



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

КАФЕДРА «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ»

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Методические указания
к лабораторным работам

Ростов-на-Дону

2025

Лабораторная работа 1

Работа с изображениями в программе ImageExpert Pro 2

(2 часа)

1.1. Цель работы

Научиться получать, загружать и сохранять изображения, настраивать их свойства, осуществлять трёхмерный просмотр рельефов и просмотр цветовых сечений.

1.2. Описание меню Изображение

Открыть. Позволяет открыть исходное изображение, поддерживаемых программой **ImageExpert Pro 2** форматов **.imx*, **.bmp* и **.grd*, для дальнейшего анализа. В закладке **Изображение** нажать кнопку «Открыть». На экране появится диалоговое окно **Открытие изображения**. В колонке *Имя файла* выделить нужное изображение и подтвердить это нажатием кнопки «Открыть». На экране появится исходное изображение.

Снимок. Используется для копирования всего изображения или фрагмента изображения. При получении копии изображения происходит наложение всех ранее используемых слоев на слой *«Изображение»*.

ВидеоМастер. Данная процедура полезна при анализе быстротекущих процессов, когда получение изображения с точностью долей секунды затруднено или невозможно. **ВидеоМастер** осуществляет вызов одноименного диалогового окна. Для получения фотографий отдельных кадров видеопоследовательности следует нажать кнопку «Открыть» и выбрать нужный файл в формате **.avi*. Используя стандартные кнопки управления проигрыванием видео в диалоговом окне **ВидеоМастер**, установить нужный кадр. После получения фотографии нажать кнопку «Применить».

Сканирование изображения. Загружает изображение со сканера непосредственно в программу обработки. Перед первым сканированием воспользоваться пунктом меню *Изображение/Импорт/Выбор сканера* для установки типа источника (сканера).

Сохранить. Осуществляет сохранение текущего изображения в имеющийся файл.

Сохранить как. Сохраняет изображение в файл с заданным именем.

Свойства изображения. Позволяет получить информацию о параметрах и строении изображения. В программе изображения имеют многослойную структуру. Верхний слой – слой «Маркеры» (прозрачный) предназначен для наложения на изображение сносок, комментариев и рамок. Второй слой «Объекты» (прозрачный) предназначен для размещения объектов, полученных в результате фильтрации или любого другого преобразования. Третий слой «Проекция» (прозрачный) предназначен для накопления объектов. Последний слой «Изображение» (непрозрачный) предназначен для размещения самого изображения.

Для вызова окна настройки свойств изображения необходимо в закладке Изображение нажать кнопку «Свойства изображения». На экране появится диалоговое окно **Свойства изображения** (рис. 1.1). В этом окне представлено полное изображение и указываются используемые слои. Используемые слои изображения можно делать невидимыми, и изображение в окне будет меняться в зависимости от количества слоев.

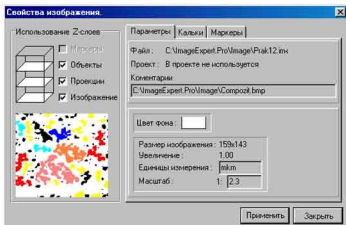


Рис. 1.1. Вид окна **Свойства изображения**

Возможно изменение некоторых параметров изображения. Для этого в правой части окна **Свойства изображения** открывается за-

кладка **Параметры**, и на экране появляется следующая информация: имя файла изображения, размер изображения, увеличение, единицы измерения, масштаб, статус изображения (используется в проекте или нет).

Просмотр каждого слоя возможен с помощью закладок, расположенных в правой части окна. Закладка **Кальки** дает информацию о прозрачных слоях: «*Проекция*» и «*Объекты*». Для слоя «*Объекты*» кнопка «Выполнить проекцию» копирует изображение со слоя «*Объекты*» на слой «*Проекция*», а кнопка «Очистить слой» полностью удаляет слой «*Объекты*». Для слоя «*Проекция*» кнопка «Удалить из слоя» позволяет удалить все объекты заданного цвета со слоя «*Проекция*». Цвет объектов, предназначенных для удаления, задается курсором на изображении слоя. Кнопка «Очистить слой» производит удаление слоя «*Проекция*».

Закладка **Маркеры** позволяет просматривать список маркеров на изображении, определять их тип и удалять ненужные маркеры с изображения. Для удаления ненужного маркера необходимо выбрать его в списке и нажать кнопку «Удалить маркер».

Трехмерный просмотр. Строит поверхность изображения. Плоское изображение для большей наглядности представляется пространственным, где по оси *Z* откладывается интенсивность цвета (рис. 1.2). Для трехмерного просмотра поверхности изображения необходимо открыть закладку **Изображение** и нажать кнопку «Трехмерный просмотр». На экране появится диалоговое окно **Инспектор поверхности**, в котором представлены 3D- и 2D-проекции. При перемещении курсора над изображением в поле «*2D-проекция*», внизу высвечиваются пространственные координаты точки, цвет и его компоненты, текущая кривизна поверхности и ориентация данной микроплоскости в сферических координатах. Для просмотра трехмерного рельефа изображения нужно задать направление в сферических координатах (угол ϕ – азимут, угол θ – высота над горизонтом), выбрать, используя соответствующие движки, уровень детализации рельефа изображения и его увеличения. Полученную 3D-проекцию можно сохранить в отдельном файле в формате *.bmp (кнопка «Сохранить») или распечатать (кнопка «Печать»). При необходимости можно затенить обратную сторону рельефа изображения (опция «*Обратная сторона*») или наложить на трехмерную проекцию само изображение (опция «*Цвет*»).

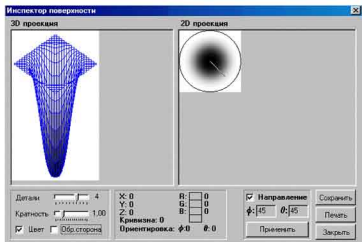


Рис. 1.2. Вид окна **Инспектор поверхности**

Двухмерный просмотр рельефа. Строит профиль рельефа изображения. Данную процедуру можно использовать для нахождения порога бинаризации, ориентируясь на значения интенсивностей фона и частицы. Для построения профиля необходимо открыть закладку **Изображение** и нажать кнопку «Построитель сечений». На экране появится диалоговое окно **Двухмерный просмотр рельефа** (рис. 1.3). Для построения сечения вдоль желаемого направления в поле «Изображение» необходимо нажать левую кнопку мыши на начальной точке, переместить указатель на конечную точку и отпустить кнопку. На полученном профиле можно определить значения интенсивности и координат в указанной точке изображения. Для этого необходимо на изображении профиля щелчком мыши установить исследуемую точку. Изменение местоположения точки также можно увидеть на изображении. Для сохранения профиля нужно нажать кнопку «Сохранить». Профиль может быть сохранен или в виде картинки (формат **.bmp*) или в виде промеров высот (для плоских изображений это значения интенсивностей), формат **.dat*.

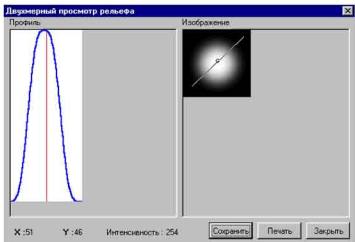


Рис. 1.3. Вид окна Двухмерный просмотр рельефа

Активный цвет. Позволяет выбирать рабочий цвет из полной палитры. Для этого в пункте меню **Изображение** выбирается подменю **Активный цвет**, и активизируется нажатием левой кнопки мыши. На экране появляется диалоговое окно **Цвет**, в котором курсором выбирается нужный цвет, и выбор подтверждается нажатием кнопки «ОК». Выбор рабочего цвета необходим перед использованием «*Ориентационного фильтра*», «*Комбинированного фильтра*», при вынесении результата фильтрации на слои «*Проекция*» и «*Маркеры*».

Размерная линейка. Осуществляет наложение на угол изображения мерной линейки заданной длины для привязки к масштабу. Для начала необходимо задать активный цвет, а потом в диалоговом окне **Вставка маркера** указать размер мерного отрезка.

Расположить окна каскадом. Позволяет расположить окна со сдвигом друг относительно друга.

Расположить окна мозаикой. Позволяет расположить окна на экране мозаикой, занимающей всю рабочую область программы.

Окна по размеру изображений. Выравнивает рамки окон по действительному размеру изображений.

Выровнять иконки. Выравнивает минимизированные окна.

Минимизировать все окна. Сворачивает все окна в программе.

Заккрыть все изображения. Закрывает все открытые изображения без сохранения.

1.3. Порядок выполнения работы

1. *Осуществить запуск программы ImageExpert Pro 2* на компьютере двойным щелчком левой кнопки мыши по соответствующему ярлыку на рабочем столе. После запуска программы ознакомиться с закладкой **Изображение**.

2. *Открытие изображений.* Воспользоваться кнопкой «Открыть». Просмотреть типы файлов, поддерживаемых программой. Открыть изображение **ball.grd**. Для открытия *группы файлов* следует нажать кнопку «Открыть», нажать и не отпускать клавишу [Ctrl], пометить мышью следующие файлы: **IMX_demo.imx**, **Prifil.grd**, **Алмаз.bmp**. Нажать кнопку «Открыть».

3. *Получение кадров из видеофайла.* Выбрать **ВидеоМастер** на закладке **Изображение**. Нажать кнопку «Открыть» в появившемся окне. Выбрать файл **Video.avi**. Запустить просмотр, используя кнопку «Play». Захватить движок мышью и прокрутить видео на требуемый кадр. Нажать кнопку «Получение фотографии». Снимок появится в верхнем правом углу диалогового окна **ВидеоМастер**. Для создания файла с этим изображением на компьютере, нажать кнопку «Применить». Заккрыть окно **ВидеоМастер**.

4. *Сохранение изображений.* Воспользоваться кнопкой «Сохранить как» для сохранения только что полученного с помощью «*ВидеоМастера*» изображения. Задать новое имя. Сохранить файл в формате **.bmp*.

5. *Свойства изображения.* Активизировать изображение **IMX_demo.imx**. Нажать кнопку «Свойства изображения». Изменить параметры: комментарии, цвет фона, единицы измерения и масштаб. Нажать кнопку «Применить». Сравнить введенные данные с отображаемыми в правом верхнем углу экрана. Выполнить фотографию при различной видимости слоев. Результат сравнить.

Повторно нажать кнопку «Свойства изображения». Активизировать закладку **Маркеры**. Выбрать один из двух типов маркеров и удалить его нажатием кнопки «Удалить», затем удалить второй маркер. Обратить внимание на автоматическое удаление всего слоя. Активизировать закладку **Кальки**. В поле «*Объекты*» нажать кнопку «Выполнить проекцию». В поле «*Проекция*» левой кнопкой мыши щелкнуть на темно-синем цвете (выбор активного цвета). Нажать кнопку «Удалить из слоя».

Нажать кнопку «Очистить слой». Нажать кнопку «Применить». Сравнить результат работы с информационным окном.

6. *Просмотр трехмерных изображений.* Активизировать изображение **Ball.grd**. Нажать кнопку «Трехмерный просмотр». Изучить работу движков «Уровень детализации» и «Кратность увеличения» (движок «Уровень детализации» резко не дергать, дать возможность перестроить изображение). Изучить влияние опции «Цвет». Влияние опции «Обратная сторона» нагляднее изучить на **Prifil.grd**.

Переместить курсор в поле «2D-проекция» и, двигая его, отследить изменение параметров. Рассмотреть каждый параметр в отдельности (цветовые интенсивности, координаты точки, направление вектора нормали, кривизна поверхности). Указка в поле изображения показывает направление просмотра. Изменить направление просмотра в сферических координатах на другое. Нажать кнопку «Перестроить». Оценить результат.

7. *Построение сечений изображений.* Активизировать изображение **Алмаз.bmp**. Нажать кнопку «Построитель сечений». В открывшемся диалоговом окне в поле «Изображение», провести линию. Оценить профиль. Перевести курсор в поле «Профиль» и щелкнуть левой кнопкой мыши по изображению профиля. Получить параметры локального просмотра. Для сохранения профиля нажать кнопку «Сохранить». Профиль может быть сохранен или в виде картинки, или в файле данных (*.dat) для дальнейшего анализа. Сохранить профиль в формате *.dat в личном каталоге. Файл находится в текстовом виде, следовательно, доступен для анализа в других программах.

8. *Завершение работы.* Очистить личные каталоги от посторонних изображений и закрыть программу **ImageExpert Pro 2**.

Контрольные вопросы

1. Какие форматы поддерживаются программой **ImageExpert Pro 2**?
2. С файлами какого формата работает «ВидеоМастер»?
3. Какой слой постоянно обновляется при его использовании?
4. Какой слой может накапливать результаты фильтраций и подвергаться дальнейшей корректировке?
5. Что означают углы ϕ и θ в сферических координатах при просмотре трехмерного рельефа?
6. Для каких целей может использоваться процедура построения сечений цветового профиля?

Лабораторная работа 2

Приемы редактирования изображения

(2 часа)

2.1. Цель работы

Овладеть методами улучшения качества изображений: яркость, контраст, максимальная насыщенность. Научиться устранять дефекты освещенности изображения, проводить бинаризацию, осуществлять обмен изображениями с другими приложениями ОС Windows.

2.2. Описание меню Редактирование

Диаграмма цветов. Строит диаграмму распределения интенсивностей (рис. 2.1). Возможно получение диаграммы распределения интегральной интенсивности или распределения одной из цветовых составляющих. При нажатии кнопки «Диаграмма цветов» на экране появится диалоговое окно, в котором построена диаграмма распределения интегральной интенсивности. В правой части окна расположено меню цветовых составляющих. Для построения диаграммы распределения интенсивностей одной из цветовых составляющих нужно отметить в меню соответствующий цвет. Под диаграммой показано изменение интенсивности данного цвета и среднее значение интенсивности. Диаграмма цветов может быть использована для нахождения порога бинаризации. Если интересующие нас объекты имеют темный цвет и расположены на светлом фоне или наоборот, то гистограмма распределения интенсивностей бимодальна: один максимум на ней соответствует объектам, другой – фону. Минимум между ними является оптимальным для задания порога бинаризации. В некоторых случаях в качестве порога бинаризации используют среднее значение интенсивности.

Трансформация изображения. Вызывает диалоговое окно **Трансформация изображения**. Для изменения линейных размеров изображения нужно выбрать опцию «Размер» и задать новый размер изображения. Если необходимо сохранить пропорции изображения, следует выбрать опцию «Учесть пропорции». Для поворота изображения необходимо выбрать опцию «Поворот», задать угол в граду-

сах и направление. После установки требуемых значений нажать кнопку «Приступить».

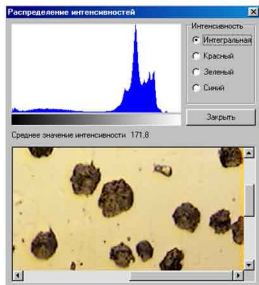


Рис. 2.1. Пример распределения цветов для изображения **Графит.bmp**

Диспропорция при съёмке. Устраняет диспропорцию при съёмке путём ввода корректирующего коэффициента, который определяется как отношение длины одинаковых отрезков (в пикселях) на объект-микрометре, снятом горизонтально и вертикально.

Оттенки серого. Заменяет все цвета изображения оттенками серого. В каждой точке изображения проводится усреднение интенсивности трех цветовых составляющих и происходит выравнивание составляющих по среднему значению. Для использования данного преобразования на верхней панели экрана с помощью мыши выбрать закладку **Редактирование** и нажать кнопку «Оттенки серого». На экране появится окно, в котором необходимо выбрать, на каком изображении (на старом или новом) нужно получить результат преобразования и после этого нажать кнопку «Выполнить».

Негатив. Все цвета изображения заменяются противоположными. Проводится операция инверсии над каждой компонентой цвета. Для использования данного преобразования выбрать закладку Редактирование и нажать кнопку «Негатив». На экране появится окно, в котором необходимо указать с помощью мыши на каком изображении (на старом или новом) нужно получить результат преобразования, и после этого нажать кнопку «Выполнить».

Бинаризация. Все цвета изображения заменяются черным и белым, в зависимости от выбранного порога. Порог бинаризации варьируется от 1 до 255. Если интенсивность в точке превышает значение порога, то цвет интерпретируется как белый. Если интенсивность в точке меньше порога, то цвет заменяется на черный. Результат действия преобразования можно получить на старом или новом изображениях.

Яркость. Вызывает диалоговое окно подстройки яркости. Преобразование позволяет увеличивать или уменьшать яркость активного изображения на величину до 32 единиц интенсивности. При выходе за граничные значения интенсивности (0...255) яркость точек считается равной граничному значению, что позволяет проводить яркостную фильтрацию изображения. Результат действия преобразования можно получить на старом или новом изображениях.

Контраст. Вызывает диалоговое окно увеличения контраста для активного изображения. Значения контраста по каждой компоненте цвета могут быть усилены в пределах от 1 до 127. При увеличении контраста ступенчатость по интенсивности резко возрастает, что позволяет устранить размытость изображения. Но в тоже время это приводит к снижению детальности изображений. Результат действия преобразования можно получить на старом или новом изображениях.

Максимальная насыщенность. Расширяет диапазон яркостей текущего изображения на максимально возможный (0...255) с усилением цветовой насыщенности. Цветовой диапазон расширяется отдельно по каждой цветовой компоненте.

Устранение градиента. Устраняет градиент освещенности активного изображения. Рельеф исходного изображения аппроксимируется наклонной плоскостью, которая затем вычитается из изображения. В сочетании с преобразованием «Максимальная насыщенность» позволяет получить равномерную и насыщенную гамму.

Макронеоднородность. Устраняет макрорельеф текущего изображения. Рельеф исходного изображения сглаживается путем усреднения значений интенсивностей в области указанного радиуса. После этого сглаженный профиль вычитается из исходного. Выбор радиуса зоны

сглаживания позволяет управлять параметрами удаляемого макрорельефа. Величина радиуса варьируется в диапазоне от 1 до 50.

Выделить фрагмент. Является стандартной процедурой ОС Windows. Позволяет выделить фрагмент изображения для дальнейшей обработки. Для выделения фрагмента необходимо нажать кнопку «Выделить фрагмент». Поместить курсор на исследуемое изображение. Нажать левую кнопку мыши на исходной точке и перемещать, не отпуская, до получения прямоугольника желаемого размера. При достижении конечной точки кнопку отпустить.

Фрагмент по размеру. Позволяет выделить фрагмент изображения заданного размера. В закладке Редактирование необходимо нажать две кнопки «Выделить фрагмент» и «Фрагмент по размеру». На экране появится диалоговое окно **Фрагмент по размеру**, в котором необходимо установить вертикальный и горизонтальный размеры фрагмента в единицах измерения и нажать кнопку «Применить». Для выделения области переместить курсор в положение левого верхнего угла предполагаемого фрагмента и произвести щелчок левой кнопкой мыши.

Отменить выделение. Позволяет отменить выделение фрагмента. Рамка выделения на изображении исчезает.

Вырезать. Является стандартной процедурой ОС Windows. Вырезает фрагмент из активного изображения и одновременно копирует его в буфер обмена операционной системы. Если изображение имеет многослойную структуру, то в буфер обмена помещается фрагмент фотографии видимых слоев изображения. При отсутствии выделенного фрагмента вырезается все изображение.

Копировать. Является стандартной процедурой ОС Windows. Позволяет копировать выделенный фрагмент изображения в буфер обмена. Если изображение имеет многослойную структуру, то в буфер обмена помещается фрагмент фотографии видимых слоев изображения. При отсутствии выделенного фрагмента в буфер копируется полное изображение.

Вставить. Является стандартной процедурой ОС Windows. Копирует в программу изображение из буфера обмена. Работа с буфером обеспечивает обмен изображениями с приложениями ОС Windows.

Кадр. Создает копию выделенного фрагмента изображения с сохранением структуры слоев. Пропадание отдельных маркеров возможно, если точка их прикрепления выпадает за границу кадра. Если фрагмент не выделен, то делается копия полного изображения.

Автокадрирование по размеру. Автоматически разбивает изображение на кадры заданного размера и располагает их в виде мозаики. Для автокадрирования следует задать размер кадров и нажать кнопку «Применить».

2.3. Порядок выполнения работы

1. *Открыть изображения* **Частицы.bmp**, **Color.bmp**, **Prifil.grd**, **Шар.grd**, **Алмаз.bmp**, **Графит.bmp**, **IMX_demo.imx**.

2. *Трансформирование изображения.* Открыть закладку Редактирование и активизировать изображение **Частицы.bmp**. Нажать кнопку «Трансформация изображения». Изучить работу изменения размера при включенной и выключенной опции «Учитывать пропорции». Изменить размер изображения с учетом его пропорций. Дать ответ на вопрос: ведет ли изменение изображения к уменьшению погрешности при расчете частиц? Повторно открыть диалоговое окно **Трансформация изображения**. Осуществить поворот изображения на 45 градусов. Какое изменение концентрации объектов может нести данное преобразование? Закрывать изображение без сохранения.

3. *Распределение цвета.* Активизировать изображение **Color.bmp**. Нажать кнопку «Диаграмма цветов». Просмотреть изображение по отдельным цветовым компонентам. Оценить значения средних интенсивностей по каждой составляющей и интегральное значение. Посмотреть распределение для каждой цветовой составляющей.

4. *Негатив с изображения.* Два раза провести преобразование на изображении **Color.bmp**, два раза нажав кнопку «Негатив». Сделать вывод. Данное преобразование является не только инверсией цвета, но и инверсией профиля. Активизировать **Prifil.grd**. Просмотреть изображение, используя «Трехмерный просмотр». Выполнить преобразование «Негатив». Снова просмотреть изображение, используя «Трехмерный просмотр». Сравнить результаты.

5. *Яркость изображения.* Изучить преобразование «Яркость изображения». Активизировать изображение **Шар.grd**. Нажать кнопку «Снимок» для получения копии изображения. Прodelать два раза подряд преобразование с параметром + 32, три раза подряд с параметром – 32 и один раз с параметром + 32. Оценить сокращение спектра.

6. *Контраст.* Активизировать изображение **Шар.grd**. Нажать кнопку «Снимок» для получения копии изображения. Просмотреть диагональное сечение, используя «Построитель сечений». Провести

преобразование «*Контраст*» с уровнем 30. Снова просмотреть диагональное сечение. Результаты сравнить.

7. *Изображение в оттенках серого*. Воспользоваться преобразованием «*Оттенки серого*» на изображениях **Графит.bmp** и **Алмаз.bmp**.

8. *Градиент освещенности*. Активизировать изображение **Графит.bmp**. Выполнить преобразование «*Устранение градиента*». Результат оценить.

9. *Макронеоднородность изображения*. Активизировать изображение **Алмаз.bmp**. Выполнить преобразование «*Макронеоднородность*» с минимальным радиусом равным 1. Оценить результат. В информационном окне программы обратить внимание на появление кнопки отмены преобразования «*×*». Воспользоваться кнопкой «*×*». Провести преобразование «*Устранение макронеоднородности*» с максимальным радиусом равным 50. Результаты сравнить. Сделать вывод. Закрыть изображение без сохранения.

10. *Максимальная насыщенность*. Активизировать изображение **Графит.bmp**. Нажать кнопку «Максимальная насыщенность». Оценить расширение спектра.

11. *Бинаризация изображения*. Активизировать изображение **Графит.bmp**. Посмотреть среднее значение интенсивности в окне **Диаграмма цветов**. Нажать кнопку «Бинаризация». Установить среднее значение в качестве порога. Провести преобразование. Оценить результат. Нажать кнопку «Отмена». Снова нажать кнопку «Бинаризация». Подкорректировать значение порога. Нажать кнопку «Приступить». Сравнить результаты.

12. *Работа с фрагментами*. Выделить фрагмент на изображении **Color.bmp** с помощью кнопки «Выделить фрагмент». Нажать кнопку «Копировать». Запустить программу **Paint** (**Пуск/Программы/Стандартные/Paint**). Выбрать пункт меню **Правка/Вставить** программы **Paint**. Изменить открывшееся изображение. Выделить на нем фрагмент и выбрать пункт меню **Правка/Копировать** программы **Paint**. После этого перейти в программу **ImageExpert Pro 2**. Нажать кнопку «Вставить». Результаты оценить. Выделить фрагмент на изображении **Color.bmp**. Изменить цвет фона. Нажать кнопку «Вырезать». Снова выделить фрагмент на изображении **Color.bmp**. Воспользоваться преобразованием «*Оттенки серого*». Результаты оценить. Нажать кнопку «Фрагмент по размеру». Задать размер 50 × 40. Щелкнуть левой кнопкой мыши по изображению. Отследить результат щелчка вблизи правой границы изображения (отражение рамки от края). Нажать кнопку «Отмена выделения».

13. *Кадрирование изображения.* Выделить фрагмент на изображении **IMX_demo.imx**. Нажать кнопку «Кадр». Активизировать изображение **Color.bmp**. Нажать кнопку «Автокадрирование». Ничего не меняя нажать кнопку «Применить». Результат оценить.

14. *Завершение работы.* Закрыть программу **ImageExpert Pro 2** без сохранения изображений.

Контрольные вопросы

1. Какое количество оттенков содержится в палитре серого цвета?
2. Как изменяются интенсивности цвета каждой точки после применения преобразования «*Негатив*»?
3. Как выбирается порог при бинаризации изображения?
4. Чему будет равна интенсивность точки с исходным значением 238, если ее яркость увеличить на 32 единицы?
5. Какой максимальный предел увеличения порогового контраста?
6. Что происходит с диапазоном яркости при применении преобразования «*Максимальная насыщенность*»?
7. Как устраняют градиент освещенности и макронеоднородности изображения?

Лабораторная работа 3

Методы обработки и анализа изображений

(4 часа)

3.1. Цель работы

Овладеть методами Оконтурирования, Диффузии, ПикТон коррекции, Дилатации и Эрозии для обработки изображений. Научиться выделять кластеры, определять ориентацию, анизотропию, шероховатость и удельную поверхность для анализа изображений.

3.2. Описание меню Методы

Удаление граничных объектов. Удаляет объекты активного цвета, рассекаемые границей изображения. Для успешного применения необходимо правильно выбрать активный цвет для объектов и цвет фона для заливки.

Оконтурирование. Производит оконтурирование изображения, т.е. оставляет только границы объектов. Оконтурирование осуществляется посредством сравнения цвета каждой точки изображения с 8 ближайшими точками. Если среди ближайших соседей данной точки есть хотя бы одна другого цвета, то данная точка включается в контур объекта.

Для применения этого метода нужно открыть закладку Методы и нажать кнопку «Оконтурирование». На экране появится окно **Оконтурирование изображения**. В нем необходимо нажать кнопку «Выполнить». Результат действия метода можно получить, создав новое изображение или изменив старое.

Оконтурирование целесообразно применять на изображениях, имеющих четкие границы объектов. Когда границы объектов размыты рекомендуется предварительно использовать преобразование «Контраст».

Диффузия. Когда в первичном изображении есть «рябь» – дефект съемки при слабом освещении, малой выдержке – проводится усреднение интенсивности в указанной области (рис. 3.1). Степень усреднения $n \leq 10$ устанавливается пользователем на шкале. Усреднение интенсивности каждой точки изображения проводится в области площадью $S = (2n+1)^2$ пикселей.

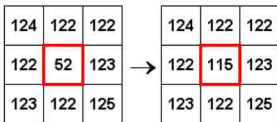


Рис. 3.1. Принцип работы метода «Диффузия» ($n = 1$)

Для применения этого метода необходимо нажать кнопку «Диффузия». На экране появится диалоговое окно **Диффузия**, в котором нужно установить степень размытия, т.е. область усреднения интенсивности вокруг точки. Результат действия метода можно получить, на новом или старом изображении, выбрав соответствующую опцию и нажав кнопку «Приступить».

ПикТон коррекция. Когда «рябь» проявляется в цвете смежных пикселей, осуществляют коррекцию изображения путем определения цветового пика в окрестности каждой точки изображения. Для этого анализируется цвет ближайших соседей данной точки и выбирается наиболее часто встречающийся (рис. 3.2). После этого цвет точки заменяется выбранным. Размер окрестности, в которой производится цветовой анализ, определяется как $(2n+1)^2$, n варьируется в пределах от 1 до 10 пикселей. Необоснованное завышение размера окрестности может привести к существенным временным затратам и потере информации.

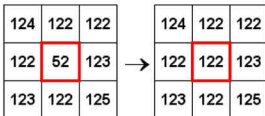


Рис. 3.2. Принцип работы метода «ПикТон коррекция» ($n = 1$)

Пиктоновым фильтром устраняются мелкие дефекты изображения и объекты, имеющие малую толщину, например царапины (рис. 3.3). При многократном применении ПикТон коррекции выступы объектов могут сглаживаться (растворяться), впадины зарастать.

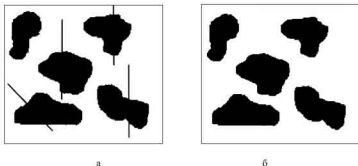


Рис. 3.3. Пример использования метода «ПикТон коррекция» для удаления царапин: *а* – исходное изображение, *б* – после применения пиктонового фильтра ($n = 2$)

Для применения этого метода необходимо нажать кнопку «ПикТон коррекция». В диалоговом окне **ПикТон коррекция** на шкале установить радиус окрестности вокруг точки. Курсором отметить опцию «Создать новое изображение» или «Изменить старое изображение» и нажать кнопку «Приступить».

Дилатация (Эрозия). Метод служит для равномерного увеличения площади объекта заданного активного цвета. Степень увеличения $n \leq 10$ устанавливается движком на шкале. Если в качестве активного цвета задать цвет фона, то произойдет равномерное уменьшение объекта (эрозия).

Цвет выбранной области задается кнопкой «Проба цвета» на закладке **Инструменты**. Навести курсор в точку области, которая будет исследоваться, и нажать левую кнопку мыши. Информацию об интегральном цвете и основных его составляющих можно увидеть в верхнем правом углу экрана. После этого нажать кнопку «Дилатация» в закладке **Методы**. В диалоговом окне **Дилатация** установить на шкале степень увеличения области заданного цвета. Курсором отметить опцию «Создать новое изображение» или «Изменить старое изображение» и нажать кнопку «Приступить».

Ориентация. Метод анализа трёхмерных поверхностей по диаграмме ориентаций векторов нормалей микроплоскостей. Рельеф описывается микроплоскостями, базирующимися на ближайших значениях высот. Для каждой микроплоскости определяется вектор нормали. Вектор нормали переносится в начало полярных координат и отображается на полусфере (рис. 3.4). В результате образуется пространственное распределение ориентировок векторов нормалей. Далее возможна фильтрация распределения по заданным диапазонам углов и выделение на исходном изображении площадок, где нормали находятся в указанном диапазоне. Также можно получить диаграмму распределения ориентаций с освещением поверхности с различных сторон.

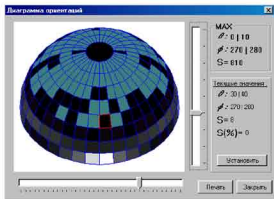


Рис. 3.4. Вид окна **Диаграмма ориентаций**

Для применения этого метода открыть закладку **Методы** и нажать кнопку «Ориентация». На экране появится диалоговое окно **Ориентация поверхности** (можно отметить опцию «Освещение поверхности») и выбрать желаемую подсветку). Нажать кнопку «Приступить». Появится окно **Диаграмма ориентаций**, в котором указаны текущие значения диапазона углов данного сектора сферы и количество нормалей в нем, а также максимальные значения параметров. Максимальные значения параметров показывают интервал углов с максимальной плотностью нормалей и количество нормалей в нем.

Возможен поворот полусферы распределений ориентаций с помощью движков на горизонтальной и вертикальной шкале. Цвет ин-

тенсивнее в том секторе сферы, где плотность нормалей выше. Текущие значения углов на сфере показываются рамкой красного цвета. Кнопка «Установить» пересылает текущие данные в «*Ориентационный фильтр*», который выделяет на исходном изображении области с указанными ориентациями.

Кластеры. Метод выделяет кластеры (скопления объектов) на бинарном изображении. Для этого необходимо задать критическое расстояние между объединяемыми объектами. Вокруг каждого объекта исследуется область заданного размера. Если в нее попадают соседние объекты, то они очерчиваются на изображении цветовой границей как один кластер.

В закладке **Методы** нажать кнопку «Кластеры». В диалоговом окне **Границы кластеров** задать критическое расстояние между объектами (в единицах измерения). Курсором отметить опцию «*Создать новое изображение*» или «*Изменить старое изображение*» и нажать кнопку «Приступить». Зоны кластеров автоматически выносятся на слой «*Объекты*».

Анизотропия. Оценивается анизотропия объектов в определенном направлении, которое выбирается автоматически или задается пользователем. Если анализируемые объекты имеют неоднородную окраску, следует провести фильтрацию и вынести результат фильтрации на слой «*Объекты*» (слой «*Проекция*») или провести бинаризацию. Значение анизотропии рассчитывается как отношение количества пересечений границ объектов с линиями раstra в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Перед началом работы с методом, необходимо задать активный цвет, соответствующий цвету анализируемых объектов. Направление, вдоль которого производится расчет, может быть выбрано автоматически или может быть задано вручную в градусах. При автоматическом выборе направления угол ориентации зависит от площади объекта – чем больше объект, тем с большим весовым коэффициентом он учитывается при выборе направления. Среднеарифметический угол ориентации определяется с учетом весовых коэффициентов.

Для применения этого метода необходимо задать цвет анализируемых объектов. Нажать кнопку «Анизотропия». В диалоговом окне **Измерение анизотропии** выбрать направление, в котором будет производиться расчет, и нажать кнопку «Приступить». На экране появится окно **Результат анализа** с указанием анализируемого слоя, угла измерения и анизотропии.

Шероховатость. Численный метод анализа трёхмерных профилей. В ходе анализа рассчитываются следующие величины: минимальное и максимальное значения высоты рельефа (их разница даёт значение R_z), среднеквадратичное отклонение от среднего уровня высот (значение шероховатости в нулевом приближении $Ra(0)$) и среднеквадратичное отклонение от поверхности первого порядка, моделирующей заданную поверхность (значение шероховатости в первом приближении $Ra(1)$).

В закладке **Методы** нажать кнопку «Шероховатость». Появится окно **Шероховатость**, в котором указаны минимальное и максимальное значения высоты, значение шероховатости в нулевом $Ra(0)$ и первом приближениях $Ra(1)$.

Удельная поверхность. Численный метод анализа трёхмерных профилей. Удельная поверхность рассчитывается как отношение площади полной поверхности рельефа к площади ее двухмерной проекции. Значение коэффициента удельной поверхности характеризует степень развитости поверхности.

Для применения этого метода в закладке **Методы** нажать кнопку «Удельная поверхность». На экране появится окно **Результат анализа**, в котором указано значение коэффициента удельной поверхности.

3.3. Порядок выполнения работы

1. *Открыть изображения* **Фурье.bmp**, **pt1a.bmp**, **Объекты.bmp**, **Profile.grd**, **Шар.grd**, **Compozit.bmp**, **Grid.bmp**.

2. *Диффузия.* Изучить метод «Диффузия» на изображении **Фурье.bmp**. Нажать кнопку «Снимок» для получения копии изображения. На первом изображении применить два раза подряд метод «Диффузия» с радиусом равным единице, на втором – применить один раз метод «Диффузия» с радиусом равным двум. Результаты сравнить.

3. *ПикТон коррекция.* Продемонстрировать метод «ПикТон коррекция» на изображении **pt1a.bmp** с радиусом окрестности равным двум. Обратит внимание на удаление царапин с изображения. Сделать копию изображения с помощью кнопки «Снимок». Применить три раза подряд метод «ПикТон коррекция» с радиусом пять. Обратит внимание на коагуляцию объектов после преобразования.

4. *Оконтурирование объектов.* Провести преобразование «Оконтурирование» на изображениях, полученных в предыдущем примере.

Сравнить контуры объектов на обоих снимках после применения метода «*ПикТон коррекция*» с разным радиусом.

5. *Работа с граничными объектами.* Установить в системе активный цвет – черный. Активизировать изображение **Compozit.bmp**. Нажать кнопку «Удаление граничных объектов». Оценить результат. Отменить преобразование.

6. *Дилатация.* Активизировать изображение **Grid.bmp**. Установить активный цвет – черный. Два раза подряд применить метод «*Дилатация*» с уровнем 10. Установить активный цвет – белый. Два раза подряд применить метод «*Дилатация*» с уровнем 10. Сравнить исходное изображение с полученным. Сделать выводы о восстановлении разорванных границ этим методом.

7. *Кластеры.* Продемонстрировать метод «*Кластеры*» на изображении **Compozit.bmp** с уровнем 2. Обратить внимание на появление нового слоя. Удалить слой «*Объекты*», используя меню Свойства.

8. *Анизотропия.* Активизировать изображение **Объекты.bmp**. Задать цвет объектов, для которых определяется анизотропия. Нажать кнопку «Анизотропия» (работает для верхнего видимого слоя). Провести измерение с автоматическим определением направления. Записать полученные значения угла измерения и анизотропии. Повторить измерения для углов в диапазоне от 0 до 180 градусов с шагом 10. Определить значение угла, соответствующее максимальной анизотропии. Сравнить его со значением угла, определенным автоматически. Результаты оценить.

9. *Ориентация поверхности.* Активизировать изображение **Шап.grd**. Применить метод «*Ориентация*» без построения диаграммы с использованием подсветок. Оценить результат. Провести преобразование без использования подсветок с построением полюсной фигуры. Получить данные о требуемом секторе. Закрыть диалоговое окно. Построить полюсную фигуру без использования подсветок при выключенной опции «*Точные данные*». Результаты сравнить. Закрыть диалоговое окно. Активизировать изображение **Profile.grd**. Применить метод «*Ориентация*» с построением полюсной фигуры и использованием подсветок. Изучить полюсную фигуру. Установить на ней сектор с доминирующей ориентацией. Нажать кнопку «Установить». Закрыть диалоговое окно.

10. *Шероховатость*. Активизировать изображение **Profile.grd**. Нажать кнопку «Шероховатость». Переписать полученные значения параметров R_z , $Ra(0)$ и $Ra(1)$.

11. *Удельная поверхность*. Активизировать изображение **Profile.grd**. Нажать кнопку «Удельная поверхность». Записать результаты анализа удельной поверхности.

12. *Завершение работы*. Завершить работу программы без сохранения изменений в изображениях.

Контрольные вопросы

1. Какой размер зоны размывтия получится при применении метода «Диффузия» с радиусом $r = 3$?

2. Как работает метод «ПикТон Коррекция»?

3. Какие изменения претерпевают тонкие составляющие изображения и объекты сложной формы при применении метода «ПикТон Коррекция»?

4. Какие недостатки на изображении можно исправить, применив несколько раз подряд метод «Дилатация», а затем «Эрозия»?

5. Что показывает диаграмма ориентаций в методе «Ориентация»?

6. Как по диаграмме ориентации можно сделать вывод о характере рельефа (хрупкий, вязкий, анизотропный и т.д.)?

7. Что показывает радиус зоны кластерообразования при использовании метода «Кластеры»?

8. На каком слое происходит выделение кластеров вокруг объектов?

9. Как считается анизотропия объекта при использовании метода «Анизотропия»?

10. Как выбирается направление, вдоль которого производится автоматический расчет анизотропии объектов?

11. Что означают величины R_z , $Ra(0)$ и $Ra(1)$ в методе «Шероховатость»?

12. Что характеризует коэффициент удельной поверхности?

13. Как при помощи численного метода «Удельная поверхность» можно ранжировать вязкий и хрупкий излом?

14. Каково минимальное значение коэффициента удельной поверхности?

Лабораторная работа 4

Методы фильтрации изображений

(4 часа)

4.1. Цель работы

Освоить набор фильтров, выделяющих на изображении объекты по их параметрам.

4.2. Описание меню Фильтры

Комбинированный фильтр. Позволяет проводить фильтрацию объектов по заданным цветовым и геометрическим параметрам (рис. 4.1). Предварительно геометрические параметры можно получить с помощью инструментов «Объект» и «Все объекты», а долю цветовых составляющих определить инструментом «Проба цвета». Для фильтрации на цветном изображении необходимо с помощью мыши задать диапазон каждой составляющей цвета, в котором находится геометрический объект. При настройке диапазона изображения в оттенках серого возможна одновременная настройка цветовых составляющих. Фильтрация объектов по геометрическим характеристикам осуществляется только для объектов заданной тональности. Далее в окне задаются значения параметров: площадь, периметр, параметр формы, вытянутость, угол ориентации на плоскости, коррелированность. Фильтрация объектов производится с заданным уровнем погрешности или с автоматическим определением доверительного интервала, по заданному критерию Стьюдента. Результат фильтрации можно выносить как на слой «Объекты», так и на слой «Проекция», а также удалять с изображения. При отсутствии выбранных слоев программа выдаст только информационное сообщение о результатах фильтрации.

Для применения этого метода следует нажать кнопку «Параметрическая фильтрация» в закладке Фильтры. В окне **Комбинированный фильтр** напротив каждого цвета установить интервал значений интенсивности, в котором находятся исследуемые объекты. Для изображения в оттенках серого отметить опцию «Использовать оттенки серого». Если необходимо из объектов заданной тональности выбрать объекты, соответствующие определенным геометрическим характеристикам, то следует отметить комбинацию желаемых параметров, задать им соответст-

тоты в обратном пространстве (рис. 4.2). Переход от прямого пространства к обратному осуществляется с помощью преобразования Фурье:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n M_k \cos(\omega_k \cdot t + \varphi_k),$$

$$M_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2},$$

$$\varphi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k}.$$

В прямом пространстве изображение представляется в декартовых координатах, где по оси Z откладывается интенсивность изображения. В обратном пространстве изображение представляется в координатах частот ω_x, ω_y и амплитуды M_k .

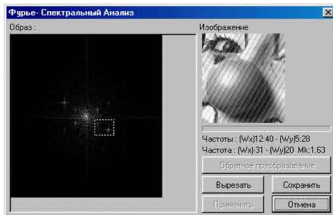


Рис. 4.2. Вид окна **Фурье спектральный анализ**

Отсечение высоких частот устраняет рябь или «инструментальный» муар на изображениях, а также сглаживает изображения, устраняя мелкие детали.

Для применения этого фильтра в закладке **Фильтры** нажать кнопку «Спектральный анализ». На экране появится диалоговое окно **Фурье**

спектральный анализ. В левой части окна будет получен образ исходного изображения. Нулевая гармоника частотного спектра расположена в центре поля, остальные гармоники расположены симметрично относительно центра. Для каждой точки образа под курсором в окне указаны частоты и амплитуда. Для удаления определенных частот их необходимо выделить (нажать левую кнопку мыши на исходной точке и перемещать, не отпуская, до желаемой конечной точки), затем нажать кнопку «Вырезать». Окно фильтра обладает свойством автомасштабирования, так что после удаления наиболее сильных амплитуд, визуальное представление слабых может быть усилено. Чтобы увидеть результат на анализируемом изображении, нажать кнопку «Обратное преобразование». Если изображение после удаления частот приемлемо, нажать кнопку «Применить». По окончании анализа нажать кнопку «Заккрыть».

Ориентационный фильтр. Если предварительно была построена диаграмма ориентаций, то будут отфильтрованы объекты с ориентацией в заданном диапазоне углов (рис. 4.3). В диалоговом окне устанавливаются требуемые значения углов ϕ и θ , способ выделения, задействованные слои. Нажатие кнопки «Фильтрация» выделяет цветом область на выбранном слое.

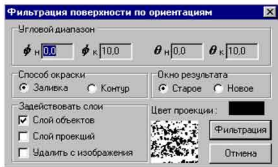


Рис. 4.3. Вид окна **Фильтрация поверхности по ориентациям**

Фильтр по удельной поверхности. Позволяет отделять участки профиля с хорошо развитой структурой поверхности от достаточно плоских ландшафтов. Это может быть полезно при анализе изломов в сталях или при использовании метода послойной микроскопии, когда из серии частично резких кадров вырезают резкие части и сшивают воедино. Перед фильтрацией рекомендуется произвести небольшое сглаживание (на-

пример, методом «Диффузия» с радиусом 1). Удельная поверхность вычисляется как отношение площади поверхности к ее проекции на горизонтальную плоскость. Для настройки фильтра устанавливаются верхнее и нижнее значения допустимой удельной поверхности и размер анализируемой зоны (рис. 4.4). Требуемый интервал коэффициентов для фильтрации проще всего выбрать в диапазоне от 1 (абсолютно плоская и горизонтальная поверхность) до значения, оцениваемого по общему коэффициенту удельной поверхности всего кадра. Выбрать диапазон «Внешний» или «Внутренний». Выбрать окно результата и задействованные слои. Нажать кнопку «Фильтрация».

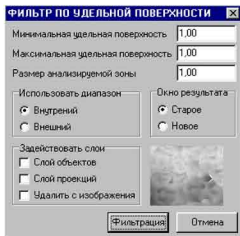


Рис. 4.4. Вид окна **Фильтр по удельной поверхности**

4.3. Порядок выполнения работы

1. Открыть изображения **Color.bmp**, **Объекты.bmp**, **Фу-рье.bmp**, **Profile.grd**, **Муха.bmp**.
2. *Комбинированный фильтр.* Активизировать изображение **Color.bmp**. Определить допустимый диапазон для фильтрации зеленого лепестка. Вызвать «Комбинированный фильтр». Выключить опцию «Использовать оттенки серого», установить максимальные

значения по красному и синему цветам равными 0, нажать кнопку «Фильтрация».

Активизировать изображение **Объекты.bmp**. Перенести самое крупное включение на слой «Объекты». Вызвать «Комбинированный фильтр». Установить верхние значения оттенков серого меньше 255 (например, 254), включить опцию «Площадь», задать значение 683, включить слой «Объекты» и выбрать опцию «Удалить с изображения». Нажать кнопку «Фильтрация».

3. *Спектральный анализ*. Активизировать изображение **Фурье.bmp**. Провести преобразование, нажав кнопку «Спектральный анализ». Удалить группу частот, соответствующую периодическим помехам. Нажать кнопку «Обратное преобразование». Нажать кнопку «Применить». Оценить результат.

4. *Ориентационный фильтр*. Активизировать изображение **Profile.grd**. Провести преобразование, нажав кнопку «Ориентация» с построением полюсной фигуры и без использования подсветок. Выделить красной рамкой на полюсной фигуре сектор с доминирующей ориентацией. Нажать кнопку «Установить». Закрыть диалоговое окно. Нажать кнопку «Ориентационный фильтр». Обратит внимание на значения углов, которые были установлены после применения метода «Ориентация». Включить слой «Объекты» и выключить слой «Проекция». Нажать кнопку «Фильтрация». Оценить результат.

Задать активный цвет (например, красный). Снова вызвать «Ориентационный фильтр». Задать значения углов ϕ (0...360) и θ (0...70). Включить слой «Проекция» и выключить слой «Объекты». Провести фильтрацию. Сделать выводы. Очистить дополнительные слои, используя процедуру «Свойства изображения».

5. *Фильтр по удельной поверхности*. Активизировать изображение **Муха.bmp**. Вызвать «Фильтр по удельной поверхности», нажав соответствующую кнопку. Задать минимальное значение удельной поверхности равным 1, максимальное – равным 3. Размер анализируемой зоны установить равным 10. Задействовать слой «Объекты». Произвести фильтрацию. Задать активный цвет (например, красный). Вызвать «Фильтр по удельной поверхности». В качестве максимального значения по удельной поверхности задать 10, остальные параметры оставить такими же. Выбрать слой «Проекция». Нажать кнопку «Фильтрация». Сравнить результаты.

6. *Завершение работы*. Очистить личные каталоги от посторонних изображений и закрыть программу **ImageExpert Pro 2**.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначена опция «*Настройка цветового диапазона*» в «*Комбинированном фильтре*»?
2. По каким геометрическим параметрам производится комбинированная фильтрация?
3. Какой параметр задается при выборе критерия Стьюдента в качестве погрешности в «*Комбинированном фильтре*»?
4. Как расположены нулевая и остальные гармоники частотного спектра в обратном пространстве после прямого преобразования Фурье?
5. От какой характеристики спектра будет зависеть яркость точки в обратном пространстве?
6. Как при помощи фильтра «*Фурье спектральный анализ*» удаляются периодические помехи с изображения?
7. Какие параметры задаются в «*Ориентационном фильтре*»?
8. Для каких задач может быть использован «*Фильтр по удельной поверхности*»?
9. Как влияет размер анализируемой зоны на конечные результаты фильтрации по удельной поверхности?
10. Каким участкам на изображении соответствует внутренний и внешний диапазоны значений удельной поверхности?

Лабораторная работа 5

Набор инструментов для получения количественной информации

(2 часа)

5.1. Цель работы

Изучить набор инструментов, позволяющих получать численные характеристики объектов изображения.

5.2. Описание меню Инструменты

Инструмент не задан. Производит отмену ранее заданного инструмента. Если кнопка нажата, то в данный момент не используется ни один инструмент.

Выделение фрагмента. Выделяется фрагмент изображения для дальнейшей обработки, если остальная часть кадра непригодна (содержит неустранимые дефекты шлифа и съемки). При этом размер оставшегося кадра и причина выделения фрагмента должны быть указаны в отчете.

Для выделения фрагмента необходимо нажать кнопку «Выделить фрагмент». Поместить курсор на исследуемое изображение. Нажать левую кнопку мыши на исходной точке и перемещать, не отпуская, до получения желаемого размера. При достижении конечной точки кнопку отпустить.

Проба цвета. Позволяет получить количественную информацию о цветовых составляющих в данной точке. Для этого необходимо открыть закладку Инструменты и нажать кнопку «Проба цвета». Навести курсор в точку изображения, которая будет исследоваться, и нажать левую кнопку мыши. На верхней панели с правой стороны экрана расположено окно, в котором указывается количественная информация об интегральном цвете и об основных его составляющих в данной точке. Если доли цветовых составляющих равны, то исследуемая точка имеет оттенок серого цвета.

Линейка-Транспортир. Позволяет измерять расстояние и угол между двумя точками на экране в единицах и масштабе, заданных для текущего изображения (измерение угла производится в диапазоне от -90 до $+90$ град.). Нажать левую кнопку мыши на исходной точке и

перемещать, не отпуская, до конечной точки. При достижении конечной точки кнопку отпустить. На экране появится окно **Результат измерения**. В окне указаны следующие величины: линейный размер, угол измерения, удельная длина, размер горизонтальной и вертикальной проекций измерения. Удельная длина рассчитывается как отношение длины огибающей профиль кривой к длине ее проекции.

Отрезки по цвету. Используется для анализа распределения длин хорд зёрен на бинарном изображении. При нажатии кнопки «Отрезки по цвету» на активном изображении появляется курсор в виде линейки. Промеры производятся для объектов активного цвета. Для получения измерений длин хорд необходимо установить курсор на границе зерна, нажать правую кнопку мыши и провести линию до конечной точки. Появится окно **Отрезки по секущей**, в котором представлены: длины отрезков, их количество, полный размер, угол измерения и среднее значение хорды со среднеквадратичным отклонением.

Вставка текстового маркера. При нажатии соответствующей кнопки курсор принимает вид указки. Для установки маркера типа «указка», щелкнуть левой кнопкой мыши на месте ссылки и задать текст ссылки в появившемся окне. Для установки маркера типа «рамка» следует провести диагональ рамки и задать текст ссылки в появившемся окне. Все маркеры заносятся на слой «*Маркеры*».

Векторная анизотропия. До применения этого инструмента необходимо установить цвет анализируемых объектов. Если анализируемые объекты имеют неоднородную окраску, следует провести фильтрацию и вынести результат фильтрации на слой «*Объекты*» (слой «*Проекция*») или провести бинаризацию. В закладке **Инструменты** нажать кнопку «Векторная анизотропия». Направление, в котором будет вестись расчет, задается на исследуемом изображении. Для этого нужно нажать левую кнопку мыши на исходной точке и перемещать, не отпуская, до конечной точки. При достижении конечной точки кнопку отпустить. На экране появится окно **Результат анализа**, в котором указаны: величина анизотропии, угол измерения и анализируемый слой. Значение анизотропии рассчитывается как отношение количества пересечений границ объектов с линиями растра при проходе по двум взаимно перпендикулярным направлениям, одно из которых мы задаем.

Ретушь. Позволяет осуществлять рисование по изображению вручную. Этот инструмент используют, когда автоматическими методами не удастся получить заведомо известные контуры структуры

и необходимо, например, соединить несколько разорванный контур границы зерна или разделить слипшиеся частицы. При этом все нарисованные вручную элементы выделяются цветом, а их количество (например, длина линий в сравнении с суммарной длиной границ) выводится и сообщается в отчете. Приводится также кадр с выделением нарисованных вручную элементов (цветом или пунктиром). Но надежнее добиться единого автоматического выделения контуров.

Для работы инструмента необходимо задать активный цвет для ретуширования и толщину пера.

Объект. Возможны два режима работы инструмента: вывод геометрической информации об указанном объекте на экран или запись информации в файл статистики. Выбранный объект должен иметь однородную окраску, для этого необходимо провести фильтрацию и вынести результат фильтрации на слой «Объекты» (или слой «Проекция») или провести бинаризацию. Для работы в режиме вывода информации на экран в закладке Инструменты нажать кнопки «Объект» и «Информация». Появится окно **Результат измерения**, в котором представлены: анализируемый слой, анализируемый цвет, количество объектов, процент составляющей (т.е. занимаемая площадь объекта относительно площади изображения), площадь объекта и протяженность границы (в единицах, заданных в подменю Свойства изображения), угол ориентации объекта (в градусах), корреляция объекта (в процентах), параметр формы, максимальные диаметры ($D1$ и $D2$) и вытянутость. Площадь объекта – это количество пикселей, из которых состоит объект. Протяженность границы (периметр) – это количество граничных пикселей объекта. В качестве угла ориентации выбирается угол наклона прямой, которой аппроксимируется объект. Коэффициент корреляции характеризует степень тесноты линейной связи между объектом и аппроксимирующей его прямой. Параметр формы объекта рассчитывается как отношение периметра объекта к корню квадратному из площади объекта. При расчете вытянутости объекта и его диаметров параллельно направлению ориентации объект очерчивается прямоугольником. Стороны прямоугольника принимаются равными максимальным диаметрам объекта вдоль и поперек направления ориентации. Вытянутость рассчитывается как отношение сторон полученного прямоугольника. Напротив каждого параметра указывается его среднее значение и среднеквадратичное отклонение.

Для работы в режиме записи открыть файл статистики, нажать кнопки «Объект» и «Запись статистики». Затем на текущем изобра-

жении курсором отметить исследуемый объект. Результаты измерений запишутся в файл статистики.

Все объекты. Действует аналогично инструменту «Объект», только информация выдается усредненная по всем объектам выбранного цвета. Возможен переход в окно **Статистическая лаборатория** непосредственно из окна **Результат измерения**, для этого нужно выбрать опцию «Перейти в статистическую лабораторию» и нажать кнопку «Закрыть».

Информация. Данный инструмент работает только совместно с инструментами «Объект» и «Все объекты». Позволяет выводить полученную информацию на экран.

Маркер. Позволяет окрашивать выбранный объект в заданный цвет. Данный инструмент работает только совместно с инструментами «Объект» и «Все объекты». Необходимо выбрать цвет для окрашивания объектов. Для вызова цветовой палитры навести курсор на верхнюю строку окна с правой стороны экрана, которая показывает активный цвет точки и дважды щелкнуть левой кнопкой мыши. Появится окно **Цвет**, в котором курсором нужно отметить желаемый цвет и нажать кнопку «ОК». Для окрашивания объектов необходимо навести курсор на объект и нажать левую кнопку мыши. Маркируемый объект должен быть однородным по цвету, поэтому необходимо отфильтровать исследуемые объекты на слой «Объекты» («Проекция») или провести бинаризацию.

5.3. Порядок выполнения работы

1. Открыть изображения **OM10G.bmp**, **Объекты.bmp**, **Зерно.bmp**.
2. *Линейка-Транспортир.* Активизировать изображение **OM10G.bmp**. Нажать кнопку «Линейка-Транспортир». Для измерения объектомикрометра провести линию при нажатой кнопке мыши вдоль всей шкалы. Рассчитать масштабный коэффициент, поделив длину отрезка в мкм на количество пикселей, из которых он состоит.
3. Для изображения **Зерно.bmp** установить масштаб 1:1,05 мкм, а для изображения **Объекты.bmp**: 1:2,3 мкм (закладка **Изображение**, кнопка «Свойства изображения»). Переключиться на закладку **Инструменты**.
4. *Измерение объектов.* Активизировать изображение **Объекты.bmp**. Нажать две кнопки «Все объекты» и «Информация». Изучить информацию об объектах в появившемся окне **Результат измерения**. Закрыть окно. Отменить использование инструмента в систе-

ме, нажав кнопку «Инструмент не задан». Нажать кнопки «Объект» и «Информация». Измерить площадь самого большого объекта на изображении. Используя *«Комбинированный фильтр»*, отфильтровать на слой *«Объекты»* самый большой объект по площади, удалив его с изображения. Повторить работу инструмента, нажав кнопку «Все объекты» и «Информация». Сравнить полученные средние значения параметров с предыдущими. Закрыть окно, отметив опцию *«Перейти в статистическую лабораторию»*. Проанализировать график распределения площади объектов. Закрыть лабораторию.

5. *Маркировка*. Установить активный цвет в системе (например, зеленый). Отключить кнопку «Информация». Активизировать изображение **Объекты.bmp**. При нажатых кнопках «Объект» и «Маркировка» щелкнуть по одному из объектов. После этого отключить кнопку «Маркировка».

6. *Векторная анизотропия*. Изучить инструмент *«Векторная анизотропия»* на изображении **Объекты.bmp**. Задать активный цвет – черный, соответствующий цвету частиц, при помощи инструмента *«Проба цвета»*. Отключить все слои на изображении. Нажать кнопку «Векторная анизотропия». Задать направление проведения расчета. Переписать значения угла и анизотропии из окна **Результат измерения**. Поменять активный цвет на зеленый. Повторить измерение для объекта зеленого цвета. Результаты сравнить. Отменить инструмент (нажать кнопку «Инструмент не задан»).

7. *Отрезки по цвету*. Активизировать изображение **Зерно.bmp**. Переключиться на закладку **Редактирование**. Нажать кнопку «Оттенки серого». Провести преобразования *«Устранение градиента»* и *«Максимальная насыщенность»*. Выполнить преобразование *«Бинаризация»*, выбрав порог бинаризации равным 150. Используя *«Комбинированный фильтр»* отфильтровать мелкие дефекты (цветовой диапазон от 0 до 254, площадь 25 мкм, процент отклонения 100 %). Перейти в закладку **Инструменты**. Задать активный цвет – белый, соответствующий телу зерна. Нажать кнопку «Информация». Используя инструмент *«Отрезки по цвету»* провести случайную секущую. В открывшемся окне посмотреть значения отрезков и определить средний диаметр зерен на изображении **Зерно.bmp**. Обратит внимание на выбор активного цвета для этого инструмента.

8. *Завершение работы*. Очистить личные каталоги от посторонних изображений и закрыть программу **ImageExpert Pro 2**.

Контрольные вопросы

1. Где отображается результат применения инструмента *«Проба цвета»*?
2. Какие характеристики измеряются при помощи инструмента *«Линейка-Транспортир»*?
3. Как рассчитывается масштабный коэффициент, позволяющий переводить пиксели в реальные единицы измерения, например, в микрометры?
4. Какие результаты измерений представлены в диалоговом окне **Отрезки по цвету**?
5. Как проводят расчет анизотропии с помощью инструмента *«Векторная анизотропия»*?
6. Для чего используется инструмент *«Информация»* вместе с инструментами *«Объект»* и *«Все объекты»*?
7. Для какого слоя производятся измерения инструментами *«Объект»* и *«Все объекты»*?
8. Как определяются площадь, периметр, ориентация, корреляция, параметр формы, диаметры и вытянутость объектов?

Лабораторная работа 6

Статистическая обработка результатов измерений и подготовка отчета

(2 часа)

6.1. Цель работы

Научиться проводить статистический анализ встроенными средствами, экспортировать численные данные в виде файла статистики, автоматизировать составление отчета.

6.2. Описание меню Обработка

Открыть файл статистики. Для создания или открытия файла записи статистических данных необходимо в закладке Обработка нажать кнопку «Открыть файл». В окне **Открытие файла статистики** задать имя файла с расширением *.sta и нажать кнопку «Открыть».

Запись статистики. Информацию для статистической обработки можно получить с помощью инструментов «Объект» и «Все объекты». Для автоматической записи результатов в файл статистики в закладке Обработка надо нажать кнопку «Запись статистики».

Закреть файл. Закрывает файл статистики.

Статистический анализ. В закладке Обработка нажать кнопку «Статистический анализ». Появится диалоговое окно **Статистическая лаборатория** (рис. 6.1). В окне представлены в виде таблицы данные, содержащиеся в файле статистики.

Процедура «*Статистический анализ*» строит в различных координатах и комбинациях гистограммы распределения следующих параметров: количество объектов, площадь, периметр, угол ориентации, корреляция, параметр формы и вытянутость. В окне **Статистическая лаборатория** необходимо задать координаты по оси абсцисс и по оси ординат (для логарифмических координат отметить опцию «*(Ln) шкала*»). Количество разбиений гистограммы по оси абсцисс может быть автоматическим (оптимально: как корень третьей степени из числа объектов) или задано пользователем. После задания всех параметров левой кнопкой мыши нажать кнопку «Перестроить». Будет построена гистограмма по заданным параметрам. Как результат выдаются: количество измерений, максимальные и минимальные значения по осям координат (X , Y), средние значения параметров, среднеквадратичное отклонение, ширина

столбца гистограммы при заданном количестве разбиений. Чтобы показать значение каждого столбца гистограммы необходимо включить опцию «Показывать маркеры».

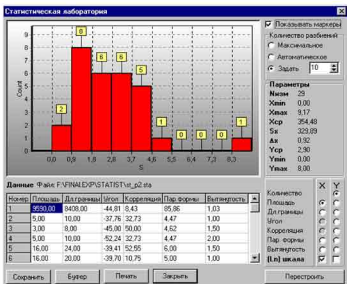


Рис. 6.1. Вид окна Статистическая лаборатория

Также можно мышью выделить фрагмент гистограммы для детального просмотра: установить курсор на гистограмме в начальной точке, нажать левую кнопку мыши, переместить курсор до конечной точки и отпустить. Построенную гистограмму можно сохранить в файл (кнопка «Сохранить»), скопировать в буфер обмена (кнопка «Буфер») или вывести на печать (кнопка «Печать»).

Распределение по группам. Процедура позволяет для выбранного параметра (площадь, периметр, параметр формы и др.) задать разбиение диапазона и рассчитать, сколько значений попадает в указанные интервалы. Для вызова мастер-анализатора следует нажать кнопку «Распределение по группам», выбрать параметр (площадь, периметр, угол ориентации, корреляция, параметр формы, минимальный, максимальный или средний диаметры, вытянутость) и устано-

вить интервалы разбиения (нажать кнопку «Добавить», ввести минимальное и максимальное значения текущего интервала). Настроенную группу разбиений можно сохранить (кнопка «Сохранить»), а сохранённую ранее группу – загрузить (кнопка «Загрузить»). Для анализа распределения по группам необходимо нажать кнопку «Анализ». Полученную гистограмму можно скопировать в буфер обмена или распечатать.

Расчёт статистических критериев. Вызывает статистический калькулятор (кнопка «Расчет статистических критериев»). Позволяет определить в зависимости от количества степеней свободы и уровня значимости критерии Стьюдента и Фишера (табличные значения), либо уровень значимости по измеренным значениям критериев Стьюдента и Фишера и количеству степеней свободы. После задания необходимых данных следует нажать кнопку «Расчет».

Автоотчёт. Создает документ **Microsoft Office Word** с названием «Автоотчет ImageExpert Pro 2» (кнопка «Автоотчёт»). Если нажата кнопка «Запись автоотчёта», то после выполнения каждой процедуры в автоотчёт вносится информация об обрабатываемом изображении, проведенной процедуре и ее настройках, а также результаты измерений. Записи в документе производится с текущего положения курсора.

6.3. Порядок выполнения работы

1. *Открыть изображения Сульфиды1.bmp и Сульфиды2.bmp.* Для изображений Сульфиды1.bmp и Сульфиды2.bmp установить масштаб 1:2,3 мкм (закладка Изображение, кнопка «Свойства изображения»). Переключиться на закладку Обработка.

2. *Автоотчёты.* Нажать кнопку «Автоотчёт». Автоматически запустится **Microsoft Office Word**. Не закрывая **Microsoft Office Word** (не теряя связи с автоотчётом!) перейти в программу **ImageExpert Pro 2**. При нажатой кнопке «Запись автоотчёта» производится запись всех проделанных над изображением операций, а также характеристик объектов, при отпущенной – нет. Активизировать **Сульфиды1.bmp**. Применить метод «Диффузия» с уровнем 1. Провести преобразования «Устранение градиента» и «Максимальная насыщенность». Провести преобразование «Бинаризация» с порогом 127. Используя «Комбинированный фильтр» отфильтровать мелкие дефекты (цветовой диапазон от 0 до 254, площадь 3 мкм, процент отклонения 100%). Отключить кнопку «Запись автоотчёта». Переключиться на **Microsoft Office Word**. Проверить результат. Аналогичным образом

выделить неметаллические включения в виде объектов на изображении **Сульфиды2.bmp**.

3. *Статистика*. Нажать кнопку «Открыть файл». Создать файл статистики в личном каталоге. Нажать кнопку «Запись статистики». Переключиться на закладку **Инструменты**. Выбрать инструмент «*Все объекты*». Перевести курсор в поле **Сульфиды1.bmp** на черное включение и щелкнуть левой кнопкой мыши. Выбрать инструмент «*Объект*». Перевести курсор в поле **Сульфиды2.bmp** на черное включение и щелкнуть левой кнопкой мыши. Переключиться на закладку **Обработка**. Отключить кнопку «Запись статистики». Вызвать процедуру «*Статистический анализ*». Изучить распределения параметров. Закрыть окно.

4. *Распределение характеристик объектов по группам*. Вызвать процедуру «*Распределение по группам*». Для диаметров объектов задать разбиение по диапазону измеренных значений и рассчитать, сколько значений попадает в указанные интервалы. Полученную гистограмму скопировать в буфер, перейти в **Microsoft Office Word** и вставить в автоотчёт. Сделать выводы о загрязнённости стали неметаллическими включениями. Вернуться в программу **ImageExpert Pro 2**. Нажать кнопку «Закрыть файл» в закладке **Обработка**.

5. *Внешняя обработка*. Запустить программу **Microsoft Office Excel**. Загрузить в нее файл статистики (при открытии указать тип файла «Все файлы»). Посчитать средний диаметр включений. Закрыть программу.

6. *Статистические критерии*. Открыть окно **Расчёт статистических величин**. Освоить его работу.

7. *Завершение работы*. Закрыть программу **ImageExpert Pro 2**. Закрыть программу **Microsoft Office Word**.

Контрольные вопросы

1. Как автоматически определяется в окне **Статистическая лаборатория** количество разбиений?

2. Какие параметры выдаются в окне **Статистическая лаборатория** после построения гистограммы?

3. В каких случаях используется процедура «*Распределение по группам*»?

4. Какая информация записывается в автоотчёт?

5. Какие исходные данные вводятся в диалоговое окно **Расчёт статистических величин**?

Лабораторная работа 7

Групповая обработка изображений по схеме

(2 часа)

7.1. Цель работы

Научиться сохранять пройденный цикл обработки одного изображения в качестве визуального проекта в программе **ImageExpert Pro 2** для последующей обработки в автоматическом режиме загружаемой и сохраняемой группы изображений.

7.2. Описание меню Проект

Новый проект. Создает новый проект (рис. 7.1). Если в программе уже имеются открытые изображения, программа производит запрос об их автоматическом подключении к проекту. Необходимо задать имя файла проекта и нажать кнопку «Открыть». При появлении на экране окна **Мастер проекта** задать комментарии, отражающие суть проекта. Открытие изображений при открытом проекте приводит к автоматическому подключению их к проекту.

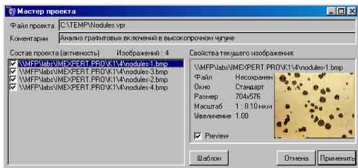


Рис. 7.1. Вид окна **Мастер проекта**

В окне **Мастер проекта** отображается количество изображений и состав проекта. В поле «Состав проекта» переключателем слева от названия изображения можно выбрать изображение для анализа и про-

смотреть его свойства в поле «Свойства текущего изображения». Также можно установить параметры для одного изображения (масштаб, единицы измерения) и в окне **Мастер проекта** продублировать эти настройки для всех изображений, нажав кнопку «Шаблон» (шаблоном является выбранное изображение в поле «Состав проекта»).

Открыть проект. Открывает уже существующий проект. Выбрать имя файла и нажать кнопку «Открыть». Все изображения, включенные в проект, будут открыты автоматически.

Сохранить проект. Сохраняет проект в файл.

Просмотр проекта. Вызывает окно **Мастер проекта** для открытого проекта. Управляет его настройками и активностью изображений.

Закрыть проект. Закрывает текущий проект. При наличии открытых изображений программа запрашивает о необходимости закрытия изображений вместе с проектом.

Мастер схем. Отображает список действующих для текущего сеанса схем обработок (рис. 7.2). Схемы – это задаваемый пользователем набор команд программы **ImageExpert Pro 2** для единообразной обработки группы изображений в автоматическом режиме. Можно добавлять заранее созданные схемы и удалять их из списка доступных.

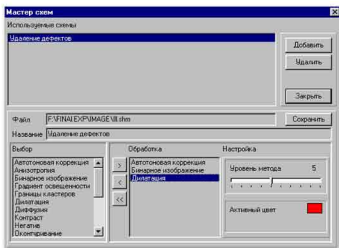


Рис. 7.2. Вид окна **Мастер схем**

Для создания новой схемы обработки или открытия существующей следует нажать кнопку «Добавить» и выбрать имя существующего файла или задать имя нового. Ввести название схемы. Активную схему обработки можно редактировать. Используя поле «Выбор», отметить нужный метод. Копировать его в поле «Обработка», нажав кнопку «>». В поле «Настройка» задать требуемые для метода параметры. Для временной остановки обработки изображений по схеме использовать опцию «Пауза». Для удаления одного метода использовать кнопку «<», а для очистки всего поля «Обработка» – «<<». Для сохранения схемы нажать кнопку «Сохранить». Для удаления из списка ненужной схемы выбрать ее и нажать кнопку «Удалить». Для закрытия схемы в поле «Используемые схемы» выделить нужную схему, затем нажать кнопку «Закрыть».

Все схемы. При нажатом положении кнопки производится обработка по всем загруженным схемам в порядке их следования, а при отключенном – только по выделенной схеме. В закладке Проект можно произвести быстрый выбор активной схемы.

Изображение по схеме. Обработка активного изображения по выбранной схеме или группе схем при нажатой кнопке «Все схемы».

Проект по схеме. Параллельная обработка всех активных изображений проекта по схеме или группе схем при нажатой кнопке «Все схемы».

Продолжить работу по схеме. Для продолжения работы по указанной схеме после остановки («Пауза») воспользоваться данной кнопкой.

7.3. Порядок выполнения работы

1. *Создание проекта.* Нажать кнопку «Новый проект». Задать имя проекта. Написать комментарии к проекту (например, «анализ графитовых включений»).

2. *Открыть изображения* Гр01.bmp, Гр02.bmp, Гр03.bmp, Гр04.bmp.

3. *Задание общего масштаба.* Настроить свойства (размерность и масштаб) изображения Гр01.bmp (закладка Изображение, кнопка «Свойства изображения», единицы измерения – мкм, масштаб 1:1,05). Нажать кнопку «Просмотр проекта». Выбрать настроенное изображение Гр01.bmp. Нажать кнопку «Шаблон». Свойства распространяются на активные изображения (помеченные галочкой).

4. *Создание схемы.* Нажать кнопку «Мастер схем». Написать название схемы (например, «измерение частиц»). Создать схему, добавив способы обработки: «Оттенки серого» (без настройки), «Диффузия» (уровень 2), «Градиент освещенности» (без настройки), «Бинаризация» (уровень 128), «Пауза» (без настройки), «Параметры объектов» (активный цвет черный, работает для верхнего видимого слоя!). Нажать кнопку «Сохранить», а затем «Заккрыть».

5. *Изображение по схеме.* Активизировать изображение **Гр01.bmp**. Нажать кнопку «Изображение по схеме». Во время паузы, используя «Комбинированный фильтр», отфильтровать мелкие дефекты (цветовой диапазон от 0 до 254, площадь 50 мкм, процент отклонения 100 %). Нажать кнопку «Продолжить работу по схеме». Оценить работу схемы.

6. *Проект по схеме.* Нажать кнопку «Просмотр проекта», убрать галочку напротив обработанного изображения **Гр01.bmp** (остальные изображения должны остаться отмеченными). Перейти в закладку Инструменты, отключить кнопку «Вывод информации» (появляющиеся диалоговые окна блокируют автоматическое выполнение обработки). Перейти в закладку Обработка, нажать кнопку «Автоотчёт». Перейти в закладку Проект, нажать кнопку «Проект по схеме». Обратит внимание на параллельную обработку изображений. Во время паузы, используя «Комбинированный фильтр», отфильтровать мелкие дефекты на каждом изображении (цветовой диапазон от 0 до 254, площадь 50 мкм, процент отклонения 100 %). Нажать кнопку «Продолжить работу по схеме». Перейти в **Microsoft Office Word**. Проанализировать полученные результаты в автоотчёте.

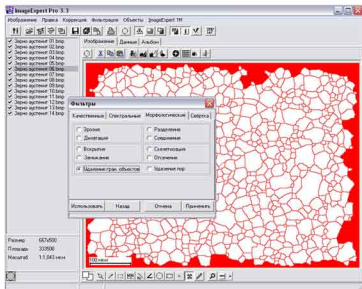
7. *Завершение работы.* Закрыть программу **ImageExpert Pro 2**. Закрыть программу **Microsoft Office Word**.

Контрольные вопросы

1. Для чего необходимо объединять изображения в проект?
2. Как можно одновременно задать масштабный коэффициент и единицы измерения во всех открытых изображениях?
3. Что такое схема и как она используется в групповой обработке?
4. Для чего предназначена опция «Пауза» в схеме?

ЧАСТЬ 2. Работа с российскими и зарубежными стандартами в программе ImageExpert Pro 3

Версия **ImageExpert Pro 3** отличается от **ImageExpert Pro 2** большей автоматизацией операций и большим набором функций. Она используется для ускорения измерений, предусмотренных стандартами на материал. Однако **ImageExpert Pro 2** предоставляет пользователю большую свободу при отработке новых приемов анализа изображений (не включенных в стандарты) и возможность создания новых проектов по алгоритмам пользователя.



Вид рабочего окна программы **ImageExpert Pro 3**

Лабораторная работа 8

Работа с изображениями в программе ImageExpert Pro 3

(6 часов)

8.1. Цель работы

Научиться загружать и сохранять изображения, применять к ним различные фильтры, осуществлять сбор данных и производить статистический анализ.

8.2. Описание основных пунктов главного меню программы

Калибровка аппаратно-программного комплекса

Для заданной конфигурации оптической схемы необходимо найти масштабный коэффициент, чтобы переводить измерения, выраженные в точках изображения (пикселях), в микрометры на объекте.

В комплекте принадлежностей любого микроскопа есть объект-микрометр. Его устанавливают вместо шлифа. Изображение сохраняется на диске под соответствующим именем для каждого варианта оптической конфигурации комплекса. На нем инструментом «Измерение длины и угла» указывают отрезок, длина которого в микрометрах видна по рискам шкалы. В появившемся окне **Результат измерения** отображается та же длина в точках изображения. Масштаб (мкм/пиксель) – размер одной точки изображения в единицах длины объекта. Для точности калибровки шкала объект-микрометра должна быть строго горизонтальна (или вертикальна), а начало и конец отрезка должны приходиться на одну сторону риски.

Для добавления полученного масштаба в программу необходимо нажать кнопку «Установка масштаба изображений» и заполнить поля в окне **Масштаб изображений**. Ввести название масштаба (обычно это увеличение объектива), масштабный коэффициент, единицы измерения, нажать кнопки «Сохранить» и «Применить». В дальнейшем текущий масштаб изображений выбирается по названию использованной конфигурации.

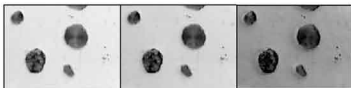
Представление изображения в заданной палитре

Любой цвет C на изображении в палитре RGB определен как $C = (R, G, B)$, где R – интенсивность красной составляющей цвета,

G – зелёной, B – синей. Перевод изображения в оттенки красного $C_R = (R, 0, 0)$ осуществляется отключением зелёной и синей составляющих. Аналогичным образом осуществляется перевод в оттенки зелёной $C_G = (0, G, 0)$ и синей $C_B = (0, 0, B)$ составляющих цвета. Представление изображения в оттенках серого подразумевает перевод в усреднённое значение каждой составляющей цвета: $C = (K, K, K)$, где $K = \frac{1}{3} \cdot (R + G + B)$.

Инструмент «Представление изображения в заданной палитре» позволяет: а) переводить полноцветную палитру изображения в оттенки одной из трех составляющих цвета палитры RGB ; б) преобразовывать палитру в оттенки серого; в) получать инвертированное изображение.

Преобразование в оттенки серого упрощает анализ, так как анализируется только яркостный канал, а не все три цветовых. Преобразование палитры может снизить уровень шумов и улучшить распознавание объектов после бинаризации или сегментации по цвету. Основная часть электронных шумов камеры обычно располагается в области синего цвета, а в области красного камеры имеют избыточную чувствительность и слабую контрастность (рис. 8.1). Если цвет не является предметом исследования, целесообразно нажать кнопку «Представление изображения в заданной палитре», выделить зелёный диапазон и перевести его в оттенки серого.



Красная компонента
в палитре серого

Зелёная компонента
в палитре серого

Синяя компонента
в палитре серого

Рис. 8.1. Перевод изображения в оттенки серого

Набор цифровых фильтров

Медианный фильтр. Предназначен для устранения высокочастотных помех, возникающих при съемке на полноцветном изображении. «Медианный фильтр» представляет собой скользящее по изо-

бражению окно, охватывающее нечётное число точек изображения, в котором значение яркости центральной точки заменяется медианой распределения интенсивностей точек, расположенных в зоне заданного радиуса (рис. 8.2).

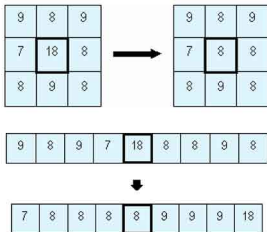


Рис. 8.2. Принцип работы «Медианного фильтра» (радиус равен 1)

В результате применения «Медианного фильтра» на изображении в достаточной мере сглаживаются мешающие шумы, но в то же время сохраняются чёткими границы, что имеет значение при последующем выделении объектов.

Степень сглаживания регулируется заданием радиуса зоны (в пикселях). Чем крупнее анализируемые частицы, тем больший радиус зоны можно задавать. При анализе тонкодисперсной структуры применение любых сглаживающих фильтров не рекомендуется.

Для применения этого фильтра следует нажать кнопку «Цифровая фильтрация». На экране появится диалоговое окно **Фильтры**. Открыть закладку Качественные, отметить опцию «Медианный» фильтр. Установить радиус, пропорциональный размеру сглаживаемых высокочастотных помех. Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

Пороговый фильтр. Реализует пространственное сглаживание интенсивностей только тех точек изображения, где яркость превышает средний уровень на величину заданного порога. В скользящем по изображению окне значение яркости центральной точки заменяется средним арифметическим из яркостей соседних точек в зоне заданного радиуса, если их разность превышает пороговое значение (параметр). На рис. 8.3 при пороге 5 исходное центральное значение 15 заменяется на целую часть среднего арифметического 8, поскольку разница между исходным и средним значениями превышает порог: $15 - 8 = 7 > 5$.

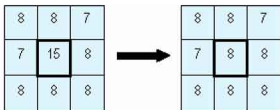


Рис. 8.3. Принцип работы «Порогового фильтра»
(радиус равен 1, параметр 5)

Степень сглаживания изображения задаётся радиусом зоны в пикселях, равномерность сглаживания регулируется заданием порога.

Для вызова диалогового окна **Фильтры** нажать кнопку «Цифровая фильтрация». Выбрать закладку Качественные, отметить опцию «Пороговый» фильтр. Установить радиус зоны анализа и пороговое значение. Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

Пиктоновый фильтр. Его обычно применяют для устранения тонких дефектов (например, царапин) на сегментированных или бинаризованных изображениях. В скользящем по изображению окне цвет центральной точки заменяется на доминирующий цвет соседних точек в зоне заданного радиуса, если доля таких точек превышает пороговое значение (параметр). На рис. 8.4 исходное центральное значение 18 заменяется на доминирующий в округе цвет 7, потому что точек со значением 7 более 50 %.

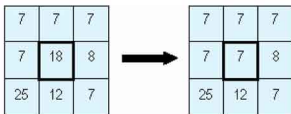


Рис. 8.4. Принцип работы «Пиктонового фильтра»
(радиус равен 1, параметр 0,5)

Радиус устанавливается в пикселях. Параметр устанавливается в долях. Если задать значительный радиус зоны, объекты на изображении округляются, сокращая периметр.

Для применения этого фильтра необходимо нажать кнопку «Цифровая фильтрация». В диалоговом окне **Фильтры** открыть закладку **Качественные**, выбрать опцию «Пиктоновый» фильтр. Установить радиус окрестности вокруг точки и пороговое значение. Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

Фильтр «Градиент». Позволяет устранить дефект освещённости в виде равномерной боковой засветки, например косого освещения. Фильтр аппроксимирует распределение интенсивностей в кадре плоскостью и определяет новую интенсивность каждой точки изображения вычитанием соответствующих значений исходного профиля и плоскости.

Для применения этого фильтра следует нажать кнопку «Цифровая фильтрация». Открыть закладку **Спектральные**, выбрать опцию фильтр «Градиент». Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

Фильтр «Макронеоднородность». Фильтр устраняет дефекты освещённости сложной нелинейной конфигурации, например в виде центральной засветки. Рельеф исходного изображения сглаживается путем усреднения значений интенсивностей в области указанного радиуса. После этого сглаженный профиль интенсивностей вычитается из исходного профиля (рис. 8.5). Радиус зоны сглаживания задается в пикселях. Чем больше зона световой неоднородности, тем выше должно быть значение радиуса.

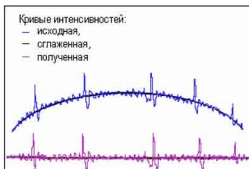


Рис. 8.5. Принцип работы фильтра «Макронеоднородность»

Для применения этого фильтра необходимо нажать кнопку «Цифровая фильтрация». В диалоговом окне **Фильтры** открыть закладку **Спектральные**, отметить опцию «Макронеоднородность». Установить радиус зоны анализа пропорционально размеру зоны засветки. Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

Выделение объектов на изображении

Сегментация по цвету. Выделяет отдельным цветом требуемые объекты для последующего количественного анализа на исходном изображении со множеством цветовых оттенков. Точки изображения с оттенками, лежащими внутри указанного диапазона, выделяются цветом пользователя. В пределах одной фильтрации можно задавать до 16 типов объектов. Результаты получаются лучше после предварительной тональной коррекции и применения цифровых фильтров.

Нажать кнопку «Выделение объектов по цвету». В открывшемся диалоговом окне **Сегментация по цвету** установить диапазон интенсивностей одним из способов: ввести значения границ с клавиатуры или переместить мышкой черные риски границ диапазона на гистограмме интенсивностей. Нажать кнопку «Применить».

Геометрическая фильтрация. Предназначена для выделения объектов с определенными геометрическими свойствами из массы объектов заданного цвета. Предварительно делается сегментация по цвету или бинаризация. «Геометрический фильтр» может удалять (перекрашивать) включения меньше заданной площади, выделять

частицы круглой формы и заданного диаметра, исключать некруглые слипшиеся частицы, раскрашивать зёрна цветами по баллам площади или диаметра. Возможны сложно составные условия фильтрации.

Для применения фильтра следует нажать кнопку «Фильтрация объектов по геометрическим параметрам». По умолчанию фильтр открывается в «Режиме выбора цвета». Необходимо установить исходный цвет, щелкнув левой кнопкой мыши по одному из нужных объектов. Фильтр автоматически переходит в «Режим выбора параметров». После выбора параметра автоматически предлагается диапазон его значений. По заданным значениям объекты оконтуриваются цветом выделения, который задается отдельно (рис. 8.6).

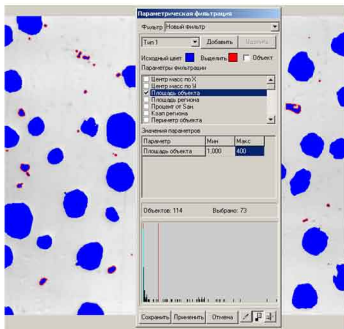


Рис. 8.6. Вид окна **Параметрическая фильтрация**

Установить интервал отфильтровываемых значений можно одним из следующих способов: 1) ввести значения границ с клавиатуры и

нажать клавишу [Enter]; 2) активизировать левое или правое значение и указать мышкой на объект с визуально предполагаемым значением параметра; 3) перемещать мышкой красные риски границ диапазона на гистограмме значений. В *«Режиме фильтра»* можно наблюдать окончательный вариант перед его применением, когда отфильтрованные объекты полностью закрашены цветом выделения.

Можно добавить несколько параметров фильтрации или создать новый тип объектов фильтрации, нажав кнопку «Добавить» и повторив выделение объектов. Для проведения фильтрации необходимо нажать кнопку «Применить».

Если настроенные параметры фильтра планируется в дальнейшем многократно использовать для однотипных изображений, следует сохранить настройки фильтра, нажав кнопку «Сохранить».

Проведение измерений

Анизотропия. Определяет неоднородность геометрических характеристик структурных составляющих на изображении после сегментации по цвету или бинаризации. Активный цвет должен соответствовать цвету анализируемых объектов. При проходе по линиям растра вдоль заданного угла считается количество пересечений с границами объектов активного цвета. Аналогично проходятся линии растра во взаимно-перпендикулярном направлении. Значение анизотропии определяется как отношение этих двух подсчётов в диапазоне углов от -90° до $+90^\circ$ с шагом в 5° . Значение анизотропии равное 1 означает изотропность структуры.

Для расчета анизотропии установить активный цвет, соответствующий цвету частиц. В меню **Объекты** выбрать пункт **Анизотропия**.

Измерение параметров объектов. Перед измерениями изображение должно быть сегментировано или бинаризовано. Единицы измерения определяются при установке масштаба изображений. Выбирается инструмент *«Информация об объекте»* или *«Информация о всех объектах»* для получения параметров одного объекта или всех объектов на изображении. При выбранном инструменте щёлкнуть левой кнопкой мыши по одному из объектов выбранного цвета. Учитывать состояние описанных ниже кнопок.

При нажатой кнопке **«Текущее измерение»** отображается результат измерения в окне **Информация по выбранному объекту** (только для параметров, выбранных при настройке). Если нет потребности выводить информацию на экран после каждого измерения, кнопку **«Текущее измерение»** отключить.

Нажатая кнопка **«Запись в базу данных»** позволяет накапливать в базе данных результаты измерения всех параметров независимо от

вывода на экран. При единичных замерах, когда статистика пользователю не нужна, кнопку следует отключить.

Для перехода программы в закладку **Данные** после измерений следует нажать кнопку «Переход в таблицу».

Инструменты для измерения геометрических примитивов

Для применения данных инструментов не требуется предварительной обработки изображений.

Инструмент «Измерение угла по трём точкам». Для определения угла необходимо последовательно щелкнуть мышкой по трем характерным точкам угла.

Инструмент «Измерение параметров окружности». Указать мышкой любые три точки на поверхности окружности. Измеряются радиус, диаметр, площадь и периметр. Единицы измерений определяются при установке масштаба.

Инструмент «Измерение выпуклого четырёхугольника». Четырёхугольник задается по четырем вершинам. Измеряются две диагонали, среднее из них, периметр и площадь. Единицы измерения определяются при установке масштаба.

8.3. Порядок выполнения работы

Задание 1. Откалибровать аппаратно-программный комплекс.

1. Открыть изображение **Шкала x10.jpg**.

2. Расчет масштабного коэффициента. С помощью инструмента «Измерение длины и угла» на изображении мерной шкалы двумя щелчками левой кнопки мыши указать отрезок между рискам шкалы. Рассчитать масштабный коэффициент. Например, если длина отрезка в 500 мкм (50 делений по 10 мкм) составила 475 пикселей, то масштабный коэффициент равен $500 / 475 = 1,05$ мкм / пикс.

3. Задание масштаба изображения. Установить полученный масштаб с помощью кнопки «Установка масштаба изображений». Ввести название масштаба. Ввести масштабный коэффициент и единицы измерения (мкм). Нажать кнопки «Сохранить» и «Применить».

Задание 2. Эвтектический сплав. Подсчитать концентрацию крупных кристаллов первичной фазы, не входящих в эвтектику.

1. Открыть изображение **Эвтектика.jpg**. Создать копию исходного изображения.

Эвтектика представляет собой сложное, мелкодисперсное и взаимопроницающее переплетение двух фаз. Без дополнительных методов простая сегментация (бинаризация) выделяет выбранную фазу как в кристаллах первичной фазы, так и в составе эвтектики. Нажать кнопку «Выделение объектов по цвету». Задать красный цвет для

выделения объектов. Перемещать границу сегментации влево и вправо, наблюдая за происходящими изменениями на изображении. Нажать кнопку «Отмена».

2. *Цифровая фильтрация.* Необходимо подавить мелкодисперсную структуру эвтектики, по возможности не искажая конфигурацию кристаллов первичной фазы. Нажать кнопку «Цифровая фильтрация». Открыть закладку **Качественные**, выбрать «*Пороговый*» фильтр с радиусом 3 и параметром 1. Нажать кнопку «Использовать». Переключиться на закладку **Спектральные**. Выбрать фильтр «*Градиент*» для устранения неравномерности освещения образца. Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить». Сравнить результат с исходным изображением.

3. *Выделение объектов по цвету.* Поскольку уровень яркости первичных кристаллов после преобразований значительно отличается от фона (бывшей эвтектики), можно приступить к цветовой сегментации. Нажать кнопку «Выделение объектов по цвету». Выбрать цвет (зеленый). Установить цветовой диапазон, соответствующий анализируемым частицам. Нажать кнопку «Применить».

4. *Подготовка базы данных.* Переключиться в закладку **Данные**. Если база данных «Объекты» пуста, возвратиться в закладку **Изображение**. Если нет, нажать кнопку «Очистить».

5. *Измерение объектов.* Выбрать инструмент «*Информация о всех объектах*» и щелкнуть левой кнопкой мыши по одному из объектов.

6. *Анализ результатов.* Перейти в закладку **Данные** для ознакомления с результатами. Записать концентрацию первичной фазы (процент по площади). Очистить базу данных для следующего примера.

Задание 3. Малоуглеродистая низколегированная сталь. Определить процентное содержания перлита.

1. *Открыть изображение Сталь 1.jpg.* Создать копию исходного изображения для сравнения.

2. *Цифровая фильтрация.* Для предварительной обработки нажать кнопку «Цифровая фильтрация», выбрать закладку **Качественные**, отметить в ней опцию «*Медианный*» фильтр. Поскольку частицы небольшие и сильно изрезанные, установить радиус 2. Нажать кнопку «Использовать». Перейти в закладку **Спектральные**. Выбрать фильтр «*Градиент*». Снова нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

3. *Выделение объектов по цвету.* Провести цветовую сегментацию (кнопка «Выделение объектов по цвету»). Установить цвет объектов (красный). Выбрать оптимальное значение для границ цветового диапазона сегментации. Нажать кнопку «Применить».

4. *Фильтрация объектов по геометрическим параметрам.* Для удаления мелких объектов открыть «Геометрический фильтр». Установить исходный цвет отфильтровываемых частиц, щелкнув левой кнопкой мыши по одному из объектов. Задать цвет выделения (черный). Выбрать параметр фильтрации «Площадь объекта». С клавиатуры ввести границы интервала отфильтровываемых частиц и нажать клавишу [Enter]. Оценить результат и нажать кнопку «Применить». Сравнить полученное изображение с копией.

5. *Измерение объектов.* Выбрать инструмент «Информация о всех объектах» и щелкнуть левой кнопкой мыши по одному из объектов.

6. *Анализ результатов.* Перейти в закладку Данные для ознакомления с результатами. Записать концентрацию перлита.

Задание 4. Дендритная структура. Провести анализ анизотропии.

1. *Открыть изображение Дендрит.jpg.*

2. *Цифровая фильтрация.* Нажать кнопку «Цифровая фильтрация». Открыть закладку Качественные, выбрать опцию «Медианный» фильтр, задать радиус 1. Нажать кнопку «Использовать». Перейти на закладку Спектральные. Выбрать фильтр «Градиент» для устранения неоднородности освещения. Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить». Оценить результат.

3. *Выделение объектов по цвету.* Провести цветовую сегментацию, нажав кнопку «Выделение объектов по цвету». Задать цвет для будущих объектов (красный). Установить левый и правый края цветового диапазона по наибольшей достоверности выделения объектов. Нажать кнопку «Применить».

4. *Фильтрация объектов по геометрическим параметрам.* Вызвать «Геометрический фильтр». Установить исходный цвет анализируемых объектов (красный) и цвет, которым будут выделяться отфильтрованные объекты (синий). Сначала выделить самые мелкие объекты на изображении, подлежащие фильтрации (тип 1). Выбрать параметр фильтрации «Площадь объекта». Ввести с клавиатуры границы интервала отфильтровываемых объектов и нажать клавишу [Enter]. Оценить результат.

Для удаления крупных частиц создать тип 2, нажав на кнопку «Добавить». Установить исходный цвет, щелкнув левой кнопкой мыши по выбранному объекту. Поставить цвет для выделения объекта после фильтрации (синий). Выбрать параметр для фильтрации «Площадь объекта». Предлагается весь диапазон значений. Верхнюю границу оставить неизменной, а нижнюю задать, указав мышкой на самый крупный объект. Перейти в «Режим фильтра», нажав соответствующую кнопку для наблюдения окончательного варианта

перед его применением. Если результат устраивает, нажать кнопку «Применить».

5. *Подготовка базы данных.* Переключиться в закладку **Данные**. Если база данных «Анизотропия» пуста, вернуться в закладку **Изображение**. Если нет, нажать кнопку «Очистить».

6. *Получение пробы цвета с изображения.* Задать активный цвет, соответствующий цвету ветвей дендрита. Выбрать инструмент «Получение пробы». Щелкнуть левой кнопкой мыши по одному из объектов.

7. *Измерение анизотропии.* Из пункта меню **Объекты** выбрать инструмент для анализа «Анизотропия» (диапазон углов от -90 до $+90$ градусов с шагом в 5 градусов).

8. *Анализ результатов.* Перейти в закладку **Данные**. По распределению анизотропии найти угол, соответствующий максимуму анизотропии. Записать значения обоих параметров.

Задание 5. Провести расчет основных геометрических примитивов (угла, окружности и четырехугольника) на изображении.

1. *Определить угол хонингования на стенках цилиндра.* Открыть изображение **Угол хонингования.jpg**. Проверить, что база данных «Углы» пуста. Нажать кнопку «Запись данных в базу». Включить инструмент «Измерение угла по трем точкам». Последовательно щелкнуть левой кнопкой мыши по трем характерным точкам угла. Чтобы не выводить информацию на экран после каждого измерения, отключить кнопку «Текущее измерение». По окончании серии замеров перейти в закладку **Данные**. Проанализировать полученные результаты.

2. *Определить параметры сферических частиц.* Открыть изображение **Blood smear 2.jpg**. Установить масштаб изображения. Нажать кнопку «Установка масштаба изображений». Ввести новый масштаб (Объектив $\times 20$, 1 пикс = 0,85 мкм). Нажать кнопку «Применить». Проверить, что база данных «Параметры окружности» пуста. Нажать кнопку «Запись данных в базу». Включить инструмент «Параметры окружностей». Указать мышкой три любые точки окружности. По окончании серии замеров перейти в закладку **Данные**. Проанализировать полученные результаты.

3. *Определить параметры четырехугольных объектов.* Открыть изображение **Микротвердость.jpg**. Установить масштаб (1 пикс = 0,95 мкм). Проверить, что база данных «Параметры четырехугольника» пуста. Нажать кнопку «Запись данных в базу». Включить инструмент «Измерение вытянутого четырехугольника». Указать мышкой четыре угловые точки фигуры. По окончании серии замеров перейти в закладку **Данные**. Проанализировать полученные результаты.

Контрольные вопросы

1. Как проводится калибровка аппаратно-программного комплекса?
2. Диапазон какого цвета целесообразно использовать для перевода изображения в оттенки серого и почему?
3. Для чего используется пороговая фильтрация?
4. Как влияет величина порога на результаты пороговой фильтрации?
5. Каковы особенности работы «Медианного» фильтра?
6. Что такое «Пиктоновый» фильтр?
7. Для чего используется порог при пиктоновой фильтрации?
8. Какие дефекты освещенности встречаются на изображении? Как они исправляются?
9. Какие существуют методы выделения требуемых объектов на изображении?
10. Как рассчитывается анизотропия объектов?
11. Опишите работу инструментов для измерения геометрических примитивов.
12. С помощью каких команд осуществляется сбор данных?

Лабораторная работа 9

Обработка изображений чугуна и анализ графитовых включений в соответствии со стандартом ASTM A-536 (Graphite)

(2 часа)

9.1. Цель работы

Ознакомиться с методикой обработки изображений чугуна в пошаговом варианте. Научиться проводить анализ, настраивать результаты и формировать отчёты в соответствии со стандартами.

9.2. Описание пунктов меню, отвечающих за оформление результатов

Настройка результатов (гистограмм распределения)

ImageExpert Pro 3 предоставляет гибкий механизм настройки отображения результатов. Нажав кнопки «Запись данных в базу» и «Информация о всех объектах», можно получить информацию о всех объектах, щелкнув левой кнопкой мыши по любому объекту требуемого цвета. После занесения параметров в базу данных объектов кнопки отключить.

Для настройки представления результатов в закладке **Данные** выбрать интересующий геометрический параметр объектов (в **ImageExpert Pro 3** их больше 40). Затем в выпадающем меню выбрать вид гистограммы (по умолчанию устанавливается «Стандартный»: весь диапазон данных разбивается на задаваемое количество равных интервалов).

Типы разбиения могут быть ранее настроены и сохранены пользователем. Чтобы добавить очередной вид гистограммы, нужно выбрать пункт **Новый** в выпадающем меню, ввести имя, например название используемого стандарта, и нажать кнопку «Сохранить». Ограничить гистограмму необходимым количеством столбцов. Задать границы интервалов разбиения: щелкнуть левой кнопкой мыши по соответствующему окну, ввести новое значение и нажать клавишу [Enter]. Для удобства восприятия каждому интервалу можно дать на-

звание, поставить отображение в процентах, отметив опцию «Проценты», или включить опцию «Маркеры» (рис. 9.1). Полностью настроенную конфигурацию гистограммы можно сохранить для дальнейшего применения с помощью кнопки «Сохранить».

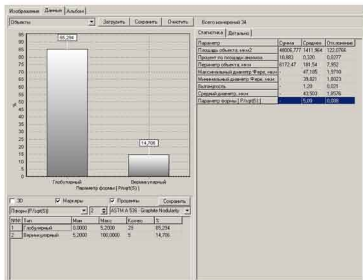


Рис. 9.1. Пример построения гистограммы распределения

Создание автоотчётов (шаблонов автоотчётов)

Чтобы вести электронную и бумажную отчетность генерируются автоотчёты на основании настроенного шаблона и с применением текстового редактора **Microsoft Office Word**.

При создании шаблона пользователь выбирает нужные элементы: текст, изображения и численные значения с гистограммами. Элементы следуют в порядке их добавления. В автоотчёт может быть внесена таблица параметров для каждого объекта (измерения) из закладки **Детально** и средние результаты из закладки **Статистика**. Для настройки гистограммы необходимо выбрать требуемую базу данных (например, «Объекты»), из нее требуемый численный параметр, для него провести настройку столбцов гистограммы или разбивку гисто-

граммы на диапазоны / столбцы. К гистограмме можно добавить таблицу распределения. Набранный шаблон автоотчёта можно сохранить для повторного использования с помощью кнопки «Сохранить». Если нужные шаблоны автоотчёта уже созданы, достаточно выбрать один из них и нажать кнопку «Автоотчёт».

После создания автоотчёта открывается **Microsoft Office Word**. Целесообразно отредактировать отчёт, используя все функции **Microsoft Office Word**. Готовый документ можно сохранить или вывести на печать.

9.3. Порядок выполнения работы

Задание 1. Провести анализ графитовых включений в соответствии со стандартом ASTM A-536.

1. *Открыть изображение Графит.jpg.*

2. *Задание масштаба изображения.* Нажать кнопку «Установка масштаба изображений», ввести соответствующий съёмке масштабный коэффициент (1:1,05 мкм). Нажать кнопку «Применить».

3. *Представление изображения в заданной палитре.* Преобразовать изображение в оттенки серого для упрощения последующих операций. Нажать кнопку «Представление изображения в заданной палитре». Выбрать опцию «Серый» и нажать кнопку «Применить».

4. *Цифровая фильтрация.* Нажать кнопку «Цифровая фильтрация» для преобразования изображения. Открыть закладку Качественные, выбрать «Медианный» фильтр, задать радиус 3. Нажать кнопку «Использовать». Переключиться на закладку Спектральные. Выбрать фильтр «Градиент» для устранения неоднородности освещения. Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

5. *Выделение объектов по цвету.* Нажать кнопку «Выделение объектов по цвету». Задать цвет для отображения выделяемых объектов (красный). Подобрать для правого края цветового диапазона положение, соответствующее наибольшей достоверности выделения объектов. Нажать кнопку «Применить».

6. *Получение пробы цвета с изображения.* Выбрать инструмент «Получение пробы цвета». Установить активный цвет, щелкнув левой кнопкой мыши по объекту. Выключить инструмент.

7. *Удаление граничных объектов.* Повторно нажать кнопку «Цифровая фильтрация», выбрать закладку Морфологические. Выбрать опцию «Удаление граничных объектов», нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

8. *Фильтрация объектов по геометрическим параметрам.* Для удаления мелких объектов воспользоваться «Геометрическим фильтром». По умолчанию фильтр открывается в «Режиме выбора цвета». Установить

исходный цвет, щелкнув левой кнопкой мыши по одному из анализируемых объектов. Фильтр автоматически переходит в «Режим выбора параметров». Выбрать параметр для фильтрации «Площадь объекта». Автоматически предлагается весь диапазон значений. Задать цвет выделения (синий). Ввести с клавиатуры границы интервала фильтрации и нажать клавишу [Enter]. В «Режиме фильтра» посмотреть окончательный вариант перед его применением. Обратить внимание, что графитовые включения остались красными (отфильтрованные мелкие объекты синие). Нажать кнопку «Применить».

9. *Подготовка базы данных.* Переключиться в закладку **Данные**. Если база данных «Объекты» пуста, вернуться в закладку **Изображение**. Если нет, нажать кнопку «Очистить».

10. *Измерение объектов.* Для получения численных параметров нажать кнопку «Информация о всех объектах». Щелкнуть левой кнопкой мыши на любом из объектов нужного цвета.

11. *Анализ результатов.* Перейти в закладку **Данные**. Выбрать базу данных «Объекты». Выбрать параметр для графического представления. Для анализа результатов в соответствии с ASTM A-536 используется параметр формы (P/\sqrt{S}). В выпадающем меню выбрать конфигурацию гистограммы, соответствующую стандарту ASTM A-536. Включить отображение в процентах. Включить маркеры. Проверить количество измеряемых объектов (закладка **Детально**). Вывести обработанную информацию (закладка **Статистика**).

12. *Создание отчёта.* Нажать кнопку «Сформировать автоотчёт Microsoft Word», написать новое название (Отчёт ASTM - 536) и нажать кнопку «Сохранить». Набрать по центру титульную информацию в закладке **Текст**. Например, «Металлургический завод, ЦЗЛ, Промышленный образец NBЧ-87-03». Задать свойства шрифта выделенной строчки (Arial, 14, жирный, подчеркнутый). Добавить набранный титульный текст в качестве первого элемента автоотчёта. Перейти в закладку **Изображение**. Выбрать опцию «Активное изображение» (название подсвечено в списке загруженных файлов). Добавить активное изображение в автоотчёт. Перейти в закладку **Результат**. Выбрать опцию «Гистограмма распределения», указать базу данных («Объекты»), конкретный численный параметр (P/\sqrt{S}) и настройку столбцов гистограммы по стандарту ASTM A-536. Добавить гистограмму распределения в шаблон. Добавить средние результаты к шаблону. Снова перейти в закладку **Текст**. Выделить старый текст и удалить его. Добавить текст подписей с выравниванием вправо. «Измерения провёл _____, начальник ЦЗЛ _____, «_» _____ 20__ г.». Нажать кнопку «Автоотчёт». Открывшийся автоотчёт сохранить в своей директории.

13. *Завершение работы.* Дать заключение о форме графитовых включений по стандарту ASTM A-536. Закрывать программу **ImageExpert Pro 3**. Закрывать программу **Microsoft Office Word**.

Контрольные вопросы

1. Как создаются типы конфигураций гистограмм в настройке результатов? И для чего они используются?
2. Какое разбиение дает «Стандартный» вид гистограммы, устанавливаемый по умолчанию?
3. Какие результаты измерений можно включить в автоотчёт?
4. По какому параметру проходит ранжирование, чтобы отличить вермикулярный графит от глобулярного?

Лабораторная работа 10

Анализ неметаллических включений в соответствии с ГОСТ 1778–70

(4 часа)

10.1. Цель работы

Ознакомиться в пошаговом варианте с методикой обработки изображений для анализа неметаллических включений и расчета концентраций. Научиться применять групповую обработку изображений.

10.2. Описание основных пунктов меню по групповой обработке изображений и расчету концентраций

Обработка группы. Включает режим групповой обработки изображений. Перед началом работы необходимо отметить обрабатываемые изображения галочками. Нажать кнопку «Обработка группы» на панели инструментов. Провести требуемые операции для активного изображения. Другие доступные для групповой обработки изображения будут обрабатываться параллельно. Для ряда операций (сегментация, бинаризация) целесообразно проверить результат выполнения и, при необходимости, провести коррекцию при отключенном режиме групповой обработки. По окончании работы отключить кнопку «Обработку группы».

Концентрация. Отношение суммарной площади объектов активного цвета к площади анализа, выраженное в процентах. В качестве предварительной подготовки необходима сегментация по цвету или бинаризация.

Для расчета концентрации установить активный цвет, соответствующий цвету частиц. В меню Объекты выбрать пункт Концентрация.

10.3. Порядок выполнения работы

Задание 1. Провести анализ неметаллических включений по ГОСТ 1778–70 на примере сферических включений силикатов в стали методами К и П. Результатом анализа являются гистограммы распределе-

нения включений в процентах (в примере количество полей зрения заведомо уменьшено по сравнению с требованиями стандарта).

1. *Открыть шесть изображений* с включениями силикатов начиная с **sil 01.jpg** и заканчивая **sil 06.jpg**. Отметить их галочками.

2. *Групповая обработка*. Включить режим групповой обработки изображений, нажав кнопку «Обработка группы». Все действия над одним изображением будут применяться ко всем отмеченным изображениям.

3. *Задание масштаба изображения*. Нажать кнопку «Установка масштаба изображения», ввести соответствующий съемке масштабный коэффициент (1:1,65 мкм). Нажать кнопку «Применить».

4. *Представление изображения в заданной палитре*. Перейти к градациям серого. Нажать кнопку «Представление изображения в заданной палитре», выбрать серый цвет, нажать кнопку «Применить».

5. *Цифровая фильтрация*. Нажать кнопку «Цифровая фильтрация». Открыть закладку Качественные. Чтобы сгладить цветовую рябь от электронных шумов камеры необходимо применить «Медианный» фильтр. Так как размеры включений небольшие, радиус зоны анализа задать минимальным (радиус 1). Нажать кнопку «Использовать». Переключиться на закладку Спектральные. Устранить неравномерность освещения образца фильтром «Градиент». Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

6. *Выделение объектов по цвету*. Нажать кнопку «Выделение объектов по цвету». Задать цвет выделяемых объектов (красный). Подобрать границы цветового диапазона для наилучшего выделения объектов. Нажать кнопку «Применить».

7. *Получение пробы цвета с изображения*. Выбрать инструмент «Получение пробы цвета». Щелкнуть левой кнопкой мыши по одному из объектов. Выключить инструмент.

8. *Цифровая фильтрация*. Снова нажать кнопку «Цифровая фильтрация», открыть закладку Морфологические. Выбрать фильтр «Удаление граничных объектов». Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить». Проверить качество преобразований на других изображениях.

9. *Фильтрация объектов по геометрическим параметрам*. От царапин при полировке шлифа остались вытянутые объекты. Вызвать «Геометрический фильтр». Указать мышкой исходный цвет объектов. Выбрать параметр для фильтрации «Вытянутость». Поставить предел нужных объектов – двукратная вытянутость (ввести значение с клавиатуры и нажать клавишу [Enter]). Выбрать цвет выделения (зеленый). В «Режиме фильтра» оценить результат перед его применением. Нажать кнопку «Применить». Обратить внимание на то,

что по параметру «Вытянутость» сферические включения силикатов перекрашены в зеленый цвет.

10. *Подготовка базы данных.* Перейти в закладку Данные. Проверить состояние базы данных «Объекты». Если база данных «Объекты» пуста, вернуться в закладку Изображение. Если нет, нажать кнопку «Очистить».

11. *Измерение объектов.* Нажать кнопку «Информация о всех объектах». Щелкнуть левой кнопкой мыши по любому неметаллическому включению для получения численных параметров по всем объектам.

12. *Анализ результатов.* Перейти в закладку Данные, просмотреть результаты. Для анализа неметаллических включений по методу П (ГОСТ 1778–70) в базе данных «Объекты» указать параметр «Площадь объекта». В выпадающем меню выбрать конфигурацию гистограммы, соответствующую стандарту ГОСТ 1778–70 (метод П). Для метода К (ГОСТ 1778–70) в качестве параметра указать «Средний диаметр». В выпадающем меню выбрать конфигурацию гистограммы, соответствующую стандарту ГОСТ 1778–70 (метод К). Дать заключение по баллу неметаллических включений.

13. *Создание отчёта.* Сгенерировать и сохранить новый шаблон автоотчёта.

Задание 2. Провести подсчет концентрации неметаллических включений для ряда полей зрения.

Рассмотрим группу обработанных изображений неметаллических включений.

1. *Получение пробы цвета с изображения.* В закладке Изображение выбрать инструмент «Получение пробы цвета». Установить активный цвет в системе, соответствующий цвету анализируемых частиц. Выключить инструмент.

2. *Подготовка базы данных.* Перейти в закладку Данные. Очистить базу данных «Концентрация». Вернуться в закладку Изображение.

3. *Концентрация.* Вызвать инструмент «Концентрация» из меню Объекты. При этом измеряется общая доля площади объектов активного цвета для всех загруженных изображений.

4. *Анализ результатов.* Перейти в закладку Данные, выбрать базу данных «Концентрации». В закладке Детально представлена концентрация частиц для каждого отдельного изображения. В разделе «Общие» концентрация частиц для всего шлифа, а также минимальная и максимальная концентрации по полям зрения. Записать полученные результаты.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется групповая обработка изображений?
2. Как измеряется концентрация? Что необходимо в качестве предварительной подготовки изображения?
3. Какие методы используются при анализе неметаллических включений?

Лабораторная работа 11

Обработка изображений зеренной структуры и определение балла зерна в соответствии с ГОСТ 5639–82

(4 часа)

11.1. Цель работы

Ознакомиться с методиками обработки изображений зеренной структуры в пошаговом варианте. Научиться применять фильтры для подавления шумов и усиления границ. Освоить методы восстановления зеренной структуры.

11.2. Описание основных пунктов меню по работе с зеренной структурой

Активный цвет и Фоновый цвет

Активный цвет является рабочим цветом и отображается в верхнем квадрате области задания цвета на панели инструментов. Фоновый цвет является цветом заливки вырезанных областей и отображается в нижнем квадрате области задания цвета. Задать цвет можно следующими способами: 1) выбрать мышкой в верхнем (нижнем) квадрате области задания цвета на панели инструментов активный (фондовый) цвет из предложенной палитры; 2) выбрать инструмент «Получение пробы цвета» на панели инструментов и щёлкнуть левой (правой) кнопкой мыши по элементу изображения, цвет которого должен соответствовать активному (фонovому) цвету.

Морфологические фильтры

Нажать кнопку «Цифровая фильтрация». Данный вид фильтров находится в закладке Морфологические диалогового окна **Фильтры**. Для всех перечисленных ниже фильтров в качестве предварительной подготовки необходима сегментация по цвету или бинаризация.

Фильтр «Дилатация». Равномерно расширяет область активного цвета на заданный радиус.

Фильтр «Эрозия». Равномерно расширяет область фонового цвета на заданный радиус.

Фильтр «Вскрытие» является комбинацией фильтров «Эрозия» и «Дилатация», применяемых последовательно. Фильтр разделяет

слившиеся объекты, если толщина их перетяжек меньше установленного радиуса (рис. 11.1). Фильтр работает с активным цветом.

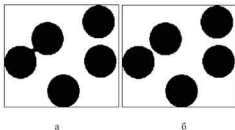


Рис. 11.1. Демонстрация фильтра «Вскрытие»:
а – до преобразования; *б* – после преобразования

Фильтр «Замыкание» является комбинацией фильтров «Дилатация» и «Эрозия», применяемых последовательно. Фильтр соединяет разрывы элементов структуры, не превышающие установленного радиуса (рис. 11.2). Фильтр работает с активным цветом.

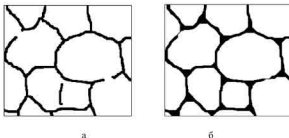


Рис. 11.2. Демонстрация фильтра «Замыкание»:
а – до преобразования; *б* – после преобразования.

Фильтр «Скелетизация». Сокращает толщину границ объектов до одного пикселя. Фильтр работает с активным цветом.

Фильтр «Отсечение». Ликвидирует отростки объектов активного цвета.

Фильтр «Разделение» позволяет разделять объекты, если ширина перешейка не превышает значение установленного радиуса. Фильтр работает с активным цветом.

Фильтр «Соединение» соединяет разорванные участки границ зёрен. Фильтр работает с активным цветом.

Фильтр «Устранение граничных объектов» служит для удаления объектов активного цвета, рассекаемых границей кадра.

Фильтр «Удаление пор» позволяет удалить замкнутые несплошности (поры) любого размера внутри объектов на изображении, оставшиеся после применения сегментации по цвету или бинаризации. Для работы фильтра необходимо установить активный цвет, соответствующий цвету объектов.

Операция свёртки

Дискретная свёртка массива F размера $N \times N$ исходного изображения со сглаживающим массивом H размера $L \times L$. Массив Q размера $M \times M$ выходного изображения определяется как:

$$Q(m_1, m_2) = \sum_{n_1} \sum_{n_2} F(n_1, n_2) H(m_1 - n_1 + 1, m_2 - n_2 + 1).$$

Для сглаживания шума низкочастотной фильтрацией используют сглаживающие шумоподавляющие маски:

Маска 1	Маска 2	Маска 3
$H = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$	$H = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$	$H = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$

Они нормированы для получения единичного коэффициента передачи, чтобы процедура не меняла средней яркости изображения.

Высокочастотная дискретная фильтрация подчеркивает границы. Эти маски отличаются тем, что сумма их элементов равна единице. Три типичные маски:

Маска 4	Маска 5	Маска 6
$H = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix},$	$H = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix},$	$H = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}.$

Для проведения операции свёртки необходимо нажать кнопку «Цифровая фильтрация». В диалоговом окне **Фильтры** открыть закладку **Свёртка** и выбрать имя существующей маски. Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

Измерение зеренной структуры

Увеличительное стекло. Позволяет увеличивать область изображения непосредственно под курсором мыши, что полезно при измерении тонких и мелких объектов.

Нажать кнопку «Увеличительное стекло» на панели инструментов. С помощью мыши подвести курсор к интересующей области изображения.

Определение длин отрезков заданного цвета вдоль секущей. Позволяет реализовать метод секущих и метод хорд. В качестве предварительной подготовки необходима сегментация по цвету или бинаризация. Активный цвет должен совпадать с цветом анализируемых объектов. Единицы измерения определяются при установке масштаба.

Выбрать активный цвет, соответствующий цвету зерен. Нажать кнопку «Определение длин отрезков заданного цвета вдоль секущей» на панели инструментов. Провести на изображении с помощью мыши необходимое число секущих.

Секущие рекомендуется проводить по центральным частям объектов от края до края, избегая заведомо непроработанных или недостоверных участков изображения. При невозможности точно попасть на границу зерен нажать кнопку «Увеличительное стекло».

11.3. Порядок выполнения работы

Задание 1. Обработать структуру зерна с четкими и непрерывными границами.

1. *Открыть изображение Зерно аустенит.jpg.*
2. *Задание масштаба изображения.* Нажать кнопку «Установка масштаба изображения» и ввести масштаб, соответствующий объективу (Объектив \times 20). Нажать кнопку «Применить».
3. *Цифровая фильтрация.* Нажать кнопку «Цифровая фильтрация». Открыть закладку **Качественные**. Для сглаживания шумов камеры применить «*Медианный*» фильтр с минимальной зоной анализа (радиус 1), чтобы не размыть тонкую сетку границ. Нажать кнопку «Использовать». Переключиться на закладку **Спектральные**.

Для устранения неравномерного затемнения поля зрения применить фильтр *«Макроеднородность»* с максимальной зоной анализа (радиус 50). Нажать кнопку *«Использовать»*. Открыть закладку *Свёртка*. Поднять четкость границ, применив механизм свёрток *«Сверхусиление (5 × 5)»*. Нажать кнопку *«Использовать»*, а затем *«Применить»*.

4. *Выделение объектов по цвету*. Для выделения сетки границ вызвать инструмент *«Выделение объектов по цвету»*, установить цвет (красный). На диаграмме интенсивностей перетащить мышкой правую границу цветового диапазона в положение, соответствующее минимуму диаграммы. Задать *«Цвет на белом»* в выпадающем меню. Нажать кнопку *«Применить»*.

5. *Фильтрация объектов по геометрическим параметрам*. Для удаления небольших вкраплений в теле зерен воспользоваться *«Геометрическим фильтром»*. Указать цвет, щелкнув левой кнопкой мыши по границе зерен. Выбрать параметр *«Площадь объекта»*. Установить верхний предел площади мелких объектов, перемещая мышкой соответствующую красную риску на диаграмме вниз. Оценить результат по оконтуриванию частиц. Щелкнуть по окошку с цветом рядом со словом *«Выделить»* и задать белый цвет. Нажать кнопку *«Применить»*.

6. *Получение пробы цвета с изображения*. Инструментом *«Получение пробы цвета»* установить активный цвет, соответствующий цвету сетки границ, щелкнув левой кнопкой мыши по объекту. Выключить инструмент.

7. *Цифровая фильтрация*. Снова нажать кнопку *«Цифровая фильтрация»*, открыть закладку *Морфологические*. Сделать границы зерен тонкими фильтром *«Скелетизация»*. Нажать кнопку *«Использовать»*. Восстановить разорванные границы (опция *«Соединение»*, кнопка *«Использовать»*). Устранить неправильные соединения предыдущего фильтра (*«Дилатация»* с радиусом 1). Нажать кнопку *«Использовать»*. Снова применить фильтр *«Скелетизация»*. При большем числе потерянных границ повторить цикл процедур несколько раз. Оставшиеся «хвостики» границ удалить фильтром *«Отсечение»*. Нажать кнопку *«Использовать»*, а затем *«Применить»*. Оценить результат.

8. *Получение пробы цвета с изображения*. Инструментом *«Получение пробы цвета»* установить активный цвет, соответствующий

цвету самих зерен, щелкнув по ним левой кнопкой мыши. Выключить инструмент.

9. *Цифровая фильтрация.* В окне **Фильтры** открыть закладку **Морфологические**, выбрать опцию «Удаление граничных объектов», чтобы исключить из анализа неполные зерна, расположенные по границам поля зрения. Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить».

10. *Подготовка базы данных.* Переключиться на закладку **Данные**. База данных «Объекты» должны быть пуста. Вернуться на закладку **Изображение**.

11. *Измерение объектов.* Нажать кнопку «Информация о всех объектах». Щелкнуть левой кнопкой мыши на теле зерна для получения численных параметров.

12. *Анализ результатов.* В закладке **Данные** выбрать базу данных «Объекты». В качестве параметра указать «Площадь объекта». В выпадающем меню выбрать разбиение гистограммы по баллам в соответствии с ГОСТ 5639–82 (Площадь). В закладке **Статистика** найти средний диаметр зерна в материале. Дать заключение, какому баллу соответствует зеренная структура этой стали при данном диаметре зерна.

13. *Создание отчёта.* Сгенерировать и сохранить новый шаблон автоотчёта.

Задание 2. Обработать структуру зерна с четкими, но прерывистыми границами, а также с дефектами.

1. *Открыть изображение **Зерно.jpg**.*

2. *Задание масштаба изображения.* Нажать кнопку «Установка масштаба изображения», ввести масштаб (Объектив \times 20). Нажать кнопку «Применить».

3. *Представление изображения в заданной палитре.* Нажать кнопку «Представление изображения в заданной палитре», задать серый цвет и нажать кнопку «Применить».

4. *Цифровая фильтрация.* Нажать кнопку «Цифровая фильтрация». Открыть закладку **Качественные**. Для сглаживания электронных шумов камеры выбрать «Медианный» фильтр, задать радиус 1. Нажать кнопку «Использовать». Переключиться в закладку **Спектральные**. Выбрать фильтр «Градиент» для устранения неоднородности освещения. Нажать кнопку «Использовать». Перейти в закладку **Свёртка**. Применить свёртку «Свехусиление (3×3)». Нажать кнопку «Использовать», а затем «Применить». Результат оценить.

5. *Выделение объектов по цвету.* Вызвать инструмент «*Выделение объектов по цвету*». Задать цвет (красный). Подобрать правый край цветового диапазона для выделения требуемых объектов. Выбрать «Цвет на белом» в выпадающем меню. Нажать кнопку «Применить».

6. *Фильтрация объектов по геометрическим параметрам.* При помощи «*Геометрического фильтра*» удалить все мелкие объекты в поле зерен. Указать цвет анализируемых объектов, щелкнув левой кнопкой мыши по границе зерна. Выбрать параметр для фильтрации «Площадь объекта». Не считая нескольких отрезков, бывших участков границ, удалению подлежат все мелкие частицы внутри зерна. Ограничить сверху размер удаляемых мелких включений, введя значение с клавиатуры и нажав клавишу [Enter]. Результат оценить по оконтуриванию частиц. Для удаления отфильтрованных объектов изменить цвет выделения на цвет фона (белый). Нажать кнопку «Применить».

7. *Получение пробы цвета с изображения.* Инструментом «*Получение пробы цвета*» установить активный цвет в системе, соответствующий цвету самих зерен (белый). Выключить инструмент.

8. *Подготовка базы данных.* Перейти в закладку **Данные**. База данных «*Линейные промеры*» должны быть пуста. Вернуться на закладку **Изображение**.

9. *Увеличительное стекло.* Для точного попадания на границу зерна включить инструмент «*Увеличительное стекло*».

10. *Замер длин хорд.* Включить инструмент «*Определение длин отрезков заданного цвета вдоль секущей*». Провести секущие через большое количество зерен, избегая сомнительные участки изображения с разрывами, мусором и царапинами. Начинать и заканчивать секущие нужно на границе зерен. Длины секущих выбираются так, чтобы каждая из них пересекала не менее 10 зерен (при этом на исследуемом изображении должно быть не менее 50 зерен). Выключить инструмент.

11. *Анализ результатов.* Перейти в закладку **Данные**. Для базы данных «*Линейные промеры*» при выбранном параметре «Длина» в выпадающем меню задать разбиение гистограммы по баллам в соответствии с ГОСТ 5639–82 (Метод хорд). Дать заключение, какой размерной группе соответствует зеренная структура на данном изображении.

13. *Создание отчёта.* Сформировать автоотчёт.

Контрольные вопросы

1. Для чего используется активный и фоновый цвет? Как их задать?
2. Как работают фильтры «Дилатация» и «Эрозия»? Что необходимо сделать в качестве предварительной подготовки?
3. Как работают фильтры «Вскрытие» и «Замыкание»? Для решения каких задач они используются?
4. Что собой представляет фильтр «Скелетизация»? Какие операции можно проводить после его выполнения?
5. Как удаляют граничные объекты и поры?
6. Какие маски используются для низкочастотной и высокочастотной фильтрации?
7. Какие методы существуют при анализе зеренной структуры?
8. Как нужно проводить секущие? Какие инструменты для этого используются?

Библиографический список

1. ГОСТ 5639–82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.
2. ГОСТ 1778–70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений.
3. ГОСТ 11878–66. Сталь аустенитная. Методы определения содержания альфа-фазы.
4. ГОСТ 8233–56. Сталь. Эталоны микроструктуры.
5. ГОСТ 1763–68. Сталь. Методы определения глубины обезуглероженного слоя.
6. ГОСТ 3443–77. Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры.
7. *Абрамейко С.В., Лагуновский Д.М.* Обработка изображений: технология, методы, применение: Учеб. пособие. – Мн.: Амалфея, 2000. – 304 с.
8. *Виноград М.И., Громова Г.П.* Включения в легированных сталях и сплавах. – М.: Металлургия, 1971. – 216 с.
9. *Гайдышев И.* Анализ и обработка данных. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2001. – 752 с.
10. *Котлецов Б.Н.* Микроизображения: Оптические методы получения и контроля. – Л.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
11. *Лившиц Б.Г.* Металлография: Учеб. для вузов. – М.: Металлургия, 1990. – 236 с.
12. *Попов С.Н.* Аппаратные средства мультимедиа. Видеосистема РС / Под. ред. О.В. Колесниченко, И.В. Шишигина. – СПб.: БХВ-Петербург, Арлит, 2000. – 400 с.
13. *Прэнт У.* Цифровая обработка изображений: В 2 кн. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1982
14. *Ростокер В., Дворак Д.* Микроскопический метод в металлведении. / Пер. с англ. А.М. Захарова и Р.С. Торчиновой. – М.: Металлургия, 1967. – 204 с.
15. *Фу К.* Структурные методы в распознавании образов. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 319 с.
16. *Чернявский К.С.* Стереология в металлведении. – М.: Металлургия, 1977. – 280 с.
17. Annual Book of ASTM Standards Vol. 03.01.
18. Available from ASTM Headquarters. Order PCN 12-500450-01.
19. Available from ASTM Headquarters. Order PCN 12-507-680-22.