

DOI: 10.31319/2519-8106.2(47)2022.269661

UDK621.002:621.9.01

**S. Kovalevskyy**, doctor of technical sciences, prof.

**D. Sydiuk**, postgraduate

Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

## MODELING OF DIAGNOSTICS OF ENGINEERING OBJECTS TO OPTIMIZE THEIR LIFE CYCLE

*The aim of the study is to create a methodology for diagnosing the state of objects on the basis of improving the transformation of state coordinates and their classification.*

*The vector space transformation allows to perform the recognition of images of multidimensional objects represented by the vector space by the decision function based on the rotation of coordinates with the subsequent reflection of one of the coordinate axes. In real production, this approach allows on simplified databases of precedents of small volume with the choice of the presence of the parameter "yes/no" on the basis of the same mathematical model and the formulation of optimization problems to carry out not only the study of the influence of individual production factors on the quality and durability of the product within its overall life cycle, but also to obtain data on the basis of which general recommendations can be determined by changing the manifestation of features relative to the target function. This will allow, in addition to the actual diagnosis of the existing production, to conduct research on future production, as well as to analyze the development strategies of both individual stages and their combination.*

**Keywords:** modeling, vector transformation, coordinate system transformation, optimization methods, forecasting.

*Метою дослідження є створення методики діагностики стану об'єктів на основі вдосконалення трансформації координат стану та їх класифікації.*

*Перетворення векторного простору дозволяє здійснювати розпізнавання зображень багатовимірних об'єктів, представлених векторним простором, за допомогою вирішальної функції на основі повороту координат з подальшим відображенням однієї з координатних осей. У реальному виробництві такий підхід дозволяє на спрощених базах даних прецедентів невеликого обсягу з вибором наявності параметра «так/ні» на основі тієї ж математичної моделі та постановкою оптимізаційних задач здійснювати не тільки дослідження, впливу окремих виробничих факторів на якість і довговічність продукту в межах його загального життєвого циклу, а також отримати дані, на основі яких можна визначити загальні рекомендації за зміною прояву ознак щодо цільової функції. Це дозволить, крім власне діагностики існуючого виробництва, проводити дослідження майбутнього виробництва, а також аналізувати стратегії розвитку як окремих етапів, так і їх сукупності.*

**Ключові слова:** моделювання, перетворення векторів, перетворення систем координат, методи оптимізації, прогнозування.

### Problem's Formulation

The competitiveness of a product, like that of an organization, is determined not only by quality parameters (reliability, maintainability, quality of surfaces, period of continuous operation, etc.), but also by the speed of response to market needs, time from drawing up technical specifications to launch on the market, period of production of a machine unit, operation, disposal [1,2,3].

The life cycle of products of the engineering industry is considered from the moment of designing the technological process to its complete disposal. The level of functional suitability of products is formed due to the designed structure, its manufacturability, as well as by the implementation of methods and regimes of mechanical processing and assembly of products. After that, the level of functionality of the products only decreases without the possibility of repair. The design, manufacturing and disposal phases should take a minimum of time and provide high performance (level of functional suitability, reliability, low cost, safe disposal, optimal level of material utilization ratio, etc.), and the

operation stage is accompanied by a decrease in the functionality of the products. In this direction, the most relevant is the development of methodical approaches for determining classification groups relative to the stages of product life cycles on the basis of multiple diagnostic features.

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

Recently, in classification tasks, group methods are widely used, which consist in the synthesis of the results obtained when applying different algorithms to a given source information, or in the selection of effective algorithms. There are different ways of determining group classifications [4,5,6]. In particular, to represent the classifications, you can use the definition in which the group classification is when the sum of the distances to the centers is minimal with the maximum grouping of the precedent vectors in each classification group.

#### **Formulation of the study purpose**

Image recognition is traditionally used in the following areas: search and classification of information in databases; thematic classification during text processing; symbol recognition, working with maps, face recognition, dividing objects; production (quality control, optimization of technological processes); biometrics; forecasting in meteorology, seismology, geology, social processes, etc. [7,8].

At the stage of image perception, values of characteristic properties of the object are obtained, such as measurement of linear dimensions, pre-processing of data (noise removal), indexing of characteristics at the stage of measurement of object properties, decision-making at the stage of classification (division into classification features) [8, 9,10,11].

The development of a recognition system involves the formation of a data array based on a matrix of precedents (a training sample is a set of objects for which their images are consciously known); choosing a model of object representation; selection of significant indicators as one of the most important stages of development of the recognition system; development of a classification rule that, based on the values of the characteristic properties of the object, will assign it to one of the images; drawing up an algorithm for the process of recognizing the states of objects (diagnosis of the states of objects) based on a classification rule; checking the quality of the recognition algorithm (diagnostics); use of results to solve diagnostic optimization tasks before making management decisions.

The main task of the research is to create a technique for diagnosing the state of objects based on the improvement of the transformation of state coordinates and their classification.

#### **Presenting main material**

##### ***The principle of combining state vectors of objects***

Illustration of the proposed coordinate transformation for the diagnosis of presentation objects on the classic "exclusive or" task. When compiling the matrix of precedents, it is permissible: descriptions of objects in the vector space of characteristic features of precedents are assigned to the rows of the matrix of precedents, and characteristic features to the columns. The element acquires the value "1" if the  $j$ -th feature is characteristic of the  $i$ -th object, "0" is not characteristic. The objects to which the equal lines of the matrix correspond belong to one image, and the set of corresponding lines of the matrix defines the description of the given image [5].

In the general formulation, this task is represented by the vector  $\{A,B\} = (x,y)$  have the values presented in tabl. 1.

*Table 1.* Vector coordinate data  $\{A,B\} = (x,y)$

	x	y
B	0	0
A	1	0
A	0	1
B	1	1

To solve the problem of pattern recognition, it is necessary to ensure such a change in the coordinate system, in which the points will be located on one (Tabl. 2) and on the other (Tabl. 3) side of the dividing line of sets.

Table 2. The coordinate system of v. B for solving the problem of pattern recognition

	x	y
B	0	0
B	1	1

Table 3. The coordinate system of v. A for solving the problem of pattern recognition

	x	y
A	1	0
A	0	1

It is certainly impossible to find such a straight line. However, if you expand the coordinate system and map the coordinate points of one group of the training sample relative to one of the coordinate axes, then the combined points  $Y(0,0) = B(0)$  and  $Y(1,1) = B(1,1)$ , and also the points  $Y(0,1) = A(0,1)$  and  $Y(1,0) = A(1,0)$  will allow grouping with the division of sets of vectors. This, in turn, will make it possible to assign each vector to one or another group of homogeneous features, as shown (Fig. 1).

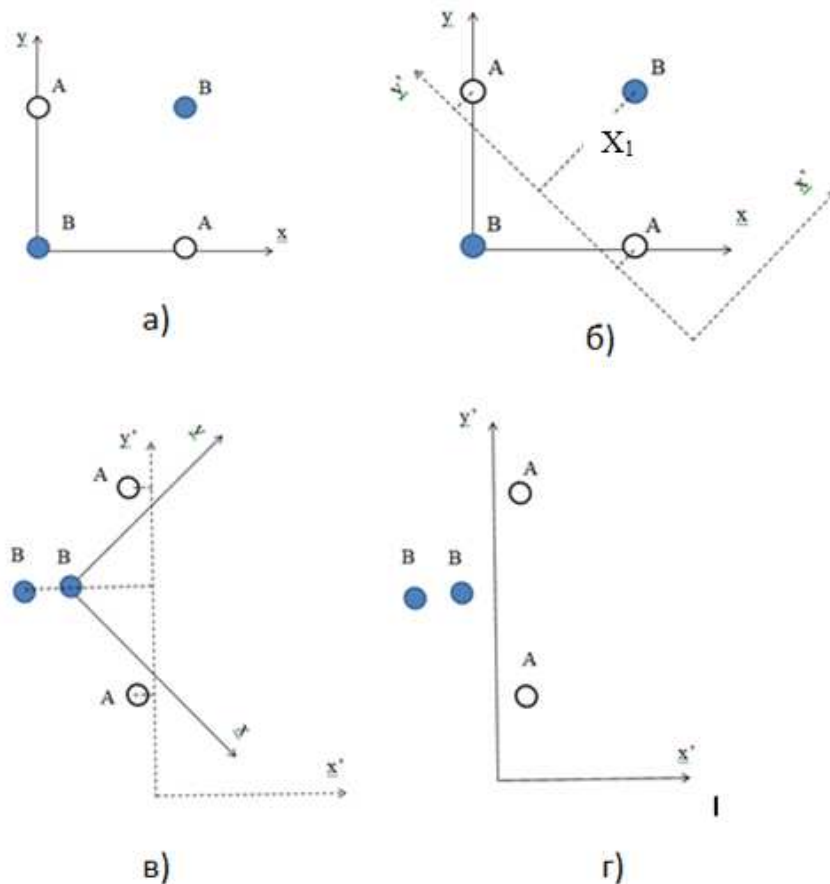


Fig. 1. Graphical illustration of the "exclusive or" problem: a) general formulation of the problem in x-y coordinates; b) rotation of x-y coordinates parallel to one y axis of two features in the general classification group of the training set; c) display (transfer) relative to the selected axis of all points characterizing the coordinates of the object's states (A and B); d) displacement of the y axis, which separates the sets in the direction of the location of the points of the classification set A and B by an amount equal to half the distance from the points B to the nearest point A

**The task of forecasting situations**

Tabl. 4 where  $m = 32$  data on  $n = 12$  situations that were diagnosed in the process of manufacturing and operating engineering products  $a_{11}, a_{12} \dots a_{21}, a_{22} \dots a_{mn}$ . The values of the binary features are equal to 0 (answer "no" for the input feature) and 1 (answer "yes" for the input feature).

Table 4. Significance of  $x_i$  precedents

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	answer
1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1
2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
3	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	2
4	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1
5	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
6	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
7	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
8	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	2
9	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	2
10	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	2
11	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
12	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
13	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	2
14	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
15	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	2
16	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	2
17	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	2
18	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
19	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
20	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1
21	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1
22	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	2
23	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	2
24	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1
25	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1
26	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
27	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	2
28	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
29	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
30	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	2
31	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	2
32	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

Coordinate transformation consists in finding new vector values corresponding to the following system of equations (1)



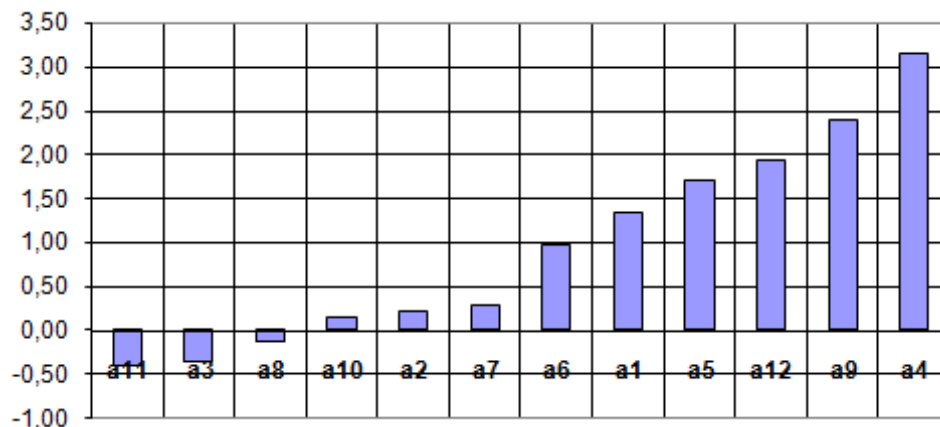


Fig. 3. Ranking of coefficients  $a_i$

On the basis of these results, it is possible to predict the state of objects and apply control influences in order to manage the life cycle of products.

Solving optimization tasks.

If we take into account the possible costs of  $C_i$  to achieve the required values of  $x_i$ , it is possible to provide a mathematical model of the optimization problem in the form presented by the system (4)

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \sum_1^{12} a_i \cdot x_i = const, \\ a_i \geq 0, \\ a_i \leq 1, \\ x_i = 0; 1, \\ F_c = \sum C_i \cdot a_i \cdot x_i \rightarrow min \end{array} \right. \quad (4)$$

The essence of the task is that it is necessary to determine such a combination of  $x_i$ , values for which it is possible to achieve the minimum total costs for achieving the goal  $F$ . As a constant, the center of the distribution of the function of the decisive rule for the life-span management strategies of engineering products is taken. Solving the optimization problem of finding values of chi by the method of conjugate gradients for  $C_i = 10$ ;  $C_i = 5$ ;  $C_i = 1$  obtained results (Tabl. 6), which allow us to draw conclusions.

Table 6. Values of chi signs for different decision-making strategies

Значення ознак	F = 6,65			F = 2,94		
	C = 1	C = 5	C = 10	C = 1	C = 5	C = 10
$a_1$	0,43	0,43	0,43	0,00	0,00	0,00
$a_2$	0,92	0,95	0,95	0,66	0,61	0,61
$a_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$a_4$	1,00	1,00	1,00	0,37	0,41	0,41
$a_5$	0,51	0,51	0,51	0,14	0,08	0,08
$a_6$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$a_7$	0,99	0,99	0,99	0,98	1,00	1,00
$a_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$a_9$	0,18	0,18	0,18	0,00	0,00	0,00
$a_{10}$	0,99	0,98	0,98	1,00	0,94	0,94
$a_{11}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$a_{12}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

1. Any strategy must provide for the financing of directions  $a_6$ ,  $a_7$  and  $a_{10}$ .
2. The influence on the outcome of the election campaign can have a difference in the financing of directions  $a_2$ ,  $a_4$  and  $a_5$ .

The optimization task of allocating funds  $\sum_1^{12} C_i = const$  to achieve the required goal is described by the system of expressions (5).

$$\left\{ \begin{array}{l} F_c = \sum C_i \cdot a_i \cdot x_i = const, \\ a_i \geq 0, \\ a_i \leq 1, \\ x_i = 0; 1, \\ \sum_1^{12} C_i = const \\ F = \sum_1^{12} a_i \cdot x_i \rightarrow \max(\min) \end{array} \right. \quad (5)$$

Solving the second optimization task of searching for  $x_i$  values by the method of combined gradients, results were obtained (Tabl. 7), which allow us to conclude that in order to achieve positive results of product life cycle management, attention should be paid to increasing features  $a_3$ ,  $a_8$  and  $a_{11}$  reducing the manifestation of features  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_4$ ,  $a_5$ ,  $a_6$ ,  $a_7$ ,  $a_9$ ,  $a_{10}$ , and  $a_{12}$ .

Table 7. The value  $a_i$  of the  $x_i$ , features obtained when solving the second optimization task

Significance of signs	for $F \rightarrow \max$	for $F \rightarrow \min$
$a1$	1	0
$a2$	1	0
$a3$	0	1
$a4$	1	0
$a5$	1	0
$a6$	1	0
$a7$	1	0
$a8$	0	1
$a9$	1	0
$a10$	1	0
$a11$	0	1
$a12$	1	0

These findings apply only to the situation described in the table of precedents. However, the methodical approach, mathematical models and formulation of optimization tasks remain general and can be successfully applied in the practical solution of optimization problems of the life cycle of engineering products.

### Conclusions

It is shown that transformations of vector space allow recognition of images of multidimensional objects represented by vector space. At the same time, a fairly simple decision rule can be constructed based on the combination of coordinate rotation with the subsequent display of one of the coordinate axes. This operation can be repeated by applying the "rotate-reflect" functions of each pair of answers of the same class. As a result, the values of the parameters of the separation function are formed.

The method of determining the value of the parameters of the separation function allows predicting the degree of influence of each component of the image vector. Taking into account the costs

of achieving a given goal, it is possible to justify such strategies that will allow obtaining a result with the desired effect.

The proposed approach makes it possible to substantiate the design of innovative technologies that would ensure the optimization of the life cycles of machine-building products.

### References

- [1] Bytov V.P., Kadebska E.V. (2019) Upravlinnya konkurentospromozhnistyu produkcii pidpriemstv v rinkovih umovah [Management of the competitiveness of enterprise products in market conditions] *Economic Forum*, (4), 98–102.
- [2] Zaloga V., Ivanov V., Pavlenko I., Dehtiarov I. (2020) Tekhnologicheskoe obespechenie effektivnosti proizvodstva na obrabatyvayushchih centrakh s CHPU [Technological assurance of manufacturing effectiveness on CNC machining centers] *I. Karabeovic Ed. Handbook of Research on Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing*, 344–384. DOI: 10.4018/978 - 1 - 7998 - 2725 - 2.
- [3] Kotliar, A., Basova, Y., Ivanov, V., Litvynenko, M., Zinchenko, O. (2020) Obespechenie ekonomicheskoy effektivnosti predpriyatij putem mnogokriterial'nogo vybora optimal'nogo proizvodstvennogo processa [Ensuring the economic efficiency of enterprises by multi-criteria selection of the optimal manufacturing process] *Management and Production Engineering Review*, (11(1)), 52–61.
- [4] DSTU ISO 9004:2018. (2019) Upravlinnya yakistyu. Yakist' organizacii. Nastanovi shchodo dosyagnennya stalogo uspihu [Quality management. The quality of the organization. Guidelines for achieving sustainable success] Kyiv: SE "UkrNDNC".
- [5] Chertov O., Tavrov D. (2014) Memetichnij algoritm virishennya zadachi zabezpechennya grupovoi anonimnosti [Memetic Algorithm for Solving the Task of Providing Group Anonymity]. *M. Jamshidi, V. Kreinovich, J. Kacprzyk Eds. Springer International Publishing Switzerland*, (312), 281–292.
- [6] Pasichnyk V. V., Reznichenko V. A. (2006) Organizaciya baz danih ta znan' [Organization of databases and knowledge] Kyiv: BHV Publishing Group.
- [7] Kvetny R.N. Reminnyi O.A. (2009) Metod binarnykh krugovykh vychislenij dlya klassifikacii ob'ektov po ih forme [Binary circular calculations method for the objects classification using their form] *Aplikova nevedecke novinki*, 54–60.
- [8] Han J. (2012) Intellektual'nyj analiz dannyh: koncepcii i metody [Data mining: concepts and techniques] J. Han, M. Kamber, J. Pei Ed. Elsevier.
- [9] Hastie T. (2009) Elementy statisticheskogo obucheniya: intellektual'nyj analiz dannyh, vyvod i prognozirovanie [The Elements of Statistical Learning: DataMining, Inference, and Prediction] T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. Springer-Verlag
- [10] Kovalchuk S.S., Mazurets O.V. Rozrobka tekhnologii dekompozitivnogo rozpoznavannya simvol'noi informacii z kreslen' na bazi nejronnih skhem [Development of the technology of decompositive recognition of symbolic information from drawings based on neural circuits] *Applied geometry and engineering graphics*. Melitopol: TDATU, ((4)44), 86–94.
- [11] Huang Q., Cai Z., Lan. T. A (2021) Edina nejronna merezha dlya viyavlennya ta rozpoznavannya nomernih znakiv u zmishanomu stili [Single Neural Network for Mixed Style License Plate Detection and Recognition], *IEEE Access* 9:21777–85. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3055243.

### МОДЕЛЮВАННЯ ДІАГНОСТИКИ ОБ'ЄКТІВ МАШИНОБУДУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Ковалевський С.В., Сидюк Д.М.

Метою дослідження є створення методики діагностики стану об'єктів на підставі удосконалення перетворення координат станів та їх класифікації.



Дослідження з розробки системи розпізнавання для вдосконалення діагностики об'єктів проводиться на основі вирішення задачі «виключаюче «але»» зі застосуванням цільових функцій. У якості апробації застосовується аналіз частини виробництва з дванадцяти розглянутих факторів для тридцяти вох прецедентів.

Перетворення векторного простору дозволяє виконати розпізнавання образів багатовимірних об'єктів, представлених векторним простором вирішальною функцією на основі повороту координат з наступним відображенням однієї з координатних осей. У реальному виробництві такий підхід дозволяє на спрощених базах прецедентів малого об'єму з вибором наявності параметру «так/ні» на основі однакової математичної моделі та постановки оптимізаційних завдань проводити не тільки дослідження впливу окремих виробничих факторів на якість та довговічність виробу у рамках його загального життєвого циклу, але й отримати дані, на основі яких можуть бути визначені загальні рекомендації через зміну прояву ознак відносно цільової функції. Це дозволить, окрім фактичної діагностики існуючого виробництва, проводити дослідження майбутнього виробництва, а також аналізувати стратегії розвитку як окремих етапів, так і їх сукупності.

Методика визначення значення параметрів розділової функції дозволяють прогнозувати ступінь впливу кожної складової вектора на кінцевий результат та представлення загального образу. Запропоновані системи рівнянь для вирішення задачі «виключаюче «або»» на основі повороту координат з наступним відображенням однієї з координатних осей та застосуванням цільової функції дозволяють виконувати багатокритеріальне дослідження стратегії, які дозволять отримати результат з бажаним ефектом.

Отримані дані дають можливість застосовувати метод визначення системи координат векторного простору, який розділяє результати за мінімумом цільової функції. На основі цього проводиться визначення впливу факторів процесів виробництва на етапах виготовлення на кінцевий результат. Такий підхід дає можливість обґрунтовувати проектування інноваційних технологій, які б забезпечували оптимізацію життєвих циклів виробів машинобудівного виробництва.

### Література

1. Битов В.П., Кадебська Е.В. Управління конкурентоспроможністю продукції підприємств в ринкових умовах. *Економічний форум*. 2019. № 4. С. 98–102.
2. Zaloga V., Ivanov V., Pavlenko I., Dehtiarov I. Technological assurance of manufacturing effectiveness on CNC machining centers. I. Karabeovic Ed. Handbook of Research on Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing. 2020. P. 344–384. DOI: 10.4018/978 - 1 – 7998 – 2725 – 2.
3. Kotliar, A., Basova, Y., Ivanov, V., Litvynenko, M., Zinchenko, O. Ensuring the economic efficiency of enterprises by multi-criteria selection of the optimal manufacturing process. *Management and Production Engineering Review*. 2020. 11(1). p. 52–61.
4. ДСТУ ISO 9004:2018. Управління якістю. Якість організації. Настанови щодо досягнення сталого успіху. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2019. 68 с.
5. Chertov O., Tavrov D. Memetic Algorithm for Solving the Task of Providing Group Anonymity. M. Jamshidi, V. Kreinovich, J. Kacprzyk Eds. Springer International Publishing Switzerland, 2014. vol. 312. P. 281–292.
6. Пасічник В. В., Резніченко В. А. Організація баз даних та знань. Київ: Видавнича група BHV. 2006. 384 с.
7. Kvetny R.N. Reminnyi O.A. Binary circular calculations method for the objects classification using their form. *Aplikova nevedecke novinki*. 2009. P 54–60.
8. Han J. Data mining: concepts and techniques. J. Han, M. Kamber, J. Pei Ed. Elsevier. 2012. 744 p.
9. Hastie T. The Elements of Statistical Learning: DataMining, Inference, and Prediction. T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. Springer-Verlag. 2009. 746 p.
10. Ковальчук С.С., Мазурець О.В. Розробка технології декомпозитивного розпізнавання символічної інформації з креслень на базі нейронних схем. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Мелітополь: ТДАТУ. 2009. Вип. 4. Т. 44. С. 86–94.
11. Huang Q., Cai Z., Lan. T. A Single Neural Network for Mixed Style License Plate Detection and Recognition. 2021. IEEE Access 9:21777–85. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3055243.