

The methods and algorithms of processing of images of the microstructures images, allowing on quantitative level to range microstructures of one type of steels, are developed in the present work.

А. Н. ЧИЧКО, О. А. САЧЕК, В. Ф. СОБОЛЕВ, С. Г. ЛИХОУЗОВ, О. И. ЧИЧКО, БНТУ

УДК 004.932+669

О КОМПЬЮТЕРНЫХ МЕТОДАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖПЛАСТИНОЧНЫХ РАССТОЯНИЙ ПЕРЛИТА В СТАЛЯХ

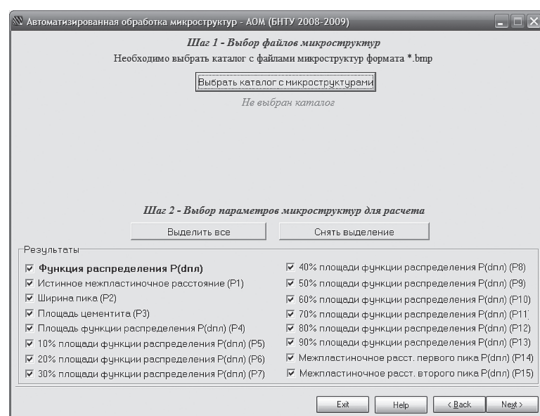
Разработка методов и алгоритмов автоматизации обработки микроструктур железоуглеродистых сплавов является сложнейшей задачей компьютерного анализа изображений, которая теснейшим образом связана с разработкой технологических процессов промышленного производства.

Анализ методик, используемых в заводских лабораториях, а также литературных данных показал, что методы и алгоритмы автоматизированного анализа микроструктур углеродистых сталей еще недостаточно разработаны, что затрудняет решение ряда практических задач промышленного производства.

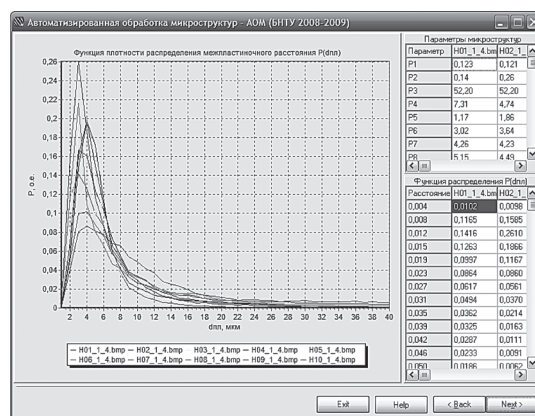
В настоящей работе развиваются методы и алгоритмы обработки изображений микроструктур, позволяющие на количественном уровне ранжировать микроструктуры одного класса сталей, что дает возможность создать математический аппарат для решения многочисленных научно-технических задач металлургического производства. В основе развиваемых методов положена гипотеза о том, что микроструктура сплава характеризуется распреде-

лением межпластиночных расстояний или статистической функцией распределения межпластиночных расстояний двухфазной системы. Эта гипотеза позволяет характеризовать микроструктуру стали не усредненно одной величиной, а как множество значений межпластиночных расстояний, что повышает достоверность и информативность предлагаемой методологии.

При выполнении работы разработан алгоритм для обработки изображения микроструктуры перлитных сталей, полученных с использованием электронного микроскопа с увеличением 4000, включающий следующие этапы: первичную обработку изображений, бинаризацию изображений с использованием адаптивного порога, определение значений межпластиночных расстояний микроструктур с использованием метода треугольников, определение нормированной функции распределения межпластиночных расстояний $H_P(d_{пл})$ по всему выделенному полю микроструктуры [1, 2]. Алгоритм был реализован в виде программного обеспечения для автоматизированной обработки микро-



а



б

Рис. 1. Основные окна программы автоматизированной обработки микроструктур перлитной стали «АОМ-1»: а – окно выбора параметров обработки микроструктур; б – окно с результатами работы

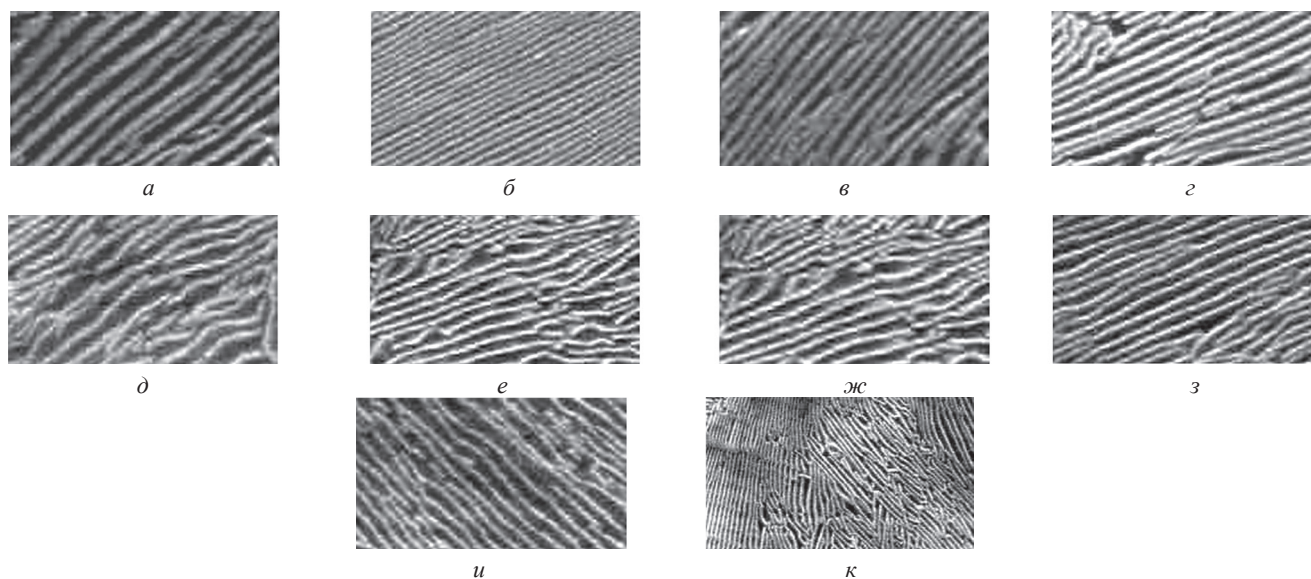


Рис. 2. Фотографии исследованных десяти фрагментов № 1–10 изображений микроструктур перлитной стали: а – № 1; б – № 2; в – № 3; г – № 4; д – № 5; е – № 6; ж – № 7; з – № 8; и – № 9; к – № 10

структур перлитных сталей «АОМ-1» [3]. Программное обеспечение «АОМ-1» предназначено для количественного анализа микроструктур с пластинчатой структурой с целью выявления взаимосвязей между свойствами стали и характеристиками микроструктуры. С помощью «АОМ-1» по изображению микроструктуры можно определить функцию статистического распределения межпластинчатых расстояний; параметры для математической формализации микроструктуры.

На рис. 1 показаны основные окна программы: окно выбора параметров обработки микроструктур и окно, содержащее результаты работы.

С целью проведения верификации разработанного алгоритма были отобраны десять фрагментов изображений микроструктур катанки РУП «БМЗ» (рис. 2).

На первом этапе верификации было проведено исследование зависимости вида кривой функции распределения от числа найденных межпластинчатых расстояний микроструктуры с помощью программного обеспечения «АОМ-1». На рис. 3 представлены результаты исследования для микроструктуры фрагмента № 1 (рис. 2, а), при этом число наблюдений, участвующих в исследовании, изменялось от 100 до 10 000, а именно $n = 100$; 300; 500; 10 000. Как видно из рисунка, увеличение числа межпластинчатых расстояний уменьшает число локальных максимумов функции и сглаживает вид кривой.

На следующем этапе, используя метод секущих, были рассчитаны статистические функции распределения расстояний для различного числа расстояний для десяти исследуемых фрагментов изображений микроструктур. На рис. 4, 5 показа-

ны функции распределения, полученные с помощью программы «АОМ-1» и традиционным методом (методом секущих) с использованием различного числа секущих для фрагмента микроструктуры № 1 (см. рис. 2, а). Как видно из рисунков, уве-

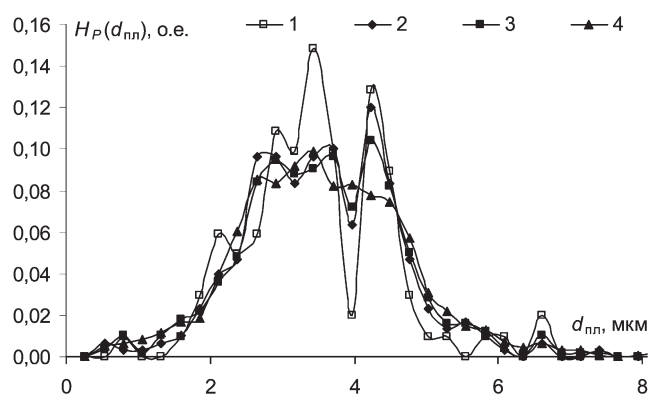


Рис. 3. Функции распределения межпластинчатых расстояний для микроструктуры (фрагмент № 1) для различного числа расстояний n , полученное с использованием программы «АОМ-1»: 1 – $n = 100$; 2 – 300; 3 – 500; 4 – 10 000

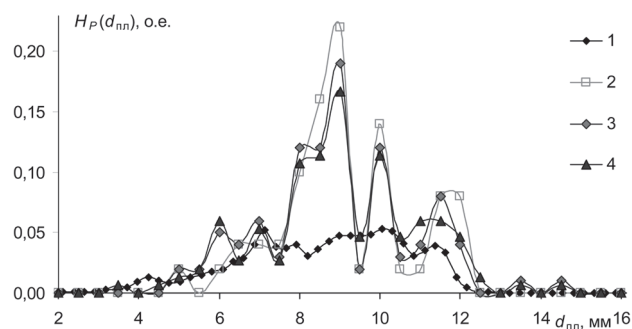


Рис. 4. Функции распределения межпластинчатых расстояний для фрагмента микроструктуры № 1 (см. рис. 2, а), полученные различными способами: 1 – с использованием программы «АОМ-1»; 2 – методом секущих, $n = 50$; 3 – методом секущих, $n = 100$; 4 – методом секущих, $n = 150$

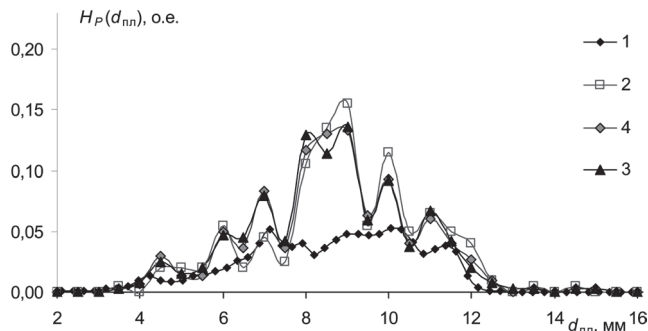


Рис. 5. Функции распределения межпластиночных расстояний для фрагмента микроструктуры № 1 (см. рис. 2, а), полученные различными способами: 1 – с использованием программы «АОМ-1»; 2 – методом секущих, $n = 200$; 3 – методом секущих, $n = 300$; 4 – методом секущих, $n = 400$

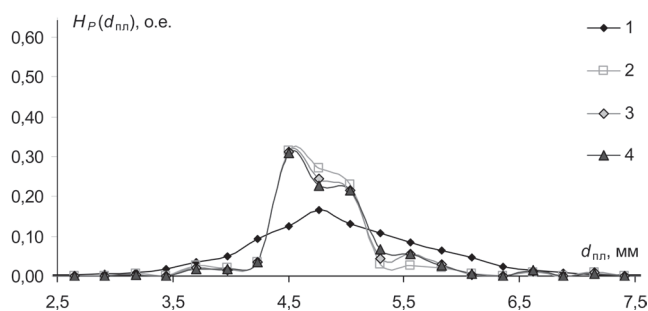


Рис. 7. Функции распределение межпластиночных расстояний для фрагмента микроструктуры № 2 (см. рис. 2, б), полученные различными способами: 1 – с использованием программы «АОМ-1»; 2 – методом секущих, $n = 200$; 3 – методом секущих, $n = 250$; 4 – методом секущих, $n = 300$

личение числа секущих сглаживает вид кривой, приближая ее значения к значениям функции, полученной с использованием программы «АОМ-1».

На рис. 6, 7 представлены функции распределения, полученные с помощью программы «АОМ-1» и методом секущих для различного числа секущих для фрагмента микроструктуры № 2 (см. рис. 2, б).

На рис. 8, 9 показаны функции распределения, полученные с помощью программы «АОМ-1» и методом секущих для различного числа секущих для фрагмента микроструктуры № 3 (см. рис. 2, в).

При выполнении работы был проведен сравнительный анализ функций распределения межпластиночных расстояний для различного числа наблюдений, определенных методом секущих и с использованием программы «АОМ-1». С одной стороны, традиционным методом для различного числа секущих (n изменялось с шагом 50 от 50 до $n_{\max}$ – максимального значения секущих для исследуемого фрагмента) было выделено по 20 случайных выборок значений межпластиночных расстояний, затем в каждой выборке было определено среднее значение. С другой стороны, с использованием программы «АОМ-1» было рассчитано среднее межпластиночное расстояние фрагмента микро-

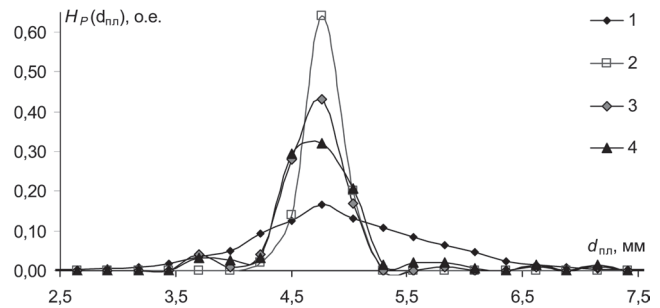


Рис. 6. Функции распределения межпластиночных расстояний для фрагмента микроструктуры № 2 (см. рис. 2, б), полученные различными способами: 1 – с использованием программы «АОМ-1»; 2 – методом секущих, $n = 50$; 3 – методом секущих, $n = 100$; 4 – методом секущих, $n = 150$

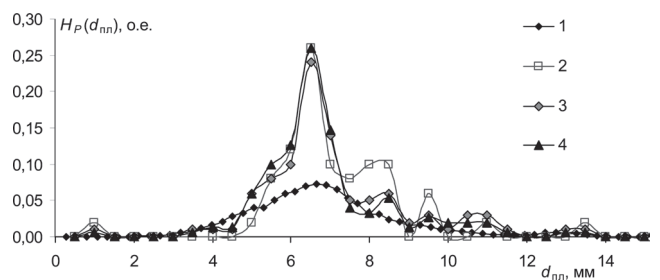


Рис. 8. Функции распределения межпластиночных расстояний для фрагмента микроструктуры № 3 (см. рис. 2, в), полученные различными способами: 1 – с использованием программы «АОМ-1»; 2 – методом секущих, $n = 50$; 3 – методом секущих, $n = 100$; 4 – методом секущих, $n = 150$

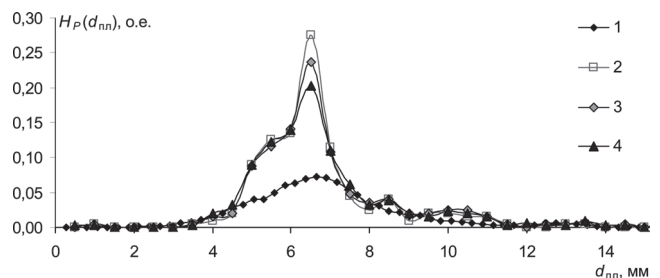


Рис. 9. Функции распределения межпластиночных расстояний для фрагмента микроструктуры № 3 (см. рис. 2, в), полученные различными способами: 1 – с использованием программы «АОМ-1»; 2 – методом секущих, $n = 200$; 3 – методом секущих, $n = 250$; 4 – методом секущих, $n = 300$

структуры. Полученные результаты расчетов для фрагментов микроструктур № 1–3 представлены на рис. 10–12.

Как видно из рисунков, при увеличении числа секущих диапазон значений среднего межпластиночного расстояния сужается, а среднее значение, полученное с использованием программы «АОМ-1», лежит в середине диапазона и близко к значению, полученному методом секущих для максимального числа секущих. Для количественной оценки приближения значений средних межпластиночных расстояний фрагментов была рассчитана степень разброса расстояний, определенных методом секущих, от значений, полученных с помощью программы «АОМ-1» (рис. 13). Степень

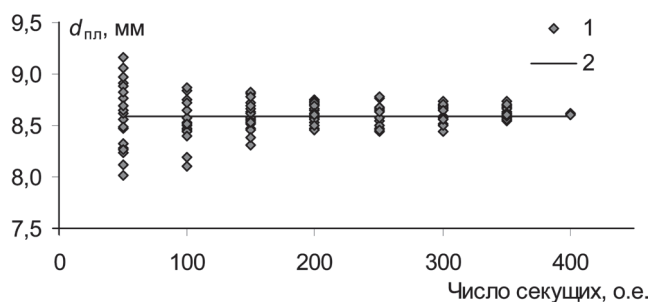


Рис. 10. Значения среднего межпластиночного расстояния, полученные различными способами для фрагмента микроструктуры № 1 (см. рис. 2, а): 1 – методом секущих; 2 – с использованием программы «АОМ-1»

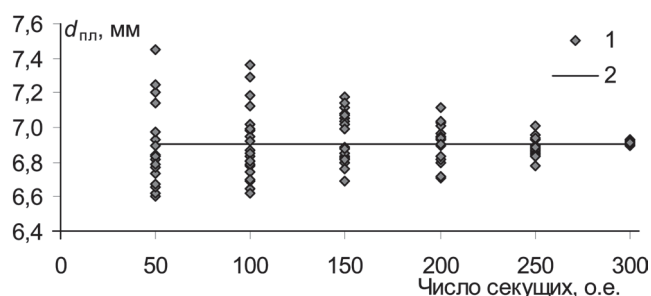


Рис. 12. Значения среднего межпластиночного расстояния, полученные различными способами для фрагмента микроструктуры № 3 (см. рис. 2, в): 1 – методом секущих; 2 – с использованием программы «АОМ-1»

разброса определялась по методу наименьших квадратов:

$$N_r(x) = \sum_{j=1}^{20} (d_{\text{ср}}^j(x) - d_{\text{ср}}^{\text{АОМ}})^2,$$

где $d_{\text{ср}}^j(x)$ – среднее значение межпластиночного расстояния, определенного методом секущих для числа секущих, равного x ; $d_{\text{ср}}^{\text{АОМ}}$ – среднее значение межпластиночного расстояния, определенного с использованием программы «АОМ-1».

Как видно из рисунков, при увеличении числа секущих степень разброса средних значений расстояний, полученных с помощью метода секущих, относительно значений, полученных с использованием программы «АОМ-1», приближается к минимальным значениям.

В таблице приведены значения среднего межпластиночного расстояния, рассчитанные с использованием традиционного и автоматизированного методов. Как видно из таблицы, максимальное отклонение между расстояниями, вычисленными различными способами, составляет менее 1%. Исходя из этого, можно утверждать, что автоматизированный метод обработки микроструктур, алгоритм которого реализован в программном обеспечении «АОМ-1», позволяет получить значения межпластиночных расстояний микроструктуры, близкие к значениям, полученным традиционным методом с большим числом секущих.

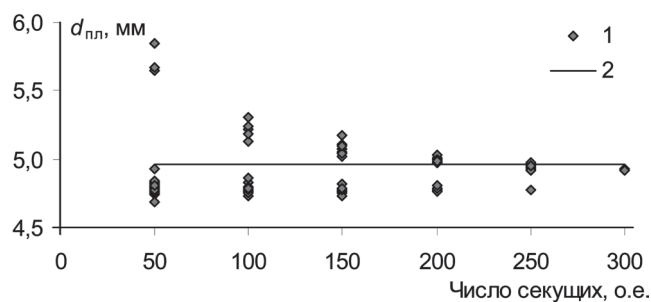


Рис. 11. Значения среднего межпластиночного расстояния, полученные различными способами для фрагмента микроструктуры № 2 (см. рис. 2, б): 1 – методом секущих; 2 – с использованием программы «АОМ-1»

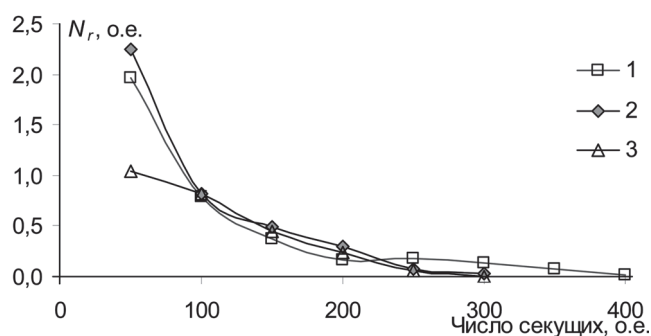


Рис. 13. Степень разброса средних значений межпластиночных расстояний, полученных с помощью метода секущих и программы «АОМ-1» для фрагментов микроструктуры № 1–3: 1 – фрагмент микроструктуры № 1; 2 – фрагмент микроструктуры № 2; 3 – фрагмент микроструктуры № 3

Средние значения межпластиночных расстояний, вычисленных с использованием различных методов

Номер фрагмента образца	Среднее расстояние, вычисленное с использованием программы «АОМ-1», мм	Среднее расстояние, вычисленное с использованием метода секущих, мм	Δ , мм	Δ , %
1	8,586	8,602	-0,016	-0,19
2	4,961	4,921	0,040	0,81
3	6,903	6,908	-0,005	-0,07
4	7,889	7,832	0,057	0,72
5	8,254	8,188	0,066	0,80
6	6,370	6,363	0,007	0,11
7	5,868	5,849	0,019	0,32
8	6,385	6,328	0,057	0,89
9	7,559	7,542	0,017	0,22
10	2,544	2,560	-0,016	-0,63

Таким образом, проведена верификация изображений микроструктуры перлитных сталей (образцы РУП «Белорусский металлургический завод») на основе традиционного метода секущих, используемого в металловедческой практике, и разработанного метода треугольников. Проведен сравнительный анализ межпластиночных расстояний перлитной стали, рассчитанных с помощью компью-

терного метода треугольников (предлагаемый метод) и метода секущих (традиционный метод). Показано, что отклонение средних значений межпластиночных расстояний не превышает 1%. Следует

отметить, что традиционный метод даже для одного образца трудоемок по времени, в то время как компьютерный метод треугольников обрабатывает аналогичную микроструктуру за секунды.

Литература

1. Чичко А. Н., Сачек О. А., Лихоузов С. Г. О некоторых алгоритмах и методах обработки изображения микроструктур перлитных сталей // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2011. № 2. С. 9–15.
2. Чичко А. Н., Сачек О. А., Лихоузов С. Г. Методы автоматизации обработки изображений микроструктур перлитных сталей // Информационные технологии. 2010. № 7. С. 71–77.
3. Свидетельство о регистрации компьютерной программы АОМ-1: 085 / А. Н. Чичко, О. А. Сачек, С. Г. Лихоузов, А. В. Веденеев, Е. П. Барадынцева, В. Ф. Соболев В. Ф. № С20090028; заявл. 11.06.2009; зарег. 16.06.2009.