

УДК 621.777.4

DOI: 10.37142/2076-2151/2020-1(50)210

Ковалевський С. В.
Сидюк Д. М.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ СИГНАТУР ЇХ ЗОБРАЖЕНЬ

Комп'ютерна обробка і розпізнавання об'єктів (обличчя людини, лікарські рослини, засоби пересування) за допомогою механізмів формування та виведення зображень знайшло застосування в багатьох сферах діяльності – у промисловості, медицині, мистецтві (оцінка достовірності картин, контроль якості штампованих виробів, виявлення та супроводження об'єктів). Це дозволяє підвищити рівень автоматизації на виробництві, виключити суб'єктивні чинники при оцінці параметрів, зменшити ресурсомісткість операцій контролю. [1, 2, 3]. У практиці аналізу зразків сигналів, якими, зокрема, є зображення візуальних об'єктів, проводиться ідентифікація різних характеристик об'єктів, наприклад, приналежність до певного кластеру. Авторами робіт [4, 5] запропоновані методи визначення всіх розмірів зразків по акустичному сигналу, який представляє собою амплітудно-частотну характеристику їх власних коливань (частотному спектру або сигнатурі). Точність такої діагностики розмірів досягає 0,1 мм. Такі ж оцінки координат конфігурації важільних механізмів [6].

Застосовуючи такий же підхід, становить практичний інтерес ідентифікація об'єктів для встановлення взаємозв'язку між потрібними фізико-механічними властивостями сталей та технологічними параметрами режимів їх термічної обробки. Така процедура важлива для будь-яких заготовок, наприклад, отриманих за допомогою обробки тиском (холодне об'ємне штампування, пресування, волочіння), через суттєвий вплив зміцнення металу на підвищення експлуатаційних властивостей і життєвого циклу виробів.

Метою роботи є дослідження інформативності частотних спектрів діагностичних сигналів зображення (фотографій) при ідентифікації об'єктів.

За об'єкти досліджень прийняти приклади зразків сталевих заготовок після термообробки зі структурами фериту та перліту на фотографіях у відтінках сірого (табл. 1) [7]. У табл. 1 на фото наведено без обробки [8] і з обробкою «Видалення шуму + Поставити авторівні». Використання зображень вимагає перетворення безперервного (аналогового) сигналу в цифровий масив. Це включає виконання двох перетворень – дискретизація (заміна реального безперервного зображення набором відліків в дискретні моменти часу) і квантування (заміна безперервної безлічі значень яскравості безліччю квантованих значень), тобто, створення сигнатури зображення [8]. Однак, кожне зображення, окрім корисної інформації про структури у сплавах, несе ряд неконтрольованих параметрів (шуми від основного носія зображення (папір), умови рівню освітлення, параметрів камери та сканеру), вплив яких потрібно виключити. Кожному з мікрошліфів відповідають сигнатури зображень, що представлені в табл. 2.

Для вирішення задачі ідентифікації сигнатур зображень і технологічних параметрів термічної обробки з фазовими перетвореннями у структурі запропоновано інструмент нейромережного моделювання [9, 10]. Створення нейромережної моделі, при умові застосування оптимальних об'ємів навчаючої та тестової множин, дозволяє встановити зв'язок між зображеннями і технологічними параметрами. Але, зображення потребує кількісної оцінки, якими прийняти цифрові масиви сигнатур розподілу пікселів зображень.

Перетворення зображення в цифровий масив (рис. 1) виконано у середовищі пакету прикладних програм MatLab 6.1 [8] за допомогою команди читання зображень $A = \text{imread}(\text{'image.jpg'})$.

Для перетворення цього масиву з ціллю побудови прогнозу моделі на нейромережному базисі, запропоновано використання команди $j = \text{imhist}(A, n)$ і отримання найбільш інформативної за умовою мінімуму показника ентропії гістограми розподілу пікселів за яскравістю. Вирішення цього запропоновано на підставі показника ентропії гістограми, що відповідає зразкам табл.1 згідно формулам (1) і (2).

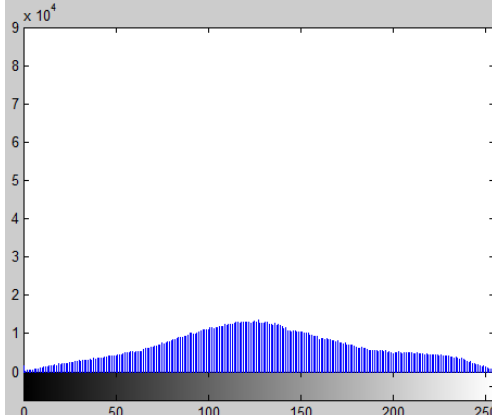
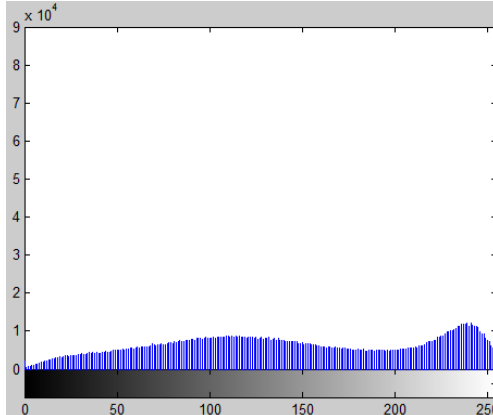
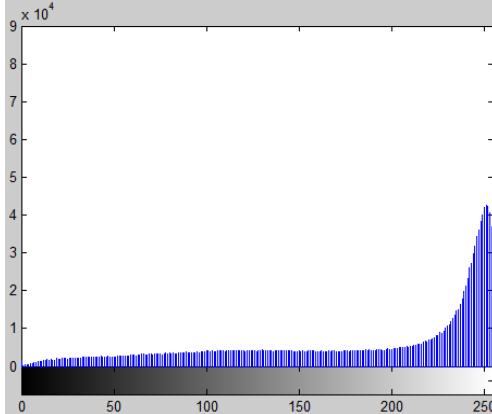
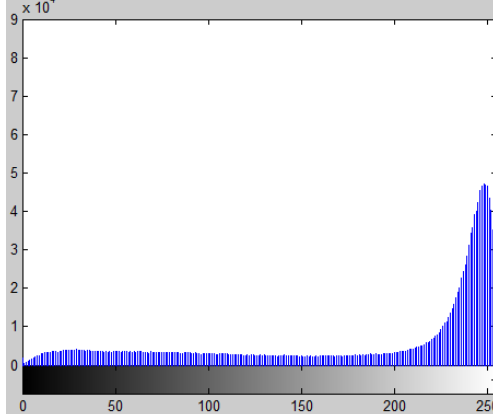
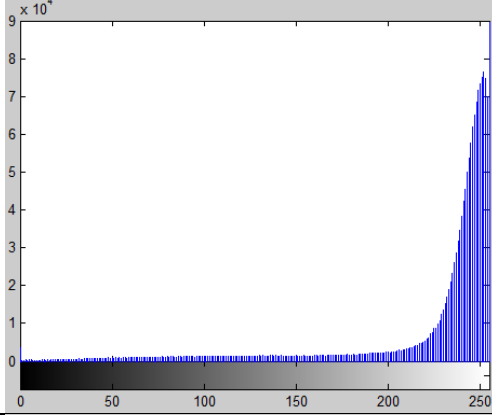
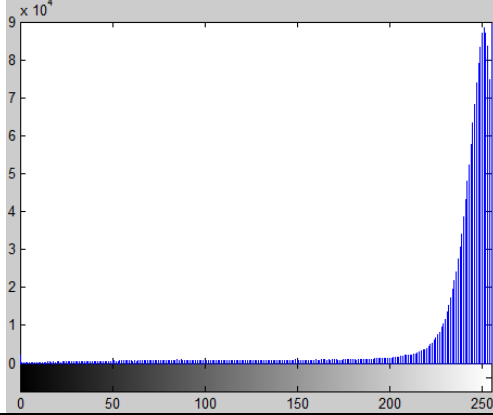
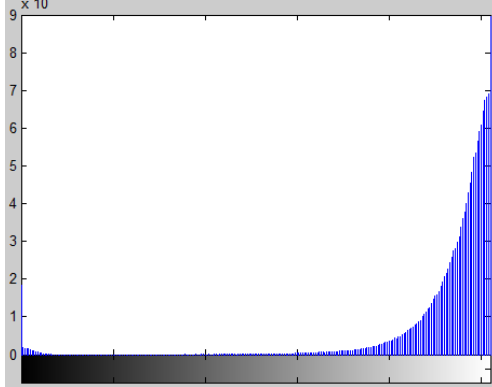
Таблица 1

