

МЕТОДИ БІНАРИЗАЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ВПЛИВУ НА ФРАКТАЛЬНУ РОЗМІРНІСТЬ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ

Важливим етапом при фрактальному аналізі є бінаризація, яка являє собою операцію порогового розділення і результатом якої є бінарне зображення. Тому метою роботи є вивчення та програмна реалізація методів бінаризації зображень та дослідження впливу цих методів на значення фрактальної розмірності функціональних покриттів. В ході дослідження було проаналізовано ряд зображень функціональних покриттів, визначалася фрактальна розмірність зображення методом Box Counting при різних порогах бінаризації та при застосуванні різних методів бінаризації (бінаризація з нижнім та верхнім порогом, з подвійним обмеженням, та метод середнього для визначення оптимального порогу бінаризації) до вхідних зображень. В результаті роботи розроблено та програмно реалізовано методи бінаризації зображень, обчислена фрактальна розмірність бінарних зображень та досліджено вплив цих методів на значення фрактальної розмірності функціональних покриттів.

Ключові слова: бінаризація, порог бінаризації, фрактальна розмірність, метод бінаризації з верхнім порогом, метод бінаризації з нижнім порогом, метод бінаризації з подвійним обмеженням, бінаризація методом середнього, функціональні покриття.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Істотним елементом при фрактальному аналізі функціональних покриттів є фрактальна розмірність, яка являє собою важливу кількісну характеристику. Як правило, зображення покриттів представлені як кольорові або півтонові, а більшість алгоритмів визначення фрактальної розмірності призначені для бінарних зображень. Тому важливим етапом при фрактальному аналізі є бінаризація, яка являє собою операцію порогового розділення і результатом якої є бінарне зображення.

Метою операції бінаризації є радикальне зменшення кількості інформації, що міститься у зображенні. У процесі бінаризації початкове півтонове зображення, що має кілька рівнів яскравості, перетворюється у чорно-біле зображення, піксели якого мають лише два значення - «0» і «1».

При бінаризації зображення повинно бути визначено, чи спостерігається в пікселі зображення корисний сигнал або фон за допомогою операції порогового розділення, яка полягає в зіставленні значення яскравості кожного

пікселя зображення із заданим значенням порогу. Далі пікселю привласнюється значення «0» або «1».

У результаті порогової бінаризації зображення розбивається на дві області, одна з яких містить всі піксели зі значеннями нижче деякого порогу, а інша містить всі піксели зі значеннями вище цього порогу. При цьому велике значення грає визначення порогу бінаризації.

Кожен метод бінаризації зображення використовується для різних типів зображення та для вирішення різних завдань.

Метою цієї роботи є вивчення та програмна реалізація методів бінаризації зображень та дослідження впливу цих методів на значення фрактальної розмірності функціональних покриттів.

Викладення основного матеріалу дослідження. В ході дослідження було проаналізовано ряд зображень функціональних покриттів, визначалася фрактальна розмірність зображення методом Box Counting [1] при різних порогах бінаризації та при застосуванні різних методів бінаризації до вхідних зображень. Метод Box Counting застосовується для зображення будь-якої структури на площині. Цей метод дозволяє визначити фрактальну розмірність не строго самоподібних об'єктів.

При переведенні зображення у монохромні використовувалися наступні методи бінаризації: бінаризація з нижнім та верхнім порогом, з подвійним обмеженням, та метод середнього для визначення оптимального порогу бінаризації [2].

Бінаризація з нижнім порогом є найбільш простою операцією, в якій використовується тільки одне значення порогу:

$$B(x, y) = \begin{cases} 0, A(x, y) \geq t; \\ 1, A(x, y) < t; \end{cases} \quad (1)$$

де $A(x, y)$ - початкове кольорове зображення;

$B(x, y)$ - результуюче бінарне зображення;

t - поріг бінаризації.

Всі значення замість критерію стають 1, в даному випадку 255 (білий) і всі значення (амплітуди) пікселів, які більше порогу $t - 0$ (чорний).

Бінаризація з верхнім порогом - інверсія бінаризації з нижнім порогом:

$$B(x, y) = \begin{cases} 0, A(x, y) \leq t; \\ 1, A(x, y) > t; \end{cases} \quad (2)$$

Бінаризація з подвійним обмеженням $t_1 < t_2$ використовується для виділення областей, в яких значення яскравості пікселів може мінятися у відомому діапазоні:

$$B(x, y) = \begin{cases} 0, A(x, y) \geq t_1; \\ 1, t_1 < A(x, y) \leq t_2; \\ 0, A(x, y) > t_2; \end{cases} \quad (3)$$

Також можливі інші варіації з порогами, де пропускається лише частина даних (середньо полосовий фільтр).

Метод середнього полягає в знаходженні мінімального g_{\min} і максимального значення g_{\max} амплітуди сірого і знаходження середнього значення між ними.

$$T_{opt} = \frac{g_{\max} - g_{\min}}{2} \quad (4)$$

При реалізації методів бінарizaції та для обчислення фрактальної розмірності було розроблено комп'ютерну програму «BinaryFractalDimension», яка дозволяє вирішити поставлені завдання. На рис. 1 наведені можливі налаштування для перевodu зображення у монохромний вигляд: метод бінарizaції, кольоровий канал та поріг бінарizaції [3].

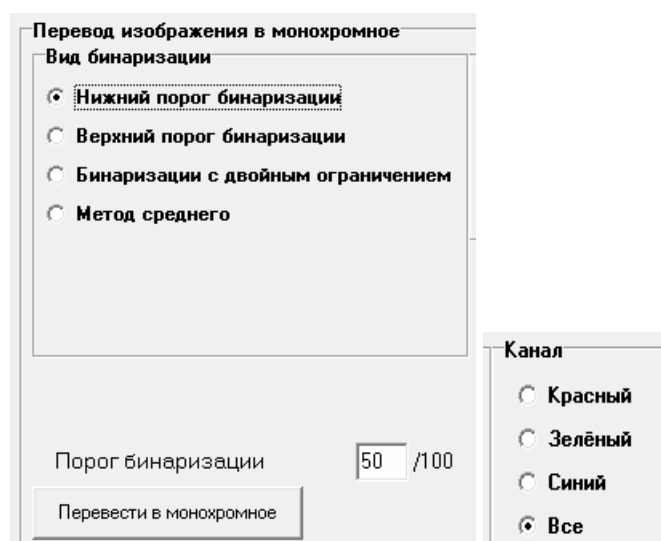


Рисунок 1 – Налаштування для перевodu зображення у монохромний вигляд

Поверхні композитної структури сталі

Композити являють собою матеріали із заданими спеціальними властивостями, що отримані комбінуванням об'ємного змісту різнорідних компонентів. При цьому властивостями, яких набувають композитні матеріали, не має кожен з компонентів окремо.

Для дослідження були отримані фотографії мікроструктури поверхневого шару зразків із сталі Р6М5 в процесі науглецювання. Структура в початковому стані та в процесі науглецювання представлена на рис. 2.

В ході дослідження було проаналізовано кожне із зображень, представлених на рис. 2: визначалася фрактальна розмірність зображення методом Box Counting при різних порогах бінаризації. При переведенні зображення у монохромні використовувалися наступні методи бінаризації: бінаризація з нижнім та верхнім порогом, з подвійним обмеженням, та метод середнього для визначення оптимального порогу бінаризації. Зображення, що отримані в результаті бінаризації представлені на рис. 3-6.

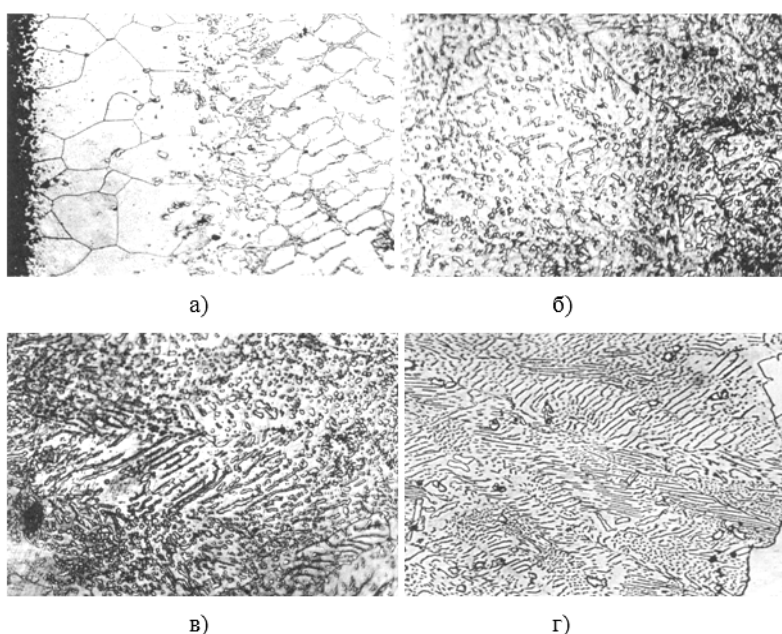


Рисунок 2 – Сталь Р6М5. Процес формування композитної структури швидкорізальної сталі Р6М5: а)знеуглецьований поверхневий шар; б)вуглецювання 30 хвилин; в)вуглецювання 1 година; г)вуглецювання 2 години, кінцева структура

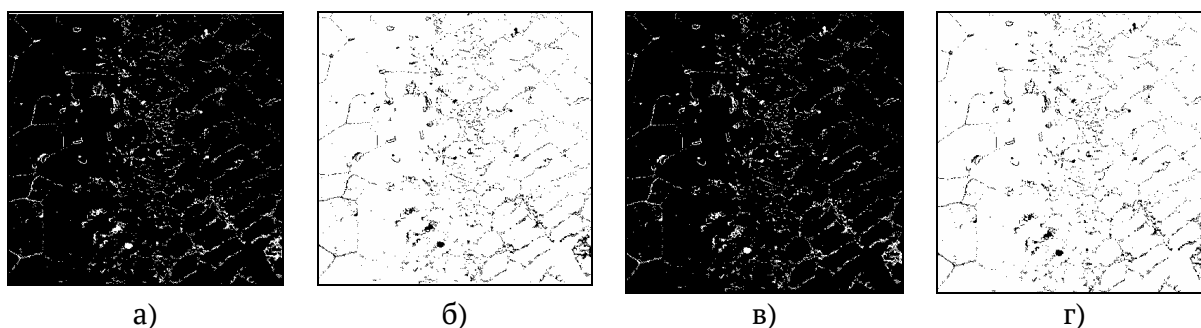


Рисунок 3 – Вигляд зображення 2а після операції бінаризації з порогом бінаризації: а) 0,5 нижній поріг; б) 0,5 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням; г) 0,49 метод середнього

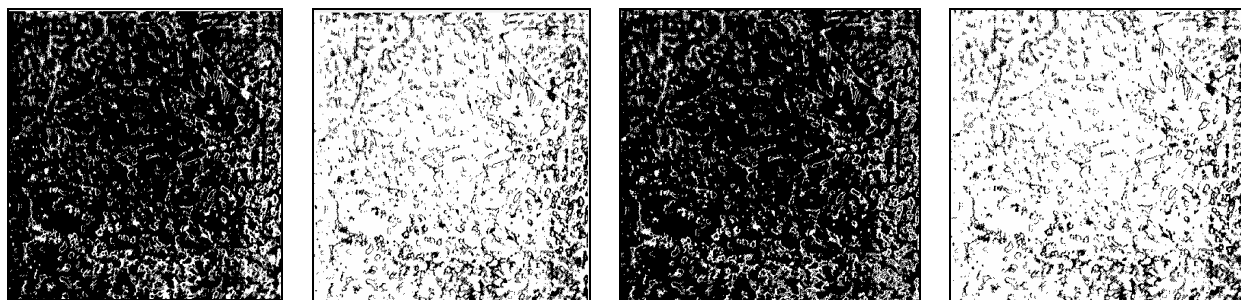


Рисунок 4 – Вигляд зображення 2б після операції бінаризації з порогом бінаризації:
а) 0,5 нижній поріг; б) 0,5 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням;
г) 0,48 метод середнього

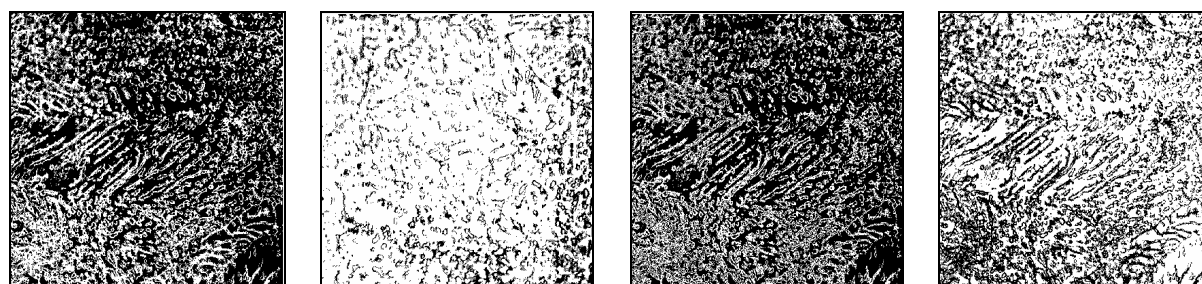


Рисунок 5 – Вигляд зображення 2в після операції бінаризації з порогом бінаризації:
а) 0,5 нижній поріг; б) 0,5 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням;
г) 0,48 метод середнього

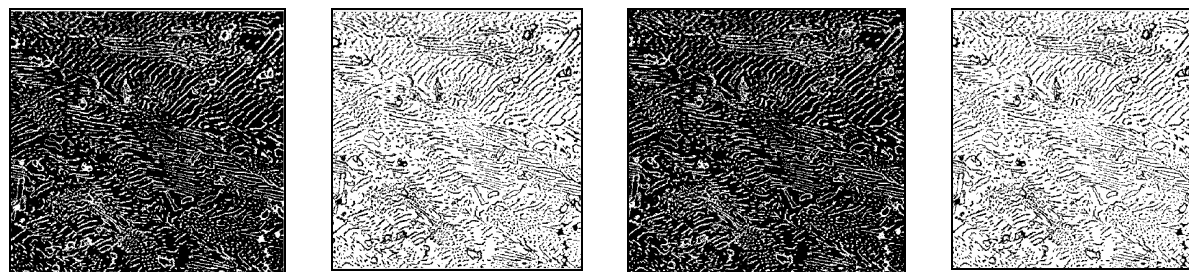

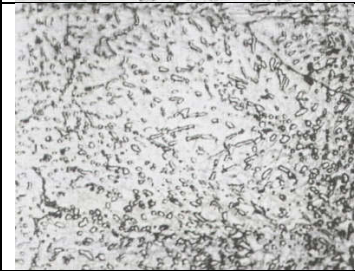




Рисунок 6 – Вигляд зображення 2г після операції бінаризації з порогом бінаризації:
а) 0,5 нижній поріг; б) 0,5 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням;
г) 0,48 метод середнього

В табл. 1 представлені значення фрактальної розмірності зображення при різних методах і порогах бінаризації. З табл. 1 видно, що для даної серії зображень композитної структури метод бінаризації з верхнім порогом дає більш близькі значення фрактальної розмірності у порівнянні з оптимальним порогом бінаризації. При цьому оптимальний поріг бінаризації знаходиться у діапазоні від 0.5 до 0.7.

Значення фрактальної розмірності зображень поверхні композитної сталі при різних методах і порогах бінаризації

Зображення	Поріг бінаризації	Фрактальна розмірність			Метод середнього
		Бінаризація з нижнім порогом	Бінаризація з верхнім порогом	Бінаризація з подвійним обмеженням	
	0.1	1.9006	1.7663	1.9299	1.6744
	0.3	1.9299	1.7576		
	0.5	1.9289	1.6782	1.9297	
	0.7	1.9262	1.7632		
	0.9	1.8949	1.8798	1.93	
	1	1.7663	1.8798		
	0.1	1.9152	1.4531	1.9151	1.7027
	0.3	1.9151	1.3221		
	0.5	1.9084	1.7132	1.9149	
	0.7	1.8972	1.8170		
	0.9	1.7699	1.9066	1.9066	
	1	1.4531	1.9152		
	0.1	1.9331	1.7932	1.9323	1.8679
	0.3	1.9323	1.7122		
	0.5	1.9125	1.8714	1.9328	
	0.7	1.8872	1.9027		
	0.9	1.7345	1.9287	1.9287	
	1	1.7932	1.9331		
	0.1	1.9269	1.767	1.9269	1.8222
	0.3	1.9269	1.6065		
	0.5	1.9188	1.8302	1.9268	
	0.7	1.9078	1.8302		
	0.9	1.7234	1.9267	1.9267	
	1	1.767	1.9269		

Поверхні металевих пористих матеріалів

Пори, залежно від металу, мають різну протяжність, яка становить 10-400 діаметрів пори. Сумарна пористість литого металу може досягати 45-60%. Для дослідження були розглядалися фотографії мікроструктури поверхневого шару зразків [3]. Приклади металевих пористих матеріалів представлені на рис. 7.

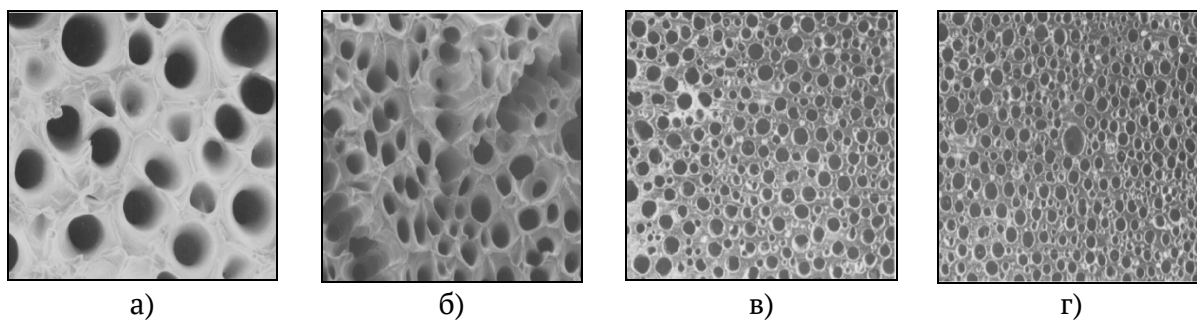


Рисунок 7 – Поверхні металевих пористих матеріалів

В ході дослідження було проаналізовано кожне із зображень, представлених на рис. 7: визначалася фрактальна розмірність зображення методом Box Counting при різних порогах бінаризації. При переведенні зображення у монохромні використовувалися наступні методи бінаризації: бінаризація з нижнім та верхнім порогом, з подвійним обмеженням, та метод середнього для визначення оптимального порогу бінаризації. Зображення, що отримані в результаті бінаризації представлені на рис. 8-11. В табл. 2 представлені значення фрактальної розмірності зображення при різних методах і порогах бінаризації.

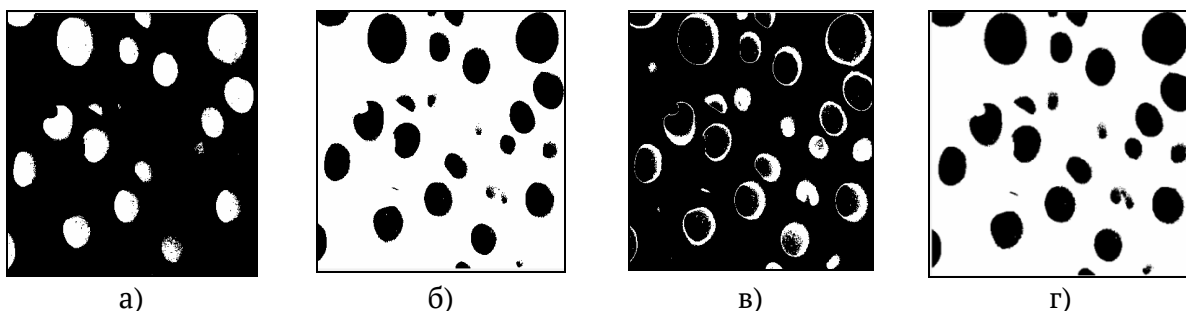


Рисунок 8 – Вигляд зображення 7а після операції бінаризації з порогом бінаризації: а) 0,5 нижній поріг; б) 0,5 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням; г) 0,49 метод середнього

