

А.А. ОРЛОВ,
Л.В. АНТОНОВ

**Методика анализа микро- и
наномасштабных снимков
промышленных изделий, ее
реализация и применение**

УДК 004.942

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВПО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г.Муром

Предлагается методика анализа снимков микро- и наноструктур промышленных материалов, позволяющая управлять процессом автоматического распознавания снимков. Методика основана на применении алгоритмов обработки изображений, базирующихся на интегральном преобразовании по сегменту полосы. Созданная методика лежит в основе реализованного программного комплекса, способного выделить и классифицировать микро- и нанодефекты и их признаки. Результаты работы внедрены на ряде машиностроительных и металлургических предприятий.

Работа поддержана грантом РФФИ № 11-07-97515

В настоящее время обработка наномасштабных снимков обусловлена, в первую очередь необходимостью в получении данных о физических и химических свойствах вещества. Спектр решаемых задач по обработке снимков наноструктуры весьма обширен и включает в себя такие направления, как определение геометрических показателей наночастиц или кластеров частиц; классификация и кластеризация объектов наномасштабных снимков; определение статистических характеристик и соотношений в исследуемом объекте; создание компьютерных моделей исследуемого вещества, с помощью восстановления трехмерных моделей с двухмерных снимков. Перечисленные направления являются приоритетными. Для решения поставленных задач, порой необходимо решать и множе-

ство промежуточных проблем, связанных с отсутствием алгоритмической базы для обработки подобного рода изображений. Но если приведенные проблемы будут преодолены, то откроются безграничные перспективы, позволяющие решать различный спектр технических, химических, микробиологических, геологических, металлургических задач. Отдельно хотелось бы выделить перспективу развития прогнозирования при точном получении статистических характеристик с наномасштабных снимков, например, на основе полученных данных о вещественном составе объекта и распределении этих веществ по всему объему объекта можно спрогнозировать ситуации, в которых данная структура вещества будет неустойчива, а следовательно разрушена [1].

Известно, что максимальная разрешающая способность биологической системы зрения человека – 10^{-4} м. С помощью обычного оптического микроскопа человек может рассмотреть объекты размером 10^{-7} м. Но технологии за последнее время шагнули далеко вперед и за счет мощности некоторых современных микроскопических систем удалось добиться невероятной степени детализации 10^{-9} - 10^{-10} м. Таким образом, максимальная разрешающая способность современной аппаратуры - 10^{-10} или 1 Å (Ангстрем), что приблизительно равно радиусу орбиты электрона в невозбужденном атоме водорода [1].

Составные компоненты исследуемого твердого тела образуют определенную структуру. Ее исследование может выявить основные физико-химические свойства данного тела. Для анализа, как правило, используются следующие характеристики микроструктуры: количество компонентов, входящих в структуру; процентное соотношение компонентов; средний, максимальный и минимальный размеры включений; топологические характеристики компонентов (взаимное расположение, вытянутость в определенную сторону, и т.д.); форма включений; наличие посторонних включений, их состав и процентное соотношение.

В железоуглеродистых металлах и сплавах обычно выделяют следующие структурные составляющие: перлит, феррит, цементит, мартенсит, аустенит, ледебурит, графит, сорбит, троостит, бейнит а также неметаллические включения (оксиды, силикаты, сульфиды,

нитриды). Именно эти компоненты обычно исследуются в ходе анализа снимков микроструктуры[4].

Наиболее часто используемые металлографические методы контроля описываются государственными стандартами, что позволяет добиться единообразия их применения на различных предприятиях и уменьшить в некоторой степени субъективность исследования. Кроме того, четкое описание методов исследования дает возможность использовать их неспециалистам, а также работникам низкой квалификации, которые могут не владеть глубокими знаниями в области металловедения и металлографии.

Существует несколько способов анализа структуры вещества, такие как, метод рентгеноспектрального анализа, метод рентгенофлуоресцентного анализа и рентгеноструктурный анализ. Данные способы дорогостоящи и итоговые данные – результат сложных и непрямых ручных измерений и вычислений. Также эти алгоритмы дают максимально точный результат о структуре объекта, только в случае, если исследуемое вещество находится в чистом виде, без примесей, что в природе практически не реально. В случаях, когда необходимо выяснить структуру реальных веществ, методы обработки изображений вполне могут конкурировать с алгоритмами методов, в основе которых лежит процесс пропускания через вещество рентгеновских лучей. К сожалению, обработка наномасштабных изображений с целью выявления их состава и вида кристаллической решетки – направление новое и количество научных исследований, а также трудов и публикаций невелико, но первоначальные данные говорят, что определение этих параметров структуры вещества методом компьютерной обработки более эффективно и экономично[2], чем способы, предложенные в работе [3].

Именно поэтому в работах [4-7] был создан ряд новых алгоритмов для обработки металлографических снимков наноструктур: систему алгоритмов преобразований изображений по линейчатым структурам, а также алгоритмы предобработки снимка для достоверного выделения безразрывных структур на основе более точного вычисления градиента яркости и подчеркивании границ образов.

Целью настоящей работы является реализация разработанного алгоритмического набора в программный комплекс для последую-

щего внедрения на машиностроительных и металлообрабатывающих предприятиях.

На рис. 1 представлены гистограммы исходного изображения и препарированного изображения, полученного с помощью разработанного алгоритма подчеркивания границ на основе интегрального преобразования по сегменту полосы (ИПСП). Исходным изображением является шлиф металла снятого под микроскопом, где наблюдаются более яркие и менее яркие. Более яркие области соответствуют зернам, менее яркие фону. Необходимо отделить зерна от фона. Такое разделение осуществляется с помощью сегментации методом квантования мод гистограммы. На гистограммах (рис. 1) можно выделить две моды. Первая мода соответствует зернам. Вторая – фону. На исходном изображении наблюдается аддитивный шум с СКО, равный 41, который не дает возможности полностью отделить области зерен от фона.

Гистограмма препарированного изображения (рис. 1, б) имеет более четкие моды и не является разреженной по сравнению с гистограммой исходного изображения (рис. 1, а), что позволяет значительно точнее определить пороги квантования [4].

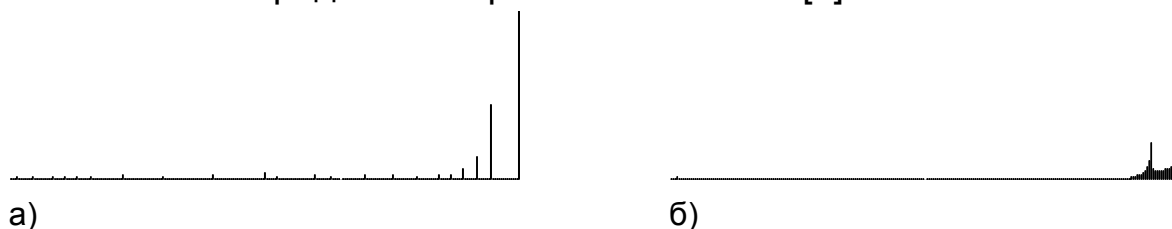


Рис.1. Гистограмма яркости исходного изображения (а) и гистограмма яркости препарированного изображения (б)

В таблице 1 представлены результаты обработки других металлографических снимков. Приведенные результаты визуально подтверждают важность применения ИПСП для обработки металлографических снимков.

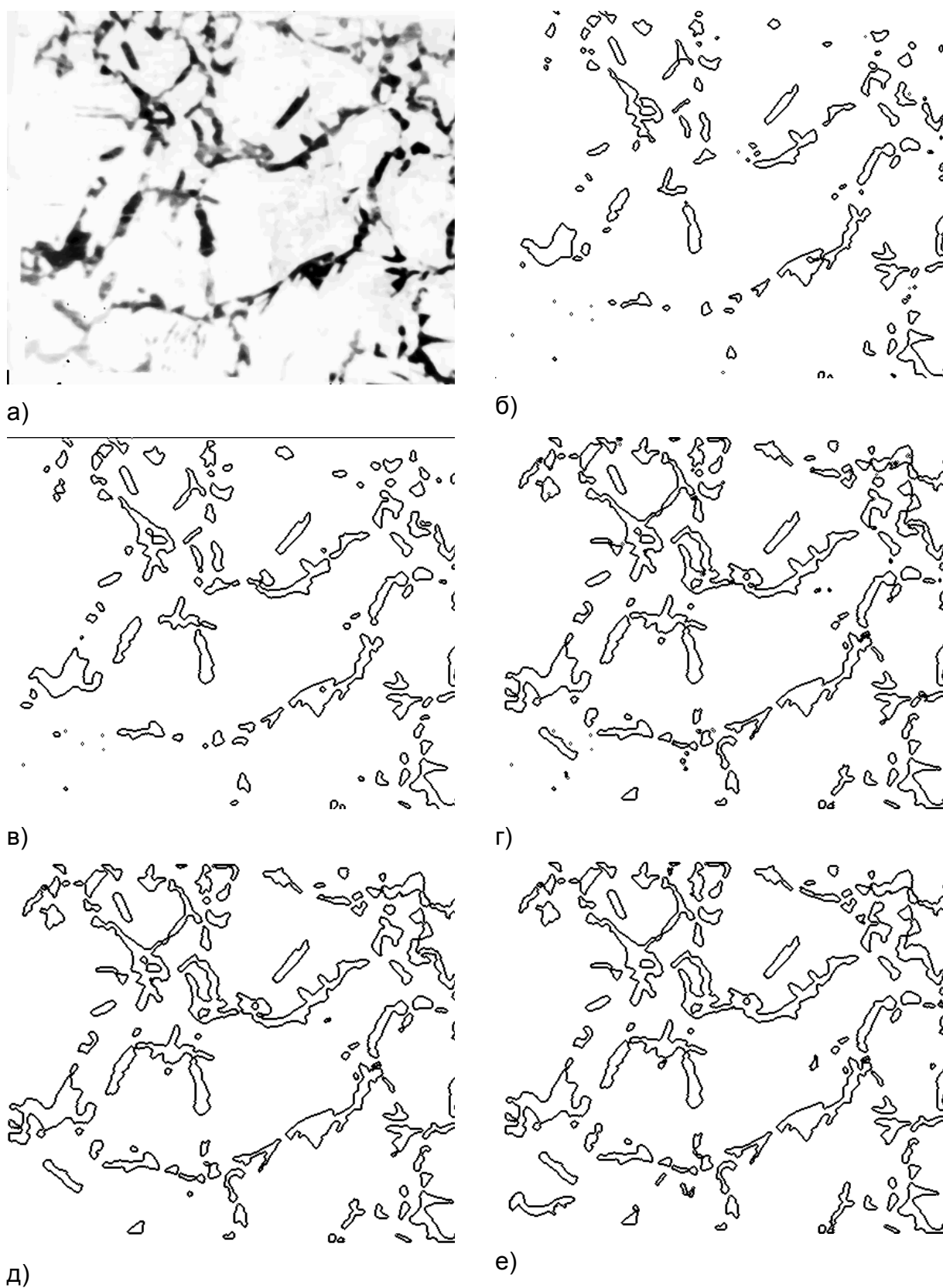


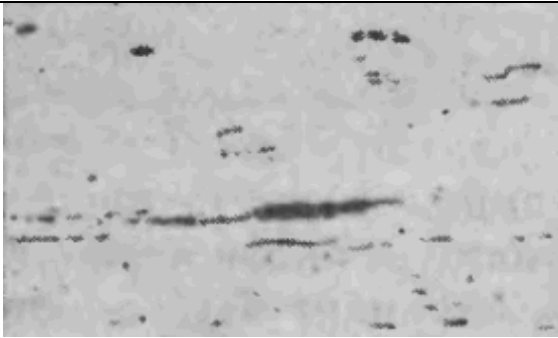
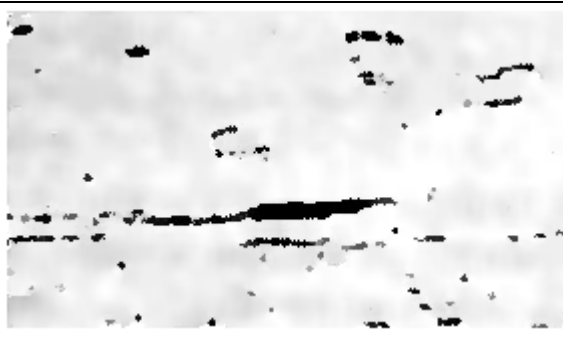
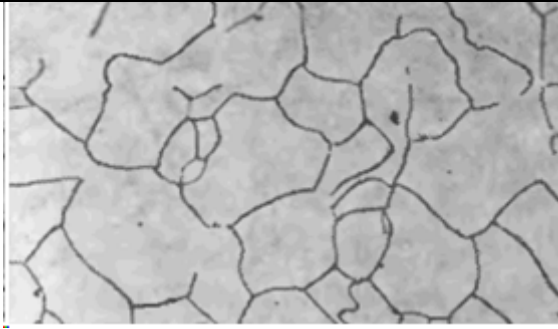
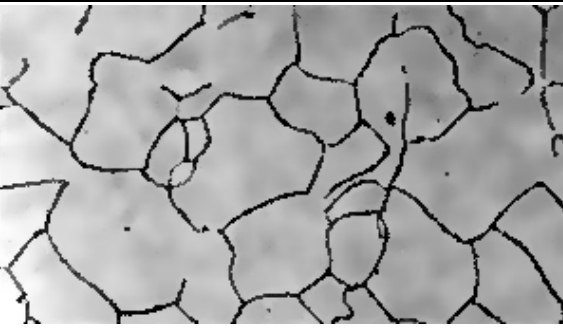
Рис. 2. Результаты сегментации шлифа металла (а – исходное изображение, б – контуры областей, полученные квантованием мод гистограммы, в – наращиванием областей, г – квантованием мод гистограммы препарированного изобра-

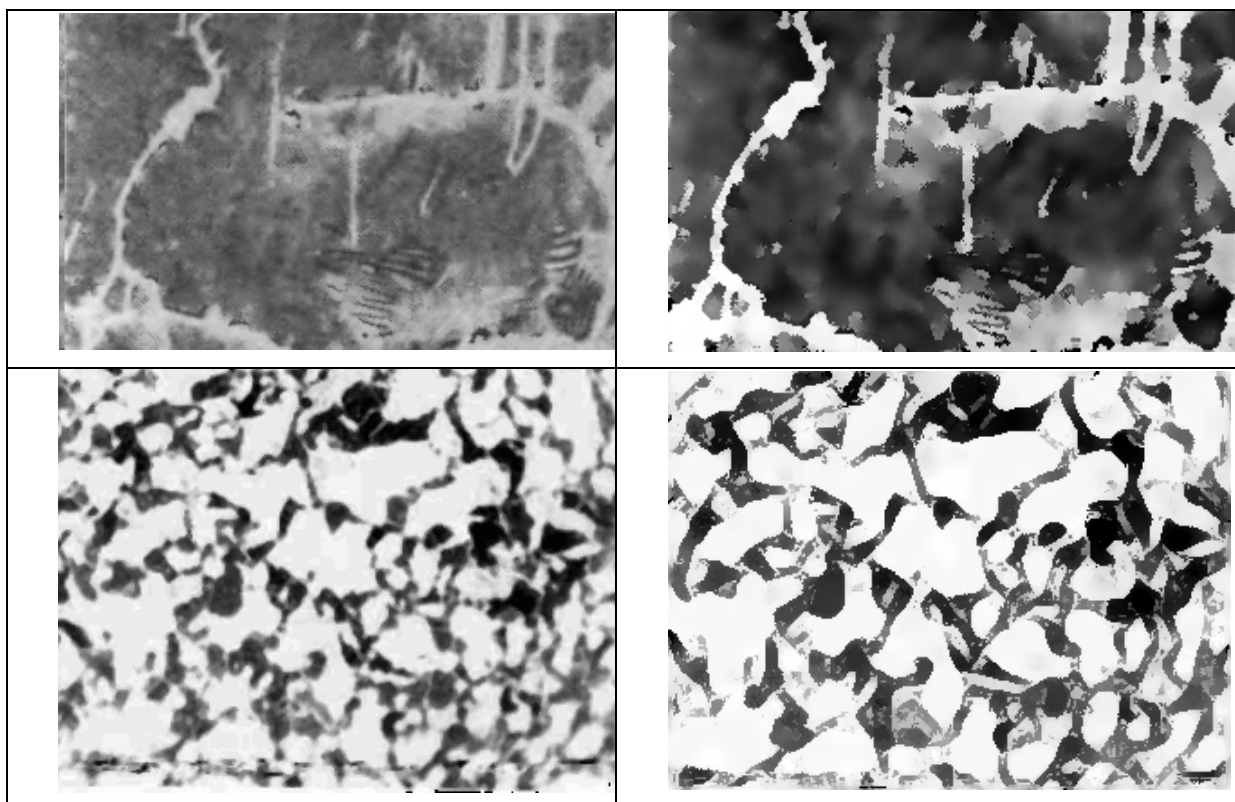
ражения, д – поиском однородных областей, е – поиском равномерных областей)

Разработанная система включает следующие блоки: цифровой видеодатчик, формирующий полутоновое либо бинарное изображение снимка микроструктуры или дефектоскопического снимка; блок предварительной обработки изображения; блок выделения объектов и вычисления их базовых признаков; блок вычисления производных признаков на основе базовых; база данных системы, хранящая признаки эталонных объектов, а также перечень характеристик, которые должны вычисляться для распознавания объектов (используемая система признаков); блок распознавания, принимающий на вход вычисленные признаки объектов на изображении и характеристики эталонных объектов из базы данных и относящий объект к какому-либо классу; блок вывода полученных данных и их визуализации; блок управления.

Таблица 1

Результаты обработки металлографических снимков.

Исходный снимок	Результат подчеркивания границ
	
	



В разработанной системе цифровой видеодатчик предназначен для получения изображения объектов (микроструктуры металла и т.п.) и преобразования его в цифровой вид. При обработке и анализе изображений микроструктур датчик представляет собой камеру в паре с металлографическим микроскопом, которые могут быть объединены конструктивно в одно устройство, предназначенное для получения цифровых снимков микроструктуры. При вводе дефектоскопических снимков камера подключается к тому или иному устройству, дающему изображение дефектного участка.

С датчика изображение поступает на блок предварительной обработки, который предназначен для подготовки полученного с камеры полутонового изображения к выделению признаков и распознаванию объектов. При этом с изображение предварительно обрабатывается удаляется, сегментируется (бинаризуется) и потом к нему применяются операции бинарной морфологии для удаления оставшихся шумовых фрагментов. Если в данный блок поступает бинарное изображение, то его сегментация не производится, выполняется только удаление шума.

Предварительная обработка осуществляется на основе интегральных преобразований и позволяет удалить с изображения шу-

мовые составляющие и подчеркнуть линейчатые и полосовые образы. В случае металлографических снимков шумами являются – частицы пыли, попавшие на исследуемый образец либо в оптическую систему микроскопа, и неравномерная освещенность.

Сегментация предназначена для выделения на исследуемом изображении областей, принадлежащих объектам. При исследовании снимков микроструктуры, например по ГОСТ 3443, в качестве объектов для изучения используются включения каких либо частиц. На рис. 4 это включения графита. В подобном случае процедура сегментации должна выделить на изображении области, принадлежащие исследуемым частицам, что осуществляется пороговым разбиением обрабатываемого изображения. При этом точки, яркость которых меньше используемого порога считаются принадлежащими объекту, все прочие точки – считаются точками фона. Сегментированное изображение показано на рис. 4а.



Рис. 4. Сегментированное (а) и улучшенное (б) изображения

На рис. 4а видно, что на сегментированном изображении присутствуют некоторые виды дефектов, которые могут затруднить последующую обработку снимка и привести к погрешностям в результатах анализа. Во-первых, это объекты малых размеров (области, площадью в несколько пикселей), которые разбросаны по всему изображению. Во-вторых, небольшие дыры в найденных объектах. Такие компоненты малого размера появляются из-за некачественной полировки образца (грязь на шлифе), наличия пыли в воздухе и на исследуемом образце, а также в результате дефектов оптических систем используемого оборудования.

Для удаления подобных дефектов используются операции бинарной морфологии). Сначала удаляются темные объекты малого размера. При этом к изображению последовательно применяются операции эрозии и условного наращивания. Затем на полученном изображении заполняются небольшие дыры в объектах. Для этого к нему сначала применяется операция наращивания, а затем – условной эрозии.

В этих операциях используется квадратная маска, размер которой может быть подобран в зависимости от размера изображения и параметров объектов, которые должны быть удалены. В описываемой системе была выбрана маска 5×5 . В результате применения морфологических операций получилось улучшенное изображение, показанное на рис. 4б.

На этом этап предварительной обработки изображения заканчивается, и начинается вычисление характеристик. Для этого на изображении выделяются плоские объекты, под которыми понимаются связные области, состоящие не менее чем из 9 темных точек. После выделения объектов вычисляются их базовые в исходном состоянии. Так как каждый объект обрабатывается отдельно и независимо от остальных, при вычислении признаков объекты перемещаются в начало координат, т.е. координаты каждой точки объекта пересчитываются в соответствии с формулой:

В результате каждый объект при обработке будет иметь минимальные координаты по обеим осям равные единице.

Для решения задачи распознавания нет необходимости в вычислении всех характеристик системы. Список необходимых признаков хранится в базе данных системы

На основе представленной методики разработан программный комплекс обработки и анализа микро- и наносмасштабных снимков металлографических структур промышленных материалов. Программный комплекс реализует следующие функции: загрузка и отображение снимка из файла форматов bmp и jpg; отображение нормализованного снимка; выделение дефектных областей; вычисление геометрических параметров выделенных областей; классификация дефектов по вычисленным признакам; занесение результатов обработки и анализа в базу данных.

Программный комплекс внедрен на ОАО “Выксунский металлургический завод” и функционирует с целью локализации сварного соединения и выявления дефектов. На ОАО “ПО Муроммашзавод” система определяет характеристики и качество выпускаемой продукции. С целью вычисления параметров локализованного объекта программный комплекс внедрен на ОАО “Селивановский машзавод”. В рамках процесса определения признаков подобия для обнаружения анализируемого объекта система действует на предприятии: ОАО “Муромтепловоз”. Для выявления и автоматического анализа признаков протяженных микро- и нанодефектов, система установлена на ОАО “Муромский завод радиоизмерительных приборов”.

Таким образом, разработана методика анализа снимков микро- и наноструктур промышленных материалов, позволяющая оперативно и достоверно проводить анализ микро- и наномасштабных снимков. Построенный программный комплекс, реализующий разработанную методику, внедрен на различные промышленные предприятия.

Литература

1. Антонов Л.В., Орлов А.А. Комплексный анализ направлений исследований в области обработки наномасштабных изображений // Алгоритмы, методы и системы обработки данных – 2012, №1
2. Куприянов А.В. Анализ текстур и определение типа кристаллической решетки на наномасштабных изображениях // Компьютерная оптика – 2011, т.35. №2. С.151-157
3. Соيفер В.А., Куприянов А.В. Анализ и распознавание наномасштабных изображений: традиционные подходы и новые постановки задач. // Компьютерная оптика – 2011, т.35, №2. С.136-143
4. Ермаков, А.А. Методы и алгоритмы обработки и анализа дефектоскопических и металлографических снимков [Текст] / А.А. Ермаков, А.А. Орлов, С.С. Садыков, Д.Н. Стародубов. - Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. - 112с.
5. Стародубов Д.Н., Орлов А.А. Автоматический анализ неметаллических включений в стали // Алгоритмы, методы и системы обработки данных – 2011, №3
6. Садыков С.С., Орлов А.А., Ермаков А.А. Теория, алгоритмы и методика обработки линейчатых образов на дефектоскопических снимках // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. - 2009, №2. С.11-16.
7. Орлов А.А. Реализация системы обработки изображений линейчатых объектов // Программные продукты и системы. - 2007, №4. С.61-62.