Зразки сталевих заготовок після термічної обробки

Матр-л	Зразок	Зображення з обробкою	Зразок	Зображення без обробки
Сталь № 118 (0,76 % C)	1		1-1	
Сталь № 117 (0,6 % C)	2		2-1	
Сталь № 116 (0,44 % C)	3		3-1	
Сталь № 115 (0,33 % C)	4		4-1	
Сталь № 114 (0,25 % C)	5		5-1	
Сталь № 113 (0,15 % C)	6		6-1	
Сталь № 112 (0,057 % C)	7		7-1	

Таблица 2

Гістограми зображень з інтервалом $n = 255$

Зразок	Гістограма зображення	Зразок	Гістограма зображення
1	2	3	4
1-1		2-1	
3-1		4-1	
5-1		6-1	
7-1			

$$H_a(x) = -\sum_{i=1}^n p_i(x) \cdot \log_a p_i(x) \quad (1)$$

$$H_{ai}(x) = \frac{H_a(x)}{n} \quad (2)$$

де $H_a(x)$ – показник ентропії розподілу пікселів зображень зразків за яскравістю;
 $p_i(x)$ – вірогідність i -ої ступені гістограми розподілу пікселів зображень зразків за яскравістю;

n – кількість ступенів гістограми розподілу пікселів зображень зразків за яскравістю.

Доцільність використання ентропійного підходу згадується в роботах [11, 12]. Зокрема, відстань Кульбака-Лейблера може використовуватися як міра того, наскільки далекі один від одного два імовірнісних розподілів [11]. Якщо прийняти за один з розподілів генеральний розподіл всього масиву пікселів зображення, то може бути знайдено таке значення числа ступенів гістограми, оцінки якої найближче сходяться з генеральної сукупністю. Це особливо важливо для діагностичних оцінок по сигнатурам зображень.

Command Window												
0	216	191	185	202	230	249						
243	235	216	197	195	205	214	219	225	237	250	255	
229	238	241	236	236	236	229	218	215	225	241	251	
240	227	216	211	196	213	233	244	248	249	247	245	
222	203	199	207	233	242	250	248	245	244	245	244	
252	243	246	255	249	254	255	247	240	240	243	245	
211	219	238	253	249	255	255	255	251	252	255	255	
248	251	245	252	250	249	246	241	238	241	250	255	
240	247	250	255	252	251	248	243	240	243	250	255	
243	249	255	253	250	249	246	241	238	240	246	251	
254	253	255	250	255	255	254	250	248	249	253	255	
255	250	255	251	255	254	251	248	246	247	249	251	
249	242	253	251	250	249	246	244	243	243	244	245	
249	243	251	253	255	255	255	254	254	254	255	255	
254	251	255	255	255	253	251	250	251	251	251	251	
255	251	253	255	253	255	255	253	253	255	255	253	
239	254	255	255	251	253	253	251	251	253	253	251	
239	249	253	253	254	255	255	254	254	255	255	254	
255	238	255	249	251	254	254	251	251	254	254	251	

Рис. 1. Результат команди $A = \text{imread}('image.jpg')$

Приклад розрахунку показника ентропії у залежності від кількості інтервалів гістограми представлений на рис. 2. Для цього зразка мінімум $H_{ai}(x)$ знаходиться для $n = 4$.

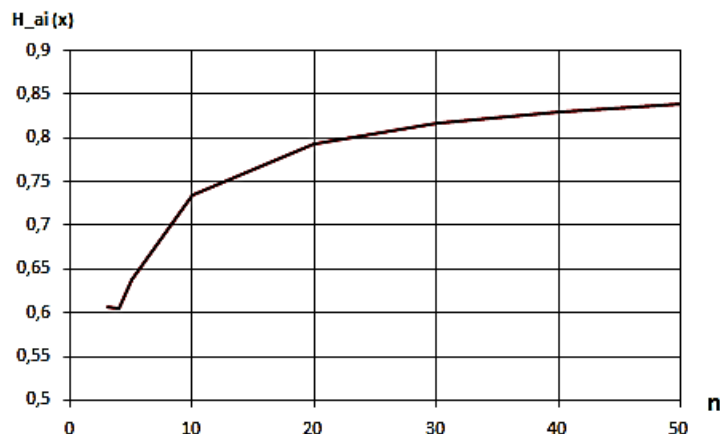


Рис. 2. Приклад розрахунку показника ентропії у залежності від кількості інтервалів-гістограми

Використовуючи імовірнісні оцінки для гістограми розподілу пікселів зображення з числом ступенів, відповідним мінімуму наведеної ентропії (2) можна зменшити розмірність масиву даних розподілу не знижуючи інформативності зображення. А за допомогою обробки даних на нейромережевому базисі вдається виділити найбільш значущі залежності.

Побудову моделі на нейромережному базисі виконано у середовищі програми Neuro-Pro-0,25 [13] зі застосуванням Microsoft Access для формування вхідних та вихідних даних в форматі dbfIII. Попередня гіпотеза про зв'язок між параметрами термообробки, та зображенням за умовою тестування моделі в залежності від температури термообробки T від 810 до 950 градусів (рис. 3).

T	FER	PER	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
810	0,02375	1,00627	17054,7	74197,7	160176	244534	324230	301453	216653	145146	155953	126288
820	0,35697	0,6712	25732,7	105716	159601	208486	261566	241060	185555	148706	235333	241269
830	0,45542	0,56597	24993,4	99298,7	137018	180279	218975	204719	166926	145523	267263	338943
840	0,52278	0,48381	18081,4	69508,5	83702,9	130075	146772	146609	137206	135697	304564	518721
850	0,60495	0,4187	6748,89	98521,8	96370,6	104127	97701,6	102721	106484	117221	340689	668168
860	0,65625	0,37605	4431,28	100902	95436,7	90204,5	74281,9	83054,4	90815,7	105979	357516	754222
870	0,72219	0,32187	13420	59952,6	69223,7	75371	57562	75043,4	76989,8	88743,3	366806	872615
880	0,78779	0,2473	13446,5	32592,7	46624,2	53834,5	33518,5	53965,2	54558,5	66655,2	369678	985706
890	0,83989	0,18172	10617,3	16502,4	30622	34823,2	12138,9	32973,4	34321,2	48414,8	370956	1071884
900	0,86076	0,15746	10531,3	11579,2	25457,9	28559,5	4836,43	25916,5	28150,5	44059	374481	1100168
910	0,87522	0,141	11049,4	9325,23	22680,4	24957,7	685,184	21663,6	24973,7	43075,7	378876	1114830
920	0,88838	0,12587	12088,5	8265,53	20818,8	22317,9	-2110,86	18343,1	23059,3	44188,6	384765	1123140
930	0,90395	0,10749	14034,1	8056,45	19322,4	19922,8	-4143,19	15066,1	21926,2	47955,9	394023	1126797
940	0,93008	0,07573	18377,1	9056,61	17731,1	16910,5	-5641,96	10494,5	21617,5	57852,7	412926	1124011
950	1,01753	-0,0328	35278,1	15065,1	14242,8	8943,02	-6456,28	-2808,55	23949,6	98657,3	483442	1095592

Рис. 3. Результат тестування моделі

При навчанні та тестуванні моделі згідно структури метала при різній температурі нагріву, однакового часу витримки та умов охолодження зразків, з'ясовано, що значущою частиною сигнатури є сьомий інтервал x7 (від 150 до 175 за шкалою яскравості пікселів) для кожної гістограми зображення. Вербальний опис моделі в програмному середовищі надано наступним чином (застосовано саме той вигляд вербального опису діагностичної моделі, який надає програмний продукт):

Поля базы данных (исходные симптомы):

X7

Поля базы данных (конечные синдромы):

T

FER

PER

Предобработка входных полей БД для подачи сети:

$$X7=(X7-222622,5)/207934,5$$

Функциональные преобразователи:

$$\text{Сигмоида1}(A)=A/(0,1+|A|)$$

Синдромы 1-го уровня:

$$\text{Синдром1}_1=\text{Сигмоида1}(-X7-0,831145)$$

$$\text{Синдром1}_2=\text{Сигмоида1}(0,7083917*X7-0,5290561)$$

$$\text{Синдром1}_3=\text{Сигмоида1}(-0,09805416*X7-0,09031732)$$

$$\text{Синдром1}_4=\text{Сигмоида1}(-X7-0,3281852)$$

Конечные синдромы:

$$T=0,6477412*\text{Синдром1}_1-$$

$$0,02727493*\text{Синдром1}_2+\text{Синдром1}_3+0,1108914*\text{Синдром1}_4+0,3907149$$

$$FER=0,5981711*Синдром1_1-0,5452155*Синдром1_2-0,6364346*Синдром1_3+0,3679996*Синдром1_4-0,1366974$$

$$PER=-0,5966432*Синдром1_1+0,5446907*Синдром1_2+0,6324409*Синдром1_3-0,3680992*Синдром1_4+0,13597$$

Постобработка конечных синдромов:

$$T=((T*140)+1760)/2$$

$$FER=((FER*0,950000029057264)+0,990000028163195)/2$$

$$PER=((PER*0,950000019744039)+1,01000001840293)/2$$

Вирішення зворотної задачі щодо можливості визначати структуру (ферит і перліт) від значень інтервалу $x7$ сигнатури зображень мікросліфів дозволяє отримати експертну оцінку попередньої термічної обробки зразків (рис. 4).

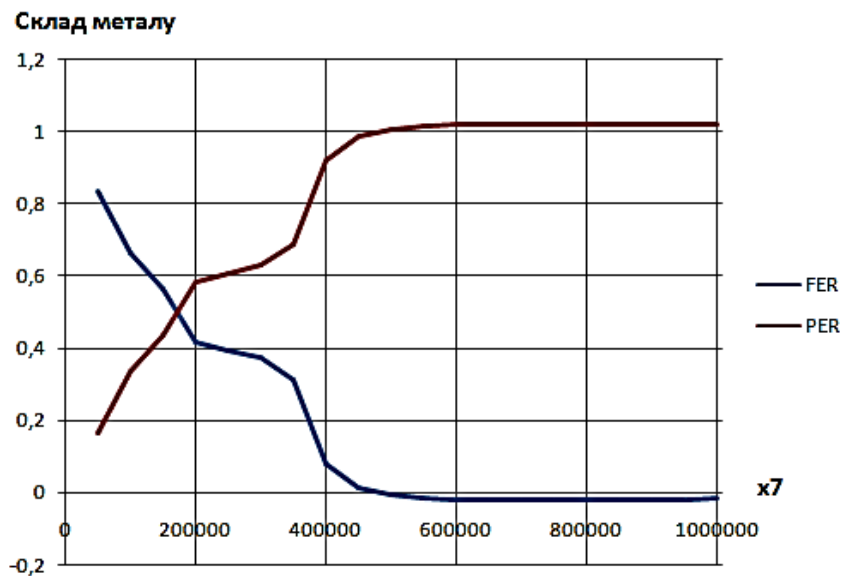


Рис. 4. Оцінка раніше виконаної термічної обробки зразків по складу фериту та перліту у залежності від значень параметра зображеннях $x7$

ВИСНОВКИ

Підтверджено, що сигнатури пікселів зображень дозволяє встановлювати зв'язок з попередніми технологічними перетворюваннями. Це дозволяє виконувати експертизу технології, за якою проведено обробку зразків, або прискорити отримання даних металографічних досліджень та пришвидшити аналіз матеріалу на склад структур. Таким чином, результати, що наведені в роботі, підтверджують тезис про значну інформативність частотних спектрів діагностичних сигналів будь-якої природи. Тому, результати матимуть подальше впровадження в контролюючих системах зі зворотними зв'язками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мирошников М. М., Лисовский В. А., Филиппов Е. В. и др. Иконика в физиологии и медицине. Под ред. А.М. Уголева. Ленинград: Наука, 1987. 392 с.
2. Фисенко Т. Ю. и др. Аппаратно-программные средства МАГИСОФТ в задачах экспертизы живописи. *Материалы тезисов доклада 1 научной конференции "Экспертиза произведений изобразительного искусства"*. Москва, 1995. С.18–20.
3. Мирошников М. М. Теоретические основы оптикоэлектронных приборов. Ленинград: Машиностроение, 1983. 696 с.
4. Пат. 100072 Україна. G01B 7/02. Спосіб безконтактного контролю розмірів деталей. Ковалевський С.В., Тулупова К.В. ДДМА. 2015.
5. Пат. 100097 Україна. G01M 13/00, G01N 29/1. Спосіб контролю розмірів деталі за допомогою сигналу резонансних коливань. Ковалевський С.В., Нагієва А.І., Ковалевська О.С. ДДМА. 2015.

6. Ковалевская Е. С., Ковалевский С. В. Акустическая диагностика статических и динамических свойств механизмов с параллельной кинематикой. *Матеріали тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції: Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем у 2-х т., 24–27 квітня 2017.* Чернівці: ЧНТУ, 2017. Т. 1. С.59–60.
7. Шредер А., Розе А. Металлография железа: В 3 т. Т. 2. Структуры сталей. Пер. с англ. В. П. Калинина, Н. А. Зойдзе, Н. В. Чаргришвили. Под ред. Ф. Н. Тавадзе. Ленинград: Металлургия, 1972. 284 с.
8. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособ. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
9. Ковалевский С. В., Гитис В. Б., Мишура Е. В., Мишура В. Б. Нейросетевые технологии в технологической подготовке производства: монография. Краматорск: ДГМА, 2010. 144 с.
10. Ковалевский С. В., Гитис В. Б. Новые нейроподобные элементы и сети: монография. Краматорск: ДГМА, 2005. 88 с.
11. Бардасов С. А. Гистограммы. Критерии оптимальности: монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2014. 96 с.
12. Худов В. Г., Маковейчук О. М., Хижняк І. А. Оцінка якості сегментування оптикоелектронно озображення шляхом оцінки комплексних показників на відстані Кульбака-Лейблера. *Системи обробки інформації.* 2017. № 4 (150). С. 27–30.
13. Горбань А. Н. и др. Нейроинформатика. Новосибирск: Наука, 1998. 296 с.

REFERENCES

1. Miroshnikov M.M., Lisovskiy V.A., Filippov E.V. et al. Iconics in physiology and medicine. Ed. A.M. Ugolev. Leningrad: Nauka. 1987. 392 p. (in Russian).
2. Fisenko T. Yu. et al. Hardware and software MAGISOFT in the tasks of the examination of painting. *Materials of theses of the report of the 1st scientific conference "Examination of works of fine art".* Moscow. 1995, pp.18-20. (in Russian).
3. Miroshnikov M.M. Theoretical foundations of optoelectronic devices. Leningrad: Machine-building. 1983. 696 p. (in Russian).
4. Pat. 100072 Ukraine. G 01B 7/02. The method of contactless control of the size of parts. Kovalevsky S.V., Tulupova K.V. DSEA. 2015. (in Ukrainian).
5. Pat. 100097. Ukraine G01M 13/00, G 01N 29/14. The method of controlling the size of the part using the signal resonant oscillations. Kovalevsky S.V., Nagieva A.I., Kovalevskaya O.S. DSEA. 2015. (in Ukrainian).
6. Kovalevskaya E.S., Kovalevsky S.V. Acoustic diagnostics of static and dynamic properties of mechanisms with parallel kinematics. *Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference: Comprehensive quality assurance of technological processes and systems.* April 24-27 2017. Chernihiv: ChNTU. 2017. 1, pp.59–60. (in Russian).
7. Schroeder A., Rose A. Iron metallography: In 3 volumes. Vol. 2. Steel structures. Tr. from English V.P. Kalinina, N.A. Zoidze, N.V. Chargrshvili. Ed. F.N. Tavadze. Leningrad: Metallurgy. 1972. 284 p. (in Russian).
8. Fisenko V.T., Fisenko T. Yu. Computer processing and image recognition: textbook. St. Petersburg: SPbGU ИТМО. 2008. 192 p. (in Russian).
9. Kovalevsky S.V., Gitis V.B., Mishura E.V., Mishura V.B. Neural network technologies in the technological preparation of production: monograph. Kramatorsk: DSEA. 2010. 144 p. (in Russian).
10. Kovalevsky S.V., Gitis V.B. New neural-like elements and networks: monograph. Kramatorsk: DSEA. 2005. 88 p. (in Russian).
11. Bardasov S.A. Histograms. Optimality criteria: monograph. Tyumen: Publishing House of Tyumen State University. 2014. 96 p. (in Russian).
12. Khudov V.G., Makoveichuk O.M., Khizhnyak I.A. Assessment of the quality of the segmentation of optical-electronic irrigation by the way of the assessment of complex indicators at the station of Kullback-Leibler. *Information processing systems.* 2017. 4 (150), pp.27-30. (in Ukrainian).
13. Gorban A.N. et al. Neuroinformatics. Novosibirsk: Nauka. 1998. 296 p. (in Russian).

Ковалевський С. В. – д-р тех. наук, проф., зав. кафедрою ТМ ДДМА;

Сидюк Д. М. – студентка ДДМА.

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

Email: kovalevskii@dgma.donetsk.ua

Стаття надійшла до редакції 11.05.2019 р.