakonechnyi, S. Toliupa, R. Ziubina // Bezpeka informatsiinykh system i tekhnolohii. – 2020. – № 1(2). – P. 31-39.
2. Branytskyi A.A. Analiz i klassifikatsiya metodov obnaruzheniya setevykh atak / A.A. Branytskyi, I.V. Kotenko // Trudy SPIIRAN. – 2016. – № 2(45). – P. 207-244. [Electronic resource] – Access mode: www.proceedings.spiiras.nw.ru.
3. Nosenko K.M. Ohliad system vyivlennia atak v merezhevomu trafiku / K.M. Nosenko, O.I. Pivtorak, T.A. Likhovozova // Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Adaptyvni systemy avtomatychnoho upravlinnia». – 2014. – № 1(24). – P. 67-75.

4. Dovbeshko S.V. Zastosuvannia metodiv intelektualnoho analizu danykh dlia pobudovy system vyavlennia atak / S.V. Dovbeshko, S.V. Toliupa, Ya.V. Shestak // Suchasnyi zakhyst informatsii. – 2019. – № 1(37). – P. 6-15.
5. Smirnov A. Imitacionnaya model' NIPDS dlya obnaruzheniya i predotvrashcheniya vtorzhenij v telekommunikacionnykh sistemakh i setyakh / A. Smirnov, Yu. Drejs, D. Danilenko // Ukrainian Scientific Journal of Information Security. – 2014. – Vol. 20, issue 1. – P. 29-35.
6. Lazarenko S.V. Osoblyvosti funktsionuvannia system vyavlennia atak na avtomatyzovani systemy / S.V. Lazarenko // Suchasnyi zakhyst informatsii. – 2015. – № 1. – P. 33-40.
7. Hulak H.M. Model systemy vyavlennia vtorhnen z vykorystanniam dvostupenevoho kryteriiu vyavlennia merezhevykh anomalii / H.M. Hulak, V.V. Semko, P.M. Skladannyi // Suchasnyi zakhyst informatsii. – 2015. – №4. – P. 81-85.
8. Razrobotka modeli intelektual'nogo raspoznavaniya anomalij i kiberatak s ispol'zovaniem logicheskikh procedur, baziruyushchikhsya na pokrytiyakh matric priznakov / G. Beketova, B. Akhmetov, A. Korchenko, V. Lakhno // Ukrainian Scientific Journal of Information Security. – 2016. – Vol. 22, issue 3. – P. 242-254.
9. Petrov O. Metod ta model intelektualnoho rozpoznavannia zahroz informatsiino-komunikatsiinomu seredovyshchu transportu / O. Petrov, O. Korchenko, V. Lakhno // Ukrainian Scientific Journal of Information Security. – 2015. – Vol. 21, issue 1. – P. 26-34.
10. Karachanskaya E.V. Metod vyyavleniya anomalij setevogo trafika, osnovannyj na ego samopodobnoj strukture / E.V. Karachanskaya, N.I. Sosedova // Bezopasnost' informacionnykh tekhnologij. – 2019. – C. 98-110. [Electronic resource] – Access mode: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/1185>.
11. Korniienko V.I. Intelektualne modeliuвання nelineinykh dynamichnykh protsesiv v systemakh keruvannia, kiberbezpeky, telekomunikatsii: pidruchnyk / V.I. Korniienko, O.Yu. Husiev, O.V. Herasina; za zah. red. V.I. Korniienka; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. tekhn. un-t «Dniprovska politekhnika». – Dnipro : NTU «DP», 2020. – 536 p.
12. A multifractal wavelet model with application to network traffic / R.H. Riedi, M.S. Crouse, V. Ribeiro, R.G. Baraniuk // IEEE Transactions on Information Theory. – 1999. – V. 45. – P. 992-1018.
13. Arkhiv trafiku [Electronic resource] – Access mode: <http://ita.ee.lbl.gov>.

Received 28.09.2021.

Accepted 01.10.2021.

Моделі моніторингу самоподібного трафіка

информационно-коммуникационных сетей для систем обнаружения атак

Рассмотрены авторегрессионные, фрактальные и мультифрактальные модели сетевого самоподобного трафика, которые позволяют формировать адекватную эталонную модель (шаблон) «нормального» трафика и по ней выявлять аномалии трафика в системах обнаружения и предотвращения атак. Путем моделирования определено, что сигналы нейросетевого и нейровейвлетного адаптивных фильтров-аппроксиматоров, а также гибридной и бета мультивейвлетных моделей адекватны экспериментальному сигналу трафика и имеют соответствующие статистические закономерности и характеристики.

**Models of monitoring of self-like traffic of information
and communication networks for attack detection systems**

Autoregressive, fractal and multifractal models of network self-similar traffic are considered, which allow to form an adequate reference model (template) of "normal" traffic and to detect traffic anomalies in attack detection and prevention systems. Models of fractal Brownian motion and fractal Gaussian noise were considered as models of fractal motions, because they have self-similarity and long-term dependence properties that correspond to the properties of experimental data, as well as the possibility of their analytical interpretation. When evaluating and identifying processes for the implementation of autoregressive models use adaptive filters-approximators, among which there are neural network and neuro-wavelet. The following were used as multifractal models: a multifractal wavelet model with a beta distribution and a hybrid multifractal wavelet model in which the beta distribution is used on a coarse scale and the distribution of point masses on an accurate scale. By modeling as a result of adaptation and learning of models, autocorrelation functions, spectra and variances of model signals qualitatively correspond to the graphs of the experimental signal. In addition, the qualitative and numerical values of the characteristics of the model signals generally correspond to the characteristics of the experimental signal. In this case, beta multifractal wavelet models have a smaller error of determination of characteristics than hybrid multifractal wavelet models, and the relative root mean square error of approximation of the experimental signal using a neural network adaptive filter approximator does not exceed 0.046. Statistical verification by non-parametric criterion of signs allowed to establish the adequacy of experimental and model signals with a significance level of 0.01. Further research should be aimed at developing and using predictive models of self-similar traffic in attack detection and prevention systems, which will increase the efficiency of attack detection.

Корнієнко Валерій Іванович – завідувач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», д.т.н., професор.

Герасіна Олександра Володимирівна – доцент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н., доцент;

Тимофєєв Дмитро Сергійович – старший викладач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Сафаров Олександр Олександрович – доцент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н.;

Ковальова Юлія Вікторівна – асистент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н.

Корниенко Валерий Иванович – заведуючий кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», д.т.н., професор.

Герасина Александра Владимировна – доцент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н., доцент;

Тимофєєв Дмитрий Сергеевич – старший преподаватель кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Сафаров Александр Александрович – доцент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н.;

Ковалева Юлия Викторовна – асистент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н.

Korniienko Valerii – Head of Department of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor;

Gerasina Oleksandra – Associate Professor of Department of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

Dmytro Tymofieiev – Senior Instructor of Department of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology;

Safarov Oleksandr – Associate Professor of Department of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology, Candidate of Technical Sciences;

Kovalova Yuliia – Assistant Lecturer of Department of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology, Candidate of Technical Sciences.

В.У. Ігнаткін, С.В. Алексеєнко, М.І. Горбійчук

**АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ
ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХ БЕЗПЕКА**

Анотація. Автоматизація метрологічної служби підприємства дозволяє зменшити використання робочої сили для виконання завдань обслуговування засобів виміральної техніки і скоротити випадки помилок персоналу. У той же час процес створення відповідних автоматизованих систем вимагає рішення ряду завдань, пов'язаних з необхідністю оптимізації параметрів проекрованої системи, щоб забезпечити її найвищу ефективність.

У цій статті робиться спроба вирішити задачу охоплення різноманітних моделей в рамках синтезу і дослідження імітаційних комп'ютерних моделей, які активно використовують базу даних засобів вимірювання підприємств. Розроблено і програмно реалізовано модель, яка дозволяє в інтерактивному режимі, враховуючи характеристики, які надходять з калібрувальних лабораторій служби, та задавшись економічними і метрологічними критеріями, визначати значення оптимальних міжповірочних та міжремонтних проміжків, оптимального числа перевірок у міжремонтному проміжку та інші параметри. Шляхом імітаційного моделювання досліджена залежність показників надійності ЗВТ від якості проведення метрологічного обслуговування і ремонту. Досліджений вплив міжремонтного і міжповірочного інтервалів на економічну ефективність метрологічного обслуговування. В результаті отримані залежності, які дозволяють також досліджувати вплив параметрів якості обслуговування на комплексні показники надійності.

Використання результатів дослідження дозволяє в діалоговому режимі автоматизованого робочого місця метролога вирішувати задачі оптимізації параметрів метрологічного обслуговування за економічними критеріями та обмеженнями конкретного виробництва за показниками метрологічної надійності засобів вимірювання, проводити діагностику і прогнозувати метрологічну надійність засобів виміральної техніки з урахуванням впливу на систему управління якості підприємства, покращувати точність вимірювання і зменшувати ймовірність виникнення прихованих відмов.

Ключові слова: моделювання, метрологічне обслуговування, модель масового обслуговування, модель станів засобів вимірювальної техніки, автоматизована система керування.

Постановка проблеми. Під метрологічним обслуговуванням (МО) засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) розуміють комплекс заходів, що забезпечують постійну здатність приладів до застосування з нормованою точністю, які включають до себе облік і планування приладів, планування перевірконо-ремонтних робіт, контроль стану приладів і вилучення з обігу непрацездатних ЗВТ, калібрування, метрологічну атестацію і ремонт засобів вимірювальної техніки.

Перед тим як приступити до автоматизації і розв'язку оптимізаційних задач, необхідно проаналізувати всю систему метрологічного обслуговування і спробувати побудувати моделі процесів обслуговування парку ЗВТ. Успіх при створенні ефективного програмно-алгоритмічного забезпечення автоматизованої, системи метрологічного обслуговування ЗВТ значною мірою залежить від детального аналізу структури операцій і видів процесів масового обслуговування, які протікають у системі.

Такі операції метрологічного обслуговування, як облік приладів, визначення термінів і планування періодичних перевірок, вибір ЗВТ за точністю і надійністю, планування поповнення парку ЗВТ, розрахунок чисельності обслуговуючого персоналу, визначення числа калібрувальних і ремонтних робочих місць, планування розподілу приладів між підрозділами підприємства, складання заявок на придбання ЗВТ, контроль за станом, перевіркою, ремонтом приладів здійснюються на підприємстві, як правило, ручним способом, що призводить до неефективного використання ЗВТ, зниження якості продукції, що випускається, до економічних втрат. Отже, проблема автоматизації розв'язання задач оптимізації параметрів системи метрологічного обслуговування є надзвичайно актуальною.

Для дослідження процесів експлуатації і МО ЗВТ, виявлення впливу метрологічної надійності ЗВТ на достовірність вимірювальної інформації повинні будуть розроблені методики автоматизованого розв'язку наступних задач:

- обробка статистичних даних про відмови, калібрування і ремонт ЗВТ;
- оцінка і аналіз рівня експлуатаційної надійності парку ЗВТ підприємства;

- визначення часу знаходження ЗВТ в системі МО, вибору оптимального числа повірочних і ремонтних установок, чисельності фахівців з перевірки і ремонту;
- динамічне корегування міжповірочних і міжремонтних інтервалів;
- оцінка допустимої похибки вимірів з врахуванням помилок 1-го і 2-го роду;
- оцінка вірності вибору і ефективного використання ЗВТ при контролі параметрів вимірювання;
- оцінка раціональної номенклатури контрольованих параметрів;
- визначення оптимальної кількості калібрувальних і ремонтних робочих місць;
- прогнозування можливої кількості відмов; оптимізація параметрів МО ЗВТ;
- розрахунок норм запасних частин, оцінка рівня метрологічного забезпечення; оцінка процесу експлуатації ЗВТ з врахуванням конкретних умов застосування;
- оцінка економічного ефекту від впровадження АРМ «Експерт-Метролог» на підприємстві;
- оцінка ефективності автоматизованих систем управління (АСУ) МО ЗВТ як інформаційно-довідкової системи;
- оцінки і дослідження впливу метрологічної складової надійності ЗВТ на якість продукції.

Перераховані задачі мають бути реалізовані програмно і вимагають для виконання наявності бази даних і технічних засобів автоматизованого робочого місця (АРМ) метролога.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Задачі метрологічного обслуговування ЗВТ, які підлягають автоматизації, повинні визначати вибір технічних засобів, що реалізують їх вирішення в рамках АСУ (режими:, локальної обчислювальної мережі), АРМ.

У разі застосування комп'ютерів може бути створено АСУ МО ЗВТ, яка дозволяє найбільш економічним шляхом вирішувати практично будь-які задачі метрологічного обслуговування ЗВТ, включаючи складні оптимізаційні задачі.

На даний час як за кордоном, так і в нашій країні розроблені системи, які автоматизують певні функції управління метрологічної служби. Такі системи різняться за складом задач, методам та принципам їх розв'язання та орієнтовані на конкретне підприємство.

Ряд наукових праць присвячений проблемам автоматизації діяльності метрологів. Наприклад, у [1] відмічається, що автоматизація процесу калібрування не є новою концепцією, навпаки, вона широко використовується і дає відчутні ефекти. Проте обов'язковою умовою проведення такого калібрування є наявність у платника мультиметра комунікаційного інтерфейсу. Щоб усунути це обмеження, використовується концепція алгоритмів розпізнавання зображень. Інтерфейс на основі комп'ютерного зору є основним елементом автоматизованої системи калібрування, така система адаптована до специфіки роботи військових метрологічних лабораторій.

У роботі [2] описана нова автоматична система для контролю і калібрування електричних джерел і вимірювальних приладів. Ця система дозволяє контролювати і калібрувати велика кількість різних моделей електричних джерел і вимірювальних приладів. Системне обладнання налаштовується оператором на основі конкретної калібрування, яку необхідно виконати. Детально обговорюється конструкція і реалізація програмного забезпечення системи.

У статті [3] розроблений метод визначення мінімального значення ймовірності правильної оцінки результатів вимірювань (PCEMR), використовуючи умовні алгоритми. Новизна методу полягає у застосуванні методів технічної діагностики до метрологічної служби систем зв'язку. Виведені рівняння підвищують точність оцінки математичного сподівання відхилення від дійсного значення, що характеризує технічний стан засобу.

Останнім часом суттєва увага приділяється застосуванню віртуальної метрології. Віртуальна метрологія (VM) – це метод оцінки якості виготовлення технологічного інструмента на основі даних, отриманих від технологічного інструменту, і без фізичних метрологічних операцій. У документі [4] визначаються рівні автоматизації віртуальних машин, пропонується концепція автоматичної віртуальної метрології (AVM) і розробляється система AVM для автоматичного розгортання віртуальних машин в масштабах всієї фабрики.

В [5] запропонована ідея використовувати віртуальну метрологію для прогнозування якості коліс на основі даних процесу, зібраних з верстата, з невеликим доповненням до фактичних метрологічних даними. Метою даного дослідження було запропонувати підхід до застосування системи AVM в масштабах всього підприємства для автоматизації обробки коліс (WMA) для досягнення повної перевірки всіх прецизійних елементів WMA в умовах масового виробництва.

Теоретичним питанням метрологічного обслуговування ЗВТ присвячена монографія [6]. Тут розглянуті типові метрологічні завдання, вирішення яких базується на теорії ймовірностей і математичній статистиці, теорії інформації. Наведені способи опису і нормування похибок вимірювань, досліджений вплив похибок вимірювання на достовірність допускового контролю, розглянуті засоби опрацювання результатів вимірювань у випадках повної і неповної апіорної інформації. Розглянуті питання оцінки точності інформаційних операцій, а також питання вибору, передавання, цінності та старіння інформації.

Задачі, які виникають при побудові автоматизованих систем управління метрологічним обслуговуванням засобів вимірювальної техніки можна класифікувати за трьома групами: інформаційно-довідкові, прості розрахункові і складні оптимізаційні. У роботі [7] розглянуті принципи побудови автоматизованих систем метрологічного забезпечення.

Такі розробки, як АС МОП ExaltMOP, версія 1.1, АРМ «Метролог» версії 5.0, комплекс АСМО (автоматизована система метрологічного забезпечення) – розробка ООО «Энергомаштаб», м. Санкт-Петербург, представлена фірмою РВ Soft – функціонуючі на більшості сучасних підприємствах являють собою інформаційно-пошукові системи, орієнтовані на обробку інформації про стан парку ЗВТ та автоматизації задач обліку і контролю, але, як правило, не враховують розв'язок оптимізаційних задач МО ЗВТ. Програмний комплекс АСМО дозволяє повністю перевести на програмні засоби автоматизації документообіг, пов'язаний з плануванням і обліком робіт з метрологічного обслуговування. Основу побудови системи складає єдина база даних ЗВТ підприємства. Для її підтримки і управління застосовують серверну систему управління базами даних (СУБД) Microsoft SQL Server 2000 або більш потужну редакцію MS SQL Server Enterprise Edition. Можливості АСМО дозволяють автоматично отримувати необхідну інформацію для проведення робіт з МО ЗВТ. Дана система експлуатується більш ніж на 120 підприємствах Російської Федерації, наприклад відкрите акціонерне товариство (ВАТ) «Всероссийский научно-исследовательский институт кабельной промышленности» м. Москва, ВАТ «Прибор» ОКБ «Авиаавтоматика» м. Курськ, ВАТ «Вибратор» приладобудівний завод м. Санкт-Петербург та ін. Дані системи є інформаційно-пошуковими системами, орієнтованими на обробку інформації про стан парку ЗВТ та автоматизації задач обліку і контролю, але не розраховані на розв'язок оптимізаційних задач МО ЗВТ.

Автоматизоване вирішення задач МО ЗВТ, крім традиційних методів, передбачає активне використання моделей існуючої системи метрологічного обслуговування (СМО) й результатів моделювання. АРМ «Експерт-Метролог» відноситься до класу адаптивних інформаційно-довідкових систем. Перед створенням даної системи необхідно виконати цілий комплекс попередніх робіт: обстеження парку приладів; дослідження процесу обслуговування ЗВТ; вивчення початкового стану парку приладів; виявлення джерел і споживачів інформації; виявлення закономірностей у фізиці процесів експлуатації приладів, їх відмов і відновлень.

База даних (БД) СМО ЗВТ є сховищем інформації про стан парку ЗВТ й повинна підлягати впливу з боку предметної області (тобто існуючої СМО ЗВТ), вираженої у вигляді даних щодо зміни стану парку ЗВТ; з боку моделей функціонування СМО ЗВТ – у вигляді відомостей про зміну складу збережених даних і відносин між ними. Програмне забезпечення системи розраховує вихідні показники, які характеризують діяльність СМО ЗВТ. Склад і визначеність таких критеріїв надходять з боку моделей функціонування системи. Структура вихідних документів може бути сформована відповідно до вимог замовника за допомогою універсальних програмних засобів [12].

Інформаційне забезпечення може будуватися як у вигляді системи лінійних наборів даних, так і із застосуванням сучасних СУБД. Для підприємств із парком ЗВТ до 30 тисяч штук, в якості технічних засобів, достатньо персонального комп'ютера, на базі якого можна обладнати автоматизоване робоче місце метролога – АРМ «Експерт-Метролог».

Програмне забезпечення АРМ «Експерт-Метролог» в перспективі буде функціонувати на базі розроблених алгоритмів у будь якій операційній системі, починаючи з Windows 98 і вище, та на популярних СУБД.

При створенні такої системи, тобто визначенні її структури і характеристик, керуються визначеною, правильно вибраною метою. З метою управління пов'язаний критерій ефективності (критерій якості) функціонування системи управління (цільова функція). Визначення правильно вибраної і реальної цільової функції є непростюю і відповідальною задачею, оскільки вона повинна служити оцінкою якості роботи системи управління, будучи мірою того, наскільки добре забезпечується досягнення мети і, в той же час, (у більшості випадків), якою ціною це забезпечується.

Міра необхідності створення системи знаходиться в прямій залежності від кількості ЗВТ в обслуговуваному парку підприємства. При цьому, розрахував-

ши її ефективність, оцінюють час окупності. Критерієм доцільності автоматизації обслуговування ЗВТ є об'єм парку (мінімальна кількість ЗВТ), при якому система окупається за 3 роки.

Метою роботи є постановка задачі охоплення вже створених розрізнених моделей в рамках синтезу та дослідження імітаційних комп'ютерних моделей, які активно використовують базу даних підприємств, експлуатуючих ЗВТ.

Найбільш суттєвими рисами такої постановки задачі є:

- створення програмних засобів, які дозволяють синтезувати і досліджувати моделі на робочому місці метролога;
- можливість синтезу моделей з різним числом станів і конфігурацій зв'язків, у залежності від наявної достовірної інформації і мети аналізу;
- можливість досліджувати моделі експлуатації як у статичі, так і в динаміці з явним урахуванням затримок руху ЗВТ на різних ділянках технологічного процесу та інших обмежень [8,9,11];
- широке використання в аналізі накопиченої в базі даних підприємства інформації;
- використання відібраних у ході дослідження моделей і рішень при зіставленні планів в АСУ підприємства [7, 8, 9, 13, 14, 15, 16].

Викладення основного матеріалу. Як відомо, від якості метрологічного обслуговування ЗВТ залежить точність технологічного устаткування і результатів випробувань, отже, якість продукції, що випускається, тому початкові характеристики АСУ МО ЗВТ (наприклад, рівень дефектності, час перебування в обслуговуванні, своєчасне поповнення парку ЗВТ та ін.) повинні визначатися на основі вимог виробництва і випробувань. А це означає, що перераховані початкові характеристики повинні визначатися на основі аналізу впливу метрологічного обслуговування на виробництво і формулюватися в технічних завданнях на розробку подібних систем. Маючи такі вимоги, за допомогою згаданих вище моделей можливо визначити всі необхідні характеристики.

Оптимізація вироблення управляючих рішень в АСУ МО ЗВТ ґрунтується на базі моделей (або однієї комплексної багатопараметричної моделі) процесів обслуговування ЗВТ за конкретними критеріями згідно з методом декомпозиції загальної мети функціонування системи.

Вибір цільової функції відображає змістовну постановку задачі. Поряд із цим розробляється модель задачі, тобто дається її формалізований опис. На-

ступний крок – розробка алгоритму рішення і, нарешті, розробка програми або інструкцій (при ручному способі виконання робіт).

Як цільову функцію при створенні вказаної системи доцільно вибрати функцію вартості (приведених витрат), яка враховує витрати на експлуатацію системи і втрати основного виробництва. Це пояснюється тим, що при розв’язку задач автоматизації обслуговування зі сторони «метасистеми» задаються різноманітні характеристики методів розв’язку (об’єм пам’яті, тривалість розв’язку, надійність системи та ін.). У цих умовах одним задовольняючим показником, який дозволяє створити економічну систему, є вартість. Тому найбільш прийнятним критерієм є мінімум вартості.

На оптимізацію і автоматизацію розв’язку вищезгаданих задач метрологічного обслуговування ЗВТ для досягнення певної цілі направлено систему АРМ «Експерт-метролог».

Критерій ефективності, за яким оцінюється можливість застосування засобів автоматизації, залежить від багатьох чинників, зокрема, від об’єму парку ЗВТ, його вартості

До чинників, що впливають на критерій, також відносяться частота повірок приладів, інтенсивність їх експлуатації, вимоги до стану парку ЗВТ із боку виробництва та ін. У загальному випадку застосування засобів автоматизації можливе, коли економічний ефект ϵ визначається як

$$\epsilon = \left(\frac{C_1}{W_1} - \frac{C_2 + E_n K_2}{W_2} \right) W_2 > 0 \quad (1)$$

де C_1 , C_2 – собівартість річного випуску продукції (1 – за відсутності засобів автоматизації, 2 – за наявності автоматизованої системи); K_2 – одноразові витрати на створення автоматизованої системи; E_n – нормативний коефіцієнт відшкодування капітальних вкладень; W_2 – річний випуск продукції в першому і другому варіантах.

Для більшості підприємств машинобудування ця умова виконується при кількості приладів у парку порядку 10000 одиниць і більше. При цьому слід пам’ятати, що в собівартості продукції (C_1 , C_2) повинні бути враховані збитки від браку, інакше річний економічний ефект із великою ймовірністю виявиться негативним.

При локальній оптимізації за допомогою аналітичних моделей експлуатації (спрощена модель експлуатації, марківська модель з дискретними станами і безперервним часом, дискретно-безперервна модель експлуатації ЗВТ) застосовують таку цільову функцію [7–10]:

$$C_1 = \frac{1}{P_1 + P_2} (C_{36} + C_n(P_3 + P_4) + C_p P_5 + C_{ш} P_2) \Rightarrow \min \quad (2)$$

де P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 – ймовірності знаходження ЗВТ у станах відповідно:

- працездатний і застосовується за призначенням;
- з прихованою відмовою і застосовується за призначенням;
- працездатний на повірці;
- з прихованою відмовою на повірці; очікування ремонту;
- ремонт.

$C_{36} = E_n C_{36}$ – одноразові витрати на придбання ЗВТ; C_n – витрати на проведення однієї години повірочних робіт; C_p – вартість однієї години ремонтних робіт; $C_{ш}$ – плата штрафу (наприклад, собівартість продукції, що пішла в брак або повернулася з рекламацією внаслідок проведення недостовірних вимірів).

Розроблено і програмно реалізовано модель, яка дозволяє в інтерактивному режимі АРМ, керуючись параметрами МО ЗВТ, враховуючи характеристики, які надходять з перевірочних лабораторій метрологічної служби, та задавшись економічними показниками, коефіцієнтами готовності, достовірності, технічного використання, визначати значення оптимальних міжпівірочних проміжків, міжремонтних проміжків, часу безвідмовної роботи ЗВТ, числа перевірок у міжремонтному проміжку та інші параметри ЗВТ та МО ЗВТ [7, 8, 9].

Як параметри СМО ЗВ використовуються: T_n – період повторення перевірочних робіт; τ_n – час виконання перевірки; τ_v – час відновлення ЗВ в ремонті; α_n – імовірність помилкової діагностики схованої відмови при перевірці; β_n – імовірність пропуску (невиявлення) схованої відмови при перевірці; β_p – імовірність повернення ЗВ з ремонту зі схованою відмовою (передбачається, що явна відмова при ремонті усувається безумовно).

Як характеристики відмов використовуються: $T_{я}$ – середній наробіток (напрацювання) на явну відмову; $T_{с}$ – середній наробіток на сховану відмову.

Зазначені величини використовуються як параметри розподілів імовірностей виникнення відмов.

Можна визначити показники надійності ЗВ [8,9]:

а) коефіцієнт готовності: $K_r = \frac{P_1}{P_1 + P_2 + P_3}$

б) коефіцієнт вірогідності: $K_b = \frac{P_1}{P_1 + P_2}$

в) коефіцієнт технічного використання: $K_{TB} \approx P_1 + P_2$

Можна також визначити цикл ЗВ: $T_{\text{ц}} = \frac{\tau_B}{P_5}$

Міжремонтний інтервал: $T_M = T_{\text{ц}} - \tau_B \left(\frac{1}{P_5 - 1} \right)$

На рис. 1 – 6 приведені результати досліджень залежностей показників надійності ЗВТ K_r , K_b , K_{TB} і $T_{\text{мр}}$ від якості проведення метрологічного обслуговування і ремонту для експоненціальної (1), дифузійно-монотонної (2) та дифузійно-немонотонної (3) моделей відмов. Розрахунки проведені для значень $T_a = 10000$ год, $T_m = 5000$ год, $T_n = 4000$ год, $\alpha_n = 0,05 \dots 1$, $\beta_n = 0,05$, $\beta_p = 0,25$.

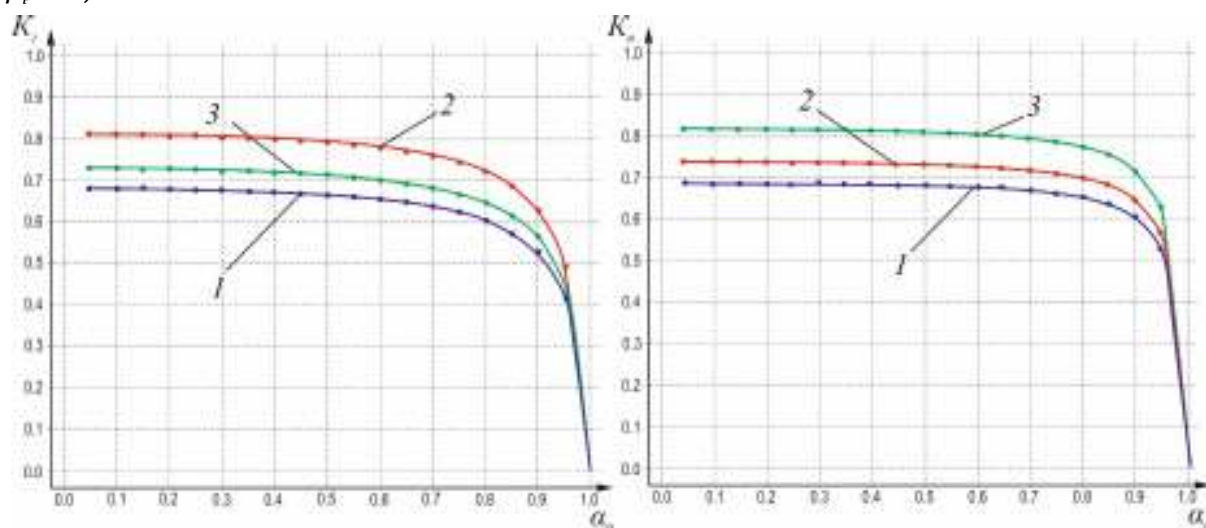


Рисунок 1 – Залежність K_r і K_b від α_n

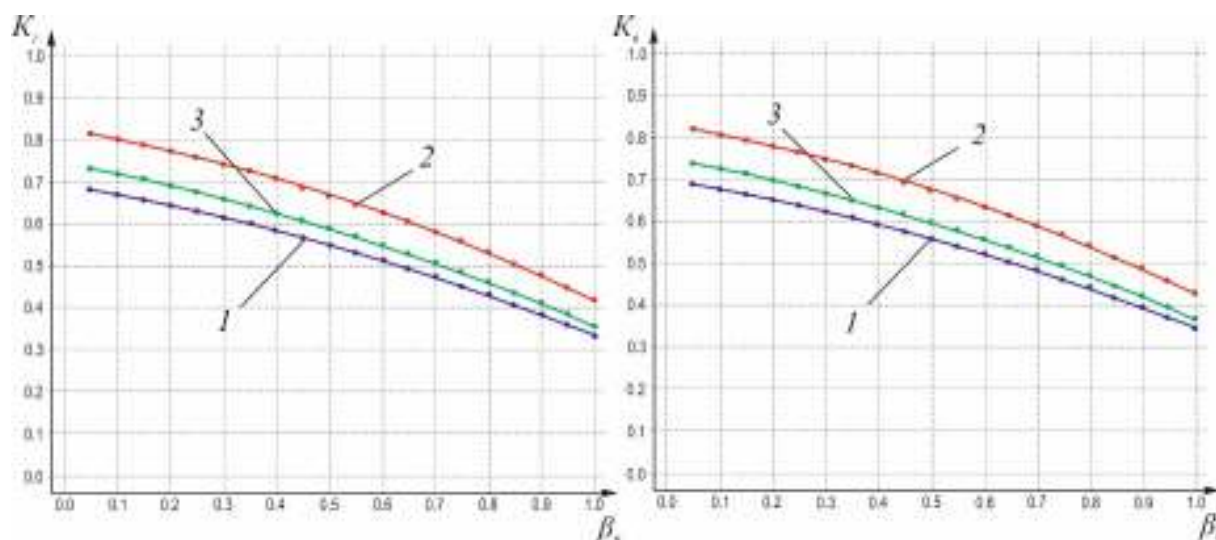


Рисунок 2 – Залежність K_r і K_b від β_n

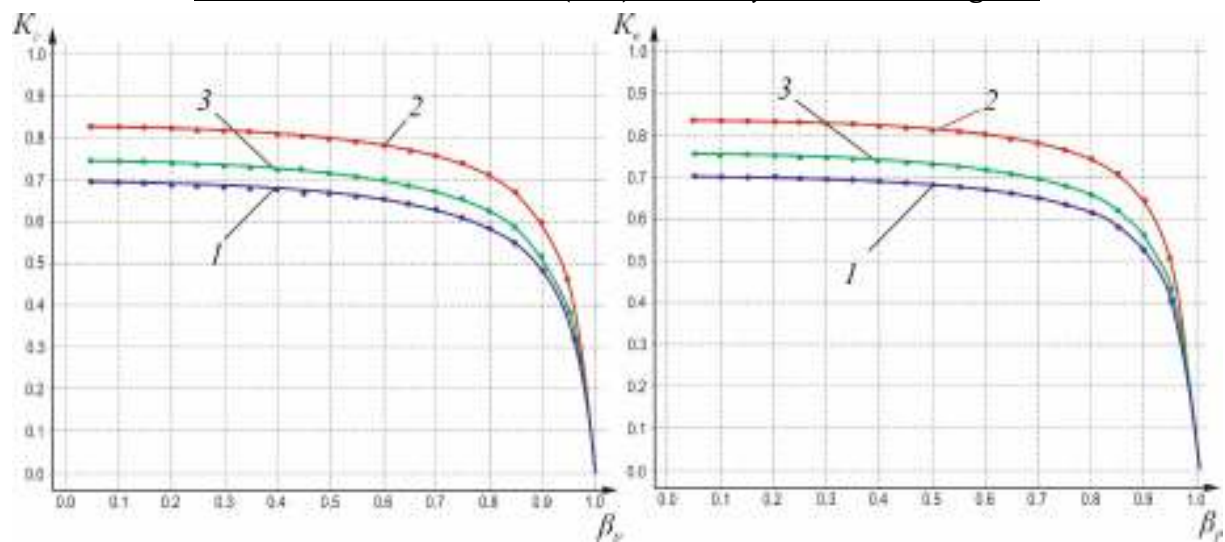


Рисунок 3 – Залежність K_r і K_v від β_p

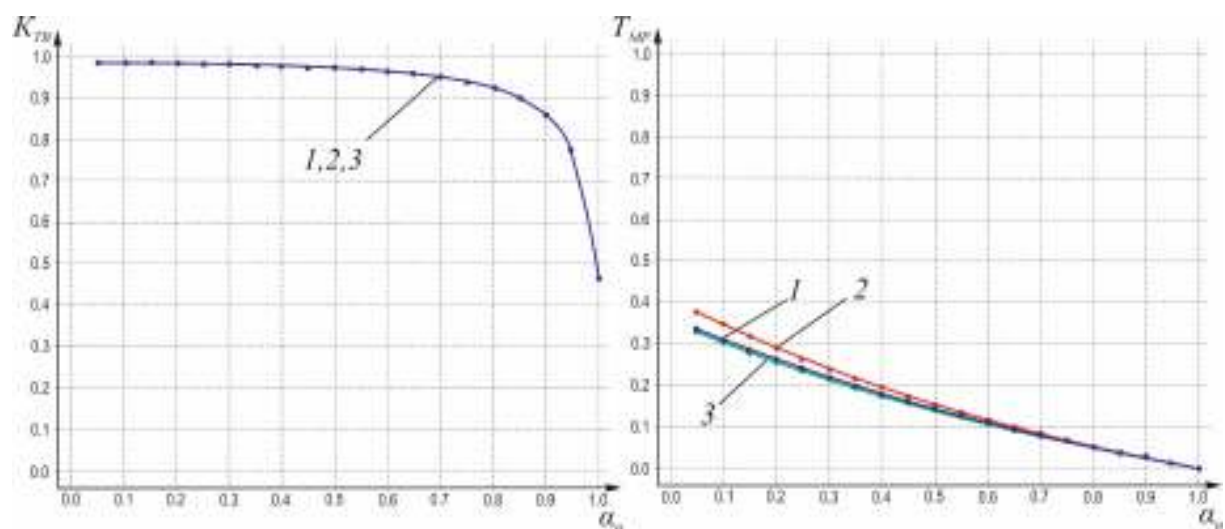


Рисунок 4 – Залежність K_{tv} і T_{mr} від α_n

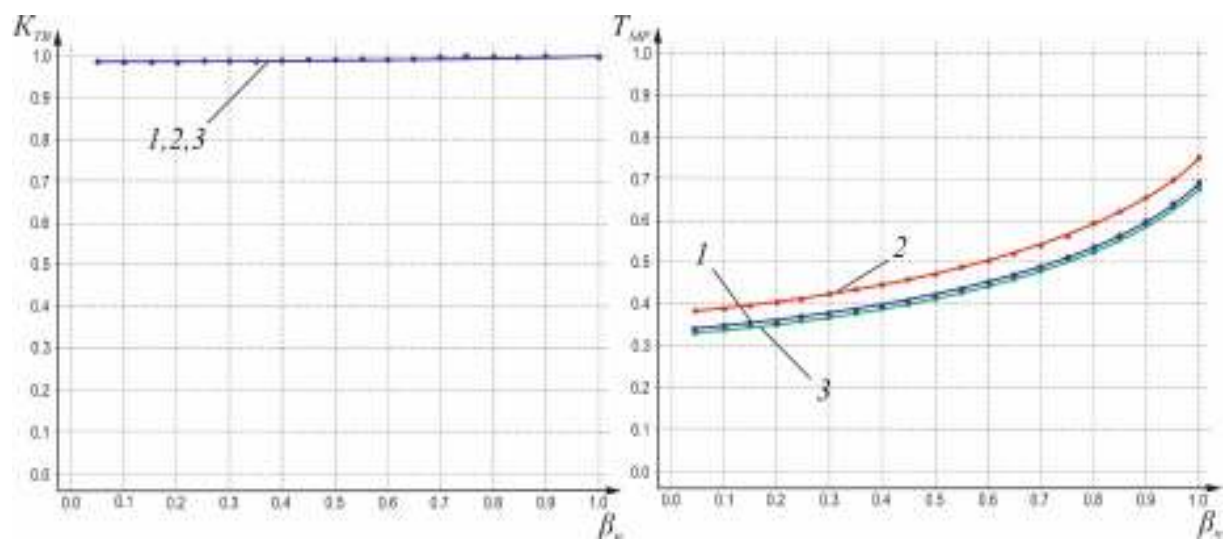


Рисунок 5 – Залежність K_{tv} і T_{mr} від β_n

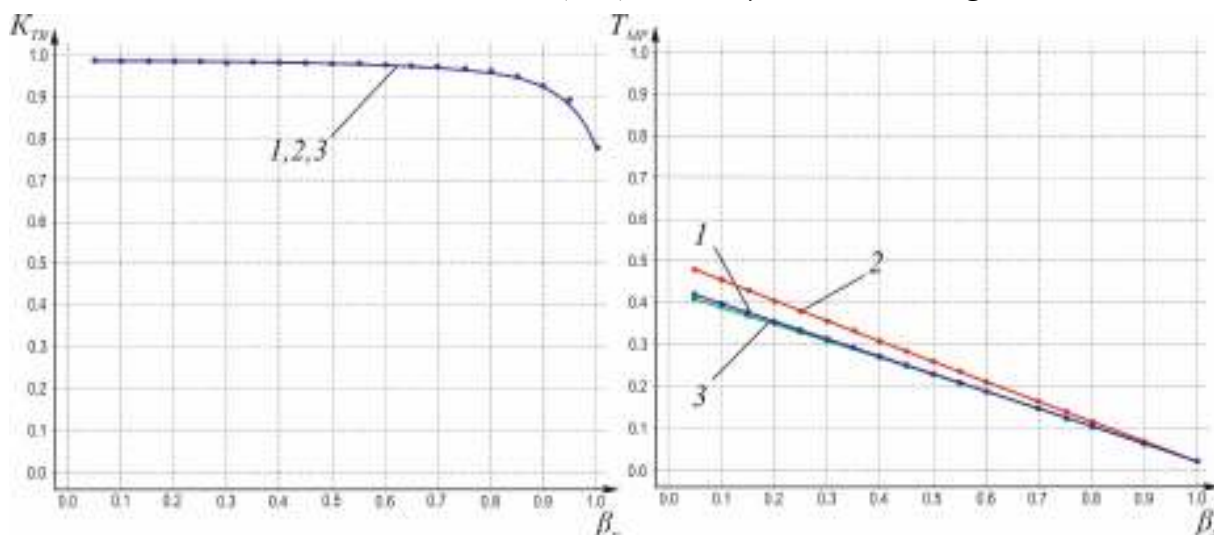


Рисунок 6 – Залежність K_{TV} і T_{MP} від β_p

Для визначення області оптимальних значень періоду проведення повірочних робіт і напрацювань на приховані відмови подамо цільову функцію в такому вигляді:

$$C_{ЗВТ} = f(T_m, T_n) \quad (3)$$

Розрахунки були проведені для випадку $C_{ЗВ} = 0,025$; $C_{п} = 1,4$; $C_p = 3,0$; $C_{ш} = 1,0$; $\alpha_n = 0,050$; $\beta_n = 0,05$; $\beta_p = 0,25$; $\tau_p = 8$ год; $\tau_{оч} = 40$ год; $T_{пн} = 10$ год (початкове значення T_n); $\tau_n = 2$ год; $T_a = 10000$ год; для 40 значень T_n і 20 значень T_m (початкове значення $T_c = 100$ год), використовуючи розроблені алгоритми для моделей експлуатації ЗВТ. На рис. 7 та 8 наведені побудовані поверхні цільової функції.

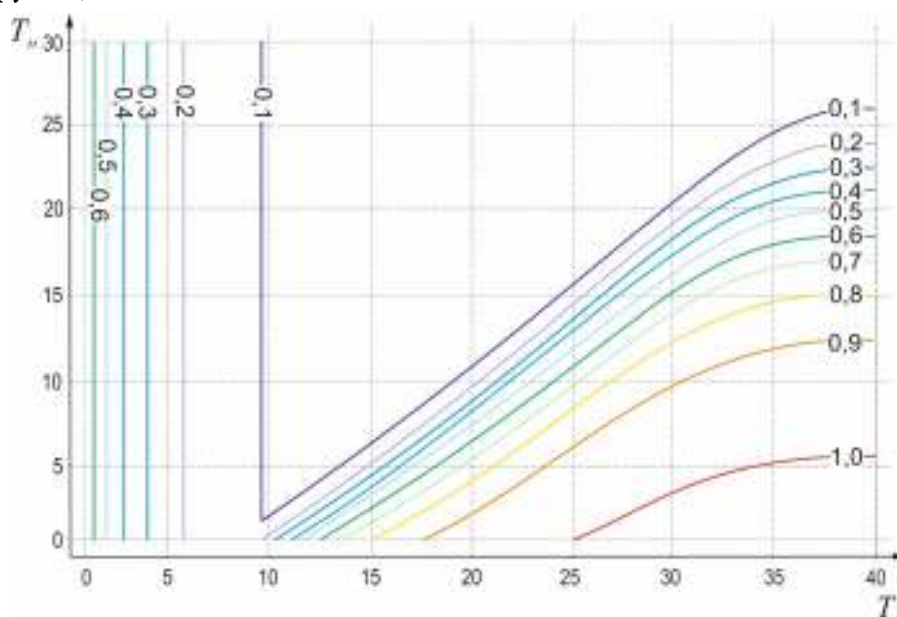


Рисунок 7 – Контурний графік поверхні цільової функції вартості для випадку дифузійної моделі відмов

На рис. 9 зображено діалогове вікно модуля оптимізації параметрів надійності ЗВТ, функціонуючого в рамках АСУ МО ЗВТ. Модуль синтезований за допомогою сучасних мов СУБД. Алгоритм розрахунку написаний мовою PHP 5.3. В області програмування для інформаційних мереж PHP – одна з популярних скриптових мов (разом з JSP, Perl і мовами, які використовуються в ASP.NET) завдяки своїй простоті, швидкості виконання, багатій функціональності і розповсюдженню початкових кодів на основі ліцензії PHP. PHP відрізняється наявністю ядра і модулів розширень, що підключаються, для роботи з базами даних, сокетом, динамічною графікою, криптографічними бібліотеками, документами формату PDF. Будь-хто бажаючий може розробити своє власне розширення і підключити його.

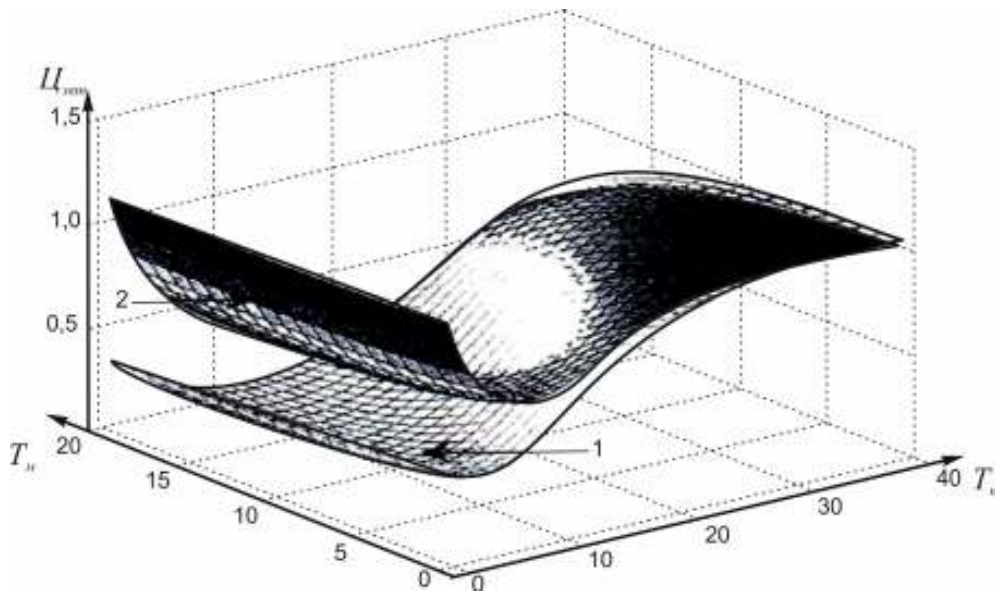


Рисунок 8 – Поверхня цільової функції $U_{zet} = f(T_m, T_n)$:

1 – марківська модель експлуатації; 2 – дискретно-безперервна модель
(розв'язок отримано для експоненціальної моделі відмов)



Інтерпретатор PHP підключається до веб-сервера або через модуль, створений спеціально для цього сервера (наприклад, для Apache або IIS), або як CGI-додаток. Окрім цього, він може використовуватися для вирішення адміністративних задач в операційних системах UNIX, GNU/Linux, Microsoft Windows, Mac OS X і AmigaOS.

Розрахунки для тестового набору параметрів (фіксоване $T_M=5000$ год) показують, що мінімум $U_{3BT}=0,2523$ відповідає точці $T_H/T_A=0,0631$, при цьому коефіцієнт готовності дорівнює $K_T = 0,751$, а коефіцієнт достовірності $K_B=0,8238$.

Ця програма дозволяє також досліджувати вплив параметрів якості обслуговування на комплексні показники надійності (рис. 10).

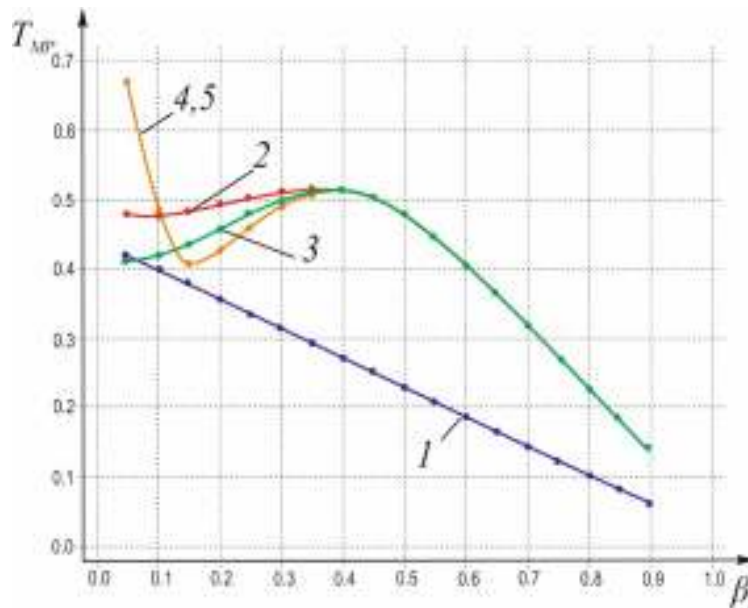


Рисунок 10 – Сімейство залежностей міжремонтного інтервалу T_{mr} від β_r :
 1 – експоненціальна модель відмов; 2, 3 – дифузійні моделі при
 коефіцієнті варіації $v = 1$, криві 4, 5 – при $v = 0,2$

Висновки. Використання комплексу взаємопов'язаних моделей дозволяє в діалоговому режимі автоматизованого робочого місця метролога вирішувати задачі оптимізації параметрів метрологічного обслуговування за економічними критеріями та обмеженнями конкретного виробництва за показниками метрологічної надійності засобів вимірювання, проводити діагностику і прогнозувати метрологічну надійність засобів з урахуванням впливу на систему управління якості підприємства, покращувати точність вимірювання і зменшувати ймовірність виникнення прихованих відмов. Отримані результати можуть свідчити на користь того, що на цей час існують достатні напрацювання для постановки і розв'язку задачі комп'ютерного синтезу і аналізу різноманітних моделей експлуатації ЗВТ.

Наукова новизна. Запропоновано системний підхід до вирішення завдань метрологічного обслуговування (МО) засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) з використанням бази даних про стан ЗВТ конкретного підприємства (організації тощо) в режимі системи підтримки прийняття рішень задач МОЗВТ (СППР МОЗВТ) на підставі моделей і процедур вирішення задач МОЗВТ, приклад рішення однієї з котрих наведено в цій статті, як завдання комп'ютерного аналізу і синтезу при визначенні та прогнозуванні експлуатаційної та метрологічної надійності, визначення виду ЗВТ з певними

показниками і обмеженнями конкретного виробництва і законів розподілу відмов ЗВТ і об'єктів контролю.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Grzeczka G, Klebba M. Automated Calibration System for Digital Multimeters Not Equipped with a Communication Interface. *Sensors* (Basel). 2020 Jun 29;20(13):3650. DOI: 10.3390/s20133650.
2. Abdelmegeed, H. Automatic calibration system for electrical sourcing and measuring instruments / Hala Abdelmegeed, Ali M. El-Rifaie // 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2013. DOI: 10.1109/EEEIC.2013.6549578
3. Ryzhov, Ye. Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools / Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev, Yuriy Nastishin // *Measurement*, 2018, Volume 123, Pp.19-25. DOI:10.1016/j.measurement.2018.03.055.
4. Cheng, Fan-Tien. Developing an Automatic Virtual Metrology System / Fan-Tien Cheng, Hsien-Cheng Huang, Chi-An Kao // *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. – 2012. – No 9(1). – Pp.181–188. DOI: 10.1109/TASE.2011.2169405.
5. Haw-Ching Yang, Hao Tieng, Fan-Tien Cheng. Automatic virtual metrology for wheel machining automation // *International Journal of Production Research*. 2016. – V. 54:21. – Pp. 6367-6377, DOI: 10.1080/00207543.2015.1109724
6. Ігнаткін, В.У. Математичне забезпечення технічних засобів вимірювання і контролю : Монографія / В.У. Ігнаткін. – м. Кам'янське : ДДТУ, 2019. – 350 с.
7. Автоматизация метрологического обслуживания средств измерений промышленного предприятия / В. У. Игнаткин и др.: под ред. В. У. Игнаткина. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 208 с.
8. Определение и анализ зависимости показателей надежности средств измерений / Игнаткин В.У. и др. // *Измерительная техника*. – 1989. – № 7. – С. 11–13.
9. Оценка, контроль и прогнозирование метрологической надежности средств измерений / В. У. Игнаткин и др.: под ред. В. У. Игнаткина. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 190 с.
10. Манко, Г.И. Математическое моделирование метрологической надежности средств измерения с целью оптимизации межповерочных интервалов / Г.И. Манко, Н.М. Смунёва // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2005. – № 4. – С. 181–184.
11. Ігнаткін, В.У. Особливості аналізу динамічної погрішності при оцінці метрологічної надійності засобів вимірювання / В.У. Ігнаткін // *Метрологія і*

прилади. – 2019. – № 2 – С. 36–42. DOI: 10.33955/2307-2180(2)2019. С. 36–42

12. Мартин, Дж. Организация баз данных в вычислительных системах : пер. с англ. / Дж. Мартин . – 2-е изд., доп . – М. : Мир, 1980 . – 662 с.

13. Horbiychuk, M.S. The Use of Petri Networks for the Optimal Complexity Empirical Models Building Parallel / M.S. Corbiychuk. O.T. Bila. I lumeniuk T.V. // Algorithm Synthesis on the Genetic, June 2019. – Issue 89. – Pp. 123–128.

14. Horbiychuk, M.I. Neural network identification technology for manufacturing operations of drilling rig / M.I. Horbiychuk, T.V. Humeniuk // Науковий вісник національного гірничого університету. – 2017. – №3 (159). – С. 107 – 113.

15. Методичні вказівки до обчислення та про-гнозування показників метрологічної надійності засобів вимірювання при виконанні курсової роботи з дисципліни «Метрологія й технологічні вимірювання» для студентів III- IV курсів спеціальності 21.03. Частина I ; упоряд. В. У. Ігнаткін та ін.; під ред. В. У. Ігнаткіна. — Дніпропетровськ : УДХТУ, 1994. — 40 с.

16. В.У. Ігнаткін «Автоматизована система метрологічного обслуговування на промислових підприємствах». «Міжнародна науково-практична конференція» Прикладні «науково-практичні дослідження», м.Івано-Франківськ «Симфонія», 2017-5-7 квітня, 1с 86.

REFERENCES

1. Grzeczka G, Klebba M. Automated Calibration System for Digital Multimeters Not Equipped with a Communication Interface. Sensors (Basel). 2020 Jun 29;20(13):3650. DOI: 10.3390/s20133650.

2. Abdelmegeed, H. Automatic calibration system for electrical sourcing and measuring instruments / Hala Abdelmegeed, Ali M. El-Rifaie // 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2013. DOI: 10.1109/EEEIC.2013.6549578

3. Ryzhov, Ye. Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools / Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev, Yuriy Nastishin // Measurement, 2018, Volume 123, Pp.19-25. DOI:10.1016/j.measurement.2018.03.055.

4. Cheng, Fan-Tien. Developing an Automatic Virtual Metrology System / Fan-Tien Cheng, Hsien-Cheng Huang, Chi-An Kao // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. – 2012. – No 9(1). – Pp.181–188. DOI: 10.1109/TASE.2011.2169405.

5. Haw-Ching Yang, Hao Tieng, Fan-Tien Cheng. Automatic virtual metrology for wheel machining automation // International Journal of Production Research. 2016. – V. 54:21. – Pp. 6367-6377, DOI: 10.1080/00207543.2015.1109724

6. Ignatkin, V.U. Matematichne zabezpechennya tekhnichnih zasobiv

vimiryuvannya i kontrolyu : Monografiya / V.U. Ignatkin. – m. Kam'yans'ke : DDTU, 2019. – 350 s.

7. Avtomatizaciya metrologicheskogo obsluzhivaniya sredstv izmerenij promyshlennogo predpriyatiya / V. U. Ignatkin i dr.: pod red. V. U. Ignatkina. – M. : Izd-vo standartov, 1988. – 208 s.

8. Opredelenie i analiz zavisimosti pokazatelej nadezhnosti sredstv izmerenij / Ignatkin V.U. i dr. // Izmeritel'naya tekhnika. – 1989. – № 7. – S. 11–13.

9. Ocenka, kontrol' i prognozirovanie metrolo-skoj nadezhnosti sredstv izmerenij / V. U. Ignatkin i dr.: pod red. V. U. Ignatkina. – M.: Izd-vo standartov, 1991. – 190 s.

10. Manko, G.I. Matematicheskoe modelirovanie metrologicheskoy nadezhnosti sredstv izmereniya s cel'yu optimizacii mezhpoverochnyh intervalov / G.I. Manko, N.M. Smunyova // Voprosy himii i himicheskoy tekhnologii. – 2005. – № 4. – S. 181–184.

11. Ignatkin, V.U. Osoblivosti analizu dinamichnoï pogrishnosti pri ocinci metrologichnoï nadijnosti zasobiv vimiryuvannya / V.U. Ignatkin // Metrologiya i priladi. – 2019. – № 2 – S. 36–42. DOI: 10.33955/2307-2180(2)2019. S. 36–42.

12. Martin, Dzh. Organizaciya baz dannyh v vychislitel'nyh sistemah : per. s angl. / Dzh. Martin. – 2-e izd., dop. – M. : Mir, 1980. – 662 s.

13. Horbiychuk, M.S. The Use of Petri Networks for the Optimal Complexity Empirical Models Building Parallel / M.S. Corbiychuk. O.T. Bila. I lumeniuk T.V. // Algorithm Synthesis on the Genetic, June 2019. – Issue 89. – Pp. 123–128.

14. Horbiychuk, M.I. Neural network identification technology for manufacturing operations of drilling rig / M.I. Horbiychuk, T.V. Humeniuk // Науковий вісник національного гірничого університету. – 2017. – №3 (159). – С. 107 – 113.

15. Metodichni vказivki do obchislennya ta pro-gnozuvannya pokaznikov metrologichnoï nadijnosti zasobiv vimiryuvannya pri vikonanni kursovoï roboti z disciplini «Metrologiya j tekhnologichni vimiryuvannya» dlya studentiv II- IV kursiv special'nosti 21.03. CHastina I ; uporyad. V. U. Ignatkin ta in.; pid red. V. U. Ignatkina. – Dnipropetrovs'k : UDHTU, 1994. – 40 s.

16. V.U. Ignatkin «Avtomatizovana sistema metrologichnogo obslugovuvannya na promislovih pidpriemstvah». «Mizhnarodna naukovopraktichna konferenciya» Prikladni «naukovopraktichni doslidzhennya», m.Ivano-Frankivs'k «Simfoniya», 2017-5-7 kvitnya, 1s 86.

Received 04.10.2021.

Accepted 07.10.2021.

***Автоматизация решения задач оптимизации параметров системы
метрологического обслуживания средств измерительной техники***

Автоматизация метрологической службы предприятия позволяет уменьшить использование рабочей силы для выполнения задач обслуживания средств измерений и со-

кратить случаи ошибок персонала. В то же время процесс создания соответствующих автоматизированных систем требует решения ряда задач, связанных с необходимостью оптимизации параметров проектируемой системы, обеспечивающие ее высокую эффективность.

В этой статье делается попытка решить задачу охвата различных моделей в рамках синтеза и исследования имитационных компьютерных моделей, которые активно используют базу данных средств измерения предприятий. Разработан и программно реализована модель, которая позволяет в интерактивном режиме, учитывая характеристики, которые поступают из калибровочных лабораторий службы, и задавшись экономическими и метрологическими критериям, определять значение оптимальных межповоротных и межремонтных промежутков, оптимального числа проверок в межремонтном промежутке и другие параметры. Путем имитационного моделирования исследована зависимость показателей надежности ЗСТ от качества проведения метрологического обслуживания и ремонта. Исследовано влияние межремонтного и межповоротный интервал на экономическую эффективность метрологического обслуживания. В результате получены зависимости, позволяющие также исследовать влияние параметров качества обслуживания на комплексные показатели надежности.

Использование результатов исследования позволяет в диалоговом режиме автоматизированного рабочего места метролога решать задачи оптимизации параметров метрологического обслуживания по экономическим критериям и ограничениями конкретного производства по показателям метрологической надежности средств измерений, проводить диагностику и прогнозировать метрологическую надежность средств измерительной техники с учетом влияния на систему управления качеством предприятия, улучшать точность измерения и уменьшать вероятность возникновения скрытых отказов.

Automation of solving problems of optimization of parameters of metrological maintenance system of measuring equipment

Automation of the metrological service of the enterprise allows to reduce the use of labor to perform tasks of maintenance of measuring equipment and reduce staff errors. At the same time, the process of creating appropriate automated systems requires solving a number of problems related to the need to optimize the parameters of the designed system to ensure its highest efficiency.

This article attempts to solve the problem of covering various models in the synthesis and study of simulation computer models that actively use the database of measuring instruments of enterprises. Developed and software implemented a model that allows interactive mode, taking into account the characteristics coming from the calibration laboratories of the service, and given economic and metrological criteria, to determine the values of optimal calibration and repair intervals, the optimal number of inspections in the repair interval and other parameters. The dependence of FTA reliability indicators on the quality of metrological maintenance and repair was investigated by simulation. The influence of inter - repair and inter - calibration intervals on economic efficiency of metrological service is investigated. As a result, the dependences are obtained, which also allow to investigate the influence of service quality parameters on complex reliability indicators.

The use of research results allows in the dialog mode of the automated workplace of the metrologist to solve problems of optimization of parameters of metrological service on economic criteria and restrictions of concrete production on indicators of metrological reliability of measuring instruments, to carry out diagnostics and to forecast metrological reliability of measuring instruments. measurement accuracy and reduce the likelihood of hidden failures.

Ігнаткін Валерій Устинович – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Алексєнко Сергій Вікторович – д.т.н., доцент, завідувач кафедри механотроніки, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна.

Горбійчук Михайло Іванович – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Игнаткин Валерий Устинович – д.т.н., профессор, профессор кафедр автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.

Алексєнко Сергей Викторович – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой механотроники, Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара, Украина.

Горбийчук Михаил Иванович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.

Ignatkin Valeriy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Ivano-Frankovsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Alekseyenko Sergey – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanotronics, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.

Gorbiychuk Mikhail – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Ivano-Frankovsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

І.О. Сокол, О.С. Волковський

СИСТЕМА КОНВЕРТАЦИИ ИСХОДНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОДОВ

Аннотация. Нарастающий объем технологий, прекращение поддержки активно используемых средств разработки, устаревшее API и т. д., вызывают потребность конвертации программных кодов. В IT компаниях и не только, часто возникает вопрос поддержки устаревшего ПО, которым продолжают пользоваться клиенты, либо перевода нынешнего ПО на актуальные технологии. Для программистов рациональнее воспользоваться конвертацией, сохранив большую часть существующей кодовой базы, чем переписывать все ПО вручную, даже если понадобится ручная корректировка. На данный момент качественных систем конвертации кодов существует немного. В большинстве своем, системы конвертации работают неплохо только со схожими языками программирования. Задача конвертации программных кодов является глубокой и сложной темой. Программисты пытаются улучшить технологии перевода, сталкиваясь со многими трудностями. В данной статье рассматриваются базовые принципы построения системы конвертации программных кодов и некоторые особенности при её практической реализации.

Ключевые слова: конвертация программных кодов, компилятор, лексический анализатор, лексемы, синтаксический анализатор, абстрактное синтаксическое дерево, дерево полного разбора, семантический анализ, конечные автоматы.

Вступление. Нарастающий объем технологий, прекращение поддержки активно используемых средств разработки, устаревшее API и т. д., вызывает потребность конвертации программных кодов.

У технологий конвертации программных кодов есть множество критиков. Основной причиной их критики является тот факт, что код, генерируемый большинством систем перевода, является плохо читаемым и требует ручной доработки.

Однако, на практике, в IT компаниях и не только, часто возникает вопрос поддержки устаревшего ПО, которым продолжают пользоваться клиенты, либо перевода нынешнего ПО на актуальные технологии. Для программистов рациональнее воспользоваться конвертацией, сохранив большую часть существующей кодовой базы, чем переписывать все ПО вручную [4], даже если пона-

добиться ручная корректировка. С точки зрения компании есть возможность сэкономить огромное количество времени и материальных средств.

На данный момент качественных систем конвертации кодов существует немного. Из систем в открытом доступе можно вспомнить GWT (Google Web Toolkit) — это набор инструментов для разработки веб-приложений. В него входит компилятор, который преобразовывает код написанный на Java в код на JavaScript [9]. Некоторые IDE имеют подобную возможность. Например, IDE IntelliJ IDEA имеет возможность конвертации кода языка Java в код языка Kotlin [10]. Так же есть набор некоммерческих проектов от энтузиастов [11]. Некоторые системы конвертации разрабатываются в компаниях для внутренних целей и закрыты от глаз посторонних.

В целом системы перевода кода можно разделить на два типа – это системы, в которых переведенный код не похож на исходный, и системы, которые пытаются сохранить структуру как можно ближе к исходному коду, для облегчения разработки и отладки.

Первый тип систем обеспечивает подготовку кода к развертыванию на целевой платформе, при этом, поддержка подобного кода практически невозможна. К таким системам относится GWT. Свою работу она выполняет качественно и приносит пользу программистам, желающим разрабатывать на привычном для них языке. Однако, выходной код на JavaScript является «кашей», в которой очень сложно разобраться.

Системы второго типа являются наиболее сложными. Им необходимо перевести исходный код одного языка в код другого, при этом сохранив исходную структуру, что позволило бы программистам перейти на новый уровень технологий и выполнять поддержку переведенного кода.

Задача конвертации программных кодов не тривиальная. На данный момент, в большинстве своем, системы конвертации работают неплохо только со схожими языками программирования [5].

Многие программисты пытаются улучшить технологии перевода. В эпоху активного развития искусственного интеллекта, который уже используется во многих системах обработки и анализа кода, направление разработки систем конвертации кодов выходит на новый уровень. С возросшей популярностью высокоуровневых языков программирования общего назначения с динамической типизацией задача конвертации становится актуальной.

Проблема дословного перевода исходного кода. Рассмотрим, для примера, естественные языки, которые используются людьми для общения друг с другом. Существует множество автоматических переводчиков естественных языков. И мы понимаем, что качество перевода сильно зависит от грамматической, лексической и синтаксической схожести языков. Если прямолинейно выполнять дословный перевод предложения, мы можем столкнуться с полной потерей смысла исходной фразы. Язык программирования так же используется для общения, только общения программиста с ЭВМ. Сложность перевода, так же, зависит от степени схожести лексических, синтаксических и семантических правил языков. Мы должны понимать контекст переводимой фразы и особенности синтаксической расстановки отдельных её элементов. Тем более современные языки имеют огромное количество различных конструкций, которые не получится однозначно интерпретировать для целевого языка, что приводит к практической невозможности дословного перевода. Качественная конвертация программных кодов имеет сложную структуру.

Этапы конвертации. В данной статье рассмотрим классический подход к конвертации программных кодов, который используется, например, в компиляторах исходного кода.

В целом этапы конвертации выглядят следующим образом [3]:

1. Лексический анализ.
2. Синтаксический анализ.
3. Семантический анализ.
4. Процесс перевода.

Укрупнённая схема системы конвертации программных кодов приведена на рис. 1.

Рассмотрим каждый этап в отдельности.

Лексический анализ. Целью лексического анализа является разбор исходного текста программы на значимые единицы, согласно лексике языка. Данные значимые единицы называются лексемами. Проводя параллель с естественными языками, лексемы – это слова. В результате лексического анализа формируется набор, так называемых, токенов – объектов или структур, в которых хранится информация о найденной лексеме [6]. Список токенов необходим для последующей обработки исходного кода.

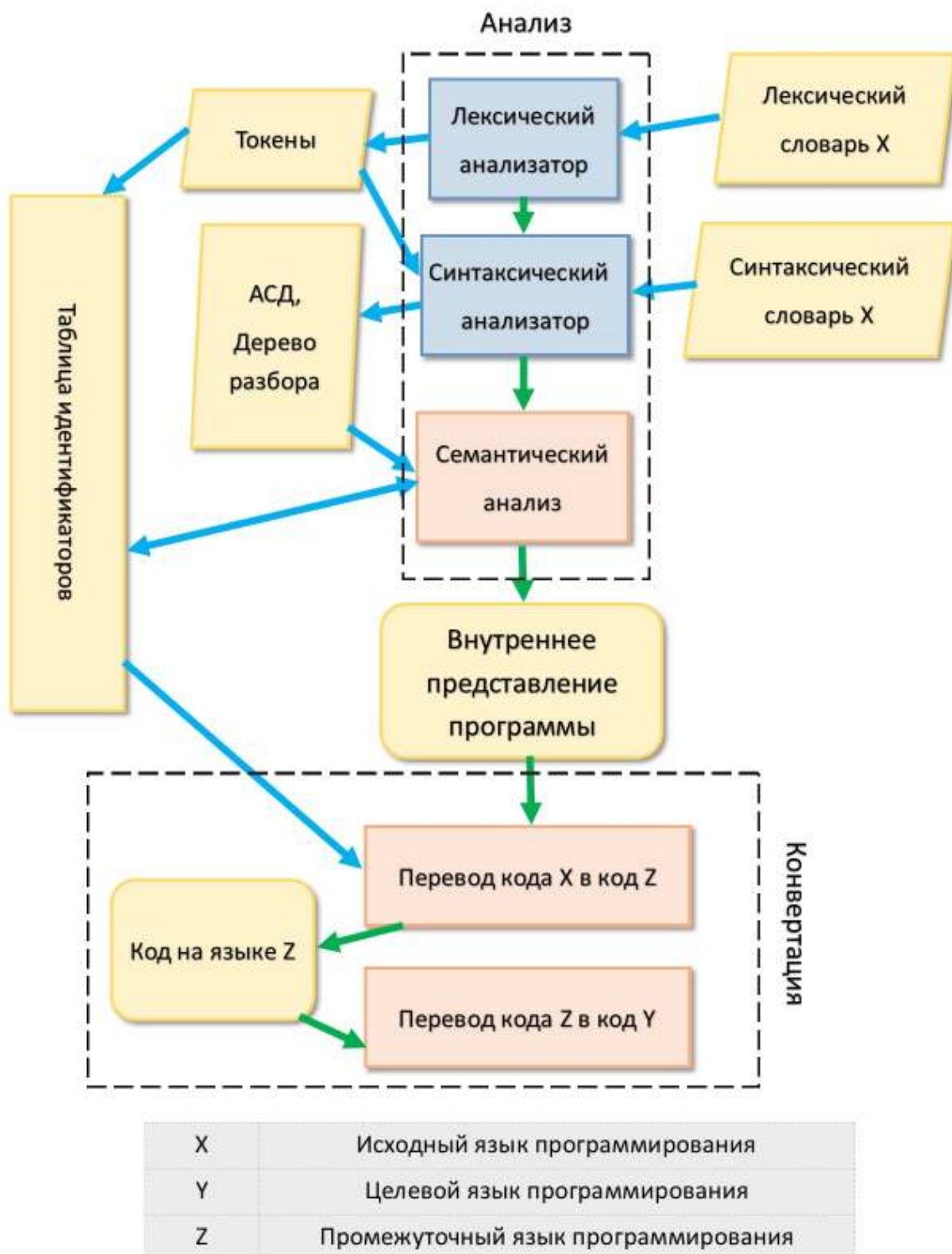


Рисунок 1 – Укрупнённая схема системы конвертации программных кодов

Помимо генерации токенов, проведя лексический анализ, мы можем определить соответствие кода лексике языка, т. е. определить лексические ошибки программиста, поскольку не имеет смысла анализировать и переводить лексически некорректный текст.

Синтаксический анализ. Целью синтаксического анализа является выявление и проверка синтаксических конструкций исходного кода, согласно синтаксису языка. В естественных языках синтаксис – это правила сочетания слов в рамках предложения. Например, следующая строка в языке программирования Си является синтаксически допустимой:

```
int num = 5;
```

А эта строка лексически допустима [7], но синтаксически неверна:

```
int = 5;
```

Синтаксический анализ использует результаты предыдущего этапа, т. е. набор токенов, сформированный лексическим анализатором.

Чаще всего, на практике, лексический и синтаксический анализатор взаимосвязаны и выполняются последовательно. Синтаксический анализатор, выполнив обработку очередной конструкции, обращается к лексическому анализатору за следующей лексемой. При этом синтаксический анализатор может затребовать «откатиться назад» для обработки конструкции по другому правилу. При возникновении неоднозначности определения типа и границы очередной лексемы анализаторы начинают функционировать параллельно для решения данной проблемы [3].

Параллельное взаимодействие имеет высокую сложность при реализации и требует большего времени анализа исходного кода [3]. Возможный способ избегания параллельной работы анализаторов будет описан далее в статье.

В результате работы синтаксического анализатора строится абстрактное синтаксическое дерево и дерево разбора. Абстрактное синтаксическое дерево (АСД) по сути является иерархией операторов и операндов, при этом в АСД отбрасываются синтаксические правила, не влияющие на общую семантику программы. Дерево разбора учитывает весь синтаксис исходного кода, к примеру, группирующие правила [12]. В результате работы синтаксического анализатора мы можем приступить к формированию общей структуры данных исходного кода.

Семантический анализ. В естественных языках семантический анализ позволяет донести смысл исходной фразы или текста [1]. Так же, для языков программирования, задача семантического анализа состоит в том, чтобы извлечь из формального описания информацию о структуре программы [8].

При формальном описании возникает проблема нахождения соответствия между произвольными грамматиками [8]. Языки программирования имеют различное назначение и сферы применения. Как описывалось раньше, в со-

временных языках существует множество синтаксических конструкций и, так называемого, «синтаксического сахара», которые семантически могут выполнять одну и ту же работу. Из примеров это множество конструкций обозначения блока кода в PHP, либо реализация «геттеров» и «сеттеров» в одну строчку в C# и т. д. Плюс ко всему, языки, которые более ориентированы на архитектуру компьютера, могут совсем не иметь синтаксической конструкции, которая соответствует конструкции из высокоуровневого языка. В данном случае также необходим семантический анализ и формирование набора конструкций, которые могут решить данную проблему.

Процесс перевода. Используя информацию и наработки предыдущих этапов выполняется перевод кода исходного языка в код целевого. Но, при построении архитектуры системы, возникает необходимость разделить данный этап на два:

1. Перевод кода исходного языка в промежуточный язык.
2. Перевод кода промежуточно языка в целевой.

Использование промежуточного языка. Причина использования промежуточно языка состоит в вопросе масштабирования системы. Из-за отсутствия универсальных моделей сопоставления произвольных грамматик многие языки будут обладать уникальной семантикой [8]. Это приводит к необходимости создавать уникальную реализацию модели для перевода «Код в Код», что приводит к проблеме масштабируемости подобной системы.

Возьмем, для примера, четыре языка программирования, совершенно условно: Java, Python, C++ и C#. На рис. 2 стрелками показаны отдельные реализации этапа перевода языка. Как видно на рисунке, для каждого языка из списка необходимо реализовать связь с остальными языками.

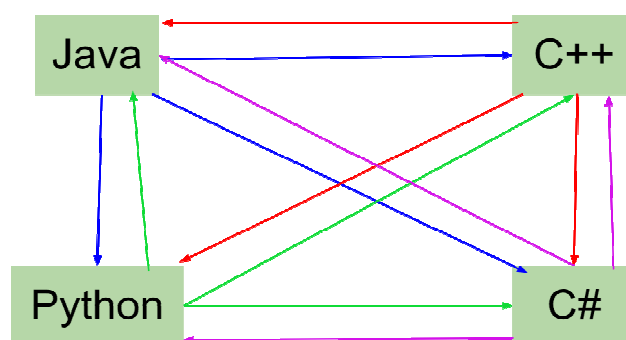


Рисунок 2 – Количество реализаций этапа преобразования кода без промежуточного языка

Теперь возьмем все те же языки, только используем прослойку в виде промежуточного языка (рис. 3).

Как видим необходимое количество реализаций уменьшилось. В схеме, приведенной на рис. 3 причина наличия у языков двух связей с промежуточным языком состоит в том, что реализация однозначного алгоритма преобразования, который смог бы работать в «обе стороны», является большой проблемой. В данном алгоритме корректность обратного перевода зависит от выбранного промежуточно языка и степени различий его с переводимыми языками.

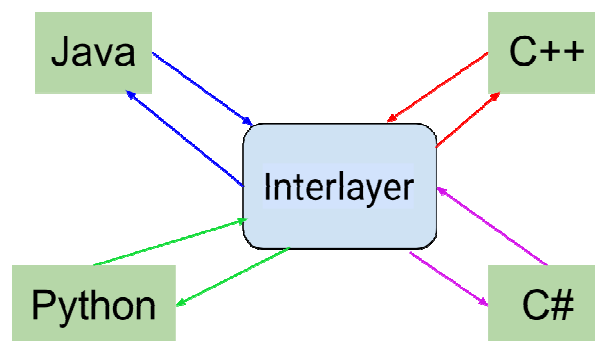


Рисунок 3 – Количество реализаций этапа преобразования кода с использованием промежуточного языка

Но даже в случае реализации двойной связи, результаты введения промежуточного языка очевидны и их можно хорошо продемонстрировать с помощью Табл.1.

Из Табл.1 видно, что при поддержке двух языков программирования количество необходимых реализаций без промежуточного языка меньше, чем во втором варианте. При трёх языках – они сравнялись. А при четырёх и более, преимущество варианта с использованием промежуточного языка явно выделяется. Для системы без промежуточного языка формула для определения количества реализаций – $x * (x - 1)$, где x – количество поддерживаемых языков.

Для системы с использованием промежуточного языка – количество реализаций определяется как: $x * 2$.

В целом использование промежуточного языка снижает сложность системы конвертации программных кодов при её масштабировании. Однако, от выбора промежуточного языка во многом зависит успех реализации системы.

Количество языков	Без промежуточного языка	С промежуточным языком
2	2	4
3	6	6
4	12	8
5	20	10
6	30	12
7	42	14

Особенности реализации системы конвертации программных кодов.

На основе рассмотренных данных можно сделать несколько выводов:

1. Модель лексического и синтаксического анализатора можно сделать универсальной, заменяя в ней только правила, актуальные для анализируемого языка.

2. Так как процесс семантического анализа невозможно привести к универсальной математической модели и формальным средствам описания, он, совместно с этапом перевода, должен реализовываться вручную для отдельного языка программирования [2].

Рассмотрим вопрос решения параллельной работы синтаксического и лексического анализатора. Часто разработчики языков программирования и компиляторов идут на некие ограничения синтаксиса. Одним из таких ограничений является соглашение о том, что при возникновении проблемы с определением границы лексемы выбирается лексема максимальной длины [3]. Например, в языке Си следующая операция

$$n = i+++++j;$$

лексическим анализатором будет разбита таким образом:

$$n = i++ ++ +j;$$

и синтаксический анализатор выдаст ошибку.

После проведения практических экспериментов с реализацией лексического анализатора, можно сделать весомый вывод:

Использование регулярных выражений для выделения лексем вызывает множество проблем. Если составить список регулярных выражений и исполь-

зовать их последовательно, то очередная лексема будет отнесена к правилу, которое описано раньше в этом списке. В этом случае конструкции, которые явно синтаксически допустимы будут определяться неверными из-за ошибок лексического анализа.

Например, для языка Си возьмем два простых регулярных выражения. Первое – регулярное выражение ключевого слова “int”, второе – выражение идентификатора “[a-zA-Z_]+\w*”. Рассмотрим следующую строку:

int intnum = 5;

Синтаксически данное выражение абсолютно верно. Но, если первым в списке регулярных выражений будет выражение “int”, то лексический анализатор выделит лексемы следующим образом (представим, что правила для выделения отступов, чисел и операторов уже описаны):

[int][][int][num][][=][][5][;]

Синтаксический анализатор увидит, что после указания типа идет не идентификатор или функция, а снова указание типа, и выдаст ошибку. Естественно, можно добавить правило, что перед и после ключевого слова должен идти разделитель. Но что делать в случае, когда ключевое слово написано в начале текста, либо после него нет ни одного символа. Все эти моменты должны быть учтены в регулярном выражении, что увеличивает его сложность и размер.

Чаще всего в литературе рекомендуют использовать конечные автоматы [3][6]. При этом алгоритм не пытается выделить определенное правило целиком и сами правила проще в реализации. В конечный автомат передается очередной символ исходной последовательности, при этом автомат изменяет свое внутренне состояние и выдает это состояние на наружу. Тогда, алгоритм разбора получается несложным. Необходимо провести каждый символ входящей строки через набор конечных автоматов - автомат определяет уникальный токен. На каждой итерации проверяется, остался ли какой-либо автомат в активном состоянии. Если таковых нет, значит, часть строки до данного символа является лексемой. А для определения типа токена будет использоваться автомат, который последним перешел в неактивное состояние [6].

Вывод. В процессе постоянного появления новых языков программирования, а также спада востребованности существующих, задача конвертации программных кодов становится все более актуальной. Она является глубокой и сложной темой. Программисты пытаются улучшить качество процесса перевода, сталкиваясь со многими трудностями.

Данная статья направлена на пояснение базовых принципов системы конвертации кода и некоторых нюансов при её реализации.

ЛИТЕРАТУРА/ЛІТЕРАТУРА

1. Volkovskiy O. S., Kovylin Y. R. Mathematical model for automatic creation the semantic thesaurus for the scientific text. Системні технології. Регіональний збірник міжвузівських наукових праць. 2019. Вип.6, № 125. С. 82–88.
2. Volkovskiy O. S., Kovylin Y. R. Matematical model for constructing the semantic network of a scientific text. Modern engineering and innovative technologies. // International periodic scientific journal, Karlsruhe, Germany. – 2020. – Issue №11, Part №2. – P. 128–133.
3. Молдованова О. В. Языки программирования и методы трансляции: Учебное пособие. – Новосибирск/СибГУТИ, 2012. – 134с.
4. Транскомпилируемые языки: проекты конвертации код-в-код [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу:
<https://habr.com/ru/company/vk/blog/480724/>.
5. The Most Accurate and Reliable Source Code Converters [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.tangiblesoftware resolutions.com/>.
6. Лексический анализатор на JavaScript [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://bit.ly/3FcIBfw>.
7. Алфавит языка Си. Лексемы [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://studfile.net/preview/3675473/page:3/>.
8. Теория языков программирования и методы трансляции [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://ermak.cs.nstu.ru/trans/>.
9. GWT — Краткое руководство [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://coderlessons.com/tutorials/veb-razrabotka/izuchite-google-web-toolkit/gwt-kratkoe-rukovodstvo>.
10. Get started with Kotlin | IntelliJ IDEA - JetBrains [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://www.jetbrains.com/help/idea/get-started-with-kotlin.html>.
11. Awesome Transpilers by target language [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://github.com/transpiler/awesome-transpiler>.
12. Abstract syntax tree [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Abstract_syntax_tree.

REFERENCES

1. Volkovskiy O. S., Kovylin Y. R. Mathematical model for automatic creation the semantic thesaurus for the scientific text. System technologies. Regional interuniversity compendium of scientific works. 2019. Vol.6, No. 125. P. 82–88.
2. Volkovskiy O. S., Kovylin Y. R. Matematical model for constructing the semantic network of a scientific text. Modern engineering and innovative technologies. // International periodic scientific journal, Karlsruhe, Germany. – 2020. – Issue №11, Part №2. – P. 128–133.
3. Moldovanova O. V. Programming languages and translation methods: Study guide. – Novosibirsk/SibSUTIS, 2012. – 134p.
4. Transcompiled languages: code-to-code conversion projects [Electronic resource] – Resource access mode: <https://habr.com/ru/company/vk/blog/480724/>.
5. The Most Accurate and Reliable Source Code Converters [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.tangiblesoftware resolutions.com/>.
6. Lexical analyzer in JavaScript [Electronic resource] – Resource access mode <https://bit.ly/3FcIBfw>.
7. C language alphabet. Lexemes [Electronic resource] – Resource access mode: <https://studfile.net/preview/3675473/page:3/>.
8. Programming languages theory and translation methods [Electronic resource] – Resource access mode: <http://ermak.cs.nstu.ru/trans/>.
9. GWT — Quick guide [Electronic resource] – Resource access mode: <https://coderlessons.com/tutorials/veb-razrabotka/izuchite-google-web-toolkit/gwt-kratkoe-rukovodstvo>.
10. Get started with Kotlin | IntelliJ IDEA - JetBrains [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.jetbrains.com/help/idea/get-started-with-kotlin.html>.
11. Awesome Transpilers by target language [Electronic resource] – Resource access mode: <https://github.com/transpiler/awesome-transpiler>.
12. Abstract syntax tree [Electronic resource] – Resource access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Abstract_syntax_tree.

Received 06.10.2021.

Accepted 09.10.2021.

Program source codes conversion system

The growing volume of technologies, the end of actively used development tools support, outdated API etc., entails the need of program codes conversion. In IT companies and not only, often begged the question of deprecated software support, which customers continue to use, or translation of current software to actual technologies. It is more rational for programmers to use the conversion and save most of code base, than rewriting all software by hand, even if manual

adjustment is needed. At this moment, there are few high-quality code conversion systems. Largely, conversion systems work well only with similar programming languages. The task of program codes conversion is a deep and complex topic. Programmers are trying to improve translation technologies and facing with many challenges. This article discusses the basic principles of building a system for program codes conversion and some features of its practical implementation.

Система конвертації вихідних програмних кодів

Наростаючий обсяг технологій, припинення підтримки засобів розробки, що активно використовуються, застаріле API і т. д., викликають потребу конвертації програмних кодів. У ІТ компаніях і не тільки часто виникає питання підтримки застарілого ПЗ, яким продовжують користуватися клієнти, або перекладу нинішнього ПЗ на актуальні технології. Для програмістів раціональніше користуватися конвертацією, зберігши більшу частину існуючої кодової бази, ніж переписувати все ПЗ вручну, навіть якщо знадобиться ручне коригування. На даний момент якісних систем конвертації кодів існує небагато. Здебільшого, системи конвертації працюють непогано лише з подібними мовами програмування. Завдання конвертації програмних кодів є глибокою та складною темою. Програмісти намагаються покращити технології перекладу, стикаючись із багатьма труднощами. У цій статті розглядаються базові принципи побудови системи конвертації програмних кодів та деякі особливості під час її практичної реалізації.

Сокол Іван Олександрович – аспірант, кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Дніпровський національний університет імені О. Гончара.

Волковський Олег Степанович – к.т.н., доцент кафедри КНДТ, Дніпровський національний університет імені О.Гончара.

Сокол Иван Александрович – аспирант, кафедра компьютерных наук и информационных технологий, Днепровский национальный университет имени О. Гончара.

Волковский Олег Степанович – к.т.н., доцент кафедры КНИТ, Днепровский национальный университет имени О. Гончара.

Sokol Ivan – graduate student, Department of computer science and information technologies, Oles Honchar Dnipro National University.

Volkovskiy Oleg – PhD in Technical Science, associate professor of CSIT Department, Oles Honchar Dnipro National University.

ПРО ОДИН ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ СИМУЛЯТОРУ РУХУ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З НАВЧАННЯМ

Анотація. У статті розглядається питання використання тренажерів для управління рухом автономного транспортного засобу та розробки нового симулятора. Описано підхід до створення симулятора руху транспортного засобу на мові програмування C#. При розробці для реалізації симуляційних сцен, використано багатоплатформовий інструмент Unity 3D. У симуляції використовується нейронна мережа прямого поширення, яка немає чіткої кількості нейронів вхідного рівня, має тільки сталий вихідний рівень, який складається з двох нейронів: перший відповідає за прискорення, другий за можливість автомобіля повертати вліво або вправо. Також у мережі немає чітко визначеної кількості прихованих рівнів та нейронів, які там розташовані. Всі ці дані у симуляції може визначати сам користувач. На вхід до нейронної мережі подаються значення отримані з лазерів. Лазери вимірюють відстань до перешкоди та подають значення на вхід до нейронної мережі. Обрана сигмоїдна функція активації. Для навчання нейронної мережі використовується алгоритм підсиленого навчання, а саме генетичний алгоритм, який застосовується до кожного автомобіля, починаючи зі створення власного списку генів кожного автомобіля. У мережі кожного автомобіля кількість генів дорівнює кількості ваг. Для першого покоління ваги задані випадковим чином. Оскільки це симулятор, була створена узагальнена нейронна мережа з великою кількістю налаштувань, з можливістю змінювати її структуру: можна змінити кількість нейронів вхідного рівня, які залежать від кількості лазерів у автомобіля, їх дальnobійність, висоту, на якій вони визначають перешкоди, поле їх видимості; змінювати кількість прихованих рівнів та кількість нейронів, які там будуть розташовані; керувати процесом мутації, який використовується у генетичному алгоритмі; визначити значення мутації та діапазон варіацій, у якому значення можуть змінюватись; вмикати та вимикати функцію самозбереження, міняти швидкість автомобіля, прискорення, встановлювати максимальну та мінімальну швидкість, редагувати параметри, які відповідають за обертання автомобіля та його плавність. Реалізація проекту надана у GitHub.

Ключові слова: симулятор, Unity 3D, нейронна мережа прямого поширення, функції активації, платформа GitHub.

Вступ і мета. Безпілотні, автономні, самокеровані так називають транспортні засоби, яким не потрібна людина в якості водія. Це не тільки легкові автомобілі, як здається на перший погляд, це ще й поїзди, вантажівки, сільськогосподарські машини тощо. За їх управління відповідає автоматизована система керування. В наступний час крупні автомобільні фірми перейшли від методів комп'ютерного моделювання на методи імітаційного моделювання на симуляторах, використовую комп'ютерні моделі, щоб мати можливість використання отриманих даних у стендових іспитах [1, 2].

Самокерований автомобіль одна з найскладніших і, одночасно, найцікавіших тем в області штучного інтелекту сьогодні. Проблема є складною, оскільки система працює в частково спостережуваному, безперервному та динамічному середовищі. В такому середовищі система не тільки повинна піклуватися про завдання керування, але також повинна мати контекстну інформацію про навколишнє середовище в максимально можливій мірі.

Автономні транспортні засоби вимагають широкомасштабної розробки та тестування в широкому діапазоні сценаріїв, перш ніж вони зможуть бути розгорнуті та використані для реального світу. Однак тестові поїздки у реальному світі вимагають великих витрат часу та капіталу, і відтворити рідкісні та небезпечні сценарії практично неможливо.

Мета роботи – запропонувати підхід реалізації імітаційного моделювання на симуляторах руху транспортного засобу з навчанням, без використання комерційних програмних продуктів.

Симуляція. Вона дозволяє перевіряти поведінку автономних транспортних засобів у величезній кількості сценаріїв, середовищ, конфігурацій системи тощо. Це не робить випробувальні полігони застарілими, але може допомогти зосередитися саме на необхідних випробуваннях для перевірки результатів роботи розробників, тощо. Допомогає зберігати час та капітал, витрачений на випробування у реальному світі [6].

Автономний автомобіль здатен орієнтуватися у просторі, використовуючи різні прилади і методи, такі як радар, лідар, GPS, одометри, комп'ютерний зір та інші. Сучасні системи керування здатні інтерпретувати інформацію з сенсорів аби визначити правильний напрямок руху, а також ідентифікувати перешкоди й відповідні покажчики. Автономні автомобілі мають системи керування, які здатні аналізувати сенсорні дані і розрізняти об'єкти на дорозі, що є дуже важливим при слідуванні маршруту до бажаної точки призначення, бо автомобіль повинен уникати зіткнень з різними об'єктами.

Нині автомобільна індустрія зазнає істотної трансформації: найбільші виробники машин спільно з ІТ і телеком-розробниками йдуть до створення транспортних засобів з можливістю повністю автономного керування. Тренд вже очевидний в майбутньому безпілотний транспорт стане масовим явищем, але на шляху до епохи повністю автономних автомобілів ще належить вирішити масу завдань.

Автономні транспортні засоби вимагають широкомасштабної розробки та тестування в широкому діапазоні сценаріїв, перш ніж вони зможуть бути розгорнуті та використані для реального світу. Однак тестові поїздки у реальному світі вимагають великих витрат часу та капіталу, і відтворити рідкісні та небезпечні сценарії практично неможливо. Саме для цього і потрібні симулятори.

Наприклад, є симулятор NVIDIA DRIVE Sim [4]. Зі слів розробників, NVIDIA DRIVE Sim вирішує ці проблеми завдяки масштабованій, фізично точній та різноманітній симуляційній платформі. Завдяки DRIVE Sim розробники AV можуть підвищити продуктивність, ефективність та покриття тестів, просуваючи час виходу на ринок, мінімізуючи реальне водіння.

DRIVE Sim використовує високоточну та фізично точну імітацію для створення безпечного, масштабованого та економічно вигідного способу вивести на наші дороги автономні машини. Він використовує основні технології NVIDIA, включаючи NVIDIA RTX, Omniverse та AI, щоб забезпечити потужну хмарну обчислювальну платформу, здатну генерувати широкий спектр реальних сценаріїв розвитку та перевірки AV. DRIVE Sim може генерувати набори даних, щоб навчити систему сприйняття автомобіля або перевірити процес прийняття рішень. Він також може бути підключений до AV-стеку в конфігураціях програмного забезпечення в циклі або апаратного забезпечення в циклі для перевірки інтеграції системи. Його можна запускати як локально, так і з використанням хмарних технологій.

Однак проблема полягає у тому, що доступ до цього симулятора надається лише обмеженому колу розробників і він буде у ранньому доступі не раніше ніж улітку 2021го.

Є інші приклади симуляторів з відкритим кодом, наприклад CARLA [5]. CARLA була розроблена з нуля для підтримки розвитку, навчання та перевірки систем автономного водіння. На додаток до коду та протоколів з відкритим кодом, CARLA пропонує відкриті цифрові активи (міські плани, будівлі, транспортні засоби), які були створені для цієї мети та можуть вільно викори-

стовуватися. Симуляційна платформа підтримує гнучку специфікацію сенсорних наборів, умов навколишнього середовища, повний контроль усіх статичних та динамічних факторів, створення карт тощо. Та навіть у таких версіях, з відкритим кодом, все ще залишаються проблеми з ліцензіями і розробнику доволі проблематично щось змінити, доробити, переписати або використати у власному продукті.

Відмітимо роботу [3], де на наш погляд добре надано огляд автономних транспортних засобів.

Інструмент Unity 3D. Для симулятору використано Unity 3D – багатоплатформовий інструмент для розробки багатовимірних додатків, симуляторів, ігор, тощо.

Ще одна особливість це комбіновані пакети елементів, що полегшує створення прототипів та не використовує вузли дерева успадкування. Це актуально для розробників ігрових додатків.

Основний недолік це використання схем у складних додатках. Багатокомпонентні сцени дуже ускладнюють візуальну частину роботи у редакторі. Також є проблема з зовнішніми бібліотеками, які розробник повинен підключати власноруч, що викликає труднощі та витрачає багато часу. Також багатоплатформенність це завжди компроміс у плані продуктивності, пам'яті, стабільності застосунку на усіх операційних системах та девайсах.

Однак незважаючи на все це, Unity 3D найкраще підходить для мови C# та середовища програмування Visual Studio, бо все це вже інтегроване в Unity, а багатоплатформенність дозволяє використовувати симулятор на різних девайсах та операційних системах.

Симулятор розроблений у програмі Unity 3D, для цього у Unity створена сцена для симуляції «рис. 1». Для створення сцени використовувались стандартні засоби редактору разом з використанням базових ассетів, наприклад, 3D модель автомобіля, та безкоштовні ассети інших користувачів, які можна завантажувати зі спеціального магазину Unity Asset Store, такі як замки, деякі гори, тощо. Для освітлення сцени були використані спеціальні компоненти освітлення, разом з нічним скайбоксом, який теж містить у собі компоненти освітлення.

Трек створений зі звичайних прямокутних об'єктів з параметрами, які роблять звичайний прямокутник схожим на стіну. До цих стін (перешкод) була додана функція колізії, яка обробляє зіткнення авто з перешкодами та знищує автомобіль.

Усі об'єкти та компоненти, які повинні безпосередньо приймати участь у симуляції, об'єднані головним класом контроллером. Він безпосередньо відповідає за створення нових поколінь у симуляції, на початку кожної ітерації. Містить у собі налаштування для завдання кількості агентів, які будуть брати участь у симуляції. Головний клас приймає у якості параметра об'єкт автомобіля, для якого він буде запускати симуляцію та містить скрипт, написаний для обробки усіх сценаріїв, визначених у симуляції, запуску нових ітерації, ініціалізації камери, UI-компонентів, тощо.



Рисунок 1 - Сцена симуляції у Unity 3D

Нейронна мережа. У симуляції використовується нейронна мережа прямого поширення. Вона немає чіткої кількості нейронів вхідного рівня. Також у мережі немає чітко визначеної кількості прихованих рівнів та нейронів, які там розташовані. Всі ці дані у симуляції може визначати сам користувач. Мережа має тільки сталий вихідний рівень, який складається з двох нейронів перший відповідає за прискорення автомобіля, другий відповідає за можливість автомобіля повертати вліво або вправо «рис. 2».

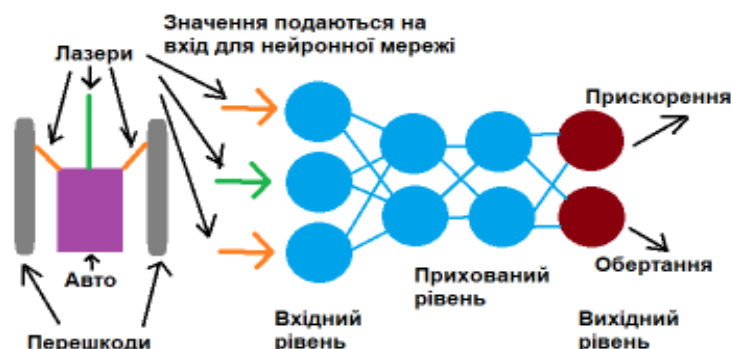


Рисунок 2 - Модель нейронної мережі для трьох лазерів

На вхід до нейронної мережі подаються значення отримані з лазерів. Лазери вимірюють відстань до перешкоди та подають значення на вхід до нейронної мережі. Лазери можуть приймати значення у діапазоні $[0, 1]$. До речі, саме тому була обрана сигмоїдна функція активації, оскільки вона існує саме у діапазоні $[0, 1]$ та особливо добре підходить для цього випадку. Якщо у полі зору лазера (це відстань яку можна регулювати у симуляторі) немає перешкоди він подає значення 1 на вхід нейронної мережі. Якщо ж перешкода є у його полі зору, то чим менша відстань до перешкоди, тим менше значення, яке повертає лазер та подає на вхід нейронної мережі. Далі після обчислень, нейрони вихідного рівня мають два значення, одне прискорення, друге обертання. Ці два значення використовуються у стандартній фізиці Unity та шляхом геометричних перетворень рухають авто вперед та повертають його. Такі обчислення робляться для кожного авто на кожне оновлення кадрового буферу.

Навчання нейронної мережі. Для навчання нейронної мережі використовується алгоритм підсиленого навчання, а саме генетичний алгоритм, який застосовується до кожного автомобіля (агента). Згідно з закону Дарвіна, сутність (у роботі автомобіль) з найкращими генами, виживаючи, поширює свої гени наступному поколінню, яке поширює їх далі і далі, постійно розвиваючись.

Застосовуючи цей принцип для автомобілів, починаємо зі створення власного списку генів для кожного автомобіля. У нейронній мережі кожного автомобіля кількість генів дорівнює кількості ваг. Для першого покоління ваги будуть задані випадковим чином. В плані програмування - ваги (гени) представлені масивом, який ініціалізується у діапазоні від $[-1, 1]$. Значення для діапазону у симуляції можна змінювати. Далі обираються найкращі агенти, тобто автомобілі, які прожили найбільше часу у симуляції. У наступній ітерації (поколінні), коли мережа буде оновлюватись, значення ваг будуть залишатися

статичними, а значення нейронів, під час симуляції, будуть змінюватись, оскільки вони залежать від нейронів вхідного рівня та ваг мережі.

Генетичний алгоритм розділений на різні розділи:

- випадкова ініціалізація ДНК;
- вибір кращих автомобілів залежно від функції пристосування;
- перехрещення генів батьків;
- мутація нової ДНК.

Оскільки це симулятор, була створена узагальнена нейронна мережа, з великою кількістю налаштувань, з можливістю змінювати її структуру. Наприклад, можна змінити кількість нейронів вхідного рівня, які залежать від кількості лазерів у автомобіля. Якщо авто має 3 лазери, які вимірюють відстань, то буде 3 нейрони вхідного рівня, якщо ж авто має 10 лазерів, то буде 10 нейронів вхідного рівня. Також можна змінювати кількість прихованих рівнів та кількість нейронів, які там будуть розташовані. Кількість нейронів вихідного рівня залишається незмінною, бо це є прискоренням та обертанням для автомобіля. Тільки зі зміною логіки нейронної мережі можна буде змінити ці параметри.

Для автомобіля можна вмикати та вимикати функцію самозбереження. Мінити швидкість автомобіля, прискорення, встановлювати максимальну та мінімальну швидкість, редагувати параметри, які відповідають за обертання автомобіля та його плавність.

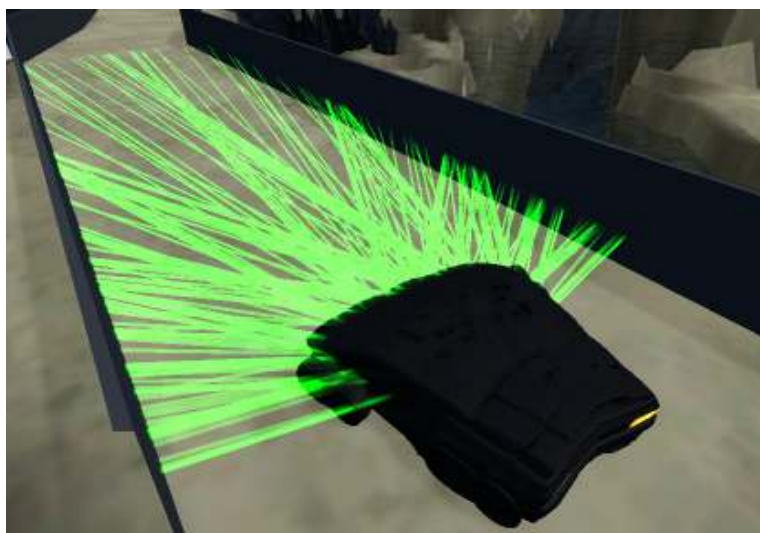


Рисунок 3 - Початок симуляції. П'ятдесят агентів

Як було сказано вище, можна змінювати кількість лазерів, їх дальnobійність, висоту, на якій вони визначають перешкоди, поле їх

видимості, наприклад, вони можуть бути налаштовані для пошуку перешкод тільки спереду або повністю з усіх боків.

Також можна керувати процесом мутації, який використовується у генетичному алгоритмі, можна визначити значення мутації та діапазон варіацій, у якому значення можуть змінюватись.

У симуляторі можна змінювати кількість агентів. Зі збільшенням кількості агентів, ми збільшуємо швидкість тренування, особливо на перших ітераціях, оскільки кожен автомобіль має свою власну мережу та власні значення для мережі та через це ми покриваємо більше значень, які як раз можуть бути тими, які нам потрібні та для їх знаходження знадобиться менше часу «Рис.3».

У роботі кожен автомобіль має власну нейронну мережу, і вона оновлюється кожного разу, як починається нове покоління. Цей алгоритм оновлення називається «feedforward», тобто алгоритм прямого поширення. Автомобілі будуть мати в якості вхідного рівня відстані до стін, що оточують машини. За допомогою даних вхідного рівня та ваг, мережа розраховує вихідні дані, які будуть обертанням і прискоренням для автомобілів.

Висновки. Створений у роботі симулятор це базова, безкоштовна, початкова версія. Симулятор може бути завантаженим будь-яким розробником з платформи GitHub [7] та використаний для реалізації та тестування різних алгоритмів навчання для нейронної мережі, у тому числі й власноруч створених. Так розробник, який завантажив симулятор, зможе порівняти результати роботи програми, провести аналіз та виявити найкращі алгоритми для нейронної мережі прямого поширення. Також можна буде порівняти результати роботи програми та швидкість навчання нейронної мережі, змінивши параметри нейронної мережі, параметри лазерів, автомобілів, тощо. Розробник може вільно вносити зміни до коду та перевіряти потрібний йому функціонал. Базова версія симулятору, може бути взята за основу для створення більш складного та функціонального симулятора. Фрагменти коду цього симулятора або об'єкти сцени Unity, можуть бути використані в інших додатках. Після внесення змін, розробник може запросити ревью доданого ним функціоналу та коду та створити запит на додавання його коду у репозиторій. Інші розробники зможуть скачати вже більш функціональний симулятор та у майбутньому теж розширити його функціонал.

ЛІТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Mercedes-Benz Innovation Vehicle Developing. [Електроний ресурс/Electronic resource]/–Режим доступу/Access mode: 22.07.2018. <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/next/advancedengineering/>

2. Emanuele Obialero. A Refined Vehicle Dynamics Model for Driving Simulators // Chalmers University of Technology/Göteborg, Sweden 2013. Master's thesis, P. 120.
3. Shaoshan Liu, Liyun Li, Jie Tang, Shuang Wu, JeanLuc Gaudiot. «Creating Autonomous Vehicle Systems». Morgan & Claypool Publishers, 2018. - P. 191
4. Закритий симулятор NVIDIA DRIVE Sim. [Електронний ресурс/Electronic resource]/ <https://developer.nvidia.com/drive-sim-early-access-program>.
5. Симулятор з відкритим кодом Carla. [Електронний ресурс/Electronic resource]/ CARLA Simulator.
6. Михайлов В.Г. О некоторых подходах моделирования автомобиля на симуляторах // Системный анализ и прикладная информатика. №3, -2019. - с. 29-35.
7. [Electronic resource] <https://github.com/Evyshkav/AVSimulator>

REFERENCES

1. Mercedes-Benz Innovation Vehicle Developing. <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/next/advancedengineering/> [Electronic resource]– Access mode: 22.07.2018.
2. Emanuele Obialero. A Refined Vehicle Dynamics Model for Driving Simulators // Chalmers University of Technology/Göteborg, Sweden 2013. Master's thesis, P. 120.
3. Shaoshan Liu, Liyun Li, Jie Tang, Shuang Wu, JeanLuc Gaudiot. «Creating Autonomous Vehicle Systems». Morgan & Claypool Publishers, 2018. - P. 191
4. Closed Simulator NVIDIA DRIVE Sim. <https://developer.nvidia.com/drive-sim-early-access-program>.
5. Open Source Simulator Carla. CARLA Simulator.
6. Muhaylov B.G. O nekotorykh podkhodakh modelirovaniya avtomobilya na simulyatorakh // Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika. №3, -2019. - с. 29-35.
7. <https://github.com/Evyshkav/AVSimulator>

Received 06.10.2021.

Accepted 14.10.2021.

On one approach to the development of a simulator of the movement of an autonomous vehicle with training

The article deals with the use of simulators for controlling the movement of an autonomous vehicle and development of a new simulator. The approach to creating a simulator of motion of a vehicle in the C# programming language is described. In the development for the implementation of simulation scenes used Unity 3D multi-platform tool is used in the development. The simulation uses direct propagation neural network that does not have a clear number of input level neurons, having only a constant output level, consisting of two neurons: the first one is responsible for acceleration, the second one is responsible for the ability of the car to turn left or to the right. Also, there is no clearly defined number of hidden levels and neurons located there. All this data in the simulation can be determined by the user. The input to the neural network values received from lasers. The lasers measure the distances to obstacles

and feed the values to the input of the neural network. A sigmoidal activation function is implemented. To train the neural network an augmented learning algorithm is used, namely, a genetic algorithm applied to each vehicle, starting with the creation of each vehicle's own list of genes. In the network of each vehicle the number of genes is equal to the number of weights. For the first generation, the weights are set randomly. For the simulation, a generalized neural network with a large number of settings, with it is possible to change its structure: it is possible to change the number input level neurons that depend on the number of lasers at vehicle, their range, the height at which they detect interference, field of their visibility; you can change the number of hidden levels and the number of neurons that will be located there; control the mutation process used in the genetic algorithm; define the value of the mutation and the range of variation at which values can be varied; turn on and off the self-preservation, change vehicle speed, acceleration, set the maximum and minimum speed, edit the parameters responsible for the rotation of the car and its smoothness. Implementation of the project is provided on GitHub. The simulator can be downloaded by any developer from GitHub and can be used to implement and test various neural network training algorithms, including work of your own design.

Об одном подходе для разработки симулятора движения автономного транспортного средства с обучением

В данной работе рассматривается проблема использования симуляторов для управления движением автономным транспортным средством и разработки нового симулятора, который использует язык программирования C#, среду реализации сцен симуляции в Unity 3D. Моделирование использует нейронную сеть с прямым распространением. Созданный симулятор является базовой, бесплатной и начальной версией. Симулятор может скачиваться любым разработчиком с GitHub и использоваться для реализации и тестирования различных алгоритмов обучения нейронной сети, в том числе работы собственной разработки.

Зайцев Вадим Григорович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Булатецкий Евгений Иванович – студент Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Зайцев Вадим Григорьевич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Булатецкий Евгений Иванович – студент Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Zaytsev Vadym Grigorovich - Ph.D., Associate Professor, Department of computer Technologies, Oles Honchar Dnipro National University.

Bulatetskyi Yevhenii - student, Oles Honchar Dnipro National University.

А.А. Демчишин, Ю.С. Буренков

ВЕБ-СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ НА ОСНОВІ ПАТЧЕЙ КЕТМАЛА-РОМА

Анотація. Однією з головних вимог, яка висувається до програмного забезпечення моделювання 3D об'єктів, є можливість вільно змінювати форму поверхні водночас з її проходженням через всі контрольні точки. В роботі отримано алгоритмічну модель побудови поверхні Ерміта з умовою Кетмала-Рома та ненульовими векторами кручення поверхні. Показано, що умова Кетмала-Рома дає можливість склеювати окремі патчі з гладкістю першого порядку, що є запорукою ергономічності поверхонь. Показано, що окремо взята контрольна точка має локальний вплив на поверхню, а саме на 12 навколишніх патчів. Розробка програмної системи моделювання поверхонь об'єктів з клієнтською частиною у вигляді веб-застосунку, який побудовано на основі архітектурного стилю Single-Page Application показала, що досвід користувача такого застосунку близький до досвіду користування десктопною програмою. В той же самий час SPA застосунок не потребує інсталяції та може з успіхом виконуватись, як на стаціонарних, так і на мобільних пристроях. Ключові слова: поверхня Ерміта, сплайн Кетмала-Рома, NURBS, Single Page Application, гладкість поверхні.

Постановка проблеми. Сьогодні поверхні відіграють важливу роль в роботі конструкторів, вчених, художників, хірургів і інших людей, що пов'язані зі створенням інноваційних виробів. Розробка меблів, корпусів машин, телефонів, предметів одягу, будівель, навіть органів людини відбувається із залученням геометричного моделювання поверхонь [1,2]. На теперішній час існує багато методів побудови поверхонь, які дають змогу варіювати форму моделі на основі зміни позиції контрольних точок. До таких відносяться, наприклад, поверхні, що побудовано на основі параметричних кривих: тригонометричної кривої, кривої Безьє, В-сплайну, NURB-сплайну.

NURBS моделювання [3] – технологія неоднорідних раціональних В-сплайнів, створення плавних форм і моделей, у яких немає гострих країв, як у полігональних моделей. Саме через цю характеристику аналітичну модель

NURBS застосовують в системах моделювання Autodesk 3ds Max, Blender, Autodesk Maya, ZBrush та ін.

Короткий аналіз базових характеристик трійки найпопулярніших систем моделювання виглядає наступним чином. **Autodesk 3ds Max** – професійна програмна десктопна система 3D-моделювання, анімації, рендеринга візуальних ефектів і графіки [4]. Працює в операційних системах Microsoft Windows (32-біта/64-біта). Autodesk 3ds Max доступна в 2-ох ліцензійних версіях: студентська - безкоштовна версія програми яку, однак, не можна використовувати з метою отримання прибутку, а також повна - (комерційна) версія з вартістю підписки 1k € на рік.

Autodesk Maya – десктопний графічний редактор, для моделювання тривимірних об'єктів, анімації, композитингу та візуалізації. В даний час Autodesk Maya є найбільш розповсюдженою системою для розробки 3D графіки для кіно і телебачення. Спочатку розроблена для ОС IRIX (платформа SGI), була портована під ОС Linux, Microsoft Windows і Mac OS. З 2013 року версії програми випускаються тільки для 64-бітових систем. Вартість підписки 1k € на рік.

Blender – вільне і відкрите професійне десктопне програмне забезпечення для створення тривимірної комп'ютерної графіки, що включає в себе засоби моделювання, скульптингу, анімації, рендеринга, постобробки й монтажу відео зі звуком, компонування сцени за допомогою «вузлів» (node compositing), а також створення 2D-анімації. В даний час користується великою популярністю серед безкоштовних 3D-редакторів в зв'язку з його швидким і стабільним розвитком. Доступний для комп'ютера під керуванням Windows, macOS та Linux.

Узагальнюючою характеристикою наведених програмних систем є використання монолітного архітектурного стилю розробки програмного забезпечення, який є властивим для десктопних застосунків. Десктопні програмні системи вимагають інсталяції на локальний комп'ютер, що в свою чергу прив'язує користувача до певної операційної системи. Перевагою реалізації програмної систем у вигляді десктопного застосунку (рис. 1) є швидкість реалізації бізнес логіки впродовж перших років циклу розробки програмного продукту. До недоліків монолітного архітектурного стилю відноситься зростаюча складність системи за рахунок великої кількості модулів та нечітких залежностей між ними.



Рисунок 1 – Схема архітектури монолітного додатку

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом все більшу популярність серед розробників завойовує архітектурний стиль односторінкового інтерфейсу (Single-Page Application) – веб застосунку, який розташовано на одній сторінці [5]. SPA надає користувачеві досвід, близький до досвіду користування десктопною програмою, з іншого боку застосунок не потребує інсталяції.

З точки зору програмної реалізації, NURBS-поверхні, які використовуються в переліченому програмному забезпеченні, бувають двох видів: CV (Control Vertex)-поверхні та P (Point)-поверхні [6].

Особливістю NURBS CV-поверхні (1) є те, що вона не проходить обов'язково через всі контрольні точки, а натомість лише контролюється їх позицією (рис.2). При переміщенні контрольної точки, деяка частина поверхні, що лежить ближче до неї, тягнеться в напрямку зміщення, немов прикріплена пружиною. Така поведінка значно ускладнює конструювання. В той же час, хмара контрольних точок блокує частину екрану.

$$\mathbf{S}(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{i,j} \mathbf{P}_{i,j}}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{i,j}}, \quad (1)$$

де $N_{i,p}(u), N_{j,q}(v)$ – B-сплайн базисні функції, $\mathbf{P}_{i,j}$ – радіус вектори контрольних точок, $w_{i,j}$ – ваги відповідних контрольних точок $\mathbf{P}_{i,j}$.

На відміну від CV-поверхонь, P-поверхні управляються вершинами, що знаходяться безпосередньо на самій поверхні (рис. 3). Така поведінка досягається за рахунок перерахунку переміщення окремої P точки у зміщення відповідної CV точки, прихованої від користувача. В свою чергу, оскільки зміна по-

зиції CV вершини впливає на всю поверхню, то ближні до неї P точки теж починають пливти, що ускладнює процес конструювання.

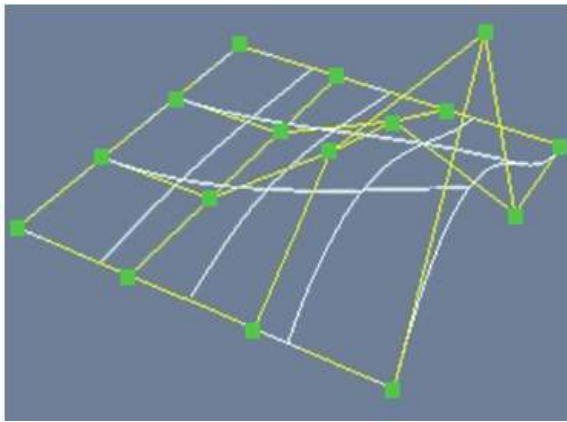


Рисунок 2 – NURBS поверхня типу CV

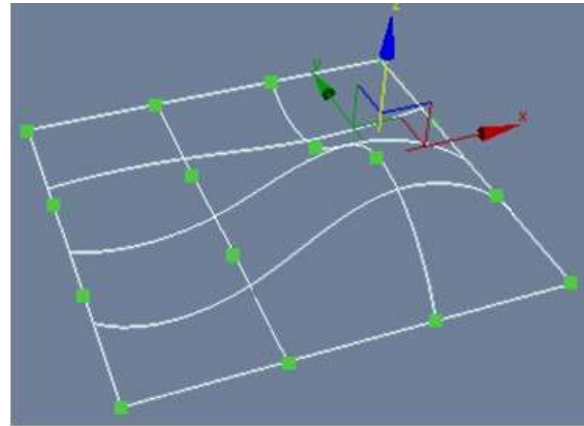


Рисунок 3 – NURBS поверхня типу Point

Виходячи з того, що NURBS є надмножиною багатьох різних методів сплайнів [7], використання NURBS в системах моделювання дає можливість експортувати моделі в інші системи.

Ваги $w_{i,j}$ дозволяють робити точний опис конічних поверхонь, і надають користувачеві більше контролю над формою об'єкту. Але такий контроль, на практиці, виявляється не дуже ефективним - хоча кожна точка має свою власну вагу, і кожна вага має локальний вплив на поверхню, зміна ваги однієї вершини призводить до зміни всієї поверхні. Стикування патчів NURBS поверхонь можливе за умови виконання низки обмежень [8,9].

Розвиток інформаційних процесів супроводжується появою нових вимог до алгоритмів моделювання. Однією з головних вимог, яка висувається до програмного забезпечення моделювання 3D об'єктів, є можливість вільно змінювати форму поверхні водночас з її проходженням через всі контрольні точки. Така вимога набула актуальності через необхідність часто вносити правки в форму виробу на етапі прототипування з урахуванням концепції "що бачиш, то і отримаєш" (what you see is what you get).

Мета дослідження. Виходячи з вищенаведеного актуальним є розробка алгоритмічної моделі конструювання такої поверхні, що: проходить через всі контрольні точки, кожна з точок має строго локальний вплив, окремі патчі автоматично стикуються з гладкістю C1. Для розширення аудиторії користувачів алгоритмічної моделі доцільним виглядає реалізація системи моделювання у вигляді веб-застосунку.

Викладення основного матеріалу дослідження. Розглянемо інтерполяцію положень двох точок $P(0), P(1)$ та двох напрямних векторів $P_t(0), P_t(1)$, що їм асоційовано (рис.4), вздовж параметричної кривої третього порядку у вигляді (5):

$$P(t) = B_1 + B_2t + B_3t^2 + B_4t^3. \quad (5)$$

Задамо граничні умови:

$$P(0) = B_1, P(1) = B_1 + B_2 + B_3 + B_4, \quad P_t(0) = B_2, P_t(1) = B_2 + 2B_3 + 3B_4,$$

та складемо систему лінійних рівнянь, з якої знайдемо невідомі коефіцієнти $B_{1..4}$. Підставимо коефіцієнти $B_{1..4}$ в (5), та запишемо рівняння сплайна Ерміта:

$$P(t) = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P(0) \\ P(1) \\ P_t(0) \\ P_t(1) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Функція (5) має неперервні першу та другу похідної між граничними точками (за визначенням).

Значення векторів похідної в точці $\bar{P}^i, i = 0, 1, 2, \dots$ будемо розраховувати як різницю координат наступної та попередньої контрольної точки сплайну (рис.5):

$$\bar{P}_t^i = (\bar{P}^{i+1} - \bar{P}^{i-1})/2. \quad (4)$$

Умова (4) гарантує неперервність першої похідної в точці стиковки кусків сплайну.



Рисунок 4 – Інтерполяція Ерміта

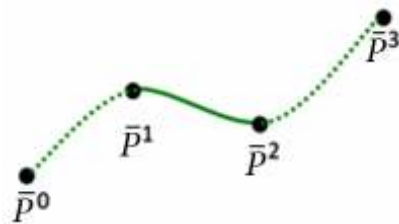


Рисунок 5 – Сплайн Кетмала Рома

В аналогічний спосіб отримаємо рівняння патча поверхні Ерміта:

$$P(u, v) = \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P(0, 0) & P(0, 1) & P_v(0, 0) & P_v(0, 1) \\ P(1, 0) & P(1, 1) & P_v(1, 0) & P_v(1, 1) \\ P_u(0, 0) & P_u(0, 1) & P_{uv}(0, 0) & P_{uv}(0, 1) \\ P_u(1, 0) & P_u(1, 1) & P_{uv}(1, 0) & P_{uv}(1, 1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -3 & 0 & 1 \\ -2 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v^3 \\ v^2 \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Вектори кручення $P_{uv}(u, v)$ розрахуємо за допомогою рівняння кінцевих різниць [10]:

$$P_{uv}^{i,j} = \frac{1}{4}(P^{i+1,j+1} - P^{i+1,j-1} - P^{i-1,j+1} + P^{i-1,j-1})$$

Алгоритмічна модель, що перетворює кортеж координат контрольних точок у тривимірні координати поверхні Ерміта з умовою Кетмала-Рома, представлено на рис. 6.

Реалізацію програмної системи (рис. 7) було проведено з використанням скриптової мови програмування JavaScript, бібліотеки 3D графіки Three.js, бази даних MongoDB та веб-фреймворку Express. Використання JavaScript продиктовано динамічним розвитком бібліотек з відкритим кодом, яке спостерігається після появи рушія Node.js, та швидкою еволюцією API браузеру Chrome. Залучення бібліотеки Three.js надало можливість проводити апаратно-пришвидшену візуалізацію 3D-моделей безпосередньо у веб-браузері, спираючись на стандарт WebGL (оснований на OpenGL ES 2.0).

Відхід від традиційної реляційної структури бази даних на користь NoSQL бази даних MongoDB, що побудовано навколо JSON-подібних документів з динамічними схемами, зробило можливим зберігання даних в форматі клієнтського застосунку без конвертації.

Графічний інтерфейс програмної системи представлено на рис.8,9. Інструменти інтерфейсу дозволяють додавати патчі до краю поверхні, перемішувати точки в площі екрану та вздовж осей координат.

```

F01: function MixedDerivative(i,j)
F02: {
F03:   let uv1 = mathjs.subtract(_2DArray[i+1][j+1], _2DArray[i+1][j-1]);
F04:   let uv2 = mathjs.subtract(_2DArray[i-1][j-1], _2DArray[i-1][j+1]);
F05:   return mathjs.multiply(mathjs.add(uv1, uv2), 0.25);
F06: }

C01: function computePointOnSurface(uVal, vVal, i, j) {
C02:   let p1u = mathjs.subtract(_2DArray[i+1][j], _2DArray[i-1][j]);
C03:   let p2u = mathjs.subtract(_2DArray[i+1][j+1], _2DArray[i-1][j+1]);
C04:   let p3u = mathjs.subtract(_2DArray[i+2][j], _2DArray[i][j]);
C05:   let p4u = mathjs.subtract(_2DArray[i+2][j+1], _2DArray[i][j+1]);
C06:   p1u = mathjs.multiply(p1u, 0.5);
C07:   p2u = mathjs.multiply(p2u, 0.5);
C08:   p3u = mathjs.multiply(p3u, 0.5);
C09:   p4u = mathjs.multiply(p4u, 0.5);
C10:   let p1v = mathjs.subtract(_2DArray[i][j+1], _2DArray[i][j-1]);
C11:   let p2v = mathjs.subtract(_2DArray[i][j+2], _2DArray[i][j]);
C12:   let p3v = mathjs.subtract(_2DArray[i+1][j+1], _2DArray[i+1][j-1]);
C13:   let p4v = mathjs.subtract(_2DArray[i+1][j+2], _2DArray[i+1][j]);
C14:   p1v = mathjs.multiply(p1v, 0.5);
C15:   p2v = mathjs.multiply(p2v, 0.5);
C16:   p3v = mathjs.multiply(p3v, 0.5);
C17:   p4v = mathjs.multiply(p4v, 0.5);
C18:   if ( (_2DArray[i-1][j-1] || _2DArray[i-1][j+2] ||
C19:         _2DArray[i+2][j-1] || _2DArray[i+2][j+2]) ) {
C20:     var p1uv = new Array(0,0,0);
C21:     var p2uv = new Array(0,0,0);
C22:     var p3uv = new Array(0,0,0);
C23:     var p4uv = new Array(0,0,0);
C24:   }
C25:   else {
C26:     var p1uv = MixedDerivative(i,j);
C27:     var p2uv = MixedDerivative(i,j+1);
C28:     var p3uv = MixedDerivative(i+1,j);
C29:     var p4uv = MixedDerivative(i+1,j+1);
C30:   }
C31:   let mFu = new Array( 2.0 * Math.pow(uVal, 3) - 3.0 * Math.pow(uVal, 2) + 1.0,
C32:                       -2.0 * Math.pow(uVal, 3) + 3.0 * Math.pow(uVal, 2),
C33:                       Math.pow(uVal, 3) - 2.0 * Math.pow(uVal, 2) + uVal,
C34:                       Math.pow(uVal, 3) - Math.pow(uVal, 2));
C35:
C36:   let mFv = new Array( 2.0 * Math.pow(vVal, 3) - 3.0 * Math.pow(vVal, 2) + 1.0,
C37:                       -2.0 * Math.pow(vVal, 3) + 3.0 * Math.pow(vVal, 2),
C38:                       Math.pow(vVal, 3) - 2.0 * Math.pow(vVal, 2) + vVal,
C39:                       Math.pow(vVal, 3) - Math.pow(vVal, 2));
C40:   let p1 = _2DArray[i][j];
C41:   let p2 = _2DArray[i][j+1];
C42:   let p3 = _2DArray[i+1][j];
C43:   let p4 = _2DArray[i+1][j+1];
C44:   let mBx = mathjs.matrix([
C45:     [p1[0], p2[0], p1v[0], p2v[0]],
C46:     [p3[0], p4[0], p3v[0], p4v[0]],
C47:     [p1u[0], p2u[0], p1uv[0], p2uv[0]],
C48:     [p3u[0], p4u[0], p3uv[0], p4uv[0]] ]);
C49:   let mBy = mathjs.matrix([
C50:     [p1[1], p2[1], p1v[1], p2v[1]],
C51:     [p3[1], p4[1], p3v[1], p4v[1]],
C52:     [p1u[1], p2u[1], p1uv[1], p2uv[1]],
C53:     [p3u[1], p4u[1], p3uv[1], p4uv[1]] ]);
C54:   let mBz = mathjs.matrix([
C55:     [p1[2], p2[2], p1v[2], p2v[2]],
C56:     [p3[2], p4[2], p3v[2], p4v[2]],
C57:     [p1u[2], p2u[2], p1uv[2], p2uv[2]],
C58:     [p3u[2], p4u[2], p3uv[2], p4uv[2]] ]);
C59:   let resX = mathjs.multiply(mathjs.multiply(mBx, mFv), mFu);
C60:   let resY = mathjs.multiply(mathjs.multiply(mBy, mFv), mFu);
C61:   let resZ = mathjs.multiply(mathjs.multiply(mBz, mFv), mFu);
C62:   return { xVal: resX, yVal: resY, zVal: resZ };
C63: }

```

Рисунок 6 – Алгоритмічна модель поверхні Ерміта з умовою Кетмала-Роме

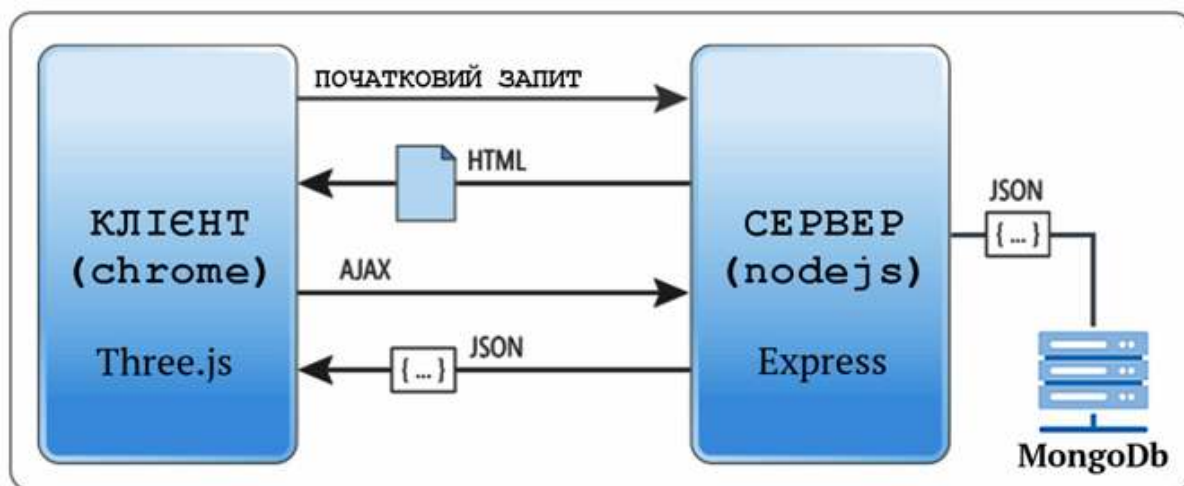


Рисунок 7 – Життєвий цикл веб-застосунку моделювання поверхонь

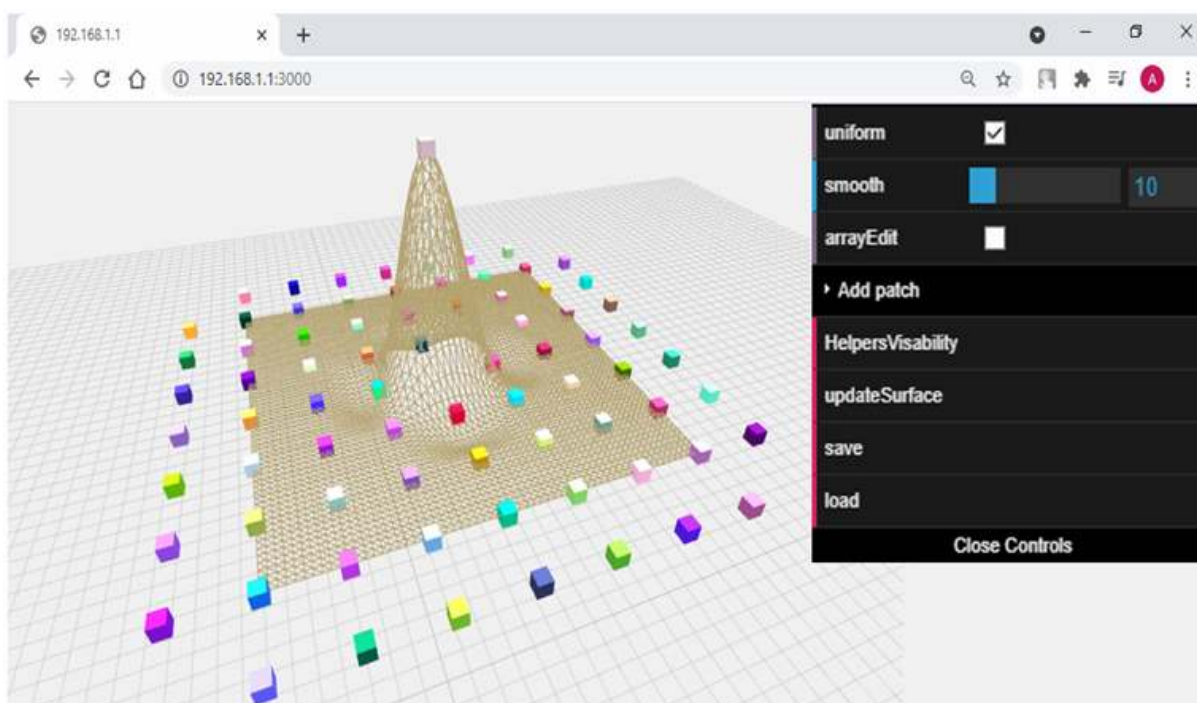


Рисунок 8 – Вигляд графічного інтерфейсу веб-застосунку, реалізованого за архітектурою SPA

Висновки. В роботі отримано алгоритмічну модель побудови поверхні Ерміта з умовою Кетмала-Рома та ненульовими векторами кручення поверхні. Показано, що умова Кетмала-Рома дає можливість склеювати окремі патчі з гладкістю першого порядку, що є запорукою ергономічності поверхонь. Показано, що окремо взята контрольна точка має локальний вплив на поверхню, а саме на 12 навколишніх патчей.

