

Т.В. Селівьорстова, В.Ю. Селівьорстов, К.А. Соколов

## АЛГОРИТМ ДЕТЕКТУВАННЯ МІРИ СКРУГЛЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

*Анотація. Актуальність статті полягає у розробці нового підходу для кількісної оцінки форми неметалевих включень в сталі, зокрема сульфідів. Ціллю статті є розробка алгоритму детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень макроструктури темплетів металу, а саме сірчаних відбитків. Метод. Згідно запропонованого алгоритму об'єкт на зображенні – неметалева включення вважається близьким до круглої форми, якщо відношення довжини окружності рівної по площі неметалевому включенню до довжини контуру включення наближається до одиниці. Результати. Апробація розробленого алгоритму детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень проводилась з використанням розробленого прикладного програмного засобу. Для дослідження зображення його потрібно попередньо перетворити у бінарне. Далі зображення проходить обробку в результаті якої користувач отримує інформацію про кількість включень та їхню міру скруглення. Застосування розробленого алгоритму до масиву тестових зображень показало адекватність запропонованого алгоритму. Розроблений алгоритм включений у вигляді процесора в програмний засіб для аналізу сірчаних відбитків ASImprints. Висновки. Розроблений алгоритм детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень базується на інтуїтивнозрозумілому підході. Його застосування до цифрових зображень макроструктури темплетів металу надасть можливість дослідникам мікроструктурних та макроструктурних явищ в розплаві отримати кількісні їх оцінки. Ключові слова: алгоритм, округлення, довжина, контур, коло, площа, зображення, неметалеві включення, рекурсивна заливка, програмна реалізація, C++ Builder.*

**Постановка проблеми.** Відомо, що чутливість до окрихчування (зокрема водневого) значно залежить від якості сталі. Тому часто спостерігається різна схильність до водневого окрихчування сталей, близьких за хімічним складом. Дуже важлива форма неметалевих включень в сталі, особливо сульфідів. При звичайній виплавці сталі сульфідів мають пластинчасту форму, при додатковій обробці синтетичним шлаком - округлу, еліпсоподібну. Наприклад, випробування трубною сталлю з однаковим вмістом сірки показують, що шкідливий вплив водню на сталь з еліпсоподібними сульфідами на 10-40% нижчий, ніж на сталь з пластинчастими сульфідами.

В металургії та ливарному виробництві для аналізу макроструктури темплетів металу використовуються, в тому числі, сірчані відбитки, при цьому робиться, насамперед, якісна оцінка отриманого зображення у відповідності до

прийнятої шкали бальності. Саме тому задача розробки спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу оцифрованих зображень сірчаних відбитків і оцінки міри скруглення контуру є актуальною.

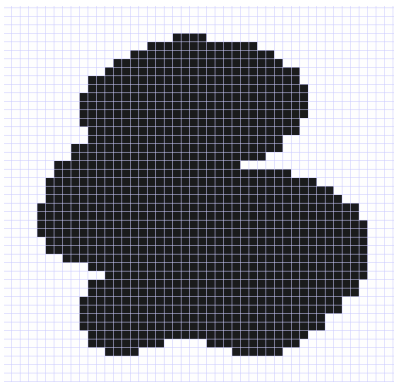
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До специфічних особливостей цифрових зображень сірчаних відбитків можна віднести:

- кольорову градацію зображення (відтінки сірого);
- нерегулярну форму областей зниженої яскравості, що відповідають сульфідним включенням;
- випадковий характер прояву областей зі зниженою яскравістю;
- випадковий розмір областей зі зниженою яскравістю;
- необмежений розмір зображення.

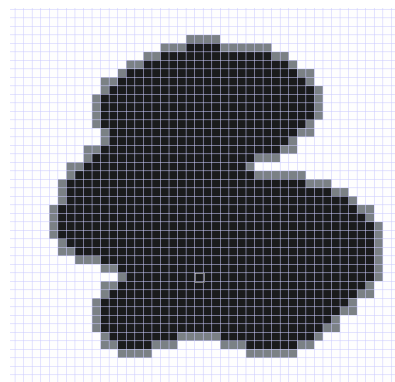
Зазначені особливості перешкоджають використанню найпоширеніших технологій аналізу цифрових зображень, заснованих на класифікації й порівнянні із шаблоном. Також важко застосовувати нейромережеві методи аналізу та ідентифікації зображень, оскільки неможливо передбачити необхідний обсяг і зміст навчальної вибірки для охоплення повного набору можливого розташування й форм областей зниженої яскравості, що відповідають сульфідним включенням [1 – 3].

Мета дослідження полягає у розробці алгоритму та спеціалізованого програмного забезпечення для дослідження зображень макроструктур, отримання кількісних характеристик міри округлості неметалевих включень.

**Алгоритм детектування міри скруглення для дослідження зображень макроструктур.** Алгоритм детектування міри округлості для зображення неметалевого включення є досить простим і базується на визначенні відношення довжини контуру включення до довжини окружності тієїж самої площі. На рисунку 1, наведено зображення неметалевого включення з відділеним контуром.



а)



б)

а) неметалеве включення;

б) границя неметалевого включення

Рисунок 1 – Фрагмент зображення із неметалевим включенням

Для детектування округлостей контуру неметалевого включення запропоновано використовувати наступний підхід:

1) обчислюється площа включення в пікс (алгоритм рекурсивної заливки [4])  $S_{pix}, pix^2$ ;

2) обчислюється довжина контуру включення в пікс (модифікація алгоритму рекурсивної заливки)  $L_{pix}, pix$ ;

3) обчислюється довжина кола  $L_{circle}, pix$  описаного біля окружності площею  $S_{pix}, pix^2$ ;

4) обчислюється відношення довжин кола та контуру включення  $L_{circle}/L_{pix}$ . Чим ближче значення до одиниці тим більш подібним до кола є форма неметалевого включення.

Площа включення в пікс  $S_{pix} = \pi R_{pix}^2$ .

Радіус кола площею  $S_{pix}$   $R_{pix} = \sqrt{\pi/S_{pix}}$ , де довжина кола радіусу  $R_{pix}$   $L_{circle} = 2\pi R_{pix}$ .

Алгоритм рекурсивного заливу можливо використовувати для визначення площі зафарбованої області. В цьому випадку, кожен раз при перефарбуванні піксела збільшується лічильник кількості пікселів, що входять до зафарбованої області.

При необхідності даний алгоритм можливо модифікувати для визначення довжини контуру зафарбованої області. Для цього на кожній ітерації проводиться перевірка наявності білого пікселя поряд із зафарбованим, у разі виконання даної умови, збільшується лічильник кількості пікселів, що входять до контуру зафарбованої області.

Для дослідження роботи алгоритму детектування ступеню округлості форми неметалевого включення було обрано ряд тестових зображень, які містять лише одне включення. В таблиці 1 наведені результати обробки зображення із включенням круглої (рисунок 2) та овальної (рисунок 3) форми. Значення  $S_{pix}, pix^2$  і  $L_{pix}, pix$  отримані із додатку, решта обчислень виконана за допомогою Excel.

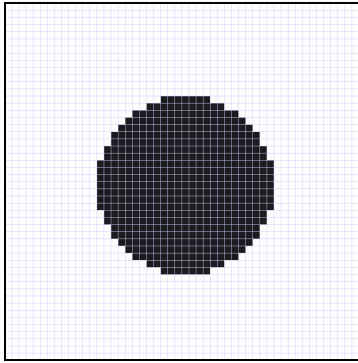


Рисунок 2 – Тестове зображення 1

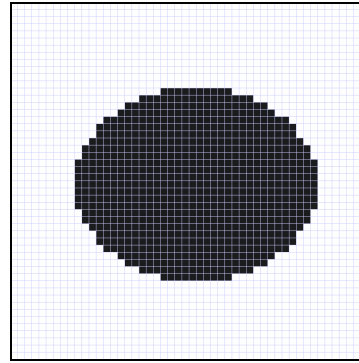


Рисунок 3 – Тестове зображення 2

Таблиця 1

Дослідження макроструктур із включеннями правильної форми

	$S_{pix}, pix^2$	$L_{pix}, pix$	$L_{circle}, pix$	$L_{circle}/L_{pix}$
Рисунок 2	489	96	78.37	0.82
Рисунок 3	726	124	95.49	0.77

Для плями круглої форми відношення  $L_{circle}/L_{pix}$  дорівнює 0.82, при цьому для овалу дане відношення дорівнює 0.77. Більш кругліші плями мають значення  $L_{circle}/L_{pix}$  ближче до одиниці. Але значення відношення  $L_{circle}/L_{pix}$  залежить від розміру зображення.

В таблиці 2 наведені результати обробки зображення із включенням неправильної форми (рисунок 4, 5, 6).

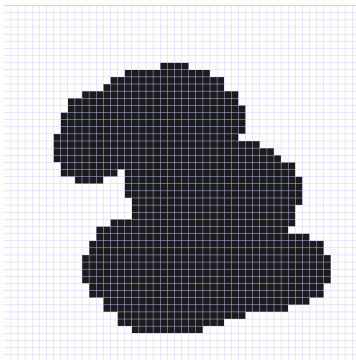


Рисунок 3 – Тестове зображення 3

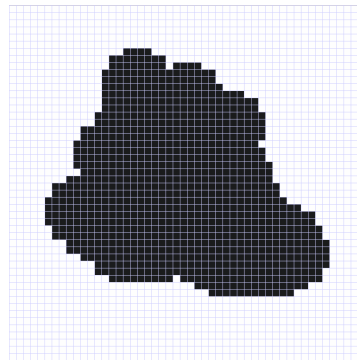


Рисунок 4 – Тестове зображення 4

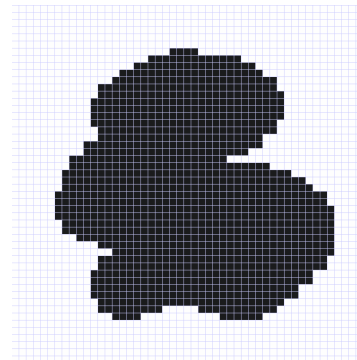


Рисунок 5 – Тестове зображення 5

## Дослідження макроструктур із включеннями неправильної форми

	$S_{pix}, pix^2$	$L_{pix}, pix$	$L_{circle}, pix$	$L_{circle}/L_{pix}$
Рисунок 3	983	174	111.11	0.64
Рисунок 4	918	155	107.38	0.69
Рисунок 5	1052	178	114.95	0.65

З таблиці 2 можна зробити висновок, що чим складніше контур, тим менше значення  $L_{circle}/L_{pix}$ . Для порівняння обирали зображення однакового розміру.

В таблиці 3 наведені результати обробки зображення із декількома включеннями неправильної форми (рисунок 6, 7).

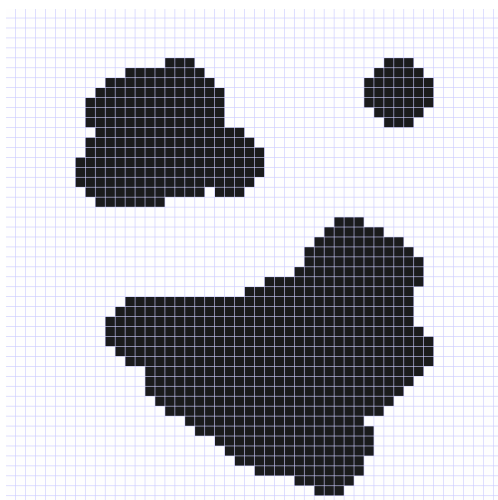


Рисунок 6 – Тестове зображення 6

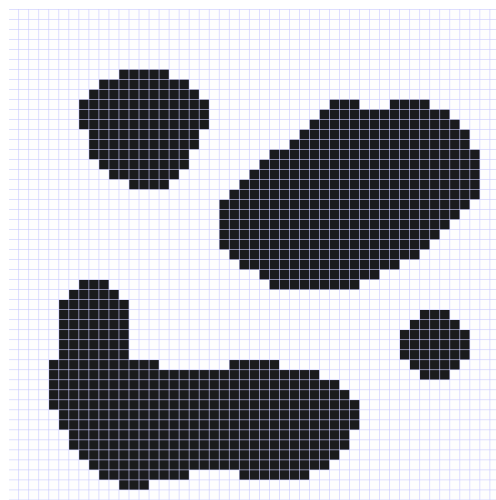


Рисунок 7 – Тестове зображення 7

## Дослідження макроструктур із декількома включеннями

	$S_{pix}, pix^2$	$L_{pix}, pix$	$L_{circle}, pix$	$L_{circle}/L_{pix}$
Рисунок 6	37	16	21.56	0.90
	205	48	50.74	0.75
	352	84	81.74	0.66
Рисунок 7	37	16	21.56	0.90
	116	32	38.17	0.83
	356	59	66.87	0.76
	368	80	67.99	0.65

Програмний засіб «Детектування детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень» відображає статистику в порядку зростання площі включення.

**Висновки.** Дослідження роботи розробленого алгоритму детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень показало близькість до одиниці відношення  $L_{circle}/L_{pix}$  для компактних включень у порівнянні із включеннями зі складним контуром. Програмний засіб «Детектування детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень» розроблений у середовищі C++Builder.

#### ЛИТЕРАТУРА / LITERATURA

1. Логунова О.С., Девятков Д.Х., Нуров Х.Х. Оценка качества непрерывно литой заготовки статистическими методами с использованием программных средств // Черная металлургия. – № 9. – 2005. – С. 54 – 58.
2. Логунова О.С., Макарычев П.П. Алгоритмы и программное обеспечение распознавания низкоконтрастных изображений при оценке качества стали // Программные продукты и системы. – № 3. – 2008. – С. 79–81.
3. Логунова О.С., Павлов В.В., Нуров Х.Х. Оценка статистическими методами серного отпечатка поперечного темплета непрерывной литой заготовки // Электрометаллургия. – № 5. – 2004. – С. 18 – 24.
4. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 512 с.

#### REFERENCES

1. Logunova O.S., Devyatov D.H., Nurov H.H. Otsenka kachestva nepreryivno litoj zagotovki statistichesкими metodami s ispolzovaniem programmnyih sredstv // Chernaya metallurgiya. – # 9. – 2005. – S. 54 – 58.
2. Logunova O.S., Makaryichev P.P. Algoritmy i programmnoe obespechenie raspoznavaniya nizkokontrastnyih izobrazheniy pri otsenke kachestva stali // Programmnyie produkty i sistemy. – # 3. –2008. –S. 79–81.
3. Logunova O.S., Pavlov V.V., Nurov H.H. Otsenka statistichesкими metodami sernogo otpechatka poperechnogo templeta nepreryivnoy litoj zagotovki // Elektrometallurgiya.–#5. –2004.–S.18–24.
4. Rodzhers D. Algoritmicheskie osnovy mashinnoy grafiki. Per. s angl. M.: Mir, 1989. 512 с.

Received 11.02.2019.  
Accepted 18.02.2019.

#### **Алгоритм детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень**

*Актуальность статьи заключается в разработке нового подхода для количественной оценки формы неметаллических включений в стали, в частности сульфидов. Целью статьи является разработка алгоритма детектирования меры скругления для анализа цифровых изображений макроструктуры темплетов металла, а именно серных отпечатков. Метод. Согласно предложенному алгоритму объект на изображении - неметаллическое включение считается близким к круглой форме, если отношение длины*

окружности равной по площади неметаллическому включению к длине его контура приближается к единице. Результаты. Апробация разработанного алгоритма детектирования меры скругления для анализа цифровых изображений проводилась с использованием разработанного прикладного программного средства. Для исследования изображения его нужно предварительно преобразовать в бинарное. Далее изображение проходит обработку, в результате которой пользователь получает информацию о количестве включений и их степени скругления. Применение разработанного алгоритма к массиву тестовых изображений показало адекватность предложенного алгоритма. Разработанный алгоритм включен в виде процессора в программное средство для анализа серных отпечатков ASImprints. Выводы. Разработанный алгоритм детектирования меры скругления для анализа цифровых изображений базируется на интуитивнопонятном подходе. Его применение к цифровым изображениям макроструктуры темплетов металла позволит исследователям микроструктурных и макроструктурных явлений в расплаве получить их количественные оценки.

#### **Algorithm for detecting rounding measures for digital image analysis**

*The urgency of the paper is to develop a new approach for quantifying the shape of non-metallic inclusions in steel, in particular sulfides. The aim of the article is to develop an algorithm for detecting a rounding measure for analyzing digital images of the macrostructure of metal templates, namely sulfuric prints. Method. According to the proposed algorithm, the object in the image - a non-metallic inclusion is considered to be close to a circular shape, if the ratio of the circumference of a circle equal in area to a non-metallic inclusion to the length of its contour approaches unity. Results. Testing of the developed algorithm for detecting rounding measures for digital image analysis was carried out using the developed application software. To study the image it must first be converted to binary. Next, the image is processed, as a result of which the user receives information about the number of inclusions and their degree of rounding. The application of the developed algorithm to the array of test images showed the adequacy of the proposed algorithm. The developed algorithm is included in the form of a processor in the ASImprints software for analyzing sulfuric prints. Conclusions. The developed algorithm for detecting the rounding measure for analyzing digital images is based on an intuitive approach. Its application to digital images of the macrostructure of metal templates will allow researchers to obtain microstructural and macrostructural phenomena in the melt to obtain their quantitative estimates.*

**Соколов К.А.** - магистр, Национальная металлургическая академия Украины.

**Селиверстова Т.В.** - к.т.н., доцент, Национальная металлургическая академия Украины.

**Селиверстов В.Ю.** - д.т.н., профессор, Национальная металлургическая академия Украины.

**Соколов К.А.** – магістр, Національна металургійна академія України.

**Селівьорстова Т.В.** – к.т.н., доцент, Національна металургійна академія України.

**Селівьорстов В.Ю.** – д.т.н., професор, Національна металургійна академія України.

**Sokolov K.** - student, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Selivorstova T.** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Selivorstov V.** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Foundry, National Metallurgical Academy of Ukraine.