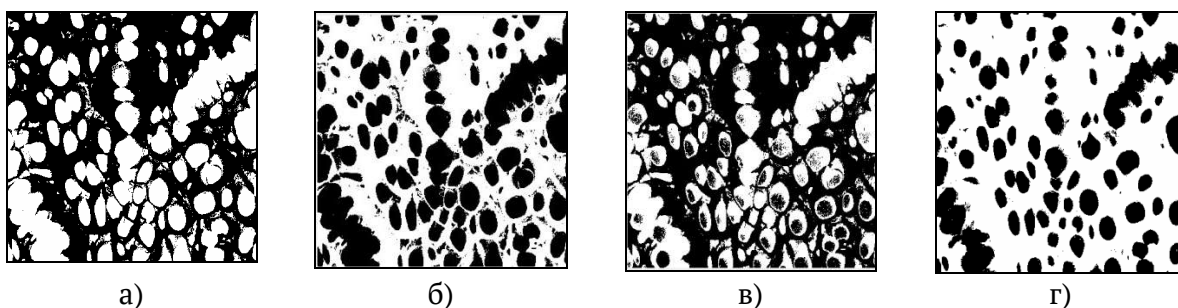
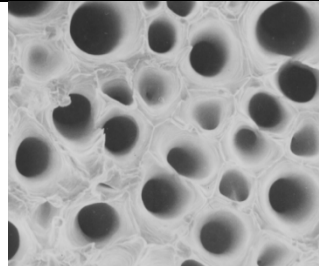
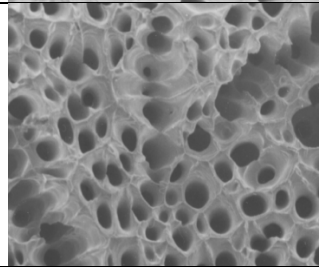
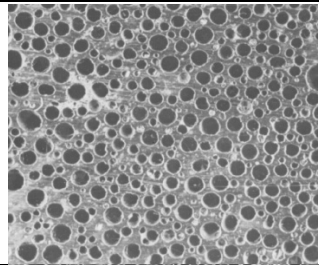
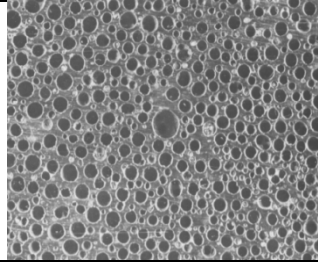
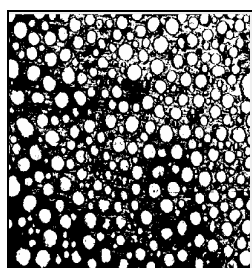


Рисунок 9 – Вигляд зображення 7б після операції бінаризації з порогом бінаризації: а) 0,5 нижній поріг; б) 0,5 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням; г) 0,42 метод середнього

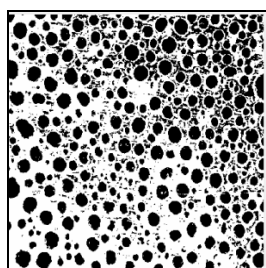
Таблиця 2

Значення фрактальної розмірності зображень металевих пористих матеріалів при різних методах і порогах бінаризації

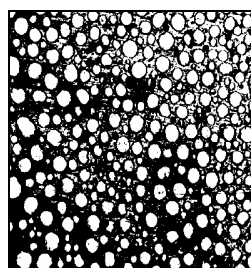
Зображення	Поріг бінаризації	Фрактальна розмірність			Метод середнього
		Бінаризація з нижнім порогом	Бінаризація з верхнім порогом	Бінаризація з подвійним обмеженням	
	0.1	1.8889	1.7154	1.8633	1.7513
	0.3	1.8633	1.7239		
	0.5	1.8464	1.7534	1.8653	
	0.7	1.8084	1.8242	1.8889	
	0.9	1.7743	1.8889		
	1	1.7958	1.9654		
	0.1	1.9413	1.755	1.9346	1.7916
	0.3	1.9346	1.6649		
	0.5	1.8602	1.871	1.8587	
	0.7	1.642	1.9378	1.9413	
	0.9	1.7542	1.9413		
	1	1.9651	1.9542		
	0.1	1.9387	1.6204	1.9387	1.7769
	0.3	1.9387	1.5168		
	0.5	1.8715	1.8217	1.9062	
	0.7	1.7642	1.9166	1.9387	
	0.9	1.4027	1.9387		
	1	1.5425	1.9542		
	0.1	1.9101	1.7423	1.91	1.828
	0.3	1.9100	1.6373		
	0.5	1.8360	1.8568	1.8928	
	0.7	1.7448	1.9005	1.9101	
	0.9	1.6332	1.9101		
	1	1.7854	1.9425		



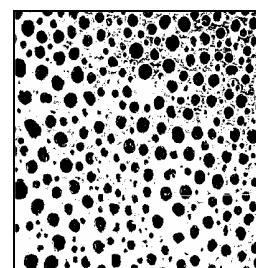
а)



б)



в)



г)

Рисунок 10 – Вигляд зображення 7в після операції бінаризації з порогом бінаризації:

а) 0,5 нижній поріг; б) 0,5 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням; г) 0,45 метод середнього

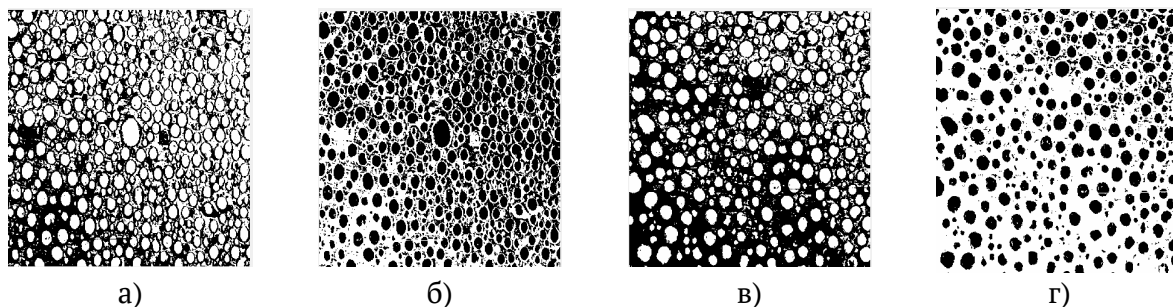


Рисунок 11 – Вигляд зображення 2.15г після операції бінаризації з порогом бінаризації: а) 0,5 нижній поріг; б) 0,5 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням; г) 0,45 метод середнього

Поверхні природних печерних покриттів

В ході дослідження було проаналізовано кожне із зображень, представлених на рис. 12: визначалася фрактальна розмірність зображення методом Box Counting при різних порогах бінаризації. При переведенні зображення у монохромні використовувалися наступні методи бінаризації: бінаризація з нижнім та верхнім порогом, з подвійним обмеженням, та метод середнього для визначення оптимального порогу бінаризації. Зображення, що отримані в результаті бінаризації представлені на рис. 13-16. В табл. 3 представлені значення фрактальної розмірності зображення при різних методах і порогах бінаризації.

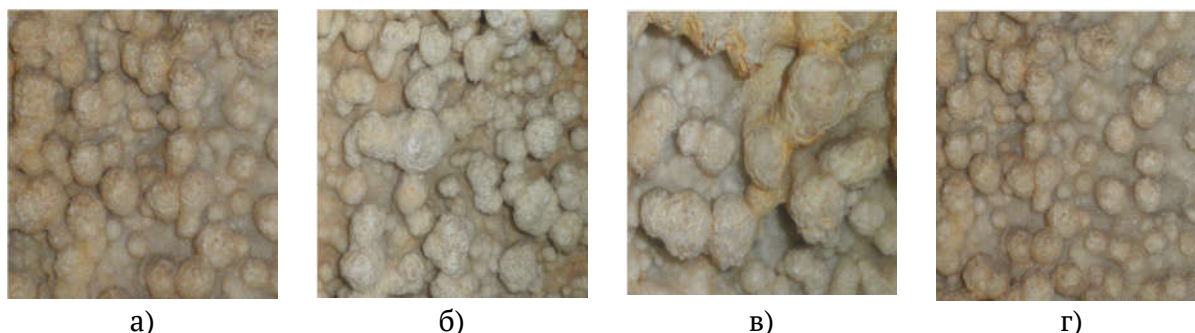


Рисунок 12 – Поверхні природних печерних покриттів

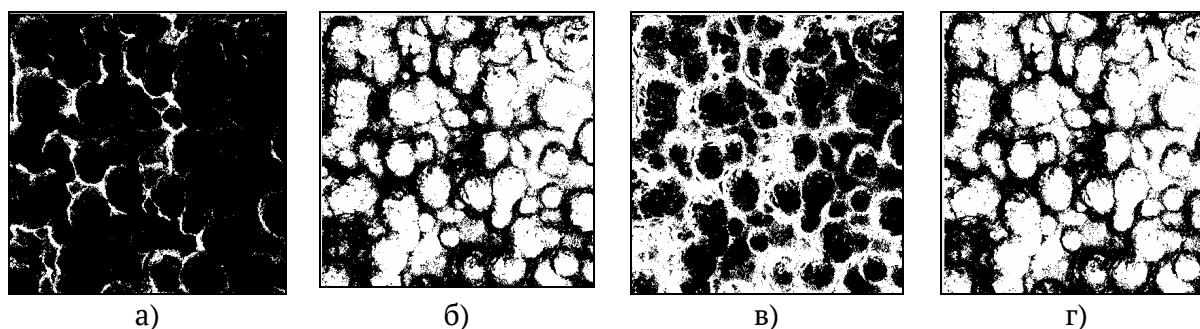






Рисунок 13 – Вигляд зображення 12а після операції бінаризації з порогом бінаризації: а) 0,3 нижній поріг; б) 0,4 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням; г) 0,49 метод середнього

Значення фрактальної розмірності зображень поверхонь природних печерних покриттів при різних методах і порогах бінаризації

Зображення	Поріг бінаризації	Фрактальна розмірність			Метод середнього
		Бінаризація з нижнім порогом	Бінаризація з верхнім порогом	Бінаризація з подвійним обмеженням	
	0.1	1.8559	1.5538	1.8559	1.7392
	0.3	1.8555	1.4251		
	0.5	1.7947	1.7528	1.7947	
	0.7	1.7528	1.8559		
	0.9	1.4949	1.8559	1.4949	
	1	1.5538	1.8559		
	0.1	1.9191	1.6911	1.9191	1.7205
	0.3	1.9179	1.5878		
	0.5	1.8955	1.7306	1.8955	
	0.7	1.656	1.9143		
	0.9	1.6525	1.9191	1.6525	
	1	1.7368	1.9191		
	0.1	1.9078	1.748	1.9078	1,7376
	0.3	1.9054	1.6048		
	0.5	1.8733	1.7444	1.8733	
	0.7	1.5965	1.907		
	0.9	1.6935	1.9078	1.6935	
	1	1.6935	1.9078		
	0.1	1,9048	1,6315	1,9044	1,7766
	0.3	1,9044	1,4427		
	0.5	1,8506	1,7909	1,7934	
	0.7	1,4158	1,9047		
	0.9	1,5135	1,9048	1,9048	
	1	1,5691	1,9472		

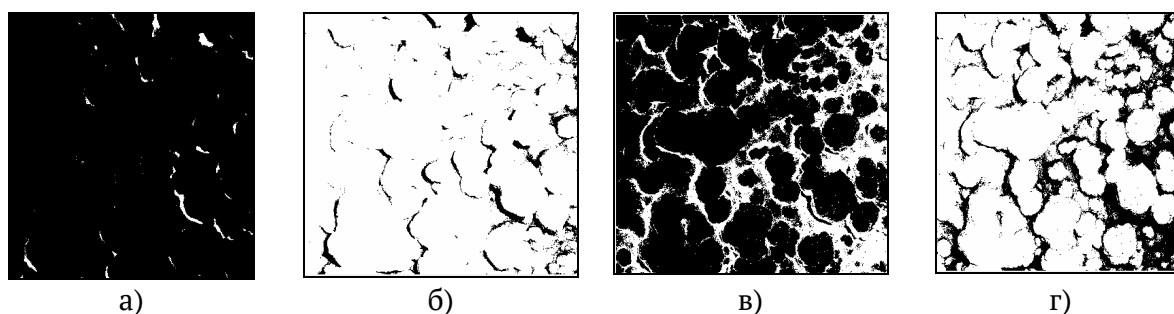


Рисунок 14 – Вигляд зображення 126 після операції бінаризації з порогом бінаризації:
 а) 0,3 нижній поріг; б) 0,4 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням;
 г) 0,49 метод середнього

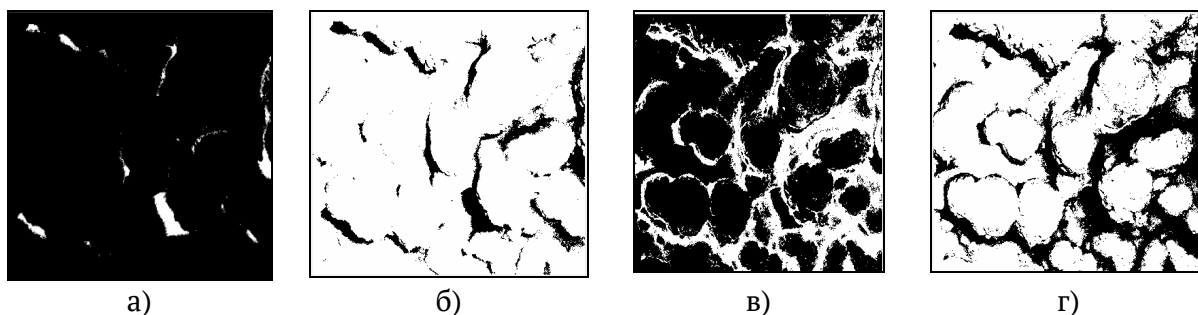


Рисунок 15 – Вигляд зображення 12в після операції бінарizaції з порогом бінарizaції: а) 0,3 нижній поріг; б) 0,4 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням; г) 0,49 метод середнього

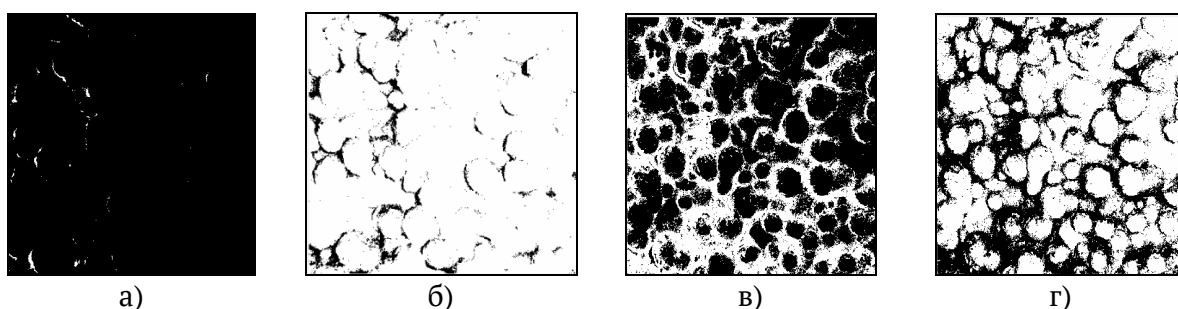


Рисунок 16 – Вигляд зображення 2.20г після операції бінарizaції з порогом бінарizaції: а) 0,3 нижній поріг; б) 0,4 верхній поріг; в) від 0,3 до 0,5 з подвійним обмеженням; г) 0,49 метод середнього

Висновки. В результаті виконання роботи було розроблено програмний засіб для бінарizaції зображень методами бінарizaції з верхнім порогом, з нижнім порогом, з подвійним обмеженням, метод середнього. Розроблений програмний засіб дозволяє обрати метод бінарizaції та обчислити фрактальну розмірність методом Box Counting. В роботі проведено дослідження впливу методу бінарizaції на оцінку фрактальної розмірності функціональних покриттів. Проаналізовано поверхні композитної структури сталі, металевих пористих матеріалів, природних печерних структур.

ЛІТЕРАТУРА

1. Журба А.О., Михальов О.І. Фрактальні характеристики зображень металоструктур та особливості їх обчислення // Системные технологии моделирования сложных систем / Монография под общей редакцией проф. А.И. Михалёва. – Днепр: НМетАУ-ИВК “Системные технологии”, 2016. – С. 299 – 327. ISBN 978-966-2596-19-9.
2. Журба А.О. Дослідження впливу параметрів фрактальних об’єктів на їх розмірність / А.О. Журба, Д.І. Журба // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (102). - Дніпропетровськ. - 2016. – С. 125–131.
3. Журба А.О. Вплив порогу та методів бінарizaції на фрактальну розмірність зображень поверхонь пористих матеріалів / А.О. Журба // Адаптивні системи автоматичного управління. Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – 2015. – Вип. 1(26). – С. 198-201.

REFERENCES

1. Zhurba A.O., Mikhalev O.I. Fractal characteristics of images of metal structures and features of their calculation // System technologies of modeling complex systems / Monograph under the general editorship of prof. A.I. Mikhaleva. - Dnipro: NMetAU-IVK “System Technologies”, 2016. - P. 299 - 327. ISBN 978-966-2596-19-9.
2. Zhurba A.O. Investigation of the influence of the parameters of fractal objects on their dimension / A.O. Zhurba, D.I. Zhurba // System technologies. Regional intercollegiate collection of scientific works. - Issue 1 (102). - Dnipropetrovsk. - 2016. - P. 125-131.
3. Zhurba A.O. Influence of threshold and binarization methods on fractal dimension of images of porous material surfaces / A.O. Zhurba // Adaptive automatic control systems. Interagency Scientific and Technical Collection. - Kyiv: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". - 2015. - Issue 1 (26). - P. 198-201.

Received 09.01.2020.

Accepted 16.01.2020.

UDC 530.1

A. Zhurba, M. Gasik

BINARIZATION METHODS AND INVESTIGATION OF THEIR INFLUENCE ON THE FRACTAL DIMENSION OF FUNCTIONAL COATINGS

An essential element of fractal analysis of functional coatings is the fractal dimension, which is an important quantitative characteristic. Typically, coating images are represented as colored or halftone, and most fractal dimension algorithms are for binary images. Therefore, an important step in fractal analysis is binarization, which is a threshold separation operation and the result of which is a binary image.

The purpose of the study is to study and program the methods of image binarization and to study the influence of these methods on the value of fractal dimension of functional coatings.

As a result of the binarization threshold, the image is split into two regions, one containing all pixels with values below a certain threshold and the other containing all pixels with values above that threshold. Of great importance is the determination of the binarization threshold.

The study analyzed a number of functional coating images, determined the fractal dimension of the image by the Box Counting method at different binarization thresholds and when applying different binarization methods (binarization with lower and upper threshold, with double restriction, and the average method for determining the optimal binarization threshold) images. The Box Counting method is used to depict any structure on a plane. This method allows us to determine the fractal dimension of not strictly self-similar objects. Each image binarization method is used for different types of images and for solving different problems.

As a result, the methods of image binarization were developed and implemented, the fractal dimension of binary images was calculated, and the influence of these methods on the value of fractal dimension of functional coatings was investigated.

The surfaces of composite steel structure, metallic porous materials, and natural cave structures are analyzed.

Keywords: binarization, binarization threshold, fractal dimension, upper threshold binarization method, lower threshold binarization method, double constraint binarization method, medium coverage binarization, functional coatings.

Журба Анна Олексіївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем, Національна металургійна академія України.

Гасик Михайло Іванович – академік НАНУ, доктор технічних наук, професор, Кафедра електрометалургії, Національна металургійна академія України.

Журба Анна Алексеевна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем, Національна металургійна академія України.

Гасик Михайло Іванович – академік НАНУ, доктор технічних наук, професор, Кафедра електрометалургії, Національна металургійна академія України.

Zhurba Anna – candidate of technical science, assistant professor, assistant professor Department of information technology and systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Gasik Michail – Academician, doctor of engineering's sciences, professor, Department of electrometallurgy, National Metallurgical Academy of Ukraine.