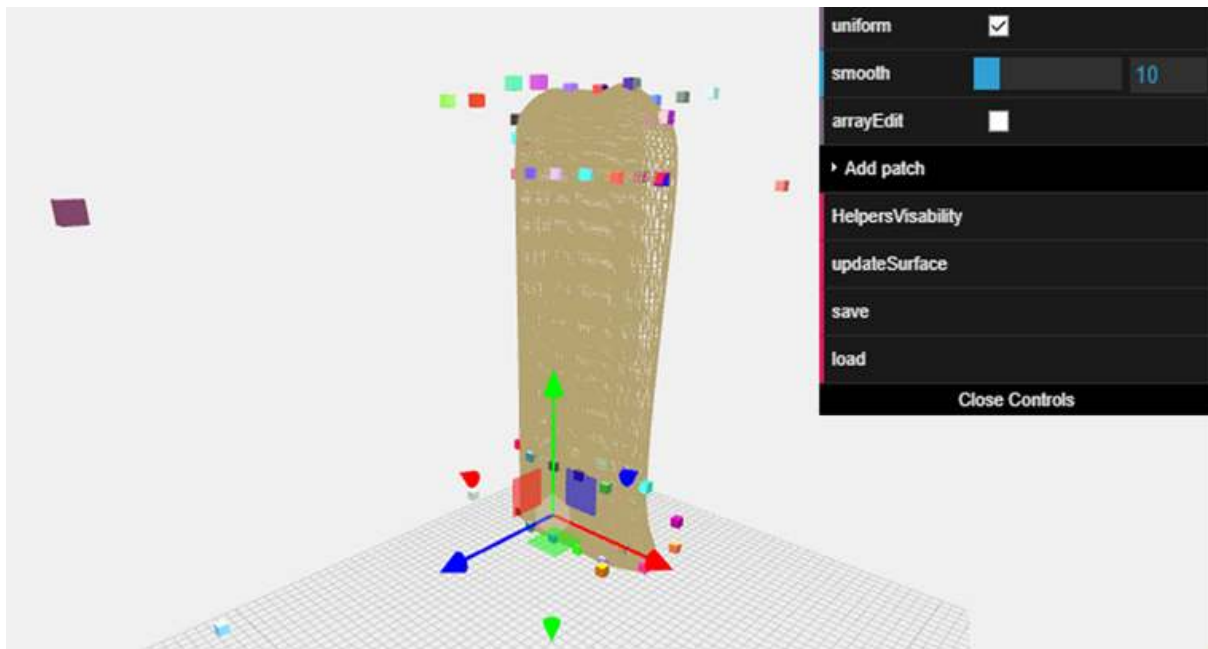


Рисунок 9 – Модель оболонки смартфона, яка представлена за допомогою 30 патчів поверхні Кетмала-Рома

Розробка програмної системи моделювання поверхонь об'єктів з клієнтською частиною у вигляді веб-застосунку, який побудовано на основі архітектурного стилю SPA, показала, що досвід користувача такого застосунку близький до досвіду користування десктопною програмою. В той же самий час SPA застосунок не потребує інсталяції та може з успіхом виконуватись, як на стаціонарних, так і на мобільних пристроях.

REFERENCES

1. Yamaguchi F. Curves and Surfaces in Computer Aided Geometric Design / F. Yamaguchi. – Springer, 2014. – 396 p.
 2. Salomon D. The Computer Graphics Manual / D. Salomon. – Springer, 2011. – 1526 p.
 3. Agoston Max K. Computer Graphics and Geometric Modelling / Max K. Agoston. Springer, 2005. – P. 524.
 4. Tickoo S. Autodesk 3ds Max 2019: A Comprehensive Guide / S. Tickoo. – CADCIM Technologies, 2018. – 720 p.
 5. Skolski P. Single-page application vs. multiple-page application / P. Skolski – Source: <https://medium.com/@NeotericEU/single-page-application-vs-multiple-page-application-2591588efe58>
 6. Rogers D., Adams J. A. Mathematical Elements for Computer Graphics / D. Rogers, J. A. Adams. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1989. – 512p.
- 164

7. Farin G. Curves and Surfaces for CAGD: A Practical Guide / G. Farin. Morgan Kaufmann, 2001. – P. 291.
8. Zhou Xi-jun G2 Continuity Algorithms between Adjacent NURBS Patches along Common Cubic Boundary Curve / Xi-jun Zhou. - Chinese Journal of Aeronautics 16(4), 2003. – P. 241-246. DOI: 10.1016/S1000-9361(11)60191-X
9. Geometric continuity constraints for adjacent NURBS patches in shape optimisation / X. Zhang, Y. Wang, M. Gugala, J.-D. Muller. ECCOMAS Congress 2016. – P 1-14. DOI:10.7712/100016.2086.9316
10. Abramowitz M., Stegun I. Handbook of Mathematical Functions: with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables M. Abramowitz, I. A. Stegun. Dover Publications, 1972. – P. 884.

Received 13.10.2021.

Accepted 15.10.2021.

Web-system for modeling surfaces based on Catmull-Rom patches

Today, surfaces play an important role in the work of designers, scientists, artists, surgeons and other professionals involved in creating innovative products. Development of utensils, furniture, automobile chassis, phones, clothes, buildings, even human bodies involves geometrical modeling of surfaces. NURBS modeling is the technology of non-uniform rational B-splines creating smooth forms and models that have no sharp edges. The characteristic makes NURBS as the analytical model of choice in Autodesk 3ds Max, Blender, Autodesk Maya, ZBrush, and other modeling systems. A generalizing characteristic of the given software systems is the use of a monolithic architectural style of software development, which is typical for desktop applications. Desktop software systems require installation on a local computer, which in turn binds the user to a specific operating system. NURBS accurately describe conical surfaces. Although each control has its own weight, and each weight has a local effect on the surface, a change in the weight of one vertex leads to a change in the entire surface.

One of the main requirements for 3D object modeling software is the ability to change the shape of the surface freely as it passes through all control points. An algorithmic model of the Hermit surface construction under the Catmull-Rom condition and nonzero surface torsion vectors is obtained. It is shown that the Catmull-Rom condition makes it possible to glue individual patches with first-order smoothness, which is a guarantee of ergonomic surfaces. It is shown that a single control point has a local effect on the surface, namely on the 12 surrounding patches. The development of a software system for modeling the surfaces of objects with the client part in the form of a web application, which is based on the architectural style of SPA, showed that the user experience of such an application is close to the experience of using a desktop program. At the same time, the SPA application does not require installation and successfully runs on both stationary and mobile devices.

Веб-система моделирования поверхностей на основе патчей Катмалла-Рома

В работе получена алгоритмическая модель построения поверхности Эрмита с условием Катмалла-Рома и ненулевыми векторами вращения поверхности. Показано, что условие Катмалла-Рома дает возможность склеивать отдельные патчи с гладкостью первого порядка, являющимся залогом эргономики поверхностей. Показано, что отдельно взятая контрольная точка оказывает локальное влияние на поверхность, а именно на 12 окружающих патчей. Разработка программной системы моделирования поверхностей объектов с клиентской частью в виде веб-приложения, построенного на основе архитектурного стиля SPA, показала, что опыт пользователя такого приложения близок к опыту использования десктопной программы. В то же время SPA приложение не требует установки и может с успехом выполняться как на стационарных, так и на мобильных устройствах.

Демчишин Анатолій Анатолійович – доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів та систем, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

Буренков Юрій Станіславович – магістрант кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів та систем, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

Демчишин Анатолий Анатольевич – доцент кафедры автоматизации проектирования энергетических процессов и систем, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского".

Буренков Юрий Станиславович – магистрант кафедры автоматизации проектирования энергетических процессов и систем, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского".

Demchyshyn Anatoliy – assistant professor, department of automation of design of energy processes and systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

Burienkov Yurii – graduate student of the department of automation of design of energy processes and systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

Проектування та дослідження системи моніторингу руху товарів та ресурсів з застосуванням блокчейну

Анотація. Глобалізація, розвиток міжнародної та внутрішньої торгівлі, створення довгих та складніших ланцюгів постачання, збільшення об'ємів продажів товарів тягнуть за собою збільшення вимог та навантаження на інформаційні системи, які займаються управлінням та моніторингом руху товарів, ресурсів та сировини. Тому актуальною є задача дослідження та проектування нових ІТ моделей для ланцюгів постачання, що призначені спростити та зробити прозорішими процеси моніторингу та управління рухом товарів між різними суб'єктами господарювання. У роботі розроблений прототип управління ланцюгами постачання на основі використання технології блокчейну та смарт-контрактів з використанням децентралізованої віртуальної машини Ethereum. Ключові слова: блокчейн, смарт-контракт, ланцюги постачання, проектування, модель, логістика, рух товарів, Ethereum, Blockchain.

Постановка проблеми. Від налагоджених логістичних процесів та ланцюгів постачання залежить швидкість постачання товарів та ресурсів, їхня ціна, безпека та цілісність доставки.

Ці процеси складаються з багатьох дій, передач між постачальниками та різних локацій, і чим їх більше, тим управління рухом товарів та ресурсів стає більш заплутаним та менш прозорим для усіх учасників процесу, в тому числі для кінцевого споживача.

Сучасні цифрові рішення для управління логістикою та ланцюгами постачання мають численні недоліки, які мають вплив на якість, час та ціну постачання. Прикладами таких недоліків є:

- непрозора та складна система взаємодії між різними учасниками ланцюгів постачання, як наслідок – затримки, складнощі у моніторингу рухів та логістиці;
- недостатність або недостовірність інформації о походженні продуктів, складність верифікації походження та оригінальності товарів кінцем споживачем;

- брак автоматизованих процесів у ланцюгах постачання (автоматичне реагування на події та інше);
- складний процес впровадження змін та інновацій у інформаційних системах управління руху товарів та ресурсів.

Ці проблеми є актуальні, і для їх вирішення у сучасному менеджменті руху товарів та ресурсів пропонується використання інформаційних систем на основі роботи блокчейну (Blockchain).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Блокчейн — це розподілена структура даних, яка реплікується та поширюється між членами мережі. Перша специфікація блокчейну була запропонована разом із цифровою валютою Bitcoin у 2008 році людиною під псевдонімом Сатосі Накамото, щоб розв'язати проблему централізації фінансів навколо банків [1]. У результаті того, як вузли в Bitcoin (так звані майнери) взаємно перевіряють узгоджені транзакції у централізованій базі даних, чим блокчейн Bitcoin встановлює власників і вказує, чим вони володіють (цифрові активи).

В сьогоднішній блокчейни використовують в основному у сфері децентралізованих фінансів (DeFi) у вигляді криптовалют та інструментів до них у вигляді обмінників, бірж, аукціонів тощо. Також існують вузькоспеціалізовані іноземні дослідження на тему використання блокчейну у моніторингу поставок (руху товарів, ресурсів, будь-яких інших об'єктів). Наприклад, дослідження на тему використання блокчейну для моніторингу поставок риби на риболовних підприємствах Норвегії, та моніторинг безпечності харчових продуктів під час постачання у Китаї [2].

Також, на сьогоднішній день, серед вітчизняних науковців майже немає тих, хто займався б вивченням використання технології блокчейну у логістичних інформаційних системах та ланцюгах постачання товарів в Україні.

Тому розробка інформаційної системи та дослідження є актуальним, яке спрямоване на економічну та логістичну доцільність використання блокчейну у ланцюгах постачання інформаційних систем.

Метою дослідження є дослідження технології блокчейну в інформаційних системах для моніторингу руху товарів та ресурсів, що може поліпшити процеси відстеження та автоматизації у ланцюгах постачання.

Основна частина. Блокчейн працює як розподілена база даних, що зберігає записи в точному порядку, які об'єднуються в блоки, кожен з яких містить часову позначку, хеш попереднього блоку та самі дані кожної

транзакції. Захистом від підробки та спотворення слугує включення хешу всього блоку у наступний блок, а самі транзакції проходять оговорену валідацію для запису у блокчейн. Наприклад, за принципом доказу виконаної роботи, тобто “Proof-of-Work”, в якому валідатори-учасники мережі роблять підбір хешу транзакції. Такий спосіб використовується у мережах Ethereum та Bitcoin [3].

Інформаційні системи для моніторингу руху товарів з використанням технології Blockchain, згідно попередніх досліджень, можуть мати наступні переваги у порівнянні з використанням класичних засобів: точність інформації по всьому ланцюжку в будь-якій час і в будь-якому місці, прозорість інформації та докладна історія щодо усіх передач та дій у ланцюгу постачання, відстеження усіх джерел товарів та ресурсів у поставках будь-яким учасником мережі, механізм скриптів, які автоматизують частину роботи за допомогою смарт-контрактів тощо [4].

Інформаційна система для моніторингу руху товарів в рамках цієї роботи буде базуватися на специфікації блокчейну мережі Ethereum (Етеріум).

Ethereum – це платформа у вигляді єдиної децентралізованої віртуальної машини (EVM) на базі блокчейну, що працює на базі смарт-контрактів. Тобто Ethereum – це блокчейн-мережа з можливістю програмування поведінки транзакцій за допомогою смарт-контрактів [5].

Смарт-контрактом називають програму, яка зберігається та виконується у блокчейні. Він дозволяють реалізувати в коді можливості, які надає блокчейн для даних. Кожному смарт-контракту призначається 20-байтова адреса, яка є його унікальним ідентифікатором. Для написання контрактів у віртуальній машині блокчейн-мережі Ethereum використовують мову програмування Solidity.

Нові записи до блокчейну та робота зі смарт-контрактами здійснюється через створення та підписання транзакцій учасниками мережі блокчейну.

Для цього треба створити транзакцію з необхідними параметрами для мережі Етеріум, такими як “to” (адреса куда пересилаються дані), “gasPrice”, “gasLimit” - різновид “енергії”, тобто комісії у валюті Ether для проведення транзакцій (вона використовується як нагорода для валідаторів, що валідують та додають транзакцію до блокчейну), “nonce” - номер транзакції, що проводиться з цього акаунту, “data” - дані всередині транзакції, “value” - кількість Ether для пересилання.

Після цього транзакція підписується криптографічним приватним ключем акаунту, та посилається до блокчейну на обробку, де виконується код смарт-контракту [6].

Для того, щоб розробити інформаційну систему для ланцюгів постачання, яка буде взаємодіяти з різними суб'єктами, також потребується узгоджена специфікація, згідно якої кожен учасник логістичної мережі буде знати, які властивості та дії є для них доступними, та як правильно звертатися до смарт-контрактів, на якій працює система.

Розглянемо спрощений прототип простої логістичної системи, в якій в системі ланцюга постачання є ряд суб'єктів, які виконують свої ролі – постачальник, виробник та дистриб'ютор.

Так, у прототипі постачальник надає сировину виробнику, виробник за допомогою сировини виготовляє товар, після чого відправляє його до дистриб'ютора, який вже займається реалізацією товарів клієнтам.

Для прикладу була взята задача, де металургійний завод (постачальник) виробляє металеві шестерні, які він реалізує на машинобудівний завод (виробник). Машинобудівний завод потребує металеві шестерні, та за наявності достатньої кількості деталей виготовляє з цього ресурсу машинні механізми. Ці машинні механізми далі передаються дистриб'ютерам.

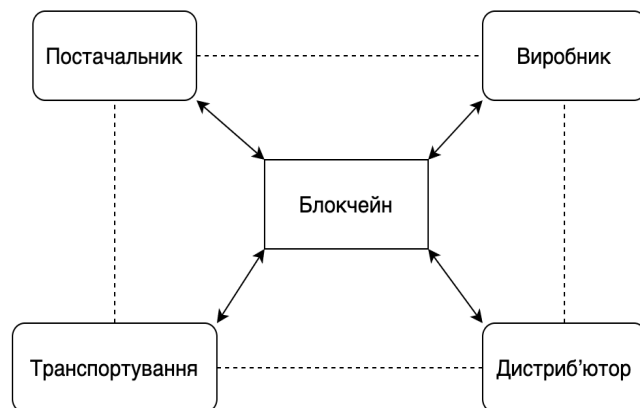


Рисунок 1 - Схема взаємодії учасників ланцюгу постачання з блокчейном

Реалізувати такий ланцюг постачання можна за допомогою смарт-контрактів та запустити цю логіку у блокчейні, де і буде зберігатися вся інформація про виготовлення та рух ресурсів.

Буде створено два смарт-контракти – один для управління виробництвом деталей та механізмів – ProductManagement, інший для керування власниками продуктів ланцюга постачання – ChangeOwnership.

Перший контракт буде мати методи для записів про виробництво деталей та механізмів. Другий – методи для керування правом власності на них (реєстрація ресурсу за виробником, та зміна власника на іншу адресу).

Кожен суб'єкт ланцюгу постачання буде представляти собою Ethereum-акаунт (гаманець) з власною адресою, на який та з якого будуть здійснюватися переміщення товарів. Кожен смарт-контракт також має власну адресу у мережі, на яку проводяться транзакції для виконання коду.

Перш за все мають бути визначені структури, з якими будуть взаємодіяти функції смарт-контрактів. В цих структурах мають бути усі змінні, які присутні у моделях деталей та механізмів. Серед них: адреса володаря всередині мережі, дата виробництва, серійний номер та тип деталі/продукту (manufacturer, serial_number, product_type, creation_date). У продукті також має бути змінна, в якій зберігається масив деталей, які використані для виробництва механізму, щоб можна було прослідкувати історію володіння та виробництва навіть окремих частин продукту. Ці структури мають бути відомими та однаковими для обох смарт-контрактів, які використовуються у системі, тому вони мають бути узгоджені між сторонами заздалегідь, та бажано оформлені у вигляді специфікації для їхнього конкретного ланцюгу постачання.

Сигнатури контракту ProductManagement, який відповідає за реєстрацію товарів, будуть виглядати наступним чином:

- Функція products, приймає productHash – хеш продукту, та повертає за хешем структуру продукту з даними про виробника, серійний номер, тип продукту та дату виробництва (manufacturer, serial_number, product_type, creation_date);
- Функція parts, приймає partHash – хеш деталі, та повертає за хешем структуру деталі з даними про виробника, серійний номер, тип деталі та дату виробництва (manufacturer, serial_number, part_type, creation_date);
- Функція registerPart, приймає структуру деталі (serial_number, part_type, creation_date), та реєструє деталь у блокчейні;
- Функція registerProduct, приймає структуру продукту разом з масивом деталей (serial_number, product_type, creation_date, part_array), та реєструє продукт у блокчейні;
- Функція getParts, приймає хеш продукту, та повертає масив деталей, які містяться у продукті.

За допомогою такого контракту учасники мережі мають можливість реєструвати та отримувати інформацію щодо деталей та продуктів. Контракт ChangeOwnership має наступні сигнатури:

- Функція `currentPartOwner`, приймає хеш деталі, та повертає мережеву адресу власника деталі у блокчейні;
- Функція `currentProductOwner`, приймає хеш продукту, та повертає мережеву адресу власника продукту у блокчейні;
- Конструктор смарт-контракту, що приймає мережеву адресу смарт-контракту `ProductManagement`, який використовується для перевірки існування продуктів та деталей перед зміною їхніх власників;
- Функція `addOwnership`, приймає тип та хеш деталі або продукту, виконує додавання початкового власника до продукту або деталі, якщо власник раніше не був зареєстрований за цим товаром;
- Функція `changeOwnership`, приймає тип та хеш деталі або продукту, виконує зміну власника до продукту або деталі, може виконати тільки поточний власник;
- Функції зворотного виклику (слухачі) `TransferPartOwnership` та `TransferProductOwnership`, що виконуються при зміні власника деталі/продукту, та сповіщають нового власника про цю подію з хешем деталі/продукту;

Таким чином, контракт ChangeOwnership вже має основні функції, які потрібні для моніторингу та фіксації рухів деталей та продуктів.

Схема роботи інформаційної логістичної системи, що працює за цими смарт-контрактами наведено на рисунку 2.

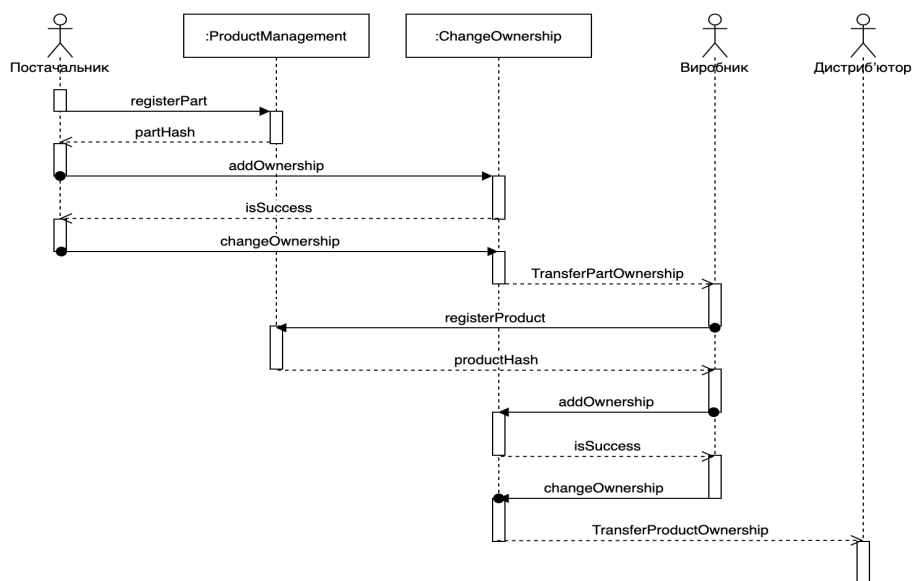


Рисунок 2 - Діаграма послідовності роботи логістичної системи у блокчейні

Висновки. Побудовано прототип інформаційної системи з використанням технології блокчейну та смарт-контрактів. Проведено її аналіз, досліджено властивості розробленої системи. Отримано проміжні результати прототипу системи, що працює на блокчейні віртуальної машини Ethereum за допомогою смарт-контрактів, призначена для управління простим ланцюгом постачання. Зроблено висновок про покращення прозорості процесу відстеження та автоматизації у ланцюгах постачання. Як приклад, розроблена система ланцюгу постачання деталей та механізмів за участі суб'єктів постачальника, виробника та дистриб'ютора. Дана робота корисна для проектування та створення більш детальних та складніших систем моніторингу та управління рухом товарів та інших видів постачання на основі використання технології Blockchain.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Satoshi Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
2. Magnus Mathisen, The Application of Blockchain Technology in Norwegian Fish Supply Chains. A Case Study // Norwegian University of Science and Technology, 2018, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2561323>
3. Robby Houben, Alexander Snyers. Cryptocurrencies and blockchain. // European Parliament Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, 2018, p. 16-19, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/150761/TAX3%20Study%20on%20cryptocurrencies%20and%20blockchain.pdf>
4. EPRS | European Parliamentary Research Service. Blockchain for supply chains and international trade // Scientific Foresight Unit (STOA) PE 641.544 – May 2020, ISBN: 978-92-846-6530-3. p. 42-43 URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU\(2020\)641544_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU(2020)641544_EN.pdf)
5. Buterin, V. Ethereum Whitepaper, 2013, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ethereum.org/en/whitepaper/> (дата звернення: 01.12.2021)
6. Gustavo A. Oliva, Ahmed E. Hassan, Zhen Ming Jiang. An exploratory study of smart contracts in the Ethereum blockchain platform // Empirical Software Engineering (2020) 25:1864–1904, p. 1868-1871. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s10664-019-09796-5> (дата звернення: 01.12.2021)

REFERENCE

1. Satoshi Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
2. Magnus Mathisen, The Application of Blockchain Technology in Norwegian Fish Supply Chains. A Case Study // Norwegian University of Science and Technology, 2018, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2561323>
3. Robby Houben, Alexander Snyers. Cryptocurrencies and blockchain. // European Parliament Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, 2018, p. 16-19, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/150761/TAX3%20Study%20on%20cryptocurrencies%20and%20blockchain.pdf>
4. EPRS | European Parliamentary Research Service. Blockchain for supply chains and international trade // Scientific Foresight Unit (STOA) PE 641.544 – May 2020, ISBN: 978-92-846-6530-3. p. 42-43 URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU\(2020\)641544_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU(2020)641544_EN.pdf)
5. Buterin, V. Ethereum Whitepaper, 2013, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ethereum.org/en/whitepaper/> (дата звернення: 01.12.2021)
6. Gustavo A. Oliva, Ahmed E. Hassan, Zhen Ming Jiang. An exploratory study of smart contracts in the Ethereum blockchain platform // Empirical Software Engineering (2020) 25:1864–1904, p. 1868-1871. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s10664-019-09796-5> (дата звернення: 01.12.2021)

Received 06.10.2021.

Accepted 14.10.2021.

Проектування та дослідження системи моніторингу руху товарів та ресурсів з застосуванням блокчейну

Дослідження технології блокчейну в інформаційних системах моніторингу руху товарів та ресурсів для поліпшення процесів відстеження та автоматизації у ланцюгах постачання. Побудовано прототип інформаційної системи з використанням технології блокчейну та смарт-контрактів. Проведено її аналіз, досліджено властивості розробленої системи. Зроблено висновок про покращення прозорості процесу відстеження та автоматизації у ланцюгах постачання.

The Design and Research of a System for Monitoring the Movements of Goods and Resources Using Blockchain

Recent research and publications. A blockchain is a distributed data structure that is replicated and distributed among network members. The first blockchain specification was proposed together with the digital currency Bitcoin in 2008 by a man under the pseudonym

Satoshi Nakamoto to solve the problem of centralizing finances around banks. Today, blockchains are used mainly in the field of decentralized finance (DeFi) in the form of cryptocurrencies and instruments to them. There are also a few specialized foreign studies on the use of blockchain in the monitoring of supplies, but these studies are more focused on the economic and logistical feasibility of using the blockchain in supply chains, without the exact models of information systems on which such a system should work.

The aim of the study. Study of blockchain technology in information systems for monitoring the movement of goods and resources, which can improve the processes of tracking and automation in supply chains.

Main material of the study. The paper develops a prototype of the information system for monitoring the movements of goods in supply chains, which is working above the Ethereum virtual machine. The system is working using two smart-contracts and the paper describes the exact structure and specification of smart-contracts and principles of communication between them for the information system for monitoring the movements of goods.

Conclusions. The article presents a prototype of an information system using blockchain technology and smart contracts which are working on the Ethereum network. Based on prototyping of the information system for monitoring the movements of goods, it was concluded that the transparency of the tracking and automation process in supply chains is improved. This work is useful for designing and creating more detailed and sophisticated systems for monitoring and managing the movement of goods and other supplies based on the use of Blockchain technology.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Ситник Роман Сергійович – аспірант кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Гнатушенко Виктория Владимировна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедры информационных технологий и систем Украинского государственного университета науки и технологий.

Сытник Роман Сергеевич – аспирант кафедры информационных технологий и систем Украинского государственного университета науки и технологий.

Hnatushenko Viktoriia – Doctor of engineering's sciences, Professor, Head of Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technology.

Sytnyk Roman – Postgraduate Student, Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technology.

О.М. Назаренко, І.А. Назаренко, О.С. Іщенко, Т.М. Бесараб, М.В. Кулік

**МОДЕЛЮВАННЯ СТРАТЕГІЧНИХ ПРІОРИТЕТІВ
ПРИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

Анотація. Технологія генерації позитивних ідей базується на людському досвіді, потребі покращення технологічного процесу або зменшення експлуатаційних витрат виробництва та базовій кількості промислових відходів. В роботі вивчається питання аудиту промислових площ та огляд передових технологій виробництва будівельних матеріалів з відходів. Поточні виміри витрат енергоносіїв, перевищення лімітів та здорожчання ресурсів вимагає формувати науково-технологічні акценти для розробки комбінацій сумішей при формуванні будівельних матеріалів. В ході експериментів вивчено теплотехнічні властивості пінопласту, ековати, пінополістеролу, мінеральної вати, керамзиту, ековати з керамзитом. Досліди показують, що стандартні технології утеплення не працюють продуктивно у разі промислових будівель із мінімальним фінансуванням. Необхідна інтегрована технологія отримання субпродукту із вторинних ресурсів. Аудит відходів на підприємстві показав можливості використання первинних будівельних матеріалів для генерації субпродукту. Наявне обладнання з мінімальними доробками дозволяє отримувати новий продукт при ендотермічному процесі спучування керамзиту. Маркетинговий аналіз існуючих ізоляційних матеріалів довів, що присутність в мережах будівельних продуктів не забезпечує нормативні санітарні умови, навіть для промислових будівель. Можливість одержання матеріалів різної щільності зручна для використання на будь-якому підприємстві, при видачі рекомендацій щодо підвищення термічного опору оболонки. Ретельне вивчення геометричних параметрів будівель та регіональні кліматичні умови допомагають розробити теплотехнічний розрахунок існуючого стану та заходи по оптимізації ізоляційного стану. Стандартні бази статичних даних по ізоляційним матеріалам надають можливості формування рекомендацій щодо підвищення енергоефективності будівельної оболонки. Також доречно дослідження стану періоду здачі будівлі в експлуатацію. Адаптація існуючих будівель промислових та цивільних потребує більш глибоких досліджень та практичних рекомендацій по кожному будинку окремо. Потреба в термомодернізації чи реконструкції будівель в останній час стало особливо актуальним. Проведені дослідження термічного опору отриманого матеріалу показують зручність виробництва виробу дотримання санітарних умов будівель промислового підприємства.

Ключові слова: енерговитрати, аудит, експлуатаційні витрати, керамзит, оздоблення, зразок, вспухування, ендотермічні процеси, ізоляційний шар.

Вступ. Матеріали і методи досліджень. Тенденція здорожчання енергоносіїв вимусила виробників перейти на альтернативні шляхи заміщення теплового балансу основних будівель. Моральний та фізичний знос основних фондів потребує уваги адміністрацій підприємств до збільшення витрат на термомодернізацію будівель, реконструкцію існуючих приміщень чи проектування нових об'єктів за сучасними вимогами енергоефективного будівництва. Залучення іноземного досвіду чи виховання молодих науковців ставить гостро питання перед адміністрацією підприємств.

В роботі продовжуються теплотехнічні дослідження та математичні пошукування таких вчених, як Никитин Е.Е., Шевцов А.И., Баранник В.О., Земляний М.Г., Карпенко Д.С., Дешко В.І., Патон Б.Е., Долинський А.А., Білодід В.Д., Додонов Б.І., Басок Б.І., Коробко Б.П., Ерьомін О.О., Губинський М.В., Прандтль Д., Хосокава Т., Івасакі М., Рябенко О.А., Цхай А.А., Епоян С.М., Пантелей Г.С., Малько В.Г., Кравчук С.М., Стольберг Ф.З., Карагяур А.С. За потреби промисловців подібні дослідження можливо виконати в конкретних умовах виробництва для адаптації результатів під необхідні потужності.

Мета та завдання. Дана робота виконувалась у відповідності до вимог надійності систем теплозабезпечення та забезпечення сталості економічного розвитку міст. Враховані вимоги забезпечення сталості розвитку інженерії стосується без виключення всіх об'єктів ЖКГ та промисловості.

Результати дослідження. Результати енергетичного аудиту промислової будівлі свідчать про перевищену витрату по тепловій, електричній енергії, що вказує на фізичну зношеність огорожувальних стінових та кровельних конструкцій. Застосування в якості каркасу будівлі колон та з'єднаних залізобетонними плитами надає міцність конструкції та будівництво велось в 1965 році з існуючих будівельних матеріалів.

Помісячне теплоспоживання за 2016-2018 роки головного корпусу, побутового корпусу, їдальні та блоку допоміжних цехів підприємств представлено в табл. 1. Для аналізу тепловтрат від погодних умов в таблицю додано середні помісячні температури навколишнього середовища та швидкості вітру.

Теплоспоживання за 2016-2018 роки

Місяць	2016			2017			2018		
	середньомісячна температура, °С	середньомісячна швидкість вітру, м/с	теплоспоживання, Гкал	середньомісячна температура, °С	середньомісячна швидкість вітру, м/с	теплоспоживання, Гкал	середньомісячна температура, °С	середньомісячна швидкість вітру, м/с	теплоспоживання, Гкал
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
січень	-5,1	3,5	5223	-4,8	3,8	5422	-2,4	4,1	4399
лютий	2,4	3,6	3086	-3,1	3,7	4945	-1,7	3,9	4185
березень	5,2	3,8	2160	6	3,8	3204	-0,3	4,2	4212
квітень	12,9	4,1	816	9,2	4	830	13,3	3,8	1262
травень	16	2,9	161	15,8	3,4	86	19,3	3,7	86
червень	21,6	2,9	72	21,4	3,1	83	22,8	3,5	83
липень	23,9	3,1	86	22,5	3,3	75	23,8	3,1	86
серпень	24,7	3,9	86	25,3	4,1	86	24,7	3,3	86
вересень	16	2,9	72	19,2	3,8	72	18,6	3,9	69
жовтень	7,2	4,1	1090	9,4	3,9	930	12,4	3,5	601
листопад	2,2	4	2842	3,9	3,7	2473	1,4	4,3	2150
грудень	-3,2	4,10	4352	4,5	3,9	2804	-0,9	4	4672
	Всього		20046	Всього		21010	Всього		21891

В графічному вигляді споживання теплової енергії за 2016-2018 роки будівель тадопоміжних приміщень представлено на рис 1.

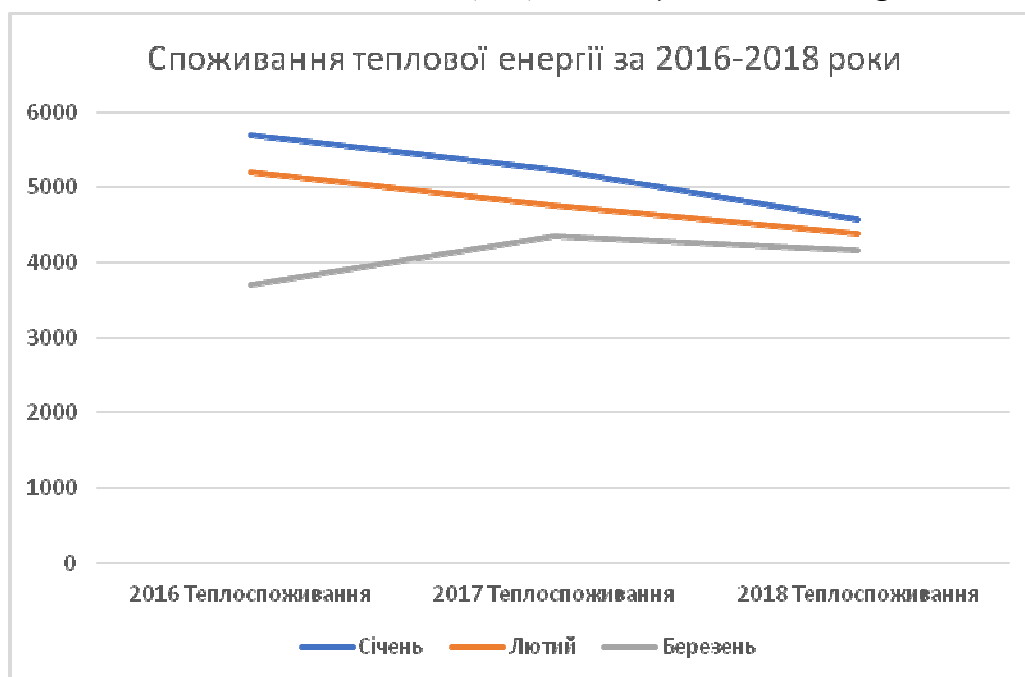


Рисунок 1 – Теплоспоживання за 2016-2018 роки, Гкал

Теплотехнічний розрахунок показав зависокі темпи енергоспоживання будівель, лише по одній стіні витрачається до 1147,39 МВт×годин/рік, підсумки по чотирьом стінам з залізобетонних плит з вікнами розміром 1,5 на 2 м складі 6119,42 МВт ×годин /рік.

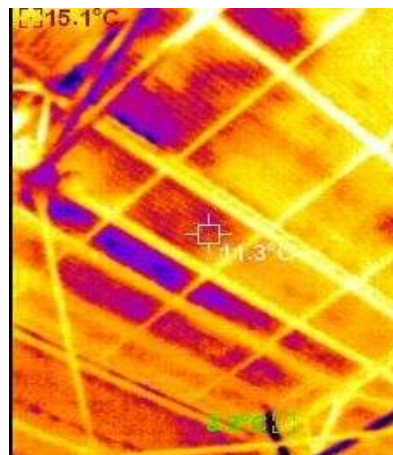


Рисунок 2 – Термографічна зйомка кровельних конструкцій

Загальна площа скління склала 2341 м². Загальне теплоспоживання складу кВт годин на рік, що виглядає вкрай негативно.



Рисунок 3 – Термографічна зйомка скління конструкції

Тепловитрати по кровельній конструкції складають 34421,8 МВт×год/рік.

Загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією складає 520060 Вт/К.

Нормативний коефіцієнт теплопередачі 17923 Вт/К.

Внутрішні теплові надходження 500,39 МВт ×годину/рік. Сонячні теплові надходження 240 Вт/м². Сонячна горизонтальна радіація 240 кВт×год/м². Загальне розрахункове енергоспоживання теплової енергії 134857 МВт×год/рік.

Рекомендації по модернізації стін сендвіч панелями дозволяє знизити споживання до 3620 МВт× годин/рік, до 69% загального обсягу теплоспоживання. При цьому методи демонтажні та монтажні операції займуть до 4 місяців, та бюджет, який підприємством не заплановано.

Робочим рішенням є обробка існуючих залізобетонних стін полістерольним утеплювачем з шаром 15 мм та наступним монтажем профнастилу С23 товщиною 0,6 мм. Ця операція по термомодернізації знизить обсяг теплоспоживання на 42% до 4309 МВт ×год/рік.

Залучення наукового товариства дозволяє отримати нову будівельну ізоляцію - ековату з додаванням вспученого керамзиту. На території виробництва існують склади зберігання керамзиту для господарських задач. Промислові муфельні печі дозволяють підтримувати температуру вспучення різних будівельних матеріалів від 75...350 град С. Температура вспучення дрібного керамзиту складає 175 град С, тривалість циклу складає 120 хвилин. Дослідні партії по 10 кг були випробувані в комбінації з ековатою під тиском 15 МПа. Отримані зразки мають коефіцієнт тепловіддачі 1,21 Вт/м² К. При наявності в промисловій будівлі оздоблювального шару з подібного матеріалу теплоспоживання складе 7500 МВт× год/рік.

Мінімальне допустиме значення опору теплопередачі зовнішньої стіни будівлі для другої температурної зони становить $R_{qmin} = 2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Найменування матеріалів для формування сендвічу стінової панелі

№ шару	Найменування матеріалу	Товщина шару, м	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/мК
1	Силікатна цегла	0,54	0,87
2	Гіпсова штукатурка	0,02	0,3

Розрахунковий опір теплопередачі зовнішньої стіни визначається за формулою:

$$R_{\text{пр}} = \frac{1}{a_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_{\text{з}}} \quad (1)$$

$a_{\text{в}}$ - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції;

$a_{\text{з}}$ - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції;

δ_i - товщина i -шару, розрахункової конструкції;

λ_i - розрахунковий коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

n - кількість шарів захисної розрахункової конструкції.

За ДБН В.2.6-31:2016:

$a_{\text{в}}=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$;

$a_{\text{з}}=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$.

$$R_{\text{пр}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,54}{0,87} + \frac{0,02}{0,3} + \frac{1}{23} = 0,85 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Так як умова $R_{\text{пр}} \geq R_{\text{qmin}}$ не виконується, конструкція стіни не відповідає нормативним вимогам з економічно доцільного опору теплопередачі. Забезпечити нормативне значення опору теплопередачі можливо шляхом влаштування утеплювача. Необхідна товщина утеплювача визначається за формулою:

$$\delta_3 = \left(R_{\text{qmin}} - \frac{1}{a_{\text{в}}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{1}{a_{\text{з}}} \right) \cdot \lambda_3 \quad (2)$$

$\lambda_3 = 0,064 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ - розрахунковий коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати прийнятий за ДБН В.2.6-31:2016.

$$\delta_3 = \left(2,8 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,54}{0,87} - \frac{0,02}{0,3} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0,064 = 0,125 \text{ м}.$$

Приймаємо товщину утеплювача, кратну модулю 1/10М, що дає величину рівну 13см. З урахуванням нової товщини утеплювача опір теплопередачі зовнішньої стіни складе:

$$R_{\text{пр}} = \frac{1}{a_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{a_{\text{з}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,54}{0,87} + \frac{0,02}{0,3} + \frac{0,13}{0,64} + \frac{1}{23} = 2,89 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Так як умова $R_{пр} \geq R_{qmin}$ виконується, конструкція стіни відповідає нормативним вимогам ДБН В.2.6-31:2016. «Теплова ізоляція будівель» з економічно доцільного опору теплопередачі.

Температура внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції:

$$t_{вп} = t_{в} - \left(\frac{t_{в} - t_{з}}{R_{пр^{дв}}}} \right) = 20 - \left(\frac{20 - (-21)}{2.89 \cdot 8.7} \right) = 18,37^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

Температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції:

$$t_{пр} = t_{в} - t_{вп} = 20 - 18,37 = 1,630^{\circ}\text{C} \leq \Delta t_{cr} = 40^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

Таблица 3

Порівняльна характеристика матеріалів

№ п/п	Найменування	Товщина, мм	Коефіцієнт теплопровідності
1	Ековата з керамзитом	15	0,027
2	Напилюваний пенополіуретан	10	0,047
3	Напилюваний пенополіуретан	25	0,043
4	Базальтове волокно	50	0,046
5	Пінопласт	50	0,057

Зміна коефіцієнта тепловіддачі в напрямку зменшення, провокує просторові зміни в структурі молекули утеплювача. Потреба зменшення ваги комбінації утеплювача – наповнювача вимагає застосування ендотермічних процесів та формування матриці під тиском 15 МПа.

Залучення наукових шкіл по термоізоляції окремих молекул наповнювача створює передумови по формуванню та розробці нових композицій молекул утеплювача для застосування в різних галузях народного господарства при термомодернізації будівель.

Подібні заходи можливо диверсифікувати с точки зору щільності ізолятору, ваги, хімічної структури та методу нанесення на поверхню. Економічно доцільно підходити комплексно до питань термомодернізації кожного будинку та будівлі. Тільки від кваліфікації енергоаудитора залежить комплексність підходу та доцільність пропозицій. Виходячи з існуючої ситуації по стану ЖКГ та промисловим будівлям, є багато варіантів для виробничих досліджень.

Порівняльна характеристика товщини та властивостей матеріалів

№ п/п	Найменування	Товщина, мм	Коефіцієнт теплопровідності
1	Ековата з керамзитом	10	0,027
2	Ековата з керамзитом	15	0,022
3	Ековата з керамзитом	20	0,017
4	Ековата з керамзитом	30	0,012
5	Пінопласт	50	0,057

Доречність досліджень доведено крихким станом ЖКГ та потребою гнучкого регулювання теплофізичних показників утеплювачів. Будівельні матеріали окремо по кожній позиції по кожному об'єкту.

Особливою перевагою процесу термомодернізації є стійкий попит на будівельні матеріали. Доречна державна підтримка та погодження з вітчизняним виробником та науковими школами для оперативності та якісного вирішення питань підвищення енергоефективності до класу А (15 кВт годин на рік).

Висновки. Запропонована концепція генерації технологій виробництва та освоєння методологія термомодернізації промислових та житлових будівель здатна знизити експлуатаційні витрати по кожній будівлі на 37% у випадках одноваріантного шляху реконструкції та 72% при багатоваріантному проекту удосконалення огорожувальних конструкцій. Сама генерація методів будівельних сумішей дозволяє прискорити оновлення смарт міста та багатьох технопарків України та світу.

Модельовані результати порівнювалися з даними будівельного майданчику протягом двох років та отримано наступні результати:

- 1) Постійна тенденція зменшення тепловтрат стінових конструкцій на 36% в п'ятирічному інтервалі;
- 2) Запропоновано концепція виготовлення нових будівельних матеріалів;
- 3) Досліджено ефективний відведення вологи по огорожувальним конструкціям при застосуванні ізолятора (ековата+керамзит 30 мм);
- 4) Визначено економічні переваги оздоблювання промислових будівель у розмірі 6120 МВт×год/рік при одному об'єкті.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Аналіз тарифоутворення у секторі централізованого тепlopостачання країн Європейського союзу [Електронний ресурс], / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна, А.І. Баштовий // Аналітична записка БАУ №14. – 09 лютого 2016 р. – С.45. – Режим доступу: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2016/02/Position-paper-UABIO-14-UA.pdf>.
2. Лауф Е. Модернизация рынка тепловой энергии и повышение энергоэффективности зданий объединенной Германии / Е. Лауф // Энергосовет. – 2016 – №1 (43). – С. 81-85.
3. Фігурка М.В. Аналіз зношеності теплових мереж в Україні: проблеми й шляхи вирішення / М.В. Фігурка // Економічний аналіз. – 2015. – Том 20. – С. 306 – 311.
4. Білодід В.Д. Вироблення та споживання теплової енергії в Україні у 2005 – 2013 роках / В.Д. Білодід // Проблеми загальної енергетики. – 2015. – Вип. 1 (40). – С. 39 – 46.
5. Коробко Б.П. Ефективні заходи з модернізації ОЕС України для запобігання її колапсу та підвищення рівня децентралізації генерації електрики / Б.П. Коробко, О.М. Лінник, Р.Е. Кануннікова // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2016. – №2 – 3. С 16 – 22.
6. Конкурентний ринок тепlopостачання – основна передумова скорочення використання газу – Електрон. дан. – Режим доступу: http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248883910.
7. Побудова ефективної моделі ринку теплової енергії в реаліях України / Карпенко Д.С., Дешко В.І. // Енергетика та електроифікація. – 2016.– №2. – С. 18 – 22.
8. Патон Б.Є. Приорітети Національної стратегії теплозабезпечення населених пунктів України / Б.Є. Патон, А.А. Долінський, В.М. Геець, В.П. Кухар, Б.І. Баскок, Є.Т. Базєєв, Р.З. Подолець // Вісник НАН України. – 2014. – № 9.– С. 1 – 19.
9. Білодід В.Д. Прогнозна структура теплозабезпечення України на період до 2040 року / Білодід В.Д. // Проблеми загальної енергетики. – 2016. – Вип. 1 (44). – С. 24 – 33.

REFERENCES

1. Analiz taryfoutvorennia u sektori tsentralizovanoho teplopостachannia krain Yevropeiskoho soiuzu [Elektronnyi resurs], / H.H. Heletukha, T.A. Zheliezna, A.I. Bashtovyi // Analitychna zapyska BAU №14. – 09 liutoho 2016 r. – S.45. – Rezhym

dostupu: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2016/02/Position-paper-UABIO-14-UA.pdf>.

2. Lauf E. Modernyzatsiia rynku teplovoi enerhyi y povyshenye enerhoeffektyvnosti zdanyi ob'edynennoi Hermanyy / E. Lauf // Enerhosovet. – 2016 – №1 (43). – S. 81-85.
3. Fihurka M.V. Analiz znoshenosti teplovykh merezh v Ukraini: problemy y shliakhy vyryshennia / M.V. Fihurka // Ekonomichniy analiz. – 2015. – Tom 20. – S. 306 – 311.
4. Bilodid V.D. Vyroblennia ta spozhyvannia teplovoi enerhii v Ukraini u 2005 – 2013 rokakh / V.D. Bilodid // Problemy zahalnoi enerhetyky. – 2015. – Vyp. 1 (40). – S. 39 – 46.
5. Korobko B.P. Efektyvni zakhody z modernizatsii OES Ukrainy dlia zapobihannia yii kolapsu ta pidvyshchennia rivnia detsentralizatsii heneratsii elektryky / B.P. Korobko, O.M. Linnyk, R.E. Kanunnikova // Promyslova elektroenerhetyka ta elektrotehnika. – 2016. – №2 – 3. S 16 – 22.
6. Konkurentnyi rynek teplopostachannia – osnovna peredumova skorochennia vykorystannia hazu – Elektron. dan. – Rezhym dostupu: http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248883910.
7. Pobudova efektyvnoi modeli rynku teplovoi enerhii v realiiakh Ukrainy / Karpenko D.S., Deshko V.I. // Enerhetyka ta elektroyfikatsiia. – 2016. – №2. – S. 18 – 22.
8. Paton B.Ie. Pryoritety Natsionalnoi stratehii teplozabezpechennia naselenykh punktiv Ukrainy / B.Ie. Paton, A.A. Dolinskyi, V.M. Heiets, V.P. Kukhar, B.I. Baskok, Ye.T. Bazieiev, R.Z. Podolets // Visnyk NAN Ukrainy. – 2014. – № 9. – S. 1 – 19.
9. Bilodid V.D. Prohnozna struktura teplozabezpechennia Ukrainy na period do 2040 roku / Bilodid V.D. // Problemy zahalnoi enerhetyky. – 2016. – Vyp. 1 (44). – S. 24 – 33.

Received 13.10.2021.

Accepted 18.10.2021.

Modeling strategic priorities for thermal modernization of industrial buildings

The technology for generating positive ideas is based on human experience, the need to improve the technological process or reduce the operating costs of production and the basic amount of industrial waste. The work examines the audit of industrial buildings and an overview of advanced technologies for the production of building materials from waste. Current measurements of energy consumption, exceeding the limits and increasing the cost of resources require the formation of scientific and technological accents for the development of mixture combinations in the formation of building materials. In the course of the experiments, the thermal properties of polystyrene, ecowool, expanded polystyrene, mineral wool, expanded clay, ecowool with expanded clay were studied. Experiences show that standard insulation technologies do not work productively in the case of industrial buildings with minimal funding.

An integrated technology for obtaining a by-product from secondary resources is needed. Waste audit at the enterprise showed the possibility of using primary building materials for the generation of by-products. The available equipment with minimal modifications makes it possible to obtain a new product during the endothermic process of expanded clay swelling. The pressing of cotton wool with a lightweight expanded clay structure allows obtaining sheet materials of the required density up to 1 by 1 m in size. The flexibility of the obtained material allows it to be cut with a cutting tool to the required volume. The possibility of obtaining materials of different densities is convenient for use in any enterprise, when issuing recommendations for increasing the thermal resistance of the shell. The conducted studies of the thermal resistance of the obtained material show the convenience of manufacturing a product to comply with the sanitary conditions of an industrial enterprise. The experiments were carried out according to standard methods. The need to transfer buildings of industrial enterprises to an energy-saving heating mode is caused by the need to reduce the operating costs of enterprises.

**Моделирование стратегических приоритетов
при термомодернизации промышленных зданий**

Технология генерации положительных идей базируется на человеческом опыте, потребности в улучшении технологического процесса или уменьшении эксплуатационных издержек производства и базовом количестве промышленных отходов. В работе изучаются вопросы аудита промышленных зданий и обзор передовых технологий производства строительных материалов из отходов. Текущие измерения расхода энергоносителей, превышение лимитов и удорожание ресурсов требует формировать научно-технологические акценты для разработки комбинаций смесей при формировании строительных материалов. В ходе экспериментов изучено теплотехнические свойства пенопласта, эковаты, пенополистерола, минеральной ваты, керамзита, эковаты с керамзитом. Опыты показывают, что стандартные технологии утепления не работают продуктивно в случае промышленных зданий с минимальным финансированием. Необходимо интегрированная технология получения субпродукта из вторичных ресурсов. Аудит отходов на предприятии показал, возможности использования первичных строительных материалов для генерации субпродукта. Имеющееся в наличии оборудования с минимальными доработками позволяет получать новый продукт при эндотермическом процессе вспучивания керамзита. Возможность получения материалов разной плотности удобно для использования на любом предприятии, при выдаче рекомендаций по повышению термического сопротивления оболочки. Проведенные исследования термического сопротивления полученного материала показывают удобство производства изделия для соблюдения санитарных условий зданий промышленного предприятия.

Назаренко Олексій Миколайович – доцент кафедри будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка».

Назаренко Ірина Анатоліївна – доцент кафедри електричних машин проектами, Національний університет «Запорізька політехніка».

Іщенко Олексій Сергійович – старший викладач кафедри будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка».

Бесараб Тетяна Миколаївна – магістрант кафедри будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка».

Кулік Михайло Валерійович – доцент кафедри будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка».

Назаренко Алексей Николаевич – доцент кафедры строительного производства и управления проектами, Национальный университет «Запорожская политехника».

Назаренко Ирина Анатольевна – доцент кафедры электрических машин проектами, Национальный университет «Запорожская политехника».

Ищенко Алексей Сергеевич – старший преподаватель кафедры строительного производства и управления проектами, Национальный университет «Запорожская политехника».

Бессараб Татьяна Николаевна – магистрант кафедры строительного производства и управления проектами, Национальный университет «Запорожская политехника».

Кулик Михаил Валерьевич – доцент кафедры строительного производства и управления проектами, Национальный университет «Запорожская политехника».

Nazarenko Oleksii – Associate Professor of the Civil engineering Department, National University "Zaporizhzhya Polytechnic".

Nazarenko Iryna – Associate Professor of the Department of of Electric Machines, National University "Zaporizhzhya Polytechnic".

Ishchenko Oleksii – Senior Lecturer, Civil engineering Department, National University "Zaporizhzhya Polytechnic".

Besarab Tetiana – master's student of the Civil engineering Department, National University "Zaporizhzhya Polytechnic".

Kulik Mikhailo – Associate Professor of the Civil engineering Department, National University "Zaporizhzhya Polytechnic".

О.О. Захаров, Т.В. Селівьорстова,

В.В. Селівьорстов, В.Ф. Балакін, Л.В. Камкіна

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ МЕТАЛОСТРУКТУР, ЩО МІСТЯТЬ КАРБІДИ

Анотація. Стаття присвячена розробці інформаційної моделі призначеної для аналізу цифрових зображень металоструктур з карбідними вкрапленнями. Проведений аналіз літературних джерел, встановлено, що дослідження металоструктур є актуальним інструментом оцінки якісних характеристик. Наявність карбідів в структурі металу має значний вплив на його якість. Наведений огляд методики вивчення структури металу, визначено важливість етапу обробки зображення металоструктур. Описані основні способи отримання цифрових зображень структури металу. Представлені зразки металоструктур, з карбідами. Запропоновано процедуру цифрової обробки зображень металоструктур з карбідними вкрапленнями, яка складається з переведення зображення в напівтонове, контрастування та порогової бінарізації. Продемонстровані результати визначення карбідних вкраплень із застосуванням процедури цифрової обробки зображень. Показані переваги та недоліки підходу, визначені напрямки вдосконалення.

Ключові слова: Металоструктура, карбіди, зображення, цифрова обробка, напівтонове зображення, контрастування, адаптивне контрастування, бінарізація, гістограма.

Вступ. В теперішній час економіка України вимагає водночас зниження собівартості та відповідності експлуатаційних характеристик виробів машинобудівництва, тому на всіх етапах виготовлення металевих деталей необхідний контроль якості продукції. Для отримання повної картини про стан металу та його якості на макро і мікро рівнях використовують в тому числі аналіз мікрошліфів металу. Підхід зв'язаний із аналізом мікрошліфів потребує залучення висококваліфікованих експертів в галузі матеріалознавства, що у свою чергу не виключає впливу «людського фактору». З іншого боку, питання підвищення об'єктивності ідентифікації властивостей металів і сплавів вимагають залучення сучасних методів обробки даних, наприклад штучного інтелекту при вирішенні задач класифікації та ідентифікації макро та мікро структур.

© Захаров О.О., Селівьорстова Т.В.,

Селівьорстов В.В., Балакін В.Ф., Камкіна Л.В., 2021

В роботі представлений огляд процесу дослідження макро та мікро структур, що містять карбіди, визначенні специфічні особливості, що притаманні даним зображенням, запропоновано інформаційну модель їх обробки.

Аналіз стану питання. Об'єктами мікроструктурних досліджень стають металографічні шліфи – внутрішні перерізи металу, відполіровані та протруєні різними методами, а основний завданням металографії є – виявлення та реєстрація найдрібніших деталей рельєфу, що виникають через структурні неоднорідності в металі [1]. Розповсюдженим інструментом для отримання знімків металоструктур у наукових, навчальних, заводських та експертних лабораторіях є світлова та електронна мікроскопія. Мікроструктурні дослідження методами світлової мікроскопії характеризуються збільшенням 10...2000 разів за допомогою світлооптичних приладів різних типів. Можливості цього методу обмежені граничним дозволом (тобто, мінімальною відстанню між двома точками, що розрізняється) близько 0,2 мкм. Це пов'язано з хвильовою природою видимого світлового випромінювання: через дифракційні явища деталі структури, що мають розміри менше довжини світлової хвилі (500 нм), стають невидимими. Растрова електронна мікроскопія дозволяє підвищити збільшення до 30000 разів, а роздільну здатність до 5,0 нм. Перевагою методу є відносна простота підготовки зразків, а також можливість поєднання з локальним рентгенівським та енергодисперсійним аналізом. Деякі растрові мікроскопи мають спеціальні пристрої для отримання картин каналування відбитих електронів, що дозволяє визначати орієнтацію кристалічної решітки окремих зерен або частинок інших фаз.

Пристрій металографічного мікроскопа складається з двох систем – окуляра та об'єктива, які представлені трьома системами: освітлювальною, механічною та оптичною, кожна з яких може впливати на якість вихідного зображення і як наслідок спотворити оцінку структурних особливостей представлених на цифровому зображенні металоструктури.

Вивчення структури металу включає ланцюжок послідовних операцій, основні з яких представлені на рисунку 1.



Рисунок 1 – Послідовність операцій при вивченні структури металу

Обробці зображення передуює важливий етап отримання цифрового зображення, на якому можуть відбутися спотворення візуальної якості зображення пов'язанні в тому числі з: ОЕСФ (оптоелектронна функція перетворення), розміром зображення та роздільною здатністю, шумом (відношення сигнал/шум), контрастністю зображення (коефіцієнт контрастності), різкістю зображення, сірими рівнями, рівнем чорного, гамма калібруванням, насиченістю білого (балансом), час відгуку, кольоровими властивостями, кутом огляду [2 – 6].

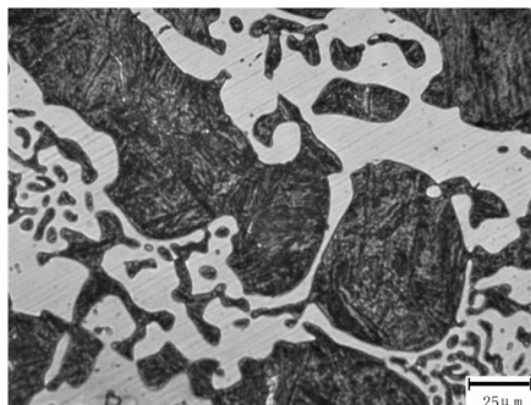
Мета роботи. Проведення дослідження особливостей цифрових зображень металоструктур металів і сплавів, які містять карбіди. Виявлення факторів, що впливають на можливість автоматичного виділення фрагментів зображення, що відповідають карбідним включенням.

Основний матеріал. Відомо, що цифрові зображення мікроструктури матеріалів, зокрема металів і сплавів, складається з кінцевого числа елементів – пікселів. У зв'язку з цим, основним завданням цифрової обробки зображення металографічної мікроструктури є фонові корекція та виділення геометричних об'єктів для подальшого розрахунку та дослідження, а також покращення якості зображень та усунення різних шумових складових. Слід зазначити, що виділення геометричних особливостей цифрових зображень металоструктур є важливою задачею пов'язаною з ідентифікацією механічних та фізичних властивостей металів і сплавів [7].

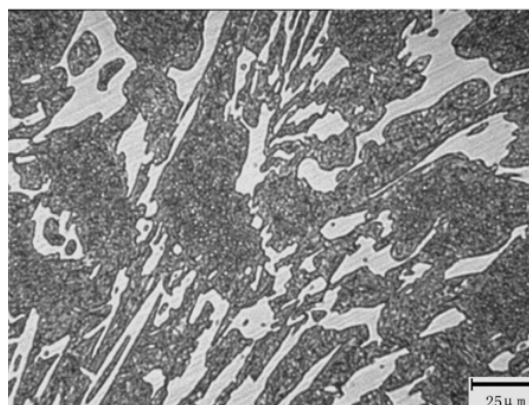
Як відомо, карбідна неоднорідність є дефектом мікроструктури сталі, причиною появи якої нерівномірне розподілення первинних і вторинних карбідів у металі. У вуглецевих та легованих сталях вуглець може виділятися у ви-

гляді метастабільних фаз – карбідів, що можуть утворити карбідну сітку (рисунок 2). У зв'язку з неоднорідністю концентрації карбідів в об'ємі матеріалу, може виникнути зниження міцності та в'язкості всього матеріалу в цілому [8 – 10]. Оцінку карбідної неоднорідності проводять у відповідності до ГОСТ 19265-73 для швидкоріжучих сталей, ГОСТ 801-78 для підшипникової сталі, ГОСТ 8233-56 для сталі, ГОСТ 5950-2000 для інструментальної легованої сталі [11]. Зразки піддають шліфуванню, поліруванню та травленню, далі на металографічному мікроскопі при збільшенні $\times 100$ проводять оцінку карбідної неоднорідності за допомогою шкали, наведеної в ГОСТ на відповідну сталь. На підставі оцінки балу карбідної неоднорідності робиться висновок про якість досліджуваного зразка [12].

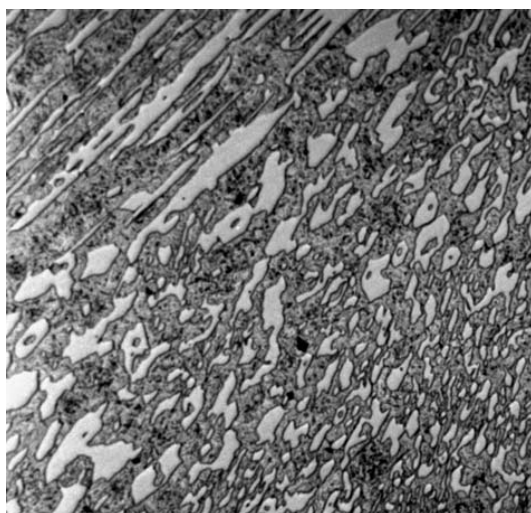
На рисунку 2 представлені приклади цифрових зображень мікроструктур з карбідними вкрапленнями – світлі ділянки.



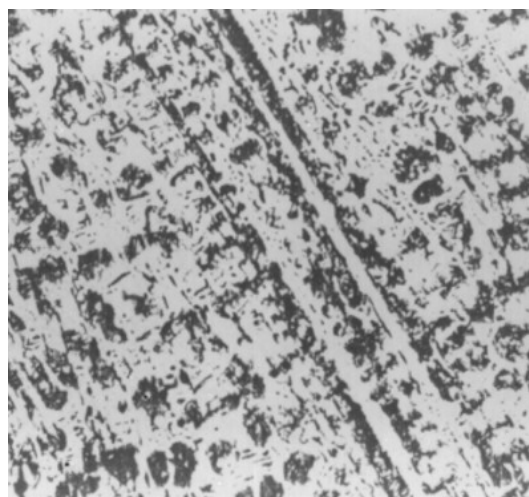
а



б



в



г

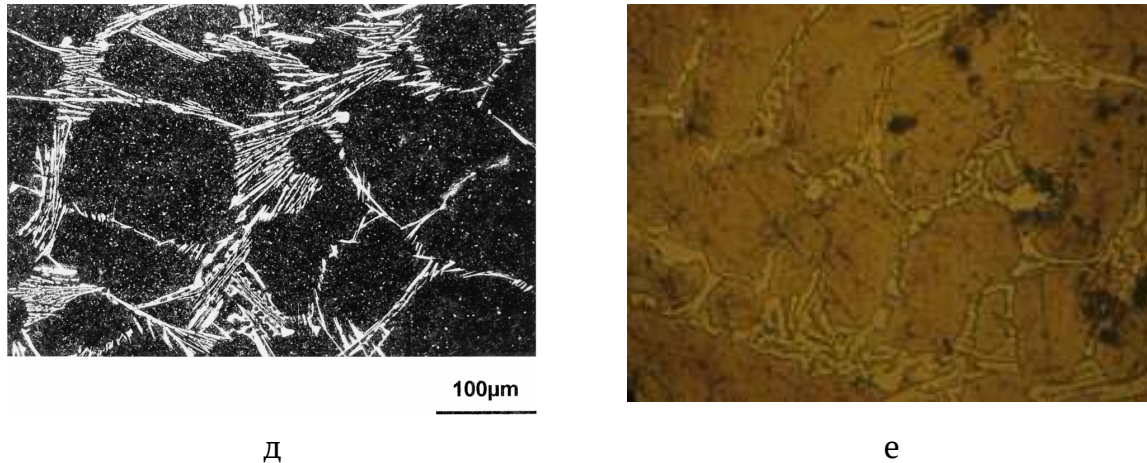


Рисунок 2 – Оптичні мікроструктури

а – борний чавун [13]; б – чавун з високим вмістом Cr [13];
в – евтектичний чавун з 38% карбідів, 1000X [14]; г – нелеговане залізо [15];
д – швидкорізальна сталь S 6-5-2 [16], е – сталь X12Ф1 [17]

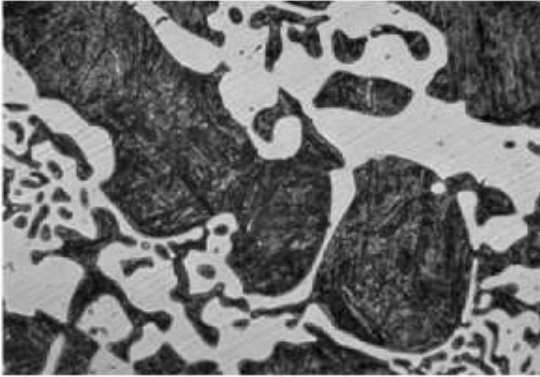
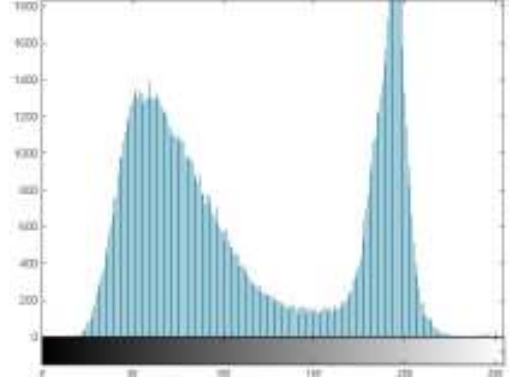
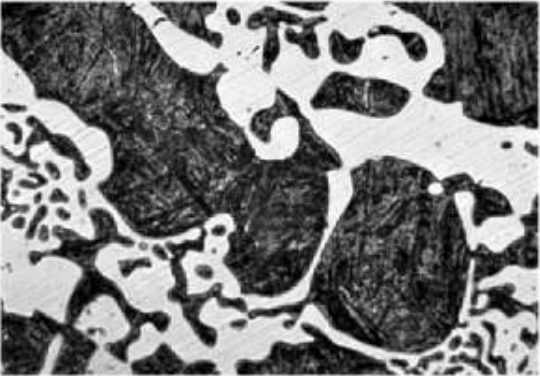
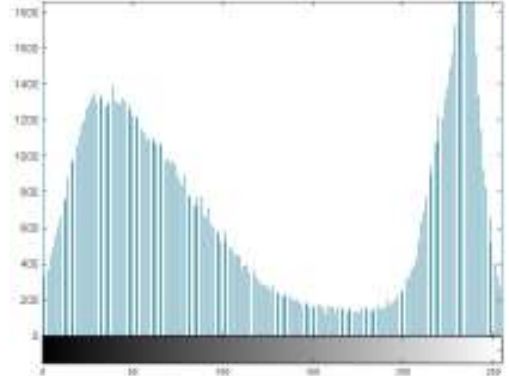
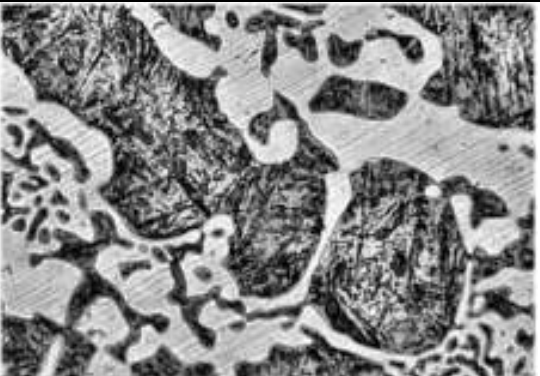
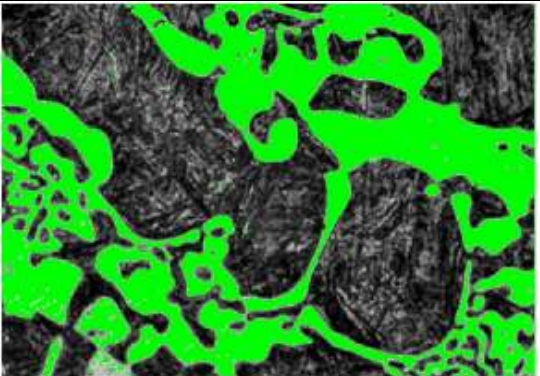
Для цифрової обробки зображень металоструктур з кірбідними вкрапленнями було застосовано наступну послідовність (рисунок 3) перетворення вихідного зображення до бінарізованого з метою визначення ділянок зображення, які відповідають карбідам.



Рисунок 3 – Послідовність цифрової обробки зображень металоструктур з кірбідними вкрапленнями

В таблиці 1 представлені результати обробки зображення борного чавуну, представленого в роботі А.М. Дальського «Технологія конструкційних матеріалів» [13]. Для цього зображення притаманна контрастність, що дозволило з досить високим ступенем якості виділити фрагменти, які відповідають карбідам.

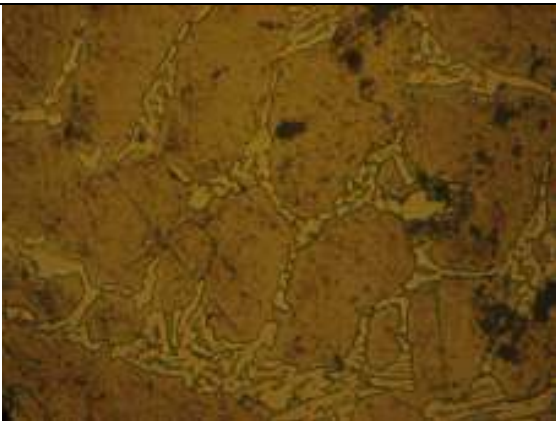
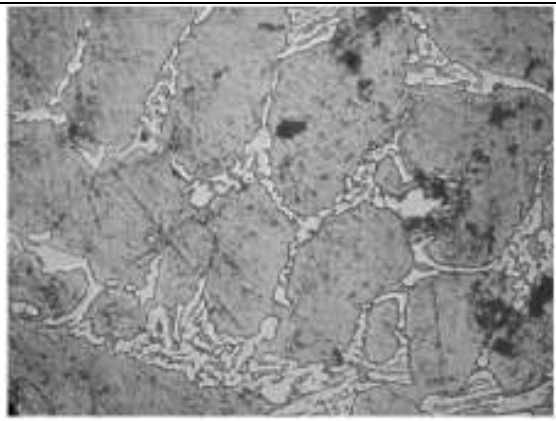
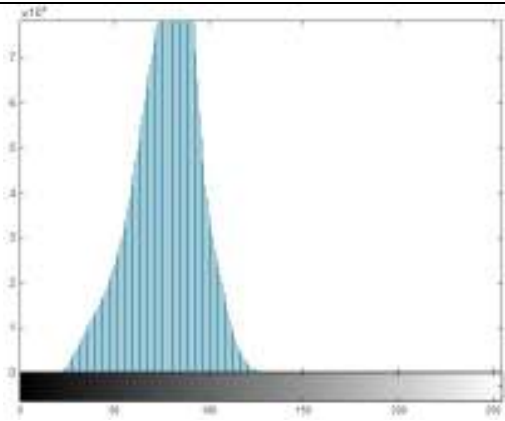
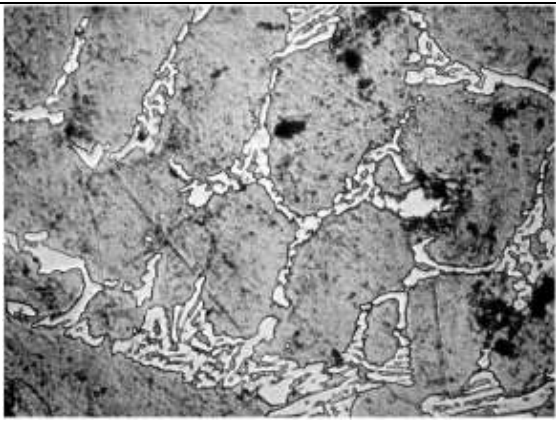
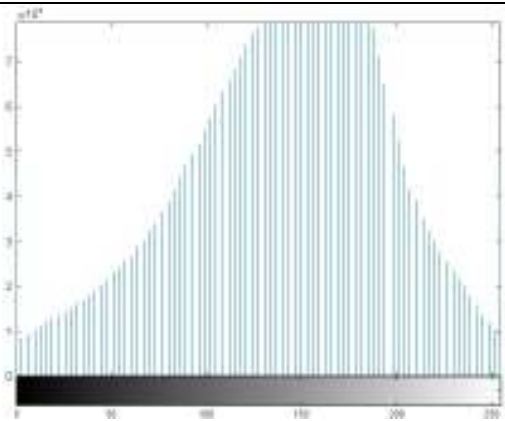
Результат виділення ділянок зображення (рисунок 2, а),
що відповідають карбідам

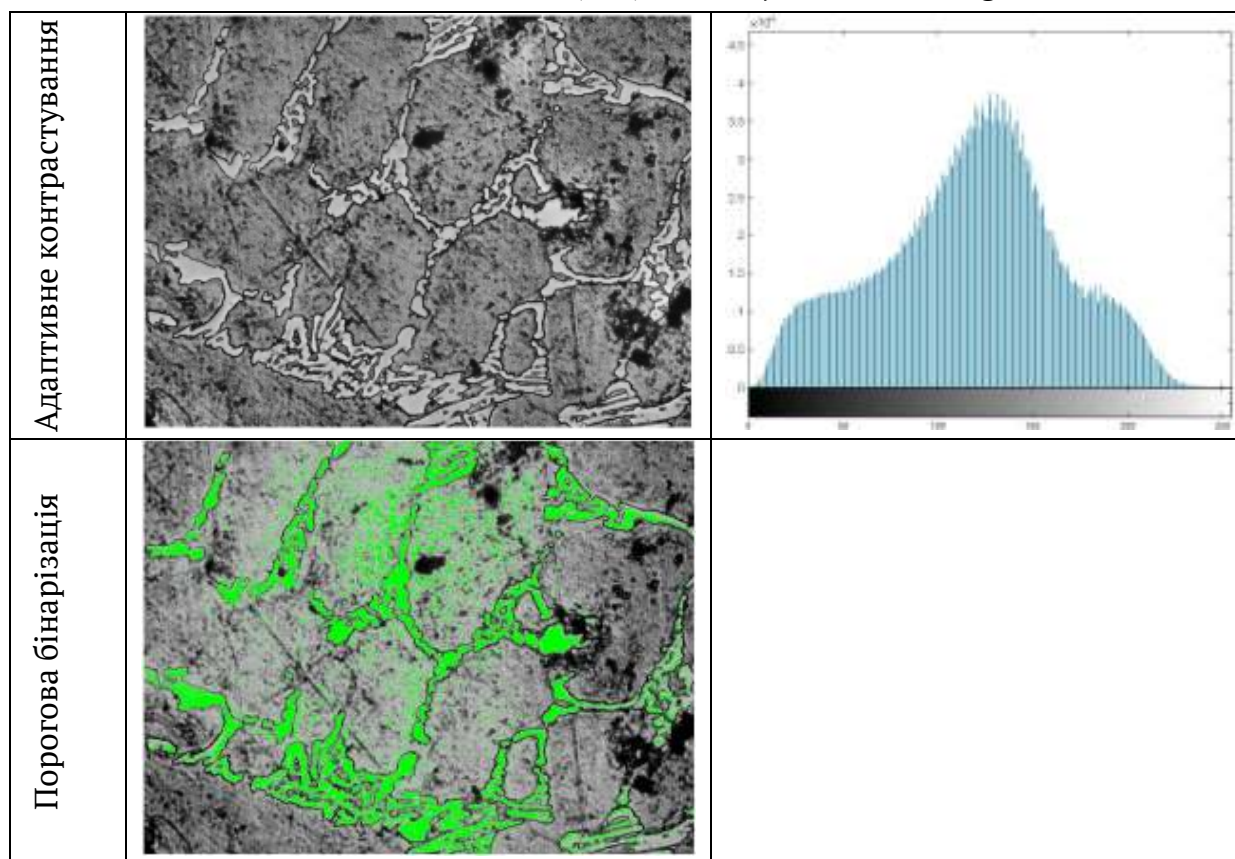
	Зображення	Гістограма
Напівнове зображення		
Контрастування		
Адаптивне контрастування		
Порогова бінарізація		

Застосуємо запропоновану процедуру обробки зображень до макроструктури сталі Х12Ф1 (рисунок 2, е). Результат обробки цього зображення представлений в таблиці 2.

Таблиця 2

Результат виділення ділянок зображення (рисунок 2, е),
що відповідають карбідам

	Зображення	Гістограма
Вихідне зображення		
Напівтонове зображення		
Контрастування		



Аналіз результатів обробки зображення (рисунок 2, е) дозволив виявити ділянки з карбидними включеннями, проте до цих ділянок додані артефакти, що не є карбідами. Балансування порогом бінаризації в цьому випадку не призводить до покращення виділення мережі карбідних включень у зв'язку з відсутністю контрастності на даному зображенні. Гістограми демонструють наявність інформаційних ознак в широкому спектрі сірих кольорів, тому для такого класу зображень потрібно розробляти більш складні технології обробки зображень.

Висновки. В ході проведення дослідження особливостей цифрових зображень металоструктур металів і сплавів, які містять карбіди було:

- 1) запропоновано інформаційну модель обробки металоструктур, що містять карбідні включення;
- 2) запропоновану інформаційну модель застосовано до цифрових зображень металоструктур;
- 3) встановлено, що деякі зображення металоструктур відрізняються низькою контрастністю, що призводить до виділення окрім ділянок із карбидними включеннями фонових артефактів;

4) запропоновано розроблення комплексних математичних методів для виділення карбідних включень на зображеннях металоструктур, що характеризуються низькою контрастністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Большаков В.И., Сухомлин Г.Д., Лаухин Д. В. Атлас структур металлов и сплавов. - Днепропетровск: ГБУЗ «ПГАСА», 2010. 174 с.: с ил.
2. Comparative Analysis of Image Quality for Low-Light Cameras in Low Light Conditions / J.Kocic, M. Radisavljevic, S. Vujic, I. Popadic. // Proc. of the 60th ETRANConference. – 2016.
3. Kyung-Woo K. Evaluation of camera performance using ISO-based criteria / K. Kyung-Woo, P. Kee-Hyon, H. Yeong-Ho. // 16th Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings. – 2008. – С. 238–242.
4. Wueller D. Proposal for a Standard Procedure to Test Mobile Phone Cameras / Dietmar Wueller. // Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging. – 2006.
5. UL2802 – "Camera Performance Measurement", 2013.
6. ISO 12233 – "Photography—Electronic still-picture cameras -Resolution measurements", 2000.
7. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р.Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. - 616с
8. Геллер Ю.А. Инструментальные стали./ Ю.А. Геллер. – М.: Metallurgy, 1983. – С. 191-201, 322 – 393.
9. Лахтин Ю.М. Материаловедение. / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. - М.: Машиностроение, 1991. – 487 с.
10. Пахолюк А.П. Основы матеріалознавства і конструкційні матеріали /А.П. Пахолюк, О.А. Пахолюк. – Львів: видавництво "Світ", 2005. – 172с.
11. Гуляев А.П. Металловедение / А.П.Гуляев. – М.: Metallurgy, 1986. – 851с.
12. Материаловедение / Под ред. Б.Н.Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 611с.
13. Технология конструкционных материалов/ Под ред. А.М.Дальского. – М.: Машиностроение 1999. – 764с.
14. Pintaude G. Study On The Performance Of High Chromium Cast Iron Balls With Varied Carbide Fractions And Matrix Microstructures / G. Pintaude, E. Albertin, A. Sinatora. // International Congress on Abrasion Wear Resistant Alloyed White Cast Iron for Rolling and Pulverizing Mills. – 2002.
15. Alp T. Microstructure-Property Relationships in Cast Irons / T. Alp, A. Wazzan, F. Yilmaz. // The Arabian Journal for Science and Engineering. – 2005. – С. 163–175.

16. Microstructure and Nanochemistry of Carbide Precipitates in High-Speed Steel S 6-5-2-5 / E.Pippel, J. Woltersdorf, G. Pöckl, G. Lichtenegger. // MATERIALS CHARACTERIZATION. – 1999. – №43. – С. 41–55.

17. Селиверстов В. Ю. Теоретические и технологические основы газодинамического воздействия на металл, затвердевающий в литейной форме : дис. докт. техн. наук : 05.16.04 / Селиверстов Вадим Юрьевич – Днепр, 2011. – 406 с.

REFERENCES

1. Bolshakov V.I., Suhomlin G.D., Lauhin D. V. Atlas struktur metallov i splavov. - Dnepropetrovsk: GVUZ «PGASA», 2010. 174 s.: s il.

2. Comparative Analysis of Image Quality for Low-Light Cameras in Low Light Conditions / J.Kocic, M. Radisavljevic, S. Vujic, I. Popadic. // Proc. of the 60th ETRANConference. – 2016.

3. Kyung-Woo K. Evaluation of camera performance using ISO-based criteria / K. Kyung-Woo, P. Kee-Hyon, H. Yeong-Ho. // 16th Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings. – 2008. – С. 238–242.

4. Wueller D. Proposal for a Standard Procedure to Test Mobile Phone Cameras / Dietmar Wueller. // Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging. – 2006.

5. UL2802 – "Camera Performance Measurement", 2013.

6. ISO 12233 – "Photography—Electronic still-picture cameras -Resolution measurements", 2000.

7. Gonsales R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede MATLAB / R. Gonsales, R.Vuds, S. Eddins. – М.: Tehnosfera, 2006. - 616s

8. Geller Yu.A. Instrumentalnyie stali./ Yu.A. Geller. – М.: Metallurgiya, 1983. – S. 191-201, 322 – 393.

9. Lahtin Yu.M. Materialovedenie. / Yu.M. Lahtin, V.P. Leonteva. - М.: Mashinostroenie, 1991. – 487 s.

10. Paholyuk A.P. Osnovi materialoznavstva i konstruktsiyni materiali /A.P. Paholyuk, O.A. Paholyuk. – Lviv: vidavnistvo "Svit", 2005. – 172s.

11. Gulyaev A.P. Metallovedenie / A.P.Gulyaev. – М.: Metallurgiya, 1986. – 851s.

12. Materialovedenie / Pod red. B.N.Arzasova. – М.: Mashinostroenie, 1986. – 611s.

13. Tehnologiya konstruktsionnyih materialov/ Pod red. A.M.Dalskogo. – М.: Mashinostroenie 1999. – 764s.

14. Pintaude G. Study On The Performance Of High Chromium Cast Iron Balls With Varied Carbide Fractions And Matrix Microstructures / G. Pintaude, E. Albertin,

A. Sinatora. // International Congress on Abrasion Wear Resistant Alloyed White Cast Iron for Rolling and Pulverizing Mills. – 2002.

15. Alp T. Microstructure-Property Relationships in Cast Irons / T. Alp, A. Wazzan, F. Yilmaz. // The Arabian Journal for Science and Engineering. – 2005. – C. 163–175.

16. Microstructure and Nanochemistry of Carbide Precipitates in High-Speed Steel S 6-5-2-5 / E.Pippel, J. Woltersdorf, G. Pöckl, G. Lichtenegger. // MATERIALS CHARACTERIZATION. – 1999. – №43. – C. 41–55.

17. Seliverstov V.Yu. Teoreticheskie i tehnologicheskie osnovyi gazodinamicheskogo vozdeystviya na metall, zatverdevayuschiy v liteynoy forme : dis. dokt. tehn. nauk : 05.16.04 / Seliverstov Vadim Yurevich – Dnepr, 2011. – 406 s.

Received 18.10.2021.

Accepted 22.10.2021.

Features of metal structures digital images containing carbides investigation

The analysis of microsections requires the involvement of highly qualified experts in the field of materials science, which, in turn, does not exclude the influence of the "human factor". On the other hand, the issues of increasing the objectivity of identifying the properties of metals and alloys require the use of modern data processing methods, for example, artificial intelligence in solving problems of classification and identification of macro and micro structures. The paper presents an overview of studying macro and micro structures containing carbides process, determining the specific features inherent in these images, and proposing an information model for their processing.

The article is devoted to the development of an information model intended for the analysis of metal structures digital images with carbide inclusions. The analysis of literary sources is carried out, it is established that the study of metal structures is an important tool for assessing qualitative characteristics. The presence of carbides in the metal structure has a significant impact on its quality. A review of the methodology for studying the structure of a metal is given, and the importance of metal structures image processing stage is determined. The main methods for obtaining digital images of the alloy structure are described. Samples of metal structures with carbides are presented. A procedure for digital processing of metal structures images with carbide inclusions is proposed, which consists of image conversion to grayscale, contrasting, and threshold binarization.

An analysis of the results of metal structures processing images made it possible to identify areas with carbide inclusions, however, additional artifacts that were not carbides were found in some images. Balancing by the binarization threshold in this case does not improve the detection of carbide inclusions network due to the lack of contrast. Histograms demonstrate the presence of information features in a wide range of gray colors, so for this class of images, more sophisticated image processing technologies need to be developed.

In the course of digital images features study of metals and alloys metal structures containing carbides, it was: an information model for processing metal structures containing

carbide inclusions is proposed; the proposed information model is applied to digital images of metal structures; it was found that some images of metal structures are characterized by low contrast, which leads to the selection of background artifacts, except for areas with carbide inclusions; the development of complex mathematical methods for the detection of carbide inclusions in images of metal structures characterized by low contrast is proposed. Thus, the article shows the results of carbide inclusions of the using the digital image processing procedure. The advantages and disadvantages of the approach are shown, the directions for its improvement are determined.

Захаров Олександр Олександрович – аспірант, Національна металургійна академія України.

Селівьорстова Тетяна Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Селівьорстов Вадим Юрійович – доктор технічних наук, професор, кафедра ливарного виробництва, Національна металургійна академія України.

Балакін Валерій Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теорії, технології та автоматизації металургійних процесів, Національна металургійна академія України.

Камкіна Людмила Володимирівна – доктор технічних наук, професор, декан факультету металургійних процесів та хімічних технологій, Національна металургійна академія України.

Zakharov Alexander - graduate student, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Selivyorstova Tatjana - candidate of technical science, assistant professor, Department of information technology and systems, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Selivyorstov Vadim - doctor of engineering's sciences, professor, Department of casting production, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Balakin Valeriy - doctor of technical sciences, professor, Head of Department of the Department of Quality, Standardization and Certification, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Kamkina Lyudmila - doctor of technical sciences, professor, Dean of the Faculty of Metallurgical Processes and Chemical Technologies, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

ЗМІСТ

CONTENTS

Духневич К.Л., Кравець О.В., Спирінцева О.В. Дослідження впливу параметрів двошарової футерівки циліндричного індуктора на її температуру	3	Dukhnevich K.L., Kravets O.V., Spirintseva O.V. Investigation of the parameters in- fluence of a cylindrical inductor with two-layer inwall on its tem- perature	3
Волковський О.С., Пачевський М.В., Обиденний Є.О. Концепція електронного голосу- вання на основі технології блок- чейн	14	Volkovskiy O., Pachevskiy M., Obydennyj E. Concept of digital voting based on the Blockchain technology	14
Гнатушенко В.В., Гненний І.О., Удовик І.М., Шевцова О.С. Сегментація аерокосмічних зоб- ражень з використанням згортко- вих нейронних мереж	24	Hnatushenko V.V., Gnennyi I.O., Udovyk I.M., Shevtsova O.S. Segmentation of aerospace images using convolutional neural networks "	24
Хабарлак К.С. Особливості роботи методів пошу- ку облич на мобільних пристроях	34	Khabarlak K. Mobile Face Detection Algorithm Inference Traits	34
Коротка Л.І. Формування набору інформативних ознак при розв'язанні задач прогнозування довговічності конструкцій	46	Korotka L.I. Formation of a set of informative features when deciding problems of predicting the durability of structures	46
Ліневич О.О., Ліхоузова Т.А. Пошукові системи	54	Linevych O.O., Likhouzova T.A. Search engines for video	54
Мартиненко А.А. Структура та алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для ідентифікації культурних цінностей	62	Martynenko A.A. The structure and algorithm of the intelligent decision support system for the identification of cultural values	62

Богдан Д.А., Балакін В.Ф, Штода М.М., Николаєнко Ю.М. Математична модель силової і деформаційної взаємодії смуги і валків при прокатці з інтенсивною пластичною деформацією	72	Bohdan D., Balakin V., Shtoda M., Nykolayenko Yu. Mathematical model of force and deformation interaction of strip and rolls during rolling with intense plastic deformation	72
Желдак Т.А., Коряшкіна Л.С., Гаранжа Д.М., Сердюк Д.О. Система підтримки прийняття рішень про використання металу в багатоетапному прокатному виробництві	85	Zheldak T.A., Koriashkina L.S., Haranzha D.M., Serdiuk D.O. Decision support system for the use of metal in multi-stage rolling production	85
Корнієнко В.І., Герасіна О.В., Тимофєєв Д.С., Сафаров О.О., Ковальова Ю.В. Моделі моніторингу самоподібного трафіку інформаційно-комунікаційних мереж для систем виявлення атак	99	Korniienko V., Gerasina O., Tymofieiev D., Safarov O., Kovalova Yu. Models of monitoring of self-like traffic of information and communi- cation networks for attack detection systems	99
Ігнаткін В.У., Алексєєнко С.В., Горбійчук М.І. Автоматизація розв'язання задач оптимізації параметрів систем метрологічного обслуговування вимірювальних засобів автомати- зованих технологічних процесів та їх безпека	114	Ignatkin V., Alekseyenko S., Gorbiychuk M. Automation of solving problems of optimization of parameters of metrological maintenance system of measuring equipment	114
Сокіл І.О., Волковський О.С. Система конвертації вихідних програмних кодів	134	Sokol I., Volkovskiy O. Program source codes conversion system	134
Булатецький Є.І., Зайцев В.Г. Об одному підлоді до розробки симулятора руху автономного транспортного засобу з навчанням	146	Butatetsky E.I., Zaytsev V.G. On one approach to the de- velopment of a simulator of the movement of an autonomous vehicle with training	146

Демчишин А.А., Буренков Ю.С. Веб-система моделювання поверхонь на основі патчей Кетмала-Рома	156	Demchyshyn A.A., Burienkov Y.S. Web-system for modeling surfaces based on Catmull-Rom patches	156
Ситник Р.С., Гнатушенко Вік.В. Проектування та дослідження системи моніторингу руху товарів та ресурсів з застосуванням блокчейну	167	Sytnyk R., Hnatushenko Vik. The Design and Research of a System for Monitoring the Movements of Goods and Resources Using Blockchain	167
Назаренко О.М., Назаренко І.А., Іщенко О.С., Бесараб Т.М., Кулік М.В. Моделювання стратегічних пріоритетів при термомодернізації промислових будівель блокчейну	176	Nazarenko O., Nazarenko I., Ishchenko O., Besarab T., Kulik M. Modeling strategic priorities for thermal modernization of industrial buildings	176
Захаров О.О., Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.В., Балакін В.Ф., Камкіна Л.В. Дослідження особливостей цифрових зображень металоструктур, що містять карбіди	188	Zakharov A., Selivyorstova T., Selivyorstov V., Balakin V., Kamkina L. Features of metal structures digital images containing carbides investigation	188

РЕФЕРАТИ

УДК 621.365.5

Духневич К.Л., Кравець О.В., Спирінцева О.В. **Дослідження впливу параметрів двошарової футерівки циліндричного індуктора на її температуру** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.3 – 13.

Розглядається дослідження теплового стану двошарової футерівки циліндричного індуктора для дванадцяти пар теплоізоляційних матеріалів. Наведено математичну модель процесу, схему циліндричного індуктора, таблицю пар досліджуваних теплоізоляційних матеріалів шарів футерівки. Розраховано та побудовано діаграму температури внутрішньої поверхні футерівки в залежності від пари матеріалів її шарів та графік зміни температури футерівки в залежності від товщин її шарів для пари „шамот-азбест”.

Бібл. 14, іл. 3, табл. 1.

УДК 004.056.5

Волковський О.С., Пачевський М.В., Обиденний Є.О. **Концепція електронного голосування на основі технології блокчейн** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.14 – 23.

У сучасному демократичному цифровому суспільстві зростає актуальність проведення відкритих та об'єктивних голосувань з використанням нових інформаційних технологій. Існуючі рішення для подібних систем голосування зосереджені на технічних та юридичних проблемах, а не на застосуванні нових інформаційних технологій у стадії голосування. Було проведено аналіз проблем сучасних виборчих систем, і, на підставі аналізу їх недоліків запропоновано алгоритми, та практичну реалізацію системи голосування на основі застосувань технології блокчейн зі спеціальною реалізацією смарт-контрактів, у якій недоліки існуючих систем усунуті.

Бібл. 5.

УДК 004.9

Гнатушенко В.В., Гненний І.О., Удовик І.М., Шевцова О.С. **Сегментація аерокосмічних зображень з використанням згорткових нейронних мереж** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.24 – 33.

У роботі запропоновано новий метод сегментації аерокосмічних зображень високого просторового розрізнення на основі згорткових нейронних мереж та генерації масок. Семантичні ознаки використовуються для зменшення помилок семантичного рівня контуру. Результати показують, що запропонований алгоритм може ефективно покращити загальну точність сегментації зображень дистанційного зондування високого просторового дозволу та скоротити час навчання та час сегментації.

Бібл. 9, рис. 2.

УДК 004.93

Хабарлак К.С. **Особливості роботи методів пошуку облич на мобільних пристроях** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). - Дніпро, 2021. - С.34 – 45.

Проведено адаптацію низки «класичних» та нейромережових алгоритмів пошуку облич для мобільних пристроїв, проаналізовано якість та час виконання таких алгоритмів. Для практичного застосування найкращими є: 1) BlazeFace, який має стабільні та точні передбачення, однак, метод приймає на вхід зображення лише двох фіксованих розмірів; 2) MTCNN економить обчислювальні ресурси, коли облич немає, та є найбільш адаптивним до різних розмірів вхідних зображень; 3) якщо ж найбільше значення має час виконання, то може бути використаний метод на основі HOG дескрипторів. Також в роботі було показано, що каскади із детекторів адаптивно змінюють час виконання в залежності від складності та змісту зображення.

Бібл. 10, іл. 5, табл.1.

УДК 004.043: 004.67

Коротка Л.І. **Формування набору інформативних ознак при розв'язанні задач прогнозування довговічності конструкцій** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). - Дніпро, 2021. - С.46 – 53.

У роботі запропоновано спосіб здобуття інформативних ознак для навчальної вибірки у задачах прогнозування довговічності кородуючих конструкцій. Метою роботи є аналіз та оцінка інформативних ознак, які дозволяють покращити якість даних та структурувати їх. Для здобуття цінності кожної ознаки використовується метод Кендалла. Пропонується користуватися навчальною вибіркою для роботи з нейронними мережами або для побудови нечіткої бази знань тільки після формування набору інформативних ознак за їх індивідуальною цінністю.

Бібл. 13.

УДК 004.89

Ліневич О.О., Ліхоузова Т.А. **Пошукові системи** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). - Дніпро, 2021. - С.54 – 61.

Стаття присвячена огляду пошукових систем, що можуть працювати з медіафайлами. Актуальність роботи пов'язана з тим, що все більше інформації і інтернеті представлено не текстом, а зображеннями або відео. Мета дослідження – виявити проблеми, що впливають на ефективність роботи пошукових систем для роботи з медіафайлами.

Бібл. 27, іл. 0, табл. 0

УДК 004.048

Мартиненко А.А. **Структура та алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для ідентифікації культурних цінностей** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). - Дніпро, 2021. - С.62 – 71.

Розглядається алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень ідентифікації культурних цінностей і користувача з нею, питання визначення основних сценаріїв роботи і обмежень. Автором наводиться доцільність поділу програмної реалізації системи на окремі модулі, що дозволить зробити процес масштабування системи менш трудомістким і більш ефективним. Наводиться набір інструментарію для вирішення поставленого завдання. При чому для ідентифікації та аналізу різних типів об'єктів культурних цінностей можуть бути передбачені різні типи нейронних мереж. Також відзначається складність і комплексність підходу вирішення поставленого завдання, визначені перспективи та шляхи подальшого дослідження даної предметної області.

Бібл. 6, іл. 1, табл. 1.

УДК 621.771:669.01(07)

Богдан Д.А., Балакін В.Ф., Штода М.М., Николаєнко Ю.М. **Математична модель силової і деформаційної взаємодії смуги і валків при прокатці з інтенсивною пластичною деформацією** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). - Дніпро, 2021. - С.72 – 84.

Все більш жорсткі вимоги пред'являються до якості нафтогазових труб, зокрема, до їх корозійної стійкості. Використання вуглецевих марок для їх виготовлення за традиційною технологією не забезпечує достатнього рівня захисту від корозії або є надто дорогим. Застосування механізму інтенсивної пластичної деформації дає змогу значно змінити зернистість і тим самим підвищити механічні властивості металу та його корозійну стійкість. Розроблена схема простого процесу прокатки з холостим роликом передбачає використання інтенсивної пластичної деформації. Математична модель процесу дозволяє встановити справжню ступінь деформації смуги, спроектувати лабораторний експеримент, визначити корозійну стійкість металу та розробити промислову установку для обробки внутрішньої поверхні труб.

Бібл. 3, рис. 4.

УДК 519.6

Желдак Т.А., Коряшкіна Л.С., Гаранжа Д.М., Сердюк Д.О. **Система підтримки прийняття рішень про використання металу в багатоетапному прокатному виробництві** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). - Дніпро, 2021. - С.85 – 98.

Представлена система підтримки прийняття рішень базується на реалізації математичної моделі задачі оптимального використання металу в двоетапному процесі його розподілу при виробництві прокатної продукції, а саме: на етапі розливки сталі з ковша при конвертерному виробництві і під час формування заготовок в машинах з неперервним литтям. Критерій оптимальності - мінімізація втрат металу. Враховуються всі типи продукції, що виробляється, і варіанти розкрою в двох переділах. Попередня обробка замовлення передбачає його розбиття на такі частини, які можна виконати в межах однієї плавки з якомога повним заповненням ковша. Застосування розробленої системи забезпечить не тільки раціональне використання металу, але й мінімальну кількість переналадок обладнання різальних машин.

Бібл. 8, іл. 1, табл. 5.

УДК 004.056:004.94

Корнієнко В.І., Герасіна О.В., Тимофєєв Д.С., Сафаров О.О., Ковальова Ю.В. **Моделі моніторингу самоподібного трафіку інформаційно-комунікаційних мереж для систем виявлення атак** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.99 – 113.

Розглянуті авторегресійні, фрактальні та мультифрактальні моделі мережевого самоподібного трафіку, які дозволяють формувати адекватну еталонну модель (шаблон) «нормального» трафіку і за нею виявляти аномалії трафіку в системах виявлення та запобігання атак. Шляхом моделювання визначено, що сигнали нейромережевого і нейровейвлетного адаптивних фільтрів-апроксиматорів, а також гібридної та бета мультивейвлетних моделей адекватні експериментальному сигналу трафіка та мають відповідні статистичні закономірності і характеристики.

Бібл. 13, іл. 3, табл. 1.

УДК 519.281:621.317.088

Ігнаткін В.У., Алексєєнко С.В., Горбійчук М.І. **Автоматизація розв'язання задач оптимізації параметрів систем метрологічного обслуговування вимірювальних засобів автоматизованих технологічних процесів та їх безпека** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.114 – 133.

Зроблено спробу вирішити задачу охоплення різноманітних моделей в рамках синтезу і дослідження імітаційних комп'ютерних моделей, які активно використовують базу даних засобів вимірювання підприємств. Розроблено і програмно реалізовано модель, яка дозволяє в інтерактивному режимі, задавшись економічними і метрологічними критеріями, визначати значення оптимальних міжповірочних та міжремонтних проміжків, оптимальне число перевірок у міжремонтному проміжку та інші параметри. Отримано залежності, які дозволяють досліджувати вплив параметрів якості обслуговування на комплексні показники надійності. Використання результатів дослідження дасть змогу в діалоговому режимі автоматизованого робочого місця метролога вирішувати задачі оптимізації параметрів метрологічного обслуговування, проводити діагностику і прогнозувати метрологічну надійність засобів вимірювальної техніки, покращувати точність вимірювання і зменшувати ймовірність виникнення прихованих відмов.

Бібл. 16, іл.10.

УДК 004.4

Сокіл І.О., Волковський О.С. **Система конвертації вихідних програмних кодів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.134 – 145.

Наростаючий обсяг технологій, припинення підтримки засобів розробки, що активно використовуються, застаріле API і т. д., викликають потребу конвертації програмних кодів. У ІТ компаніях і не тільки часто виникає питання підтримки застарілого ПЗ, яким продовжують користуватися клієнти, або перекладу нинішнього ПЗ на актуальні технології. Для

програмістів раціональніше користуватися конвертацією, зберігши більшу частину існуючої кодової бази, ніж переписувати все ПЗ вручну, навіть якщо знадобиться ручне коригування. На даний момент якісних систем конвертації кодів існує небагато. Здебільшого, системи конвертації працюють непогано лише з подібними мовами програмування. Завдання конвертації програмних кодів є глибокою та складною темою. Програмісти намагаються покращити технології перекладу, стикаючись із багатьма труднощами. У цій статті розглядаються базові принципи побудови системи конвертації програмних кодів та деякі особливості під час її практичної реалізації.

Бібл. 12.

УДК 519.689:004.42

Булатецький Є.І., Зайцев В.Г. **Об одному підлоді до розробки симулятора руху автономного транспортного засобу з навчанням** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.146 – 155.

У даній роботі розглядається питання використання тренажерів для управління рухом автономного транспортного засобу та розробка нового симулятора на мові програмування C# та у середовищі для реалізації симуляційних сцен Unity 3D. У симуляції використовується нейронна мережа прямого поширення. Створений симулятор - базова, безкоштовна, початкова версія. Симулятор може бути завантаженим будь-яким розробником з платформи GitHub та використаний для реалізації, тестування різних алгоритмів навчання для нейронної мережі, у тому числі й створених власноручно.

Бібл. 7.

УДК 004.9

Демчишин А.А., Буренков Ю.С. **Веб-система моделювання поверхонь на основі патчей Кетмала-Рома** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.156 – 166.

В роботі розглянуто задачу розробки систематизованої сукупності кроків синтезу живої картини, яка включає: створення анімації, генерація маркеру, розміщення картини та маркеру на площині галереї; захоплення відео потоку; відстеження маркера доповненої реальності; позиціонування об'єктів доповненої реальності відносно маркера; відображення анімації на екрані пристрою. Показано, що застосування наведеної послідовності алгоритмів комп'ютерного бачення дає можливість проводити стабільне розпізнавання маркеру, а методи проективної геометрії дозволяють віднайти розміри маркера та визначити площину його розташування для позиціонування анімації.

Бібл. 10, іл. 9.

УДК 004.623

Ситник Р.С., Гнатушенко Вік.В. **Проектування та дослідження системи моніторингу руху товарів та ресурсів з застосуванням блокчейну** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.167 – 175.

Дослідження технології блокчейну в інформаційних системах моніторингу руху товарів та ресурсів для поліпшення процесів відстеження та автоматизації у ланцюгах постачання. Побудовано прототип з використанням технології блокчейну та смарт-контрактів. Проведено
ISSN 1562-9945 (Print) 207
ISSN 2707-7977 (Online)

її аналіз, досліджено властивості розробленої системи. Зроблено висновок про покращення прозорості процесу відстеження та автоматизації у ланцюгах постачання.

Бібл. 6, іл. 2.

УДК 662.9

Назаренко О.М., Назаренко І.А., Іщенко О.С., Бесараб Т.М., Кулік М.В. **Моделювання стратегічних пріоритетів при термомодернізації промислових будівель блокчейну** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.176 – 187.

В роботі вивчається питання аудиту промислових площ та огляд передових технологій виробництва будівельних матеріалів з відходів. Поточні виміри витрат енергоносіїв, перевищення лімітів та здорожчання ресурсів вимагає формувати науково-технологічні акценти для розробки комбінацій сумішей при формуванні будівельних матеріалів. В ході експериментів вивчено теплотехнічні властивості пінопласту, ековати, пінополістеролу, мінеральної вати, керамзиту, ековати з керамзитом. Досліди показують, що стандартні технології утеплення не працюють продуктивно у разі промислових будівель із мінімальним фінансуванням. Необхідна інтегрована технологія отримання субпродукту із вторинних ресурсів. Аудит відходів на підприємстві показав можливості використання первинних будівельних матеріалів для генерації субпродукту. Наявне обладнання з мінімальними доробками дозволяє отримувати новий продукт при ендотермічному процесі спучування керамзиту. Проведені дослідження термічного опору отриманого матеріалу показують зручність виробництва виробу дотримання санітарних умов будівель промислового підприємства.

Бібл. 9.

УДК 004.9:66.017

Захаров О.О., Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.В., Балакін В.Ф., Камкіна Л.В. **Дослідження особливостей цифрових зображень металоструктур, що містять карбід** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 6(137). – Дніпро, 2021. – С.188 – 199.

Стаття присвячена розробці інформаційної моделі призначеної для аналізу цифрових зображень металоструктур з карбідними вкрапленнями. Проведений аналіз літературних джерел, встановлено, що дослідження металоструктур є актуальним інструментом оцінки якісних характеристик. Наявність карбідів в структурі металу має значний вплив на його якість. Наведений огляд методики вивчення структури металу, визначено важливість етапу обробки зображення металоструктур. Описані основні способи отримання цифрових зображень структури металу. Представлені зразки металоструктур, з карбідами. Запропоновано процедуру цифрової обробки зображень металоструктур з карбідними вкрапленнями, яка складається з переведення зображення в напівтонове, контрастування та порогової бінарізації. Продемонстровані результати визначення карбідних вкраплень із застосуванням процедури цифрової обробки зображень. Показані переваги та недоліки підходу, визначені напрямки вдосконалення.

Бібл. 17.

UDK 621.365.5

Dukhnevich K.L., Kravets O.V., Spirintseva O.V. **Investigation of the parameters influence of a cylindrical inductor with two-layer inwall on its temperature** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.3 – 13.

The study of the thermal state of a two-layer inwall of a cylindrical inductor for twelve pairs of heat-insulating materials is considered. The mathematical model of process, the scheme of the cylindrical inductor, the table of pairs of the investigated heat-insulating materials of an inwall layers are resulted. The diagram of the inwall inner surface temperature depending on the pair of materials of its layers and the graph of the inwall temperature depending on the thickness of its layers for the pair "fireclay-asbestos" are calculated and constructed.

Bibl. 14, il. 3, tabl. 1.

УДК 004.056.5

Volkovskiy O., Pachevskiy M., Obydennyj E. **Concept of digital voting based on the Blockchain technology** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.14 – 23.

Democratic voting is one of the most popular methods of resolving socially important issues in developed countries. The most common method of voting is the paper system. This method has certain disadvantages, including technical (falsifications, calculation errors, lack of transparency), social and economic (high cost to the budget). Electronic voting systems have not become widespread due to security issues, verification of results or incorrect operation of software .

Blockchain technology is based on a transactional model. The principle of operation of blockchain technology is shown in Pic. 1. Each user has his "wallet" with unique public / private keys, which confirm any action of the user. Transactions (agreement, shipment), which are carried out by all users of the system, are stored in successive blocks. Since the hash of the data of the previous block is used when generating the next, the consistency of the data within the blockchain is ensured.

Bibl.5.

UDC 004.9

Hnatushenko V.V., Gnennyi I.O., Udovik I.M., Shevtsova O.S. **Segmentation of aerospace images using convolutional neural networks** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.24 – 33.

The paper proposes a new method for segmentation of aerospace images of high spatial resolution based on convolutional neural networks and mask generation. Semantic features are used to reduce errors at the semantic level of the outline. The results show that the proposed algorithm can effectively improve the overall segmentation accuracy of high spatial resolution remote sensing images and reduce training time and segmentation time.

Bibl. 9, Fig. 2.

UDC 004.93

Khabarлак K. **Mobile Face Detection Algorithm Inference Traits** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.34 – 45.

Five established as well as neural-network-based algorithms have been adapted for execution on mobile devices. Each method's accuracy and inference time have been analyzed. We suggest that for the practical use-cases the best algorithms are: 1) BlazeFace, which has stable and accurate predictions, however, the method accepts only two image resolutions as input; 2) MTCNN saves computational resources, when there are no faces, and is the most adaptive method with respect to input image resolution; 3) if time is of most importance, HOG face detector can be used. Also, we show that detector cascade adaptively changes inference time depending on image content complexity.

Ref. 10, fig. 5, tables. 1.

UDC 004.043: 004.67

Korotka L.I. **Formation of a set of informative features when deciding problems of predicting the durability of structures** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.46 – 53.

The paper proposes a method for extracting informative features for the training sample in the problems of predicting the durability of corroding structures. The work aims to analyze and evaluate the informative features that improve the quality of the data and to structure them. Kendall's method is used to determine the value of each trait. It is proposed to use the training sample to work with a neural network or to build a fuzzy knowledge base only after the formation of a set of information attributes on their value.

Bibl. 13.

UDC 004.89

Linevych O.O., Likhousova T.A. **Search engines for video** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.54 – 61.

The article is devoted to an overview of search engines that process media files. The relevance of the work is due to the fact that more and more information in the Internet is represented not by text, but either images or video. The purpose of the study is to identify problems that affect the search engines work performance. The key points for any search engine are the form of saving the tag tags used in the search and the algorithms used for the search (these factors determine the speed of the search), as well as how accurately the tags characterize the video (this factor determines the accuracy of the search). We are primarily interested in the accuracy of constructing tags that describe video clips. To increase a system efficiency it is necessary to make a model that would simultaneously combine sound and images (i.e. combine information that was produced during analysis of both), regarding the history of sounds and images of the video and form logical connections with minimal information loss.

Ref. 27, pic. 0, tabl. 0

UDC 004.048

Martynenko A.A. **The structure and algorithm of the intelligent decision support system for the identification of cultural values** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.62 – 71.

The algorithm of work of an intelligent decision support system for identification of cultural values and the user with it, the issues of determining the main scenarios of work and restrictions are considered. The author provides the expediency of dividing the software implementation of the system into separate modules, which will make the process of scaling the system less laborious and more efficient. A set of tools for solving the problem is presented. Moreover, for the identification and analysis of various types of objects of cultural values, various types of neural networks can be provided. It also notes the complexity and complexity of the approach to solving the problem, certain prospects and ways of further research of this subject area.

Bibl. 6, pic. 1, tab. 1.

UDC 621.771:669.01(07)

Bohdan D., Balakin V., Shtoda M., Nykolayenko Yu. **Mathematical model of force and deformation interaction of strip and rolls during rolling with intense plastic deformation** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.72 – 84.

Increasingly stringent requirements are imposed on the quality of oil and gas pipes, in particular, on their corrosion resistance. The use of carbon grades for their manufacture using traditional technology does not provide a sufficient level of corrosion protection, or is too expensive. The use of the mechanism of severe plastic deformation (SPD) makes it possible to significantly change the grain and thereby increase the mechanical properties of the metal and its corrosion resistance. The developed scheme of a simple rolling process with an idle roller assumes the use of SPD. The mathematical model of the process makes it possible to establish the true degree of strip deformation, design a laboratory experiment, determine the corrosion resistance of a metal, and develop an industrial installation for processing the inner surface of pipes.

Bibl. 3, pic. 4

UDC 519.6

Zheldak T.A., Koriashkina L.S., Haranzha D.M., Serdiuk D.O. **Decision support system for the use of metal in multi-stage rolling production** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.85 – 98.

The presented decision support system implies the mathematical model of the optimal metal use problem in the two-stage distribution in the rolled production: at the stage of casting steel from the ladle in converter production and during billet formation in machines with continuous casting. The optimality criterion is the metal losses minimization. We consider all production types and all cutting options in two rolling redistributions. Pre-processing the order involves its division into parts that can be performed within one melting, filling the bucket as fuller as possible. The application of the system will allow to use of metal rationally and minimize the number of readjustments of the equipment of cutting machines.

Bibl. 8, ill. 1, table 5.

UDK 004.056:004.94

Korniienko V., Gerasina O., Tymofieiev D., Safarov O., Kovalova Yu. **Models of monitoring of self-like traffic of information and communication networks for attack detection systems** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.99 – 113.

Autoregressive, fractal and multifractal models of network self-similar traffic are considered, which allow to form an adequate reference model (template) of "normal" traffic and to detect traffic anomalies in attack detection and prevention systems. Models of fractal Brownian motion and fractal Gaussian noise were considered as models of fractal motions, because they have self-similarity and long-term dependence properties that correspond to the properties of experimental data, as well as the possibility of their analytical interpretation. When evaluating and identifying processes for the implementation of autoregressive models use adaptive filters-approximators, among which there are neural network and neuro-wavelet. The following were used as multifractal models: a multifractal wavelet model with a beta distribution and a hybrid multifractal wavelet model in which the beta distribution is used on a coarse scale and the distribution of point masses on an accurate scale. By modeling as a result of adaptation and learning of models, autocorrelation functions, spectra and variances of model signals qualitatively correspond to the graphs of the experimental signal. In addition, the qualitative and numerical values of the characteristics of the model signals generally correspond to the characteristics of the experimental signal. In this case, beta multifractal wavelet models have a smaller error of determination of characteristics than hybrid multifractal wavelet models, and the relative root mean square error of approximation of the experimental signal using a neural network adaptive filter approximator does not exceed 0.046. Statistical verification by non-parametric criterion of signs allowed to establish the adequacy of experimental and model signals with a significance level of 0.01. Further research should be aimed at developing and using predictive models of self-similar traffic in attack detection and prevention systems, which will increase the efficiency of attack detection.

Bibl. 13, ill. 3, tabl. 1.

UDC 519.281:621.317.088

Ignatkin V., Alekseyenko S., Gorbichuk M. **Automation of solving problems of optimization of parameters of metrological maintenance system of measuring equipment** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.114 – 133.

The article attempts to solve the problem of coverage of various models within the framework of synthesis and research of simulation computer models that actively use a database of enterprise measurement tools. A model has been developed and implemented as software, which allows, in interactive mode, by specifying economic and metrological criteria, determining the values of optimal inter-verification and inter-repair intervals, the optimal number of checks in the inter-repair period and other parameters.

The use of the results of the study allows a metrologist to solve the problems of optimization of parameters of metrological service, to diagnose and predict metrological reliability

of means taking into account the impact on the quality management system of the enterprise, to improve the accuracy of measurement and reduce the likelihood of hidden failures.

Ref. 16, fig.10.

UDK 004.4

Sokol I., Volkovskiy O. **Program source codes conversion system** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.134 – 145.

The growing volume of technologies, the end of actively used development tools support, outdated API etc., entails the need of program codes conversion. In IT companies and not only, often begged the question of deprecated software support, which customers continue to use, or translation of current software to actual technologies. It is more rational for programmers to use the conversion and save most of code base, than rewriting all software by hand, even if manual adjustment is needed. At this moment, there are few high-quality code conversion systems. Largely, conversion systems work well only with similar programming languages. The task of program codes conversion is a deep and complex topic. Programmers are trying to improve translation technologies and facing with many challenges. This article discusses the basic principles of building a system for program codes conversion and some features of its practical implementation.

Bibl. 12.

UDC 519.689:004.42

Butatetsky E.I., Zaytsev V.G. **On one approach to the development of a simulator of the movement of an autonomous vehicle with training** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.146 – 155.

The article deals with the use of simulators for controlling the movement of an autonomous vehicle and development of a new simulator. The approach to creating a simulator of motion of a vehicle in the C# programming language is described. In the development for the implementation of simulation scenes used Unity 3D multi-platform tool is used in the development. The simulation uses direct propagation neural network that does not have a clear number of input level neurons, having only a constant output level, consisting of two neurons: the first one is responsible for acceleration, the second one is responsible for the ability of the car to turn left or to the right. Also, there is no clearly defined number of hidden levels and neurons located there. All this data in the simulation can be determined by the user. The input to the neural network values received from lasers. The lasers measure the distances to obstacles and feed the values to the input of the neural network. A sigmoidal activation function is implemented. To train the neural network an augmented learning algorithm is used, namely, a genetic algorithm applied to each vehicle, starting with the creation of each vehicle's own list of genes. In the network of each vehicle the number of genes is equal to the number of weights. For the first generation, the weights are set randomly. For the simulation, a generalized neural network with a large number of settings, with it is possible to change its structure: it is possible to change the number input level neurons that depend on the number of lasers at vehicle, their range, the height at which they detect interference, field of their visibility; you can change the number of hidden levels and the number of neurons that will be

located there; control the mutation process used in the genetic algorithm; define the value of the mutation and the range of variation at which values can be varied; turn on and off the self-preservation, change vehicle speed, acceleration, set the maximum and minimum speed, edit the parameters responsible for the rotation of the car and its smoothness. Implementation of the project is provided on GitHub. The simulator can be downloaded by any developer from GitHub and can be used to implement and test various neural network training algorithms, including work of your own design.

Bibl. 7.

UDC 004.9

Demchyshyn A.A., Buriykov Y.S. **Web-system for modeling surfaces based on Catmull-Rom patches** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.156 – 166.

An algorithmic model of the Hermit surface construction under the Catmull-Rom condition and nonzero surface torsion vectors is obtained. It is shown that the Catmull-Rom condition makes it possible to glue individual patches with first-order smoothness, which is a guarantee of ergonomic surfaces. It is shown that a single control point has a local effect on the surface, namely on the 12 surrounding patches. The development of a software system for modeling the surfaces of objects with the client part in the form of a web application, which is based on the architectural style of SPA, showed that the user experience of such an application is close to the experience of using a desktop program.

Bibl. 10.

UDC 004.623

Sytnyk R., Hnatushenko Vik. **The Design and Research of a System for Monitoring the Movements of Goods and Resources Using Blockchain** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.167 – 175.

Research of blockchain technology in information systems for monitoring the movement of goods and resources to improve tracking and automation processes in supply chains. Building a prototype using blockchain technology and smart contracts. Analysis, properties of the developed system are investigated. Based on prototyping, it was concluded that the transparency of the tracking and automation process in supply chains is improved.

Refs. 6., imgs. 2.

UDC 662.9

Nazarenko O., Nazarenko I., Ishchenko O., Besarab T., Kulik M. **Modeling strategic priorities for thermal modernization of industrial buildings** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.176 – 187.

The technology for generating positive ideas is based on human experience, the need to improve the technological process or reduce the operating costs of production and the basic amount of industrial waste. The work devoted the audit of industrial buildings and an overview of advanced technologies for the production of building materials from waste. Current measurements of energy consumption, exceeding the limits and increasing the cost of resources require the formation of scientific and technological accents for the development

of mixture combinations in the formation of building materials. In the course of the experiments, the thermal properties of polystyrene, ecowool, expanded polystyrene, mineral wool, expanded clay, ecowool with expanded clay were studied. Experiences show that standard insulation technologies do not work productively in the case of industrial buildings with minimal funding. An integrated technology for obtaining a by-product from secondary resources is needed. Waste audit at the enterprise showed the possibility of using primary building materials for the generation of by-products. The available equipment with minimal modifications makes it possible to obtain a new product during the endothermic process of expanded clay swelling. The possibility of obtaining materials of different densities is convenient for use in any enterprise, when issuing recommendations for increasing the thermal resistance of the shell. The conducted studies of the thermal resistance of the obtained material show the convenience of manufacturing a product for compliance with the sanitary conditions of industrial buildings.

Bibl. 9.

UDC 004.9:66.017

Zakharov A., Selivyorstova T., Selivyorstov V., Balakin V., Kamkina L. **Features of metal structures digital images containing carbides investigation** // System technologies. N 6(137) - Dnipro, 2021.- P.188 – 199.

The article is devoted to the development of an information model intended for the analysis of metalstructures digital images with carbide inclusions. The analysis of literary sources is carried out, it is established that the study of metal structures is an important tool for assessing qualitative characteristics. The presence of carbides in the metal structure has a significant impact on its quality. A review of the for studying the structure of a metal is given, and the importance of the stage of metal structures image processing is determined. The main methods for obtaining digital images of the alloy structure are described. Samples of metal structures with carbides are presented. A procedure for digital processing of metalstructures images with kibide inclusions is proposed, which consists of image conversion to grayscale, contrasting, and threshold binarization. Demonstrated results of carbide inclusions determination using digital image processing procedure. The advantages and disadvantages of the approach are shown, directions for improvement are identified.

Bibl. 17.

Системні технології

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 6 (137)

Головний редактор: к.т.н., доц. Т.В. Селівьорстова

Технічний редактор та секретар збірки: к.т.н., доц. К.Ю. Островська

Здано до набору 25.10.2021. Підписано до друку 27.10.2021.

Формат 60x84 1/16. Друк - різнограф. Папір типограф.

Умов. друк арк. – 15,357. Обл.-видавн. арк. – 13,438.

Тираж 300 прим. Замовл. – 06/21

Національна металургійна академія України,
кафедра Інформаційних технологій та систем: ІВК «Системні технології»
49600, Дніпро, а/с 493

<http://st.nmetau.edu.ua>

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:

Серія КВ № 8684 від 23 квітня 2004 рік

Редакційна колегія

Селівьорстова Тетяна Віталіївна
(головний редактор)

доцент, кандидат технічних наук

Алпатов Анатолій Петрович

Член-кореспондент НАН України,
професор, доктор технічних наук

Архипов Олександр Євгенійович

професор, доктор технічних наук

Бабічев Сергій Анатолійович

доцент, доктор технічних наук

Білозьоров Василь Євгенович

професор,

доктор фізико-математичних наук

Гече Федір Елемирович

професор, доктор технічних наук

Гуда Антон Ігорович

(заст. головного редактора)

професор, доктор технічних наук

Гнатушенко Вікторія Володимирівна

(вчений секретар)

професор, доктор технічних наук

Гнатушенко Володимир Володимирович

професор, доктор технічних наук

Гожий Олександр Петрович

професор, доктор технічних наук

Єрьомін Олександр Олегович

професор, доктор технічних наук

Кіріченко Людмила Олегівна

професор, доктор технічних наук

Світличний Дмитро Святозарович

професор, доктор технічних наук

Скалозуб Владислав Васильович

професор, доктор технічних наук

Хандецький Володимир Сергійович

професор, доктор технічних наук

Національна металургійна
академія України, Україна

Інститут технічної механіки

НАНУ і ДКАУ, Україна

Національний технічний університет

України «Київський політехнічний інститут»
імені Ігоря Сікорського», Україна

Jan Evangelista Purkyně University
in Ústí nad Labem

Університет імені Яна Євангеліста Пуркіне,
Усті над Лабем, Чеська Республіка

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна

Ужгородський національний університет,
Україна

Національна металургійна
академія України, Україна

Національна металургійна
академія України, Україна

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», Україна

Чорноморський національний університет
імені П.Могили, Україна

Національна металургійна
академія України, Україна

Харківський національний університет
радіоелектроніки, Україна

Akademia Górniczo-Hutnicza

Краківська гірничо-металургійна академія
ім. С. Сташці, Польща

Дніпропетровський національний
університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна, Україна

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна