



Поступила 16.04.2013

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

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ МИКРОСТРУКТУР СЕРЫХ ЧУГУНОВ КАК ИНСТРУМЕНТ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАФИТА

*На основе микроструктур серого чугуна с различной длиной включений пластинчатого графита, приведенных в ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры», показаны возможности классификации микроструктур ПГд15, ПГд25, ПГд45, ПГд90, ПГд180, ПГд350, ПГд750 и ПГд1000 на основе методов обработки изображений, что позволяет разработать методики для перехода от качественной шкалы микроструктур, используемой для анализа графитной фазы, к количественной.*

*Based on gray cast iron microstructure with different lengths of flaky graphite inclusions contained in GOST 3443-87 «Cast iron with various forms of graphite. Methods for determining the structure» shows the possibilities of classification of microstructures ПГд15, ПГд25, ПГд45, ПГд90, ПГд180, ПГд350, ПГд750 and ПГд1000 based on image processing techniques that allows to develop a methodology for the transition from qualitative scale of microstructures used for the analysis of the graphite phase, to quantify.*

Развитие компьютерных технологий открывает новые возможности для анализа микроструктур промышленных сплавов. В работах [1, 2] было показано, что методы обработки изображений микроструктур позволяют автоматизировать процесс работы технического персонала заводских лабораторий предприятий и, тем самым, снизить субъективный фактор при получении данных по феррито-цементитным расстояниям. Дальнейшее развитие компьютерных технологий обработки перлитных сталей привело к разработке специализированного программного обеспечения для новой формализации и параметризации микроструктур, что создало основу для выявления новых закономерностей с изучением взаимосвязей «микроструктура – свойства» [3, 4].

Известно, что микроструктура перлитных сталей, обработке изображений которых были посвящены [1–4], относится к нормальным эвтектикам. Представляет огромный практический интерес дальнейшее развитие этих алгоритмов и методов в применении к другим промышленным сплавам – чугунам, имеющим структуру, близкую к аномальным эвтектикам.

Целью настоящей работы является оценка возможности обработки изображений микроструктур с аномальной эвтектикой на основе микроструктур серого чугуна, приведенных в ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры» [5].

Известно, что микроструктуры серых чугунов оценивают на основе анализа металлической матрицы и распределений графита. При этом важнейшими параметрами являются размер и число графитных включений, которые определяются упрощенно на основе качественных шкал. В связи с этим была поставлена задача по определению методов перевода качественных шкал в количественные на основе эталонных микроструктур серого чугуна, приведенных в ГОСТ 3443-87.

На рис. 1 показаны изображения микроструктур серого чугуна с различной длиной включений графита ПГд15 (длина включений до 15 мкм), ПГд25 (от 15 до 30 мкм), ПГд45 (от 30 до 60 мкм), ПГд90 (от 60 до 120 мкм) согласно ГОСТ 3443-87. Как видно из рисунка, на микроструктурах имеется графитная фаза различного размера, что соответствует реальным неравновесным условиям кристаллизации.

Для обработки микроструктур был разработан следующий алгоритм.

*Шаг 1.* Сканирование изображения микроструктуры.

*Шаг 2.* Бинаризация изображений с различным пороговым значением.

*Шаг 3.* Математическая обработка изображений микроструктур с целью определения функции распределения размеров графитных включений.

*Шаг 4.* Нормирование функций распределения по результатам бинаризации для анализа микроструктур.

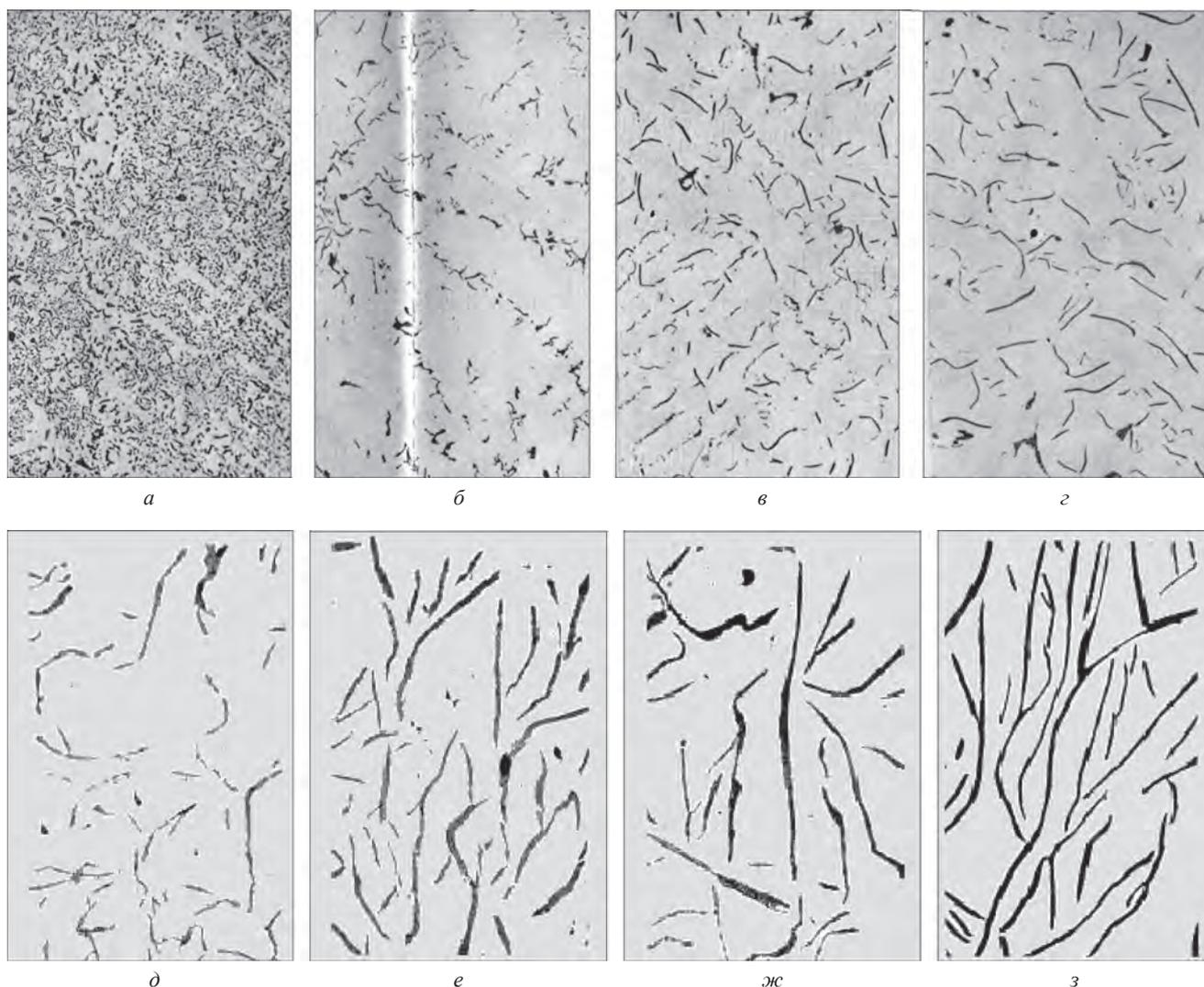


Рис. 1. Изображения микроструктур серого чугуна с пластинчатым графитом по ГОСТ 3443–87 с различной длиной включений графита: *а* – ПГд15; *б* – ПГд25; *в* – ПГд45; *г* – ПГд90; *д* – ПГд180; *е* – ПГд350; *ж* – ПГд750; *з* – ПГд1000

Известно, что порог бинаризации изображения является важнейшей характеристикой, которая может оказывать существенное влияние на результат обработки. Поэтому исследование проводили при двух порогах бинаризации. На рис. 2 представлены бинаризованные микроструктуры ПГд15, ПГд25, ПГд45, ПГд90 с двумя порогами бинаризации 0,7 и 0,8.

На основе одного из модулей разработанной в БНТУ программы «АОМ-2сч» были рассчитаны функции распределения размеров графитной фазы по бинаризованным изображениям микроструктур, приведенным в ГОСТ 3443-87. На рис. 3–5, *а*, *б* показаны рассчитанные нормированные функции распределения графита по исследуемым микроструктурам для двух порогов бинаризации 0,7 и 0,8.

Как видно из рис. 3, расчетные функции распределения по размерам графитной фазы для микроструктур ПГд15 и ПГд25 существенно различа-

ются. Причем эта тенденция сохраняется как для порога бинаризации 0,7, так и для порога 0,8. В частности, для структуры ПГд25 наблюдается снижение значения функции распределения, а также ее смещение в сторону больших размеров графитных включений. Аналогичная ситуация для обоих порогов бинаризации наблюдается при сравнительном анализе функций распределения для микроструктур ПГд25 и ПГд45 (рис. 4).

Таким образом, микроструктуры ПГд15, ПГд25 и ПГд45 могут быть количественно проранжированы с помощью указанных функций распределения размеров графитной фазы. Сравнительный анализ микроструктур ПГд45 и ПГд90 показал, что тенденция к снижению максимумов и сдвигу в сторону большей длины графитной фазы наблюдается и у структуры ПГд90. Из рис. 5 видно, что классификация микроструктур ПГд45 и ПГд90 может быть улучшена при изменении порога бинаризации в сторону его увеличения. Это открывает

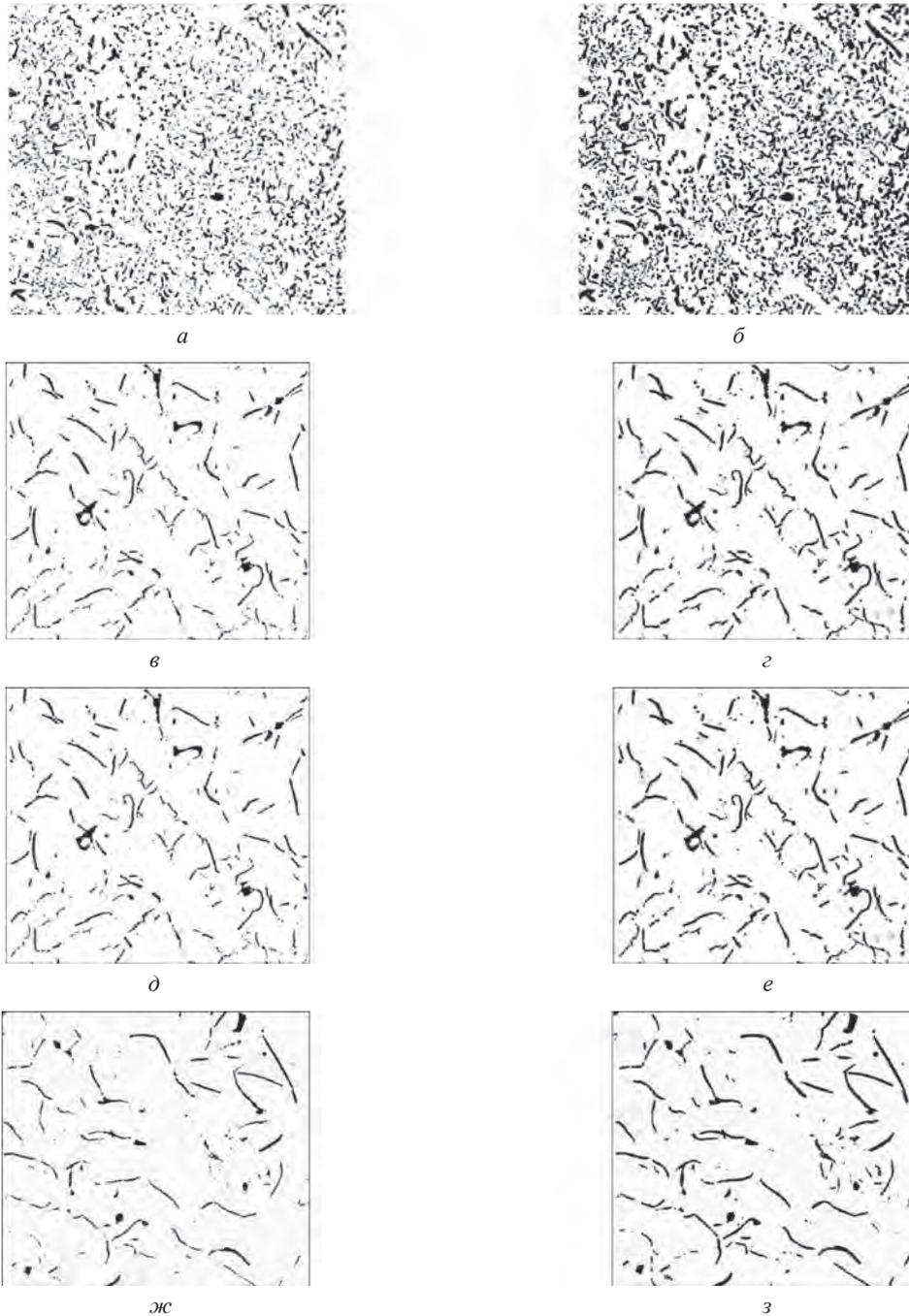


Рис. 2. Бинаризованные изображения микроструктур ПГд15 (а, б), ПГд25 (в, г), ПГд45 (д, е), ПГд90 (ж, з), полученные с использованием двух порогов бинаризации: а, в, д, ж – порог бинаризации 0,7; б, г, е, з – порог бинаризации 0,8

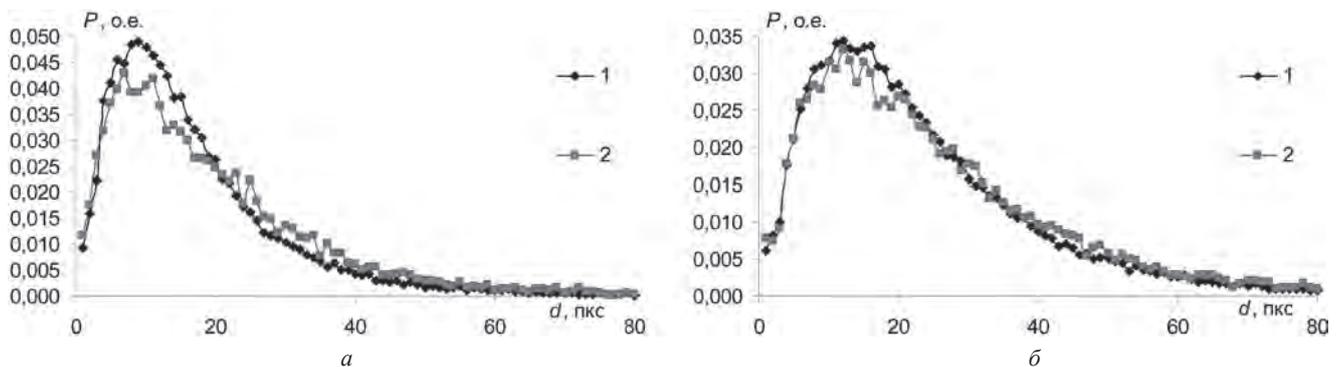


Рис. 3. Нормированные функции распределения размеров графитной фазы в микроструктурах ПГд15 (1) и ПГд25 (2) для двух порогов бинаризации 0,7 (а) и 0,8 (б)

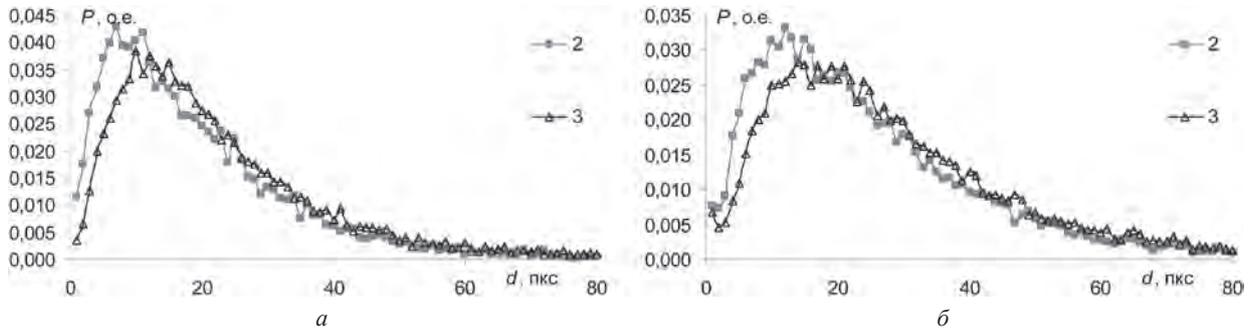


Рис. 4. Нормированные функции распределения размеров графитной фазы в микроструктурах ПГд25 (2) и ПГд45 (3) для двух порогов бинаризации 0,7 (а) и 0,8 (б)

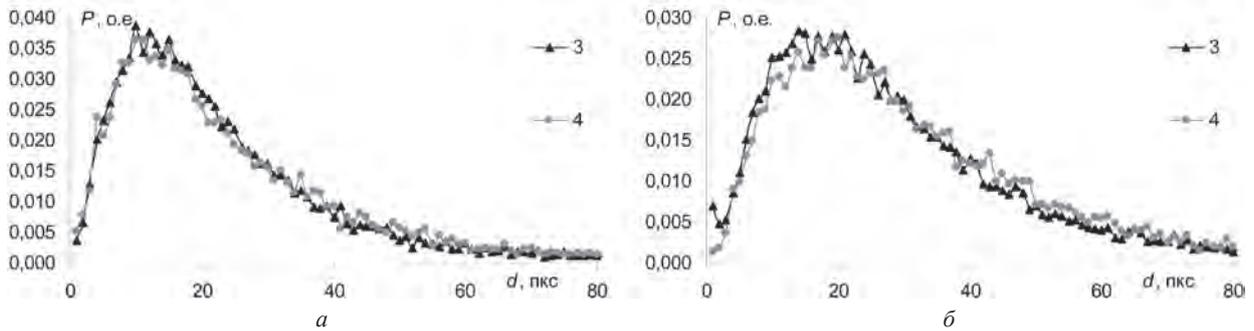


Рис. 5. Нормированные функции распределения размеров графитной фазы в микроструктурах ПГд45 (3) и ПГд90 (4) для двух порогов бинаризации 0,7 (а) и 0,8 (б)

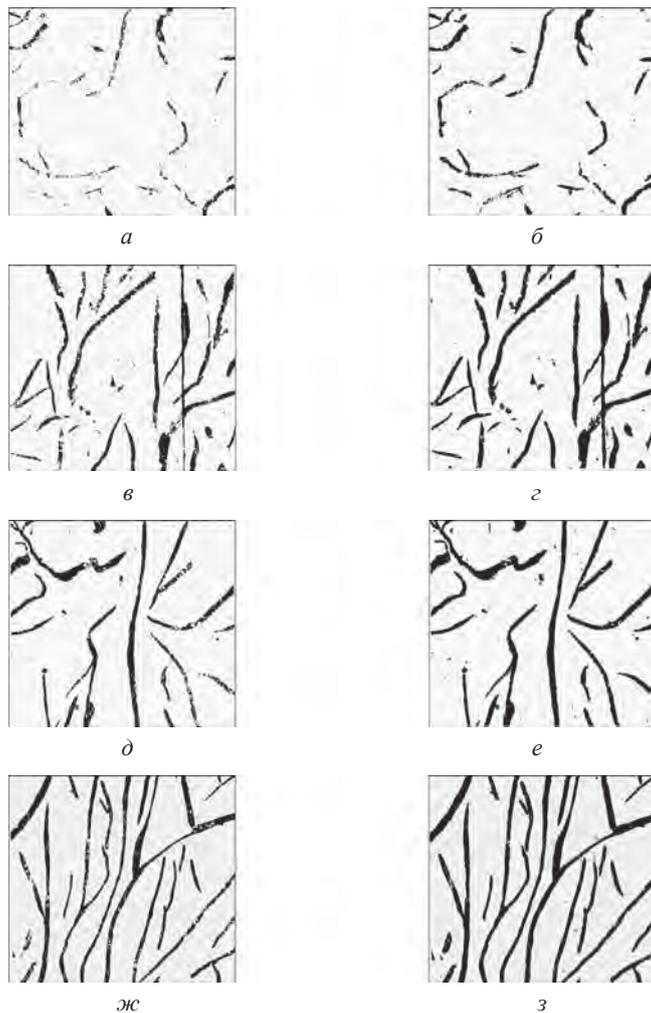


Рис. 6. Бинаризованные изображения эталонных микроструктур ПГд180 (а, б), ПГд350 (в, г), ПГд750 (д, е), ПГд1000 (ж, з), полученные с использованием двух порогов бинаризации: а, в, д, ж – порог бинаризации 0,7; б, г, е, з – порог бинаризации 0,8

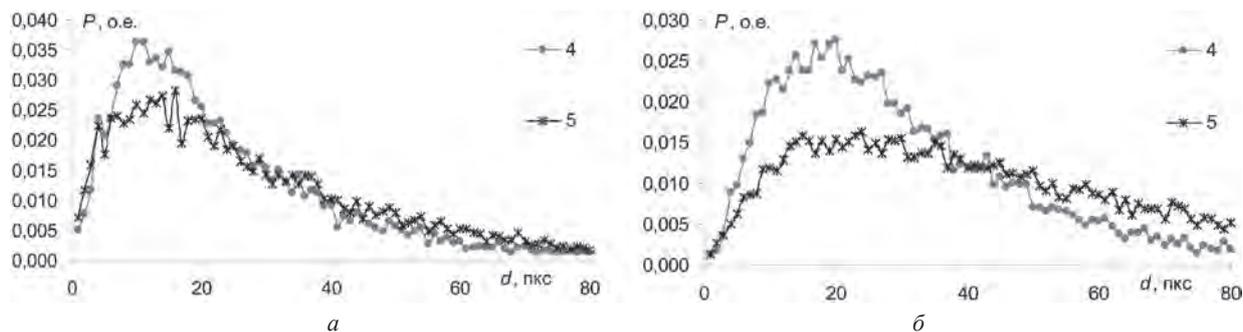


Рис. 7. Нормированные функции распределения размеров графитной фазы в микроструктурах ПГд90 (4) и ПГд180 (5) для двух порогов бинаризации 0,7 (а) и 0,8 (б)

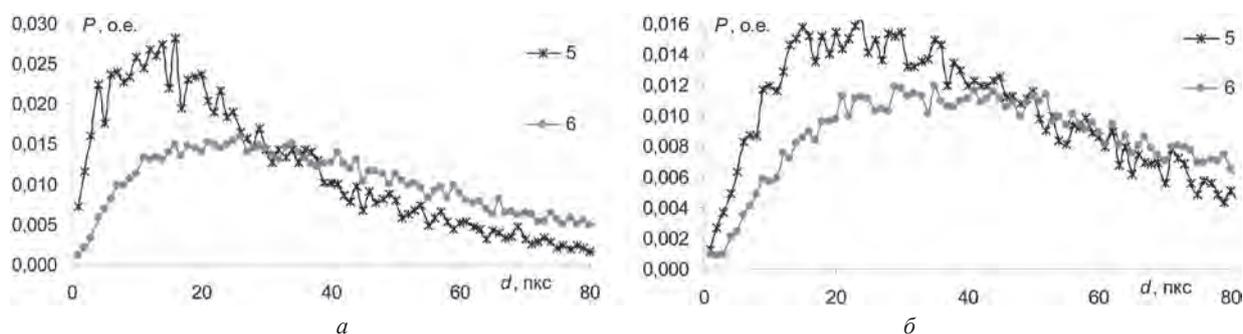


Рис. 8. Нормированные функции распределения размеров графитной фазы в микроструктурах ПГд180 (5) и ПГд350 (6) для двух порогов бинаризации 0,7 (а) и 0,8 (б)

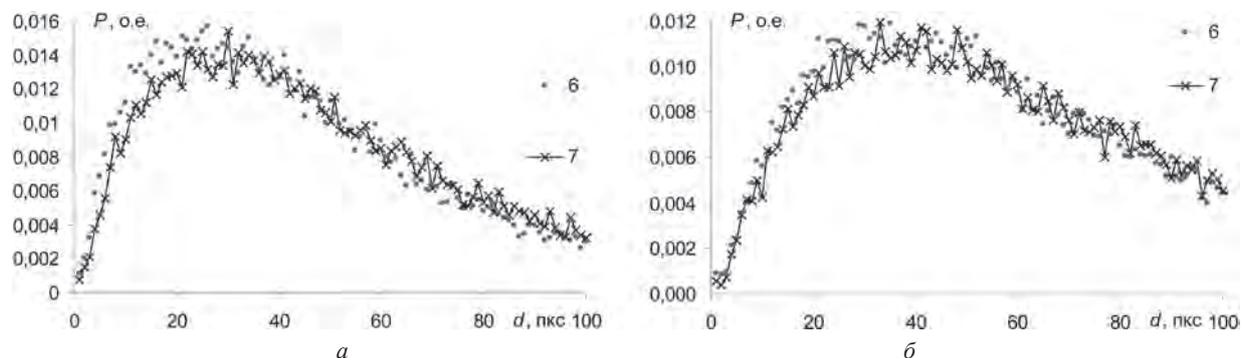


Рис. 9. Нормированные функции распределения размеров графитной фазы в микроструктурах ПГд350 (6) и ПГд750 (7) для двух порогов бинаризации 0,7 (а) и 0,8 (б)

новые возможности в замене качественной шкалы, определяющей размер графитной фазы, на количественную.

На рис. 6 приведены бинаризованные микроструктуры ПГд180, ПГд350, ПГд750, ПГд1000 с двумя порогами бинаризации 0,7 и 0,8.

На рис. 7–10, а, б представлены рассчитанные нормированные функции распределения графита по исследуемым микроструктурам для двух порогов бинаризации 0,7 и 0,8.

В результате сравнительного анализа функций распределения (рис. 7, 8) можно сделать вывод о том, что по размерам графитной фазы микроструктуры ПГд90 и ПГд180, а также ПГд180 и ПГд350 заметно различаются. Причем это видно для обоих порогов бинаризации изображения. Для микроструктур с большими размерами графитной

фазы (рис. 9, 10) также имеется различие, хотя и менее заметное. В частности, для структур с большей величиной графитной фазы наблюдаются снижение значений функции распределения в области значений  $d < 30$  пкс, а также смещение функции в сторону больших размеров графитных включений.

Таким образом, микроструктуры ПГд90, ПГд180, ПГд750 и ПГд1000 также могут быть количественно проранжированы с помощью указанных функций распределения размеров графитной фазы.

Проведенные исследования показывают, что микроструктуры серого чугуна по ГОСТ легко классифицируются по функциям распределения графита, рассчитанным с помощью компьютерного метода обработки изображения. Это позволяет сделать вывод о возможности разработки метода

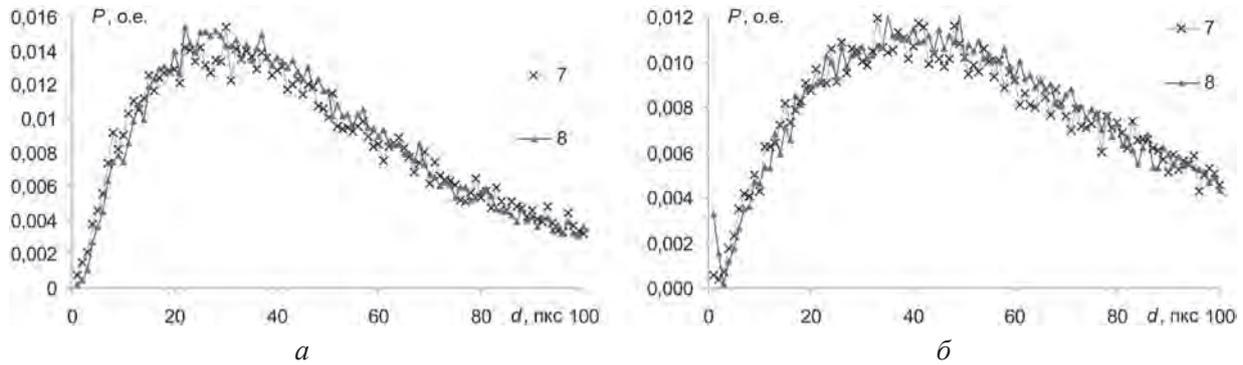


Рис. 10. Нормированные функции распределения размеров графитной фазы в микроструктурах ПГд750 (7) и ПГд1000 (8) для двух порогов бинаризации 0,7 (а) и 0,8 (б)

для перехода от качественной бальной шкалы классификации микроструктур серых чугунов к количественной шкале.

### Выводы

На основе микроструктур серого чугуна с различной длиной включений пластинчатого графита, приведенных в ГОСТ 3443-87 «Отливки из чу-

гуна с различной формой графита. Методы определения структуры», показаны возможности классификации микроструктур ПГд15, ПГд25, ПГд45, ПГд90, ПГд180, ПГд350, ПГд750 и ПГд1000 на основе методов обработки изображений, что позволяет разработать методики для перехода от качественной шкалы микроструктур, используемой для анализа графитной фазы, к количественной.

### Литература

1. Лихозов С. Г. О методах компьютерной обработки микроструктур сталей с различной дисперсностью перлита / С. Г. Лихозов, О. А. Сачек, А. Н. Чичко // Информатика и системы управления. 2010. № 1. С. 19–29.
2. Чичко А. Н. О методах математического описания изображений микроструктур перлитных сталей / А. Н. Чичко, О. А. Сачек // Вест. Полоц. гос. ун-та. Серия С. Фундаментальные науки. 2010. № 3. С. 15–22.
3. Чичко А. Н. Программное обеспечение и алгоритмы для анализа изображений микроструктур перлитных сталей / А. Н. Чичко, О. А. Сачек, С. Г. Лихозов // Программные продукты и системы. 2010. № 4. С. 123–127.
4. Чичко А. Н. Методы автоматизации обработки изображений микроструктур перлитных сталей / А. Н. Чичко, О. А. Сачек, С. Г. Лихозов // Информационные технологии. 2010. № 7. С. 71–77.
5. ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры».