

Руководство пользователя  
пакета программного  
обеспечения для управления  
сканирующим зондовым  
микроскопом и обработки  
изображений  
ФемтоСкан Онлайн

Версия 2.2.143



А. С. Филонов

И. В. Яминский

Москва, Центр перспективных технологий, 2008

**Руководство пользователя пакета программного обеспечения для управления сканирующим зондовым микроскопом и обработки изображений “ФемтоСкан Он-лайн”. Версия 2.2.143** - А.С. Филонов, И.В. Яминский - М.: Центр перспективных технологий, 2008, 123 с.

В руководстве дано подробное описание пакета программного обеспечения “ФемтоСкан Он-лайн”, работы с отдельными его частями и со всем пакетом в целом. Описано использование программного обеспечения для управления микроскопом через локальную сеть и сеть Internet. В начале руководства приводится описание устройства сканирующего зондового микроскопа и принципы обработки изображений сканирующей зондовой микроскопии с учетом их особенностей.

# Оглавление

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>1</b>
1.1	Установка СЗМ	1
1.1.1	Схема установки	1
1.1.2	Механическая система микроскопа	5
1.1.3	Структура программного обеспечения	5
1.1.4	Программа платы DSP	7
1.1.5	Драйвер операционной системы	7
1.1.6	Сервер	8
1.1.7	Клиент	9
1.2	Методы построения и обработки изображений	10
1.2.1	Вычитание среднего наклона	12
1.2.2	Усреднение	12
1.2.3	Медианная фильтрация	13
1.2.4	Усреднение по строкам	13
1.2.5	Подсветка	14
<b>2</b>	<b>Управление СЗМ</b>	<b>16</b>
2.1	Сервер	16
2.1.1	Программа мониторинга и настройки сервера Fmboard	16
2.1.2	Конфигурация сервера	19
2.2	Клиент	22
2.2.1	Подключение к серверу	23
2.2.2	Параметры сканирования	24
2.2.3	Сканирование поверхности	32
2.2.4	Снятие зависимостей	35
2.2.5	Осциллограф	35
2.2.6	Модуляция Z	35
2.2.7	Фотодиод (режим АСМ)	35
2.2.8	Снятие кривых в точке изображения	35
2.2.9	Дополнительные команды	36
2.2.10	Окончание работы	38
<b>3</b>	<b>Обработка изображений</b>	<b>39</b>
3.1	Работа с файлами	39
3.1.1	Открытие и импорт файлов	39
3.1.2	Сохранение и экспорт файлов	41
3.1.3	Удаление файлов	42
3.1.4	Восстановление файлов	42

3.1.5	Быстрый просмотр файлов	42
3.1.6	Автоматический просмотр файлов	43
3.1.7	Работа с файлами кривых	43
3.1.8	Просмотр текстовых заголовков файлов	44
3.1.9	Изменение масштаба изображений	44
3.2	Переключение в полноэкранный режим	46
3.3	Получение изображений с других устройств	46
3.3.1	Видеокамеры	46
3.3.2	Сканеры	47
3.4	Работа с палитрой	47
3.5	Режимы курсора	48
3.5.1	Выделение участков поверхности	50
3.5.2	Сечения	50
3.5.3	Измерение расстояний	52
3.5.4	Измерение углов	52
3.5.5	Расстановка меток	52
3.5.6	Построение кривых	52
3.5.7	Выделение строк	53
3.5.8	Выделение столбцов	53
3.5.9	Выделение протяженных объектов	54
3.6	Функции обработки данных (меню Mathematics)	54
3.6.1	Использование макрокоманд	54
3.6.2	Обрезание изображений	55
3.6.3	Инвертирование	55
3.6.4	Оптимизация шкалы	55
3.6.5	Усреднение	56
3.6.6	Увеличение резкости	56
3.6.7	Транспонирование изображение	56
3.6.8	Фильтр Виннера	56
3.6.9	Медианная фильтрация	56
3.6.10	Медианная фильтрация маской X	56
3.6.11	Медианная фильтрация маской Крест	57
3.6.12	Выделение зерен	57
3.6.13	Выделение границ	58
3.6.14	Поворот	58
3.6.15	Выравнивание	59
3.6.16	Сплайн	59
3.6.17	Сглаживание участка поверхности	60
3.6.18	Усреднение по строкам	60
3.6.19	Исправление искажений	60
3.6.20	Линейные фильтры	61
3.6.21	Морфологические фильтры	62
3.6.22	Корреляции между изображениями	64
3.6.23	Анализ шероховатости поверхности	65
3.6.24	Пороговая фильтрация	65
3.6.25	Высота по интерференционной картине	66
3.7	Анализ данных (Меню Operations)	67
3.7.1	Дублирование изображений	67
3.7.2	Построение 3х-мерных изображений	67
3.7.3	Преобразование Фурье	70

3.7.4	Построение гистограмм . . . . .	70
3.7.5	Нахождение объектов . . . . .	70
3.7.6	Ступенчатая структура поверхности . . . . .	72
3.7.7	Преобразование кривых в сечения . . . . .	73
3.7.8	Создание файла калибровки гистерезиса . . . . .	73
3.7.9	Вычисление ограниченного изолинией объема . . . . .	79
3.7.10	Сложение и вычитание изображений . . . . .	79
3.7.11	Изменение разрешения . . . . .	80
3.7.12	Вычисление площади участка поверхности . . . . .	81
3.7.13	Подсветка . . . . .	81
3.7.14	Удвоение изображения . . . . .	81
3.8	Работа с кривыми . . . . .	81
3.8.1	Дифференцирование . . . . .	81
3.8.2	Корреляция . . . . .	81
3.8.3	Структурная функция . . . . .	82
3.8.4	Построение гистограммы . . . . .	82
3.8.5	Копирование кривой . . . . .	82
3.8.6	Построение параметрической кривой . . . . .	82
3.8.7	Обрезание кривой . . . . .	82
3.8.8	Усреднение . . . . .	82
3.8.9	Инвертирование . . . . .	83
3.8.10	Увеличение резкости . . . . .	83
3.8.11	Медианная фильтрация . . . . .	83
3.8.12	Оптимизация шкалы . . . . .	83
3.8.13	Выравнивание . . . . .	83
3.8.14	Сплайн . . . . .	84
3.8.15	Анализ шероховатости . . . . .	84
3.8.16	Пороговая фильтрация . . . . .	85
3.8.17	Анализ силовой кривой . . . . .	85
3.9	Работа с буфером обмена . . . . .	89
3.10	Отмена и восстановление изменений . . . . .	89
3.11	Работа с окнами . . . . .	90
3.11.1	Упорядочивание окон . . . . .	90
3.11.2	Смещение окон . . . . .	90
3.11.3	Выбор изображения . . . . .	90
3.11.4	Изменений размеров окна . . . . .	90
3.11.5	Восстановление размеров окна . . . . .	91
3.11.6	Формат легенды . . . . .	91
<b>A</b>	<b>Инсталляция программного обеспечения . . . . .</b>	<b>92</b>
<b>B</b>	<b>Описание калибровочных констант . . . . .</b>	<b>93</b>
<b>C</b>	<b>Формат файла калибровки температуры . . . . .</b>	<b>102</b>
<b>D</b>	<b>Формат файла инициализации СОМ-порта . . . . .</b>	<b>103</b>
<b>E</b>	<b>Параметры 3-х мерных изображений . . . . .</b>	<b>106</b>

<b>F</b>	<b>Параметры шероховатости поверхности</b>	<b>108</b>
F.1	$R_a$ средняя шероховатость.	108
F.2	$R_q$ среднеквадратичная шероховатость.	110
F.3	$R_{max}$ наибольшая высота профиля.	110
F.4	$R_z$ высота неровностей профиля по 10 точкам	110
F.5	$S_m$ средний период.	111
F.6	$S_{mh}$ , $S_{ml}$ средние периоды по пикам и впадинам.	111
F.7	$R_{sk}$ параметр асимметрии.	111
F.8	$R_{ku}$ мера эксцесса	112

# Глава 1

## Введение

### 1.1 Установка СЗМ

Пакет программного обеспечения “ФемтоСкан Онлайн” предназначен для управления сканирующим зондовым микроскопом и обработки изображений зондовой микроскопии. Результаты работы напрямую зависят от понимания пользователем принципов работы микроскопа, понимания принципов представления данных и алгоритмов их обработки в зондовой микроскопии. Поэтому в этом руководстве сначала будут даны некоторые основные понятия, знание которых необходимо для дальнейшей успешной работы.

#### 1.1.1 Схема установки

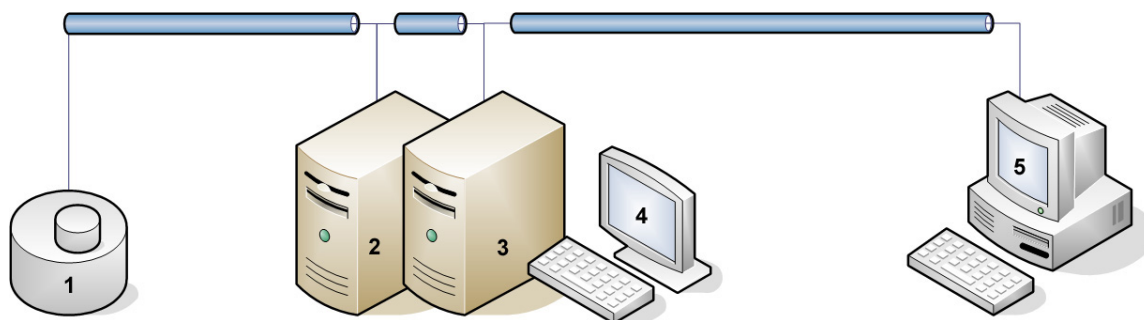


Рис. 1.1. Схема установки. 1 - микроскоп, 2 - блок ЦАП и АЦП, 3 - блок управления шаговым двигателем, 4 - плата DSP, 5 - компьютеры (слева - сервер, справа - удаленный пользователь).

Установка сканирующего зондового микроскопа состоит из нескольких функциональных блоков, изображенных на рис. 1.1. Это, во первых, сам микроскоп с пьезоманипулятором для управления положением образца, шаговым двигателем для подвода образца и детектирующей головкой; блок аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей и высоковольтных усилителей; блок управления микроскопом, выполненный на базе персонального компьютера под управлением операционной системы семейства Windows, с установленным в нем сигнальным процессором, рассчитывающим сигнал обратной связи; удаленного компьютера с установленным клиентским интерфейсом (программой **ФемтоСкан Онлайн**) (рис. 1.2). Блок-схемы установки сканирующего туннельного микроскопа и коммутатора отдельно представлены на

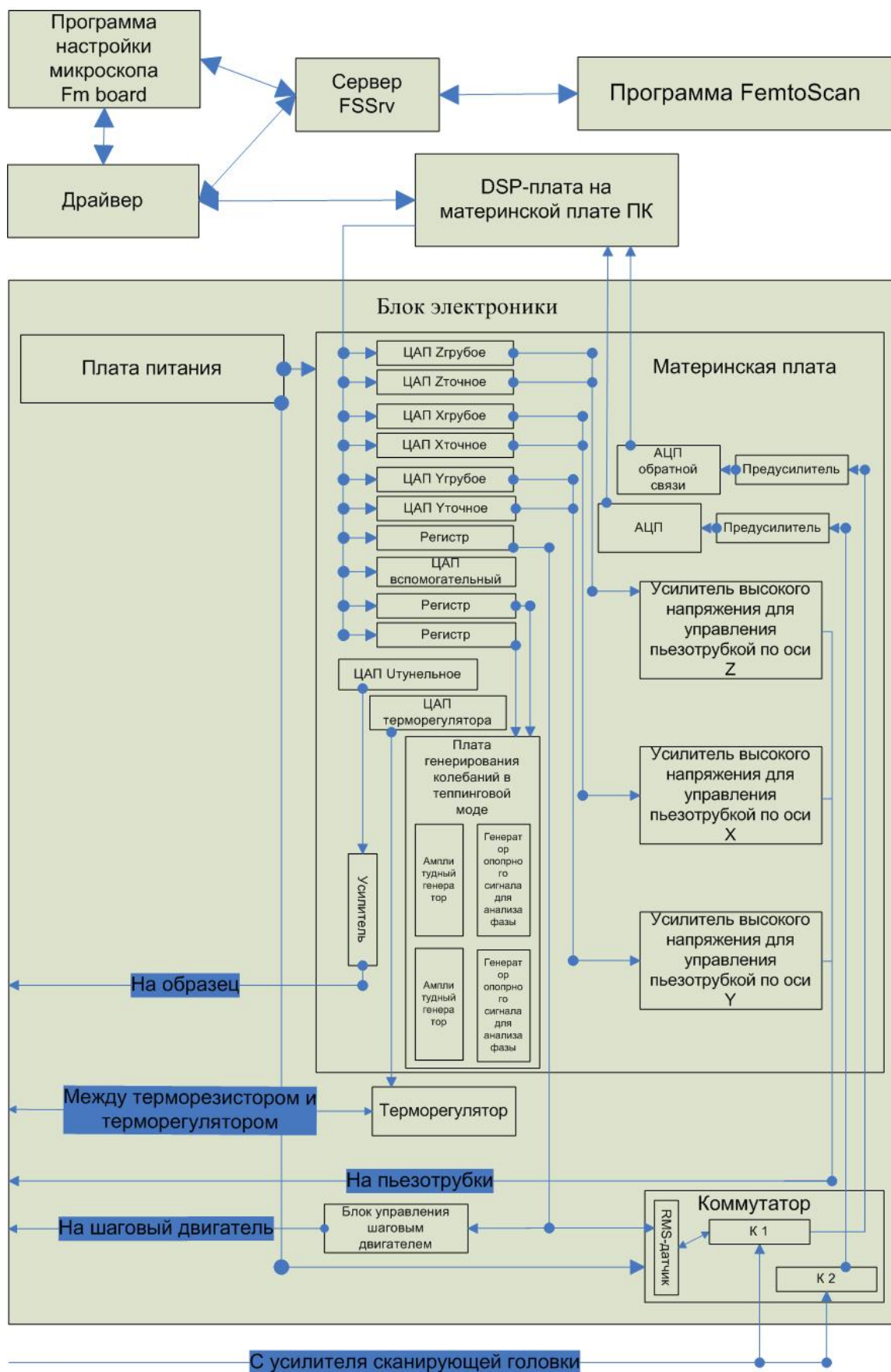


Рис. 1.2. Программное обеспечение, плата DSP и блок электроники.



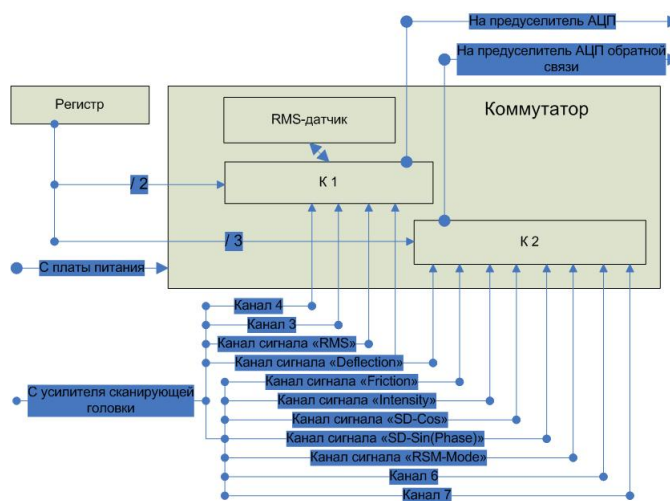


Рис. 1.3. Коммутатор.

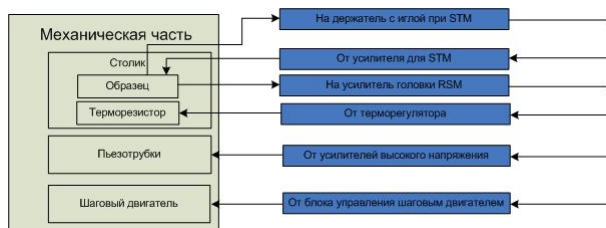


Рис. 1.4. Механическая часть микроскопа.

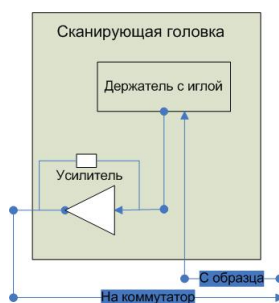


Рис. 1.5. Сканирующая головка для режима STM.

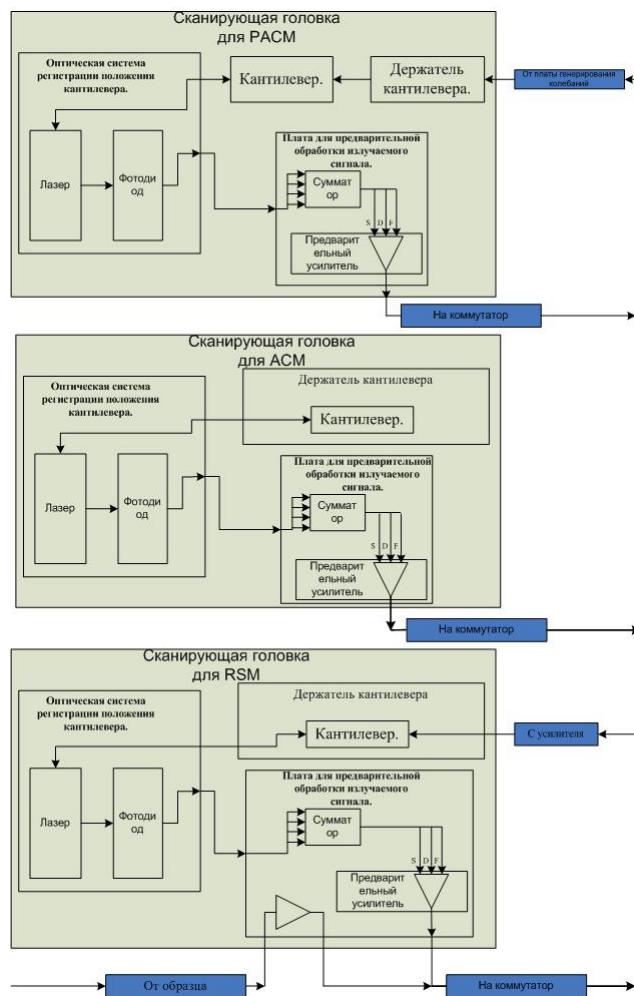


Рис. 1.6. Сканирующие головки для PACM, ACM и RSM.

рис. 1.5 и рис. 1.3 соответственно. Блок-схемы сканирующих головок для ACM, PACM и RSM представлены на рис. 1.6.

### 1.1.2 Механическая система микроскопа



Рис. 1.7. Механическая система микроскопа FemtoScan.

Общий вид механической системы микроскопа представлен на рис. 1.7. В механическую систему входит основание с пьезоманипулятором и системой плавной подачи образца на шаговом двигателе с редуктором и две съемные измерительные головки для работы в режимах сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии. Микроскоп позволяет получить устойчивое атомное разрешение на традиционных тестовых поверхностях без применения дополнительных сейсмических и акустических фильтров. Блок-схема механической части представлена на рис. 1.4

### 1.1.3 Структура программного обеспечения

Программное обеспечение работает в операционных системах семейства Windows XP.

Всю структуру программного обеспечения можно разделить на несколько уровней (рис. 1.8). Нижний уровень - программа сигнального процессора платы DSP. Второй уровень - драйвер операционной системы, позволяющий обмениваться информацией с платой DSP через порты ввода-вывода. Третий уровень - сервер, обеспечивающий удаленное подключение, и, наконец, четвертый - клиентская программа, с которой работает пользователь. Такая структура

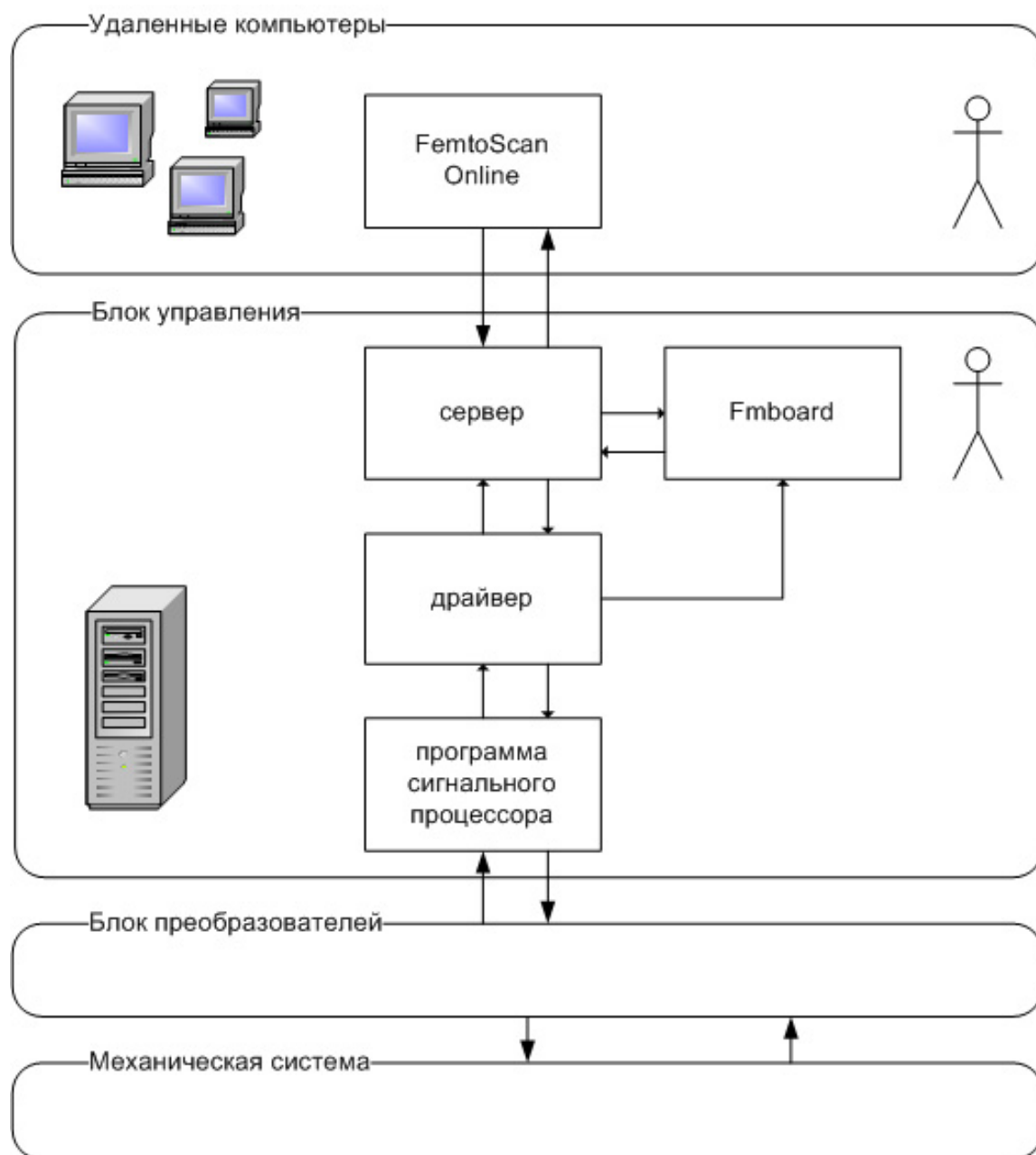


Рис. 1.8. Структура программного обеспечения.

обусловлена требованиями, предъявляемыми к системе: точная синхронизация процессов, высокая скорость передачи данных, поддержка сети, удобство использования. Синхронизацию обеспечивает плата DSP, большая скорость передачи данных достигается за счет отказа от стандартной схемы связи через медленные устройства передачи данных (последовательный, параллельный) и установки интерфейсной DSP платы непосредственно на разьеме материнской платы серверного компьютера. Сетевые возможности обеспечиваются введением структуры клиент - сервер, удобство дает использование операционной системы Windows.

Далее отдельные компоненты будут рассмотрены более подробно.

#### 1.1.4 Программа платы DSP

Программа платы DSP формирует все управляющие сигналы для блока ЦАП-АЦП и шагового двигателя. Эти сигналы устанавливают значения ЦАПов, запускают преобразования цифровых значений в аналоговые и обратно, задают режим работы шагового двигателя, вызывают его запуск и остановку. Формирование сигналов определяется режимом сканирования и параметрами цепи обратной связи. В процессоре существует таймер, позволяющий осуществить точную синхронизацию процесса сканирования.

Значение измеряемого сигнала (туннельного тока, силы взаимодействия и пр.) поступает на АЦП и передается в сигнальный процессор, который вычисляет сигнал обратной связи. Для вычисления сигнала обратной связи используется схема с пропорциональным и интегральным звеньями, модернизированная для применения усреднения сигнала бегущим окном. Значения измеряемого сигнала и сигнала обратной связи затем передаются в компьютер для последующей обработки.

То, что цепь обратной связи замыкается на уровне сигнального процессора, то есть процессор блока управления не участвует в ее вычислении, позволяет сделать обратную связь более устойчивой и независимой от работы блока управления. Что особенно важно, это дает возможность использовать для управления микроскопом многозадачную систему семейства Windows XP. Таким образом, на блоке управления лежит задача обработки и передачи данных, а плата DSP выполняет задачи, критические по времени.

Вычисленный сигнал обратной связи посылается на z - манипулятор. Помимо этого, программа генерирует сигналы для перемещения образца по X и Y - координатам. Перемещение может осуществляться с одновременным снятием данных и накоплением их в буфере для последующей передачи в компьютер (режим сканирования), или без накопления данных (режим позиционирования). Также программа с помощью шагового двигателя управляет перемещением столика с образцом. Этот режим используется при подводе и отводе зонда.

Все параметры обратной связи, перемещений, адреса ЦАПов задаются путем установки значений переменных, хранимых в памяти сигнального процессора. Таким образом, настройка параметров сканирования производится изменением этих переменных, и микроскоп целиком может управляться электронным методом. Это позволяет автоматизировать процесс сканирования. А с использованием встроенных в программный пакет "ФемтоСкан Онлайн" сетевых технологий сканирование можно осуществлять даже с другого конца земного шара.

#### 1.1.5 Драйвер операционной системы

Все общение между операционной системой блока управления и платой DSP производится через порты ввода-вывода. В операционной системе семейства Windows XP доступ к портам возможен только для драйверов, работающих на уровне ядра операционной системы. Именно для снятия этого ограничения необходим драйвер. Кроме того, при сканировании происходит быстрое заполнение буфера данных в плате DSP, и нужно периодически забирать эти данные, чтобы не происходила потеря информации. Так как программы, работающие на уровне

пользователя операционной системы, сильно зависят от системных ресурсов, от количества одновременно работающих приложений, они не могут обеспечить нужной частоты и синхронности обращения к портам ввода-вывода.

Когда данные в плате DSP готовы для передачи, генерируется прерывание. В ответ на прерывание драйвер считывает блок информации и передает его серверу для дальнейшей обработки. В зависимости от режима сканирования возможны различные сценарии обработки прерывания. Информация фильтруется особым образом, чтобы исключить поток ненужных данных, что снижает загрузженность процессора блока управления.

### 1.1.6 Сервер

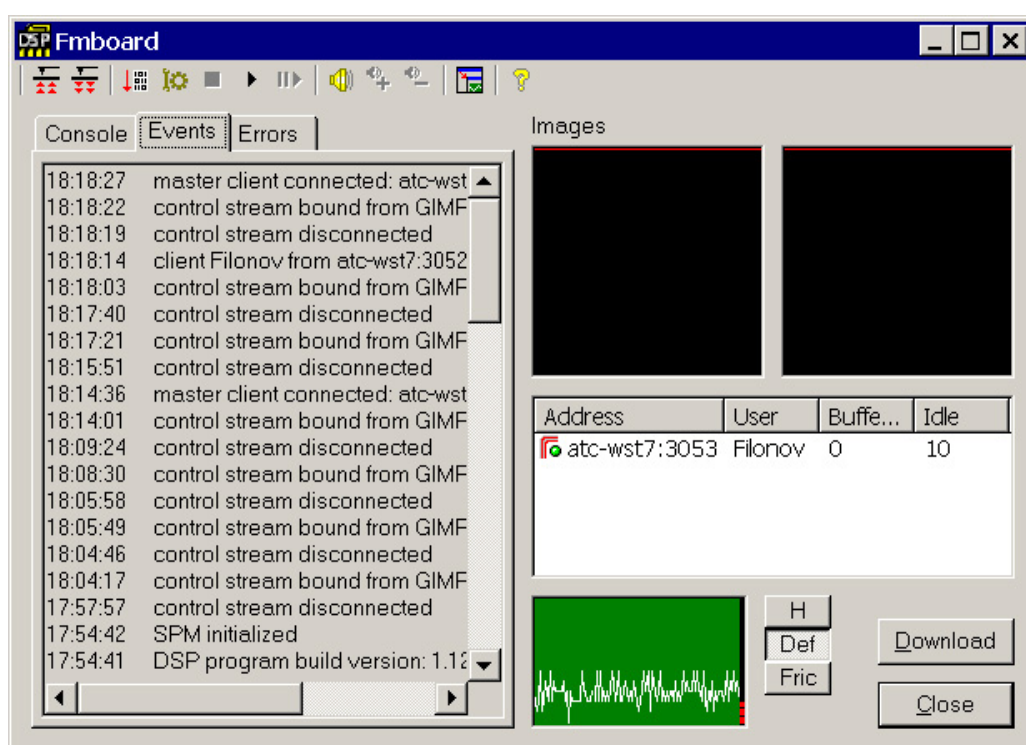


Рис. 1.9. Рабочее окно программы мониторинга сервера. Разработанный интерфейс позволяет контролировать работу микроскопа и собирать различную статистическую информацию о работе пользователей.

Серверная часть программного обеспечения является связующим звеном между драйвером операционной системы и клиентом (клиентами), т.е. конечным пользователем микроскопа. Это системная служба, автоматически запускаемая при старте операционной системы блока управления. Сервер обеспечивает своевременный прием данных от драйвера, их накопление и передачу клиентам. Для управления сервером существует специальное приложение Fmboard, позволяющее осуществлять мониторинг процесса сканирования, управлять перемещением столика с образцом, загружать программы в плату DSP. Изображение рабочего окна программы Fmboard представлено на рис. 1.9. Программа имеет окно осциллографа, на котором по выбору может отображаться значение опорного сигнала или сигнала обратной связи.

На сервере устанавливаются такие параметры, как скорость подвода столика с образцом,

адресация ЦАПов, максимальное количество пользователей и некоторые другие. На каждого клиента заводится отдельный буфер данных, информация из которого считывается в асинхронном режиме. Сведения о текущих соединениях могут быть выведены в окно событий специальной командой.

Управлять микроскопом может только один пользователь. Для этого он подключается в режиме master. Остальные пользователи только наблюдают за процессом сканирования (режим client).

Если по каким-то причинам связь с клиентом нарушена, он автоматически отсоединяется от сервера. Это позволяет избежать переполнения внутреннего буфера данных. Отключение одного пользователя никак не влияет на работу других клиентов, что обеспечивается асинхронностью передачи данных.

Для нормальной работы сервера запуск программы мониторинга не обязателен, она нужна только для изменения калибровочных констант и других настроек.

### 1.1.7 Клиент

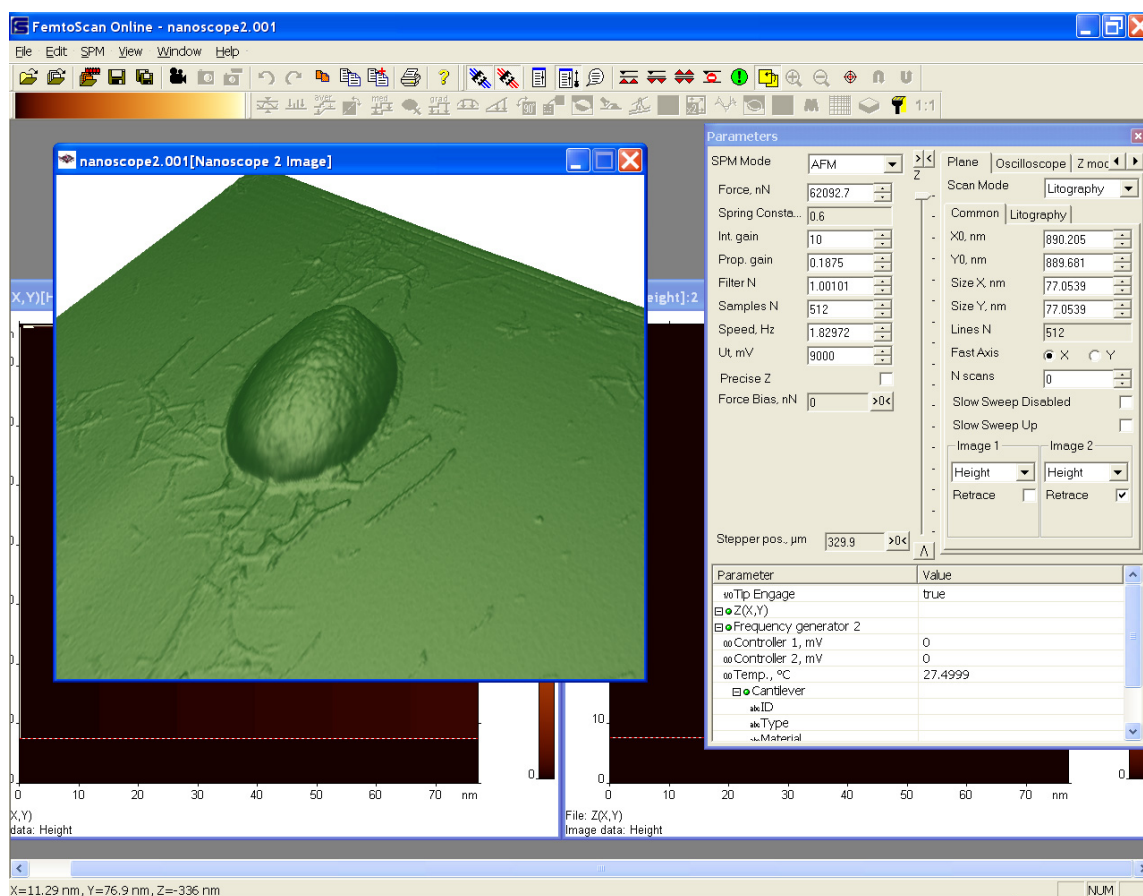


Рис. 1.10. Пользовательский интерфейс клиентской части программного обеспечения.

Программа-клиент - это программа, с которой работает пользователь. Поэтому ее разработке и совершенствованию было уделено особое внимание.

Программа запускается под операционными системами семейства Windows. Для соединения с сервером используется протокол TCP/IP, что позволяет подключаться к серверу не только по локальной сети, но и через Интернет.

Все параметры сканирования, заданные пользователем, передаются в сервер и далее - в микроскоп и другим пользователям, подключенным в режиме client. После запуска процесса сканирования открываются окна, в которых в реальном режиме времени показываются результаты — получаемые изображения, их размеры, режим сканирования, параметры обратной связи, текущее положение зонда, скорость сканирования. Одновременно пользователь может обрабатывать полученные данные, используя широкий набор различных функций, включенных в состав программы. На рисунке 1.10 представлено изображение рабочего окна клиентской программы во время сканирования. Видны панели, отображающие текущие настройки, и окно со снимаемым изображением.

Программа-клиент имеет множество различных функций, предназначенных для обработки и анализа изображений зондовой микроскопии, а так же других изображений. С их помощью исследователь может легко извлечь нужную ему информацию из полученных данных. Перечень реализованных функций представлен в таблице 1.1. Если некоторые последовательности операций выполняются часто, то их можно сгруппировать в отдельную макрокоманду, что значительно ускоряет работу.

Программа сохраняет изображения в оригинальном формате, позволяющем хранить в одном файле несколько изображений различного разрешения и размерности, а так же служебную информацию.

## 1.2 Методы построения и обработки изображений

При изучении свойств объектов методами сканирующей зондовой микроскопии основным результатом научного поиска являются, как правило, трехмерные изображения поверхности этих объектов. Адекватность интерпретации изображений зависит от квалификации специалиста. Вместе с тем, при обработке и построении изображений используется ряд традиционных приемов, о которых следует знать при анализе изображений.

Сканирующий зондовый микроскоп появился в момент интенсивного развития компьютерной техники. Поэтому при записи трехмерных изображений в нем были использованы цифровые методы хранения информации, разработанные для компьютеров. Это привело к значительному удобству при анализе и обработке изображений, однако пришлось пожертвовать фотографическим качеством, присущим методам электронной микроскопии.

Информация, полученная с помощью зондового микроскопа, в компьютере представляется в виде двумерной матрицы целых чисел. Каждое число в этой матрице, в зависимости от режима сканирования, может являться значением туннельного тока, или значением отклонения кантилевера, или значением какой-то более сложной функции. Если показать человеку эту матрицу, то никакого связного представления об исследуемой поверхности он получить не сможет. Итак, первая проблема - это преобразовать числа в вид, удобный для восприятия. Делается это следующим образом.

Числа в исходной матрице лежат в некотором диапазоне, есть минимальное и максимальное значения. Этому диапазону целых чисел ставится в соответствие цветовая палитра. Таким образом, каждое значение матрицы отображается в точку определенного цвета на прямоугольном изображении. Строка и столбец, в которых находится это значение, становятся координатами точки. В результате мы получаем картину, на которой, например, высота поверхности передается цветом - как на географической карте. Но на карте обычно используются лишь десятки цветов, а на нашей картине их сотни и тысячи. Для удобства восприятия точки, близкие по высоте, должны передаваться сходными цветами.



Функции обработки данных	Операции с данными	Сервисные функции
Обрезание Инверсия Усреднение Увеличение резкости Фильтр Винера Медианная фильтрация Оптимизация шкалы Транспонирование Поворот на произвольный угол Выравнивание по меткам Выравнивание по выделенным участкам Выравнивание сплайном Сглаживание участка Анализ шероховатости Пороговая фильтрация Вычисление перепада высот по интерференционной картине Усреднение по строкам Исправление искажений Выделение зерен Выделение границ Линейные фильтры (градиенты разностной матрицей, матрицей Собеля и Превита, матрицы Лапласа и Гаусса) Морфологические фильтры Корреляционные функции	Построение сечений (так же со сложным профилем) Измерение расстояний Построение изолиний Измерение углов Измерение длин протяженных объектов Копирование выделенных областей в новое изображение Построение трехмерных изображений Фурье-анализ Построение гистограмм распределения по высоте Нахождение объектов Нахождение ступеней Построение калибровочных кривых Нахождение объема объекта, ограниченного изолинией Сложение и вычитание изображений Изменение разрешения Вычисление площади поверхности Репликация Подсветка (градиентное преобразование) Удвоение числа точек	Открытие файлов разных форматов Восстановление файла к первоначальному виду Сохранение файлов Удаление файлов Видеозахват Захват из источников TWAIN Сохранение изображений в формате BMP, JPEG, TIFF Экспорт текстовых данных Экспорт трехмерных изображений в формате VRML Групповой экспорт изображений в различные форматы Быстрый просмотр большого количества файлов Слайд-шоу Печать Просмотр текстового заголовка файла Создание макрокоманд Выбор произвольной цветовой палитры Выделение области привязки палитры Отмена последней операции Запись изображений и текстовой информации в папку обмена (clipboard)

Таблица 1.1. Функции, реализованные в клиентской части программного обеспечения

Может оказаться, и, как правило, так всегда и бывает, что диапазон исходных значений больше, чем число возможных цветов. В этом случае происходит потеря информации, и увеличение количества цветов не является выходом из положения, так как возможности человеческого глаза ограничены. Требуется дополнительная обработка информации, причем в зависимости от задач обработка должна быть разной. Кому-то необходимо увидеть всю картину целиком, а кто-то хочет рассмотреть детали. Для этого используются разнообразные методы, описанию которых посвящена следующая часть статьи. В качестве примера будут рассматриваться изображения, на которых цветом передается высота точки.

### 1.2.1 Вычитание среднего наклона

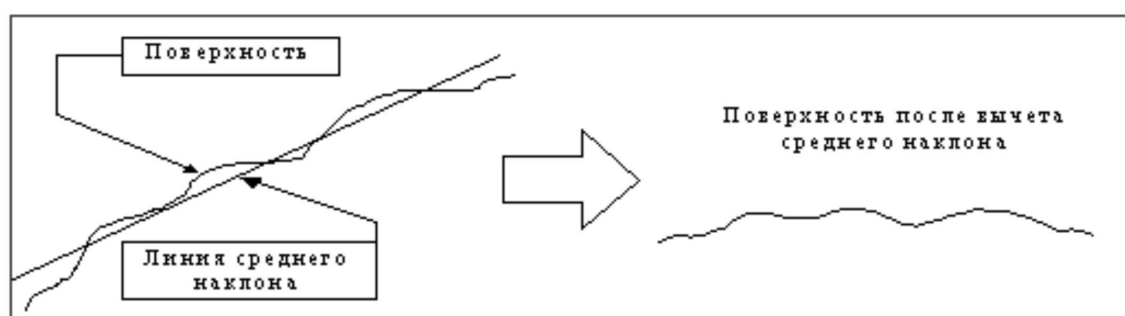


Рис. 1.11. Вычитание среднего наклона.

Полученные изображения часто имеют общий наклон, который может появляться по разным причинам. Это может быть реальный наклон поверхности; может быть температурный дрейф, который приводит к смещению образца во время сканирования; может быть нелинейность пьезокерамического манипулятора. Как бы то ни было, это приводит к появлению общего наклона, и на изображении обычно это мешает выявлению структуры объекта. Для того, чтобы этого избежать, из исходной матрицы значений вычитается плоскость среднего наклона. Поясним это одномерным случаем (рис. 1.11).

В результате получается матрица с меньшим диапазоном значений и мелкие детали отображаются большим количеством цветов, становятся более заметными. Нелинейности пьезоманипулятора могут приводить также к тому, что изображение получается вогнутым. В этом случае нужно вычитать не плоскость, а более сложную поверхность - параболическую или гиперболическую.

### 1.2.2 Усреднение

Помимо полезного сигнала на изображении всегда присутствует шумовая составляющая. Чтобы убрать ее, часто достаточно заменить значение в каждой точке средним арифметическим значений всех точек в некоторой ближайшей ее окрестности (рис. 1.12).

Если это не помогает - например, если уровень шумов довольно высок - требуется применение более сложных методов. Например, можно попробовать выделить полезный сигнал, убрав высокочастотную составляющую исходного сигнала. В сущности, усреднение по окрестности и есть такая фильтрация. Часто помогает увеличение размеров окрестности, по которой ведется усреднение. Рассмотрим для примера одномерный случай, т.е. не двумерную матрицу, а строку значений.

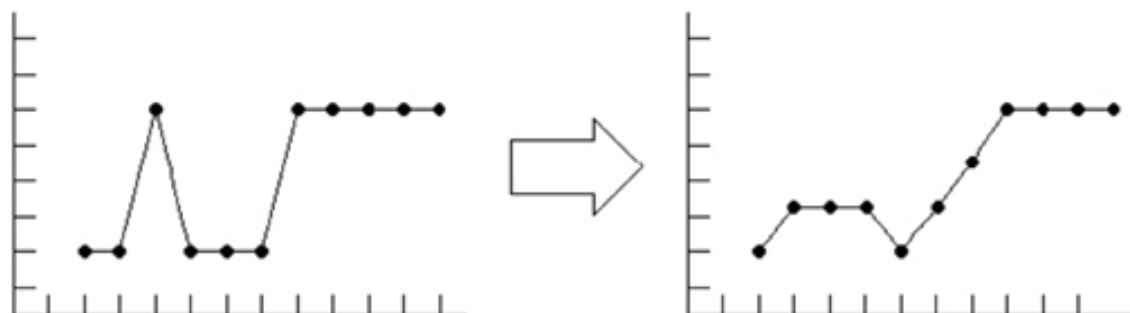


Рис. 1.12. Усреднение.

Построим график, на котором по горизонтали отложим координату точки, а по вертикали значения точек. В результате получится профиль строки. На рис. 1.12 изображен этот профиль до и после фильтрации.

### 1.2.3 Медианная фильтрация

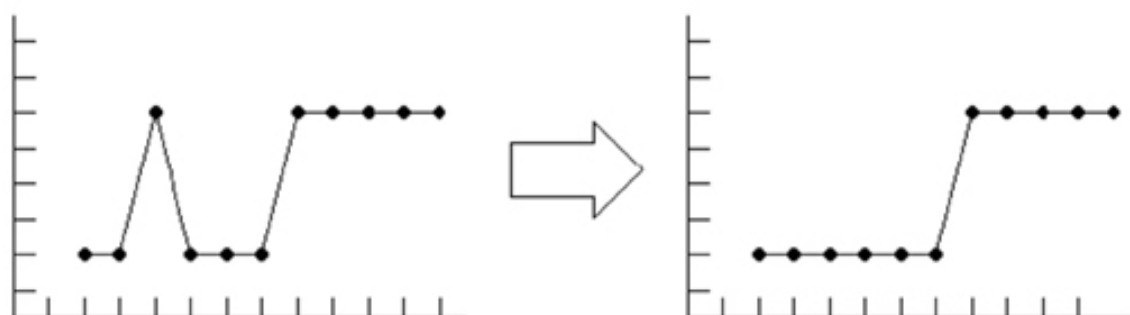


Рис. 1.13. Медианная фильтрация.

Хорошие результаты дает медианная фильтрация. Это нелинейный метод обработки изображений, позволяющий убрать резкие выбросы, но, в отличие от усреднения, оставляющий ступеньки. Поясним этот метод на одномерном случае. По горизонтали отложена координата точки, по вертикали - значение. Получается двумерный профиль. Для фильтруемой точки берутся значения ее соседей и заносятся в таблицу. Эта таблица сортируется по возрастанию, и за новое значение точки принимается значение из средней ячейки таблицы.

Таким образом, если в точке был выброс, то она оказывается на краю отсортированной таблицы и не попадает в отфильтрованное изображение. Ступеньки же остаются без изменения (рис. 1.13). Если сравнить усреднение и медианную фильтрацию, то легко заметить различия в конечных результатах (рис. 1.12, 1.13).

### 1.2.4 Усреднение по строкам

Изображения в сканирующей зондовой микроскопии характерны тем, что формируются они построчно. Таким образом, появляется выделенное направление (формирования строки),



Рис. 1.14. Изображения многокомпонентной органической пленки. Слева - до усреднения по строкам; справа - после усреднения.

вдоль которого изображение имеет характерные особенности. Дело в том, что снятие строки происходит быстро, а между снятием соседних строк проходит некоторое время. При этом может произойти какой-то сбой, и следующие строки окажутся резко сдвинутыми вверх или вниз. На изображении появляется горизонтальная ступенька, которой нет на реальной поверхности. Чтобы убрать этот дефект, применяется усреднение по строкам. Все строки изображения сдвигаются вверх или вниз так, чтобы их средние значения были одинаковыми. При этом профиль строки остается прежним, а профиль столбца меняется, - убираются ступеньки (рис. 1.14).

### 1.2.5 Подсветка

Человеческий глаз лучше различает контрастные предметы. Потому на изображении, где цветом передается высота, мелкие детали не заметны на фоне крупных объектов. Как же поступить в этом случае?

Есть способ совместить информацию о высоте объекта с информацией о высоте мелкой детали над его поверхностью. Представьте, что вы летите на самолете над горами Кавказа. Вы ясно различаете все ущелья и утесы, хотя по сравнению с самими горами перепад высот там совсем невелик. Это происходит благодаря игре света и тени. Если солнце в зените, то горизонтальные участки поверхности будут освещены сильнее, чем склоны. По величине тени ваш мозг сам рассчитывает высоту объекта.

Таким образом, если смоделировать на изображении эффект освещения, то проявляются мелкие детали, причем без потери информации о крупных объектах (рис. 1.15).

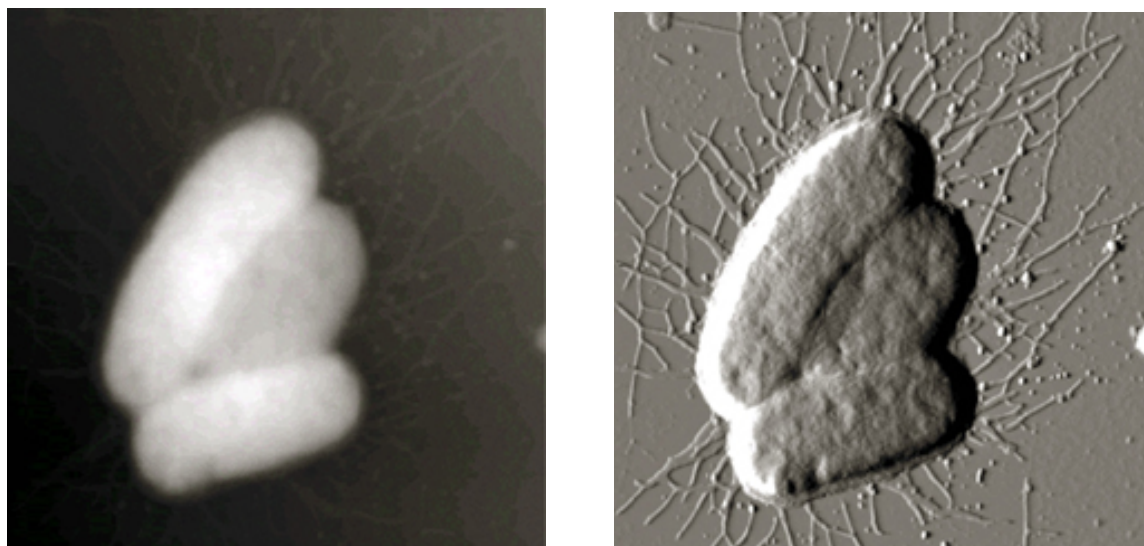



Рис. 1.15. Компьютерная обработка позволяет повысить контраст изображений. Слева - исходное изображение; справа - изображение с применением боковой подсветки. Исследуемый объект - бактерии *Escherichia coli* (кишечная палочка). Размер кадра  $4,6 \times 4,6$  мкм<sup>2</sup>.

## Глава 2

# Управление СЗМ

### 2.1 Сервер

Программа-сервер (файл `fssrv.exe`) является системной службой операционной системы блока управления, и запускается автоматически при ее старте. Для управления микроскопом с удаленного компьютера не обязательно входить в операционную систему блока управления. Для управления сервером и его настройками используется программа `Fmboard` (рис. 2.1), файл `fmboard.exe`. При минимизации окна программы она исчезает из списка задач, и остается только в виде значка  в system tray (системной панели, обычно расположенной в нижнем правом углу экрана). При двойном нажатии мышью на значок окно восстанавливается в первоначальном виде. Нажатием правой кнопки мыши на значке вызывается меню с командами, которые можно выполнить, не восстанавливая окно программы.

#### 2.1.1 Программа мониторинга и настройки сервера `Fmboard`

В рабочем окне `Fmboard` расположены панель инструментов, окна сообщений, окна сканирования, окно со списком клиентов, осциллограф, кнопки загрузки DSP и выхода из программы (рис. 2.1).

##### Панель инструментов

На панели инструментов находятся (слева направо): кнопки быстрого подвода и отвода столика, кнопка включения/выключения питания двигателя (если эта возможность включена в конфигурации), кнопка загрузки программы сигнального процессора, кнопка вызова окна конфигурации, кнопки контроля состояния системной службы (сервера), кнопка включения/выключения звука, кнопки громкости, кнопка сворачивания окна (в свернутом состоянии выводится только осциллограф и панель инструментов, заголовок окна уменьшен, окно располагается поверх всех остальных окон), кнопка вывода окна `About`.

При первоначальной установке образца оператор может выполнить быстрый подвод столика, чтобы ускорить процесс подвода. При этом следует визуально контролировать положение зонда во избежание его повреждения.

Кнопка включения звука выводит сигнал с осциллографа на звуковое устройство, установленное на компьютере, если таковое существует. При этом другие программы не смогут выводить звуковые сообщения. И наоборот, если звуковое устройство уже занято другой программой, включение звука невозможно.

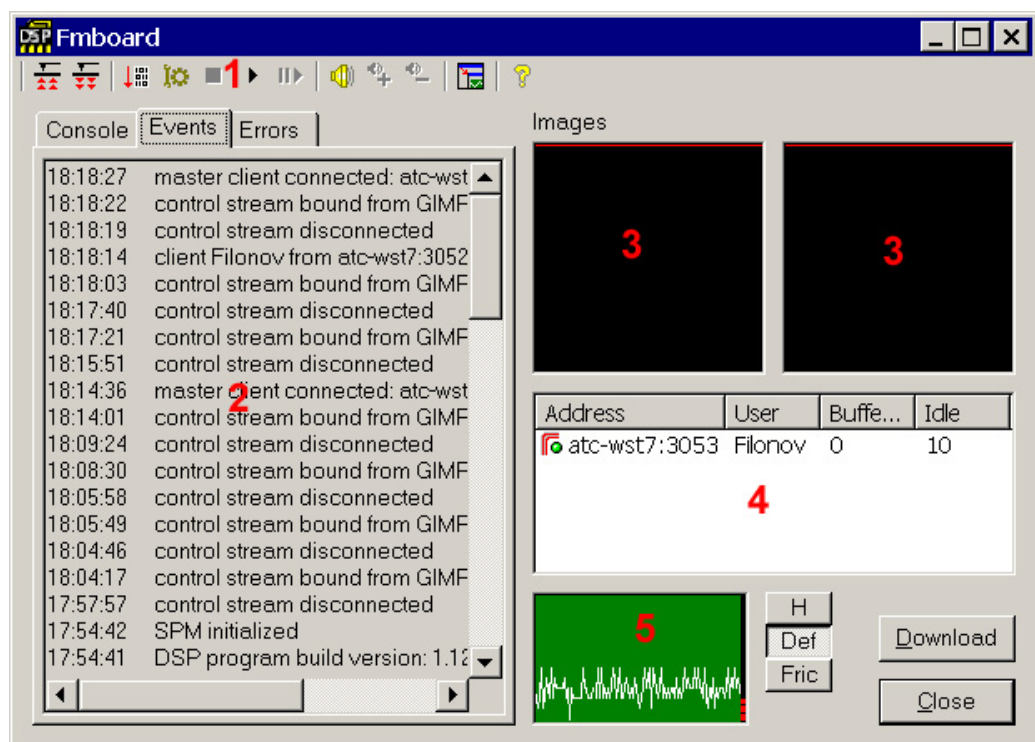


Рис. 2.1. Рабочее окно программы управления сервером Fmboard. 1 - панель инструментов, 2 - окна сообщений, 3 - окна сканирования, 4 - список клиентов, 5 - осциллограф.

### Окна сообщений

В окне сообщений Console выводится список команд системной консоли. Внизу списка находится окно ввода команд. Список возможных команд можно получить, введя команду ? или help. Работа с системной консолью должна выполняться только опытным пользователем, прошедшим курс обучения работе с ней.



В окне сообщений Events выводится информация о текущем состоянии микроскопа. Все сообщения хранятся в файле вида `evt%y%m%d.log` (%y%m%d – текущие год, месяц и число) в подкаталоге Logs инсталляционного каталога.

В окне Errors – информация об ошибках в работе микроскопа, например, о внезапном отключении пользователя при сбое в сети и т.п. Файл ошибок называется `err%y%m.log` и хранится так же в каталоге Logs. Вывод любого сообщения сопровождается звуковым сигналом. Настройку звуковых сигналов можно изменить через панель управления Windows, запустив приложение настройки звуков и аудиоустройств.

### Окна сканирования

В окнах сканирования показывается результат сканирования поверхности. При этом, в участках изображения, имеющих голубой цвет, зонд не достает до поверхности образца, а в участках, имеющих красный цвет, зонд упирается в образец и необходим немедленный отвод столика во избежание повреждения образца или зонда.


### Список клиентов

В списке клиентов выводятся имена подсоединенных пользователей и величина заполнения буферов. Пользователи, подключенные в режиме Client, отображаются со значком ; в режиме Master – со значком . Выбрав одного или нескольких клиентов, по нажатию правой клавиши мыши можно отсоединить их от сервера или послать им сообщение. При переполнении буфера клиент отсоединяется автоматически.

### Осциллограф

В окне осциллографа выводится по выбору (с помощью кнопок, находящихся справа от него) сигнал обратной связи H, сигнал ошибки обратной связи Def (АЦП 1) или сигнал Fric АЦП 2. Сигнал, выводимый на осциллограф, автоматически масштабируется таким образом, что 0 находится в центре окна, весь сигнал умещается в окне осциллографа, положительные значения выводятся в верхнюю часть окна. В правой части окна осциллографа находится логарифмический 15-сегментный индикатор масштаба, каждый сегмент которого соответствует одному биту сигнала. Данные для осциллографа читаются непосредственно из драйвера, минуя сервер, что обеспечивает высокую скорость работы осциллографа.

### Загрузка платы DSP

С помощью кнопки Download или кнопки  в любой момент можно выполнить загрузку программы в DSP. Эту операцию необходимо выполнять после каждого включения блока преобразователей, так как во время загрузки происходит установка начальных значений ЦАПов и калибровка АЦП. Загрузку не рекомендуется выполнять во время сканирования, т.к. это остановит текущее сканирование. После загрузки все текущие параметры сканирования (положение пьезоманипуляторов, опорное значение тока, звенья обратной связи и т.п.), установленные клиентом, сохраняются.



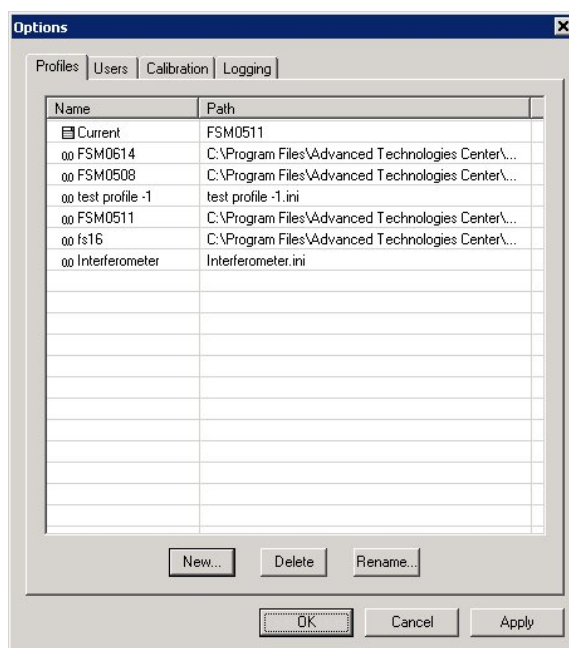



Рис. 2.2. Закладка управления профилями.

### 2.1.2 Конфигурация сервера

Окно конфигурации сервера можно вызвать нажатием кнопки  на панели инструментов, или нажатием правой кнопки мыши на значке программы в system tray и выбором команды Options, или выбрав эту команду из системного меню, которое появляется при нажатии на значек в левом верхнем углу окна программы. В окне конфигурации задаются значения, которые определяют правильное поведение сервера и интерпретацию данных, поэтому изменение этих значений рекомендуется только опытным пользователям. Внизу окна находятся три кнопки - Ok, Cancel и Apply. При нажатии на кнопку Apply происходит загрузка новой конфигурации сервера без закрытия окна.

#### Профили

Набор калибровочных констант, присущих установленным механической части микроскопа и блоку преобразователей, называется профилем прибора. Профиль сохраняется в текстовом виде в файле с расширением .ini. При замене частей микроскопа, необходимо установить новый профиль, предоставленный производителем. Управление профилями производится на закладке Profiles окна конфигурации сервера (рис. 2.2). Так же на этой закладке можно создавать новые профили для последующего переключения между ними. При создании нового профиля текущая конфигурация копируется в него.

#### Пользователи

Доступ к серверу определяется на основе определения принадлежности пользователя к одной из групп пользователей. По умолчанию, существует 3 группы пользователей - Администраторы, Пользователи и Гости. Если имя пользователя не присутствует ни в одной из групп, или он ввел неправильный пароль, то пользователь автоматически считается принадлежащим



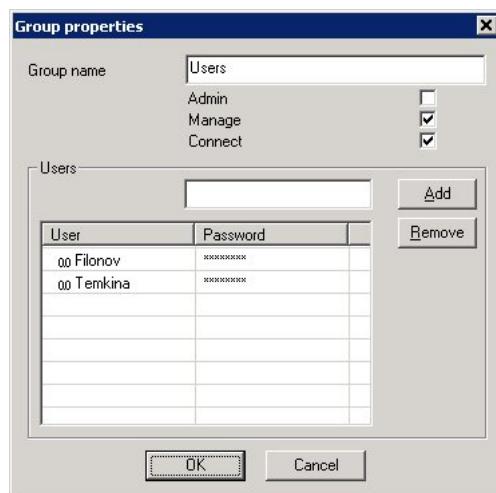


Рис. 2.4. Окно редактирования свойств группы.

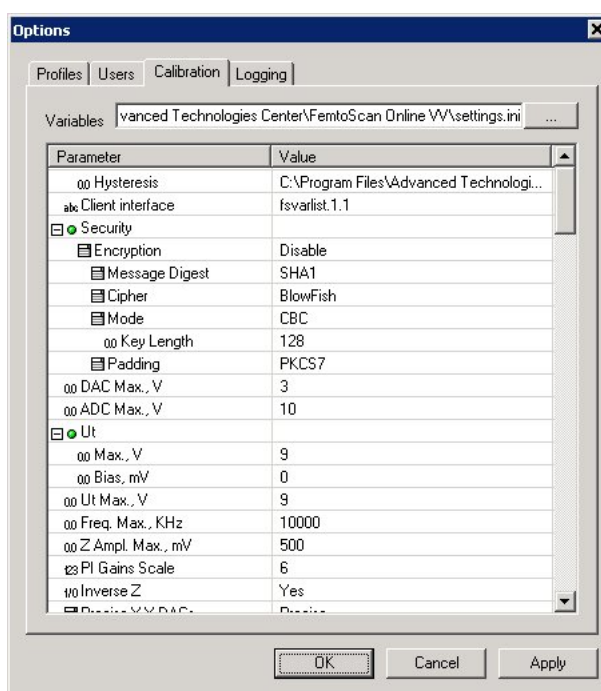


Рис. 2.5. Закладка калибровочных констант.

занимает таблица, в которой можно редактировать значения констант, содержащихся в файле settings.ini. Калибровочные константы задают параметры микроскопа, позволяющие преобразовать цифровые значения в реальные величины - вольты, нанометры, амперы и т.д. Так же в таблице присутствуют значения, определяющие наличие или отсутствие некоторых опциональных компонент микроскопа, и задающие режимы его работы. По нажатию клавиши Ok или Apply значения констант будут записаны в файл текущего профиля, а если выбран профиль default, то в файл calibration.ini. Одновременно будет перезагружена конфигурация сервера путем отправки команды консоли reload.

Подробное описание констант приведено в приложении В.

### Протокол событий

На закладке Logging задаются опции ведения протоколов событий и ошибок. Можно отключить протоколирование, изменить пути сохранения протоколов и имена файлов протокола. В имена можно подставлять специальные символы, которые будут заменены на значения текущего месяца, года и дня:

%a сокращенное название дня недели

%A полное название дня недели

%b сокращенное название месяца

%B полное название месяца

%d день месяца (01 - 31)

%j день года (001 - 366)

%m месяц (01 - 12)

%U номер недели в году, с воскресеньем в качестве первого дня недели (00 - 53)

%w день недели (0 - 6; Воскресенье соответствует 0)

%W номер недели в году, с понедельником в качестве первого дня недели (00 - 53)

%y год без указания века (00 - 99)

%Y год с указанием века

%% знак процента

## 2.2 Клиент

В клиентской части программного обеспечения (программа “ФемтоСкан Онлайн”, файл femtoscan.exe) устанавливаются все параметры сканирования, из этой программы подаются все команды по запуску и остановке сканирования, подводу и отводу столика с образцом. В принципе, процесс сканирования не требует интерактивной работы с сервером, чем обусловлена возможность управления микроскопом через сеть с удаленного компьютера.

Для управления микроскопом предназначены команды меню SPM и кнопки панели инструментов SPM. При работе программы меню SPM есть всегда, а панель инструментов SPM можно включать и выключать — за это отвечает галочка напротив слова Toolbar в меню SPM.

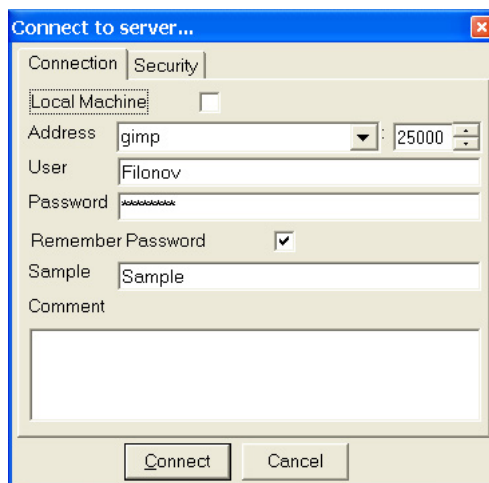




Рис. 2.6. Окно подключения к серверу

### 2.2.1 Подключение к серверу

Для подключения выберите в меню Spm команду **Connect as master** (кнопка ) или **Connect as Client** (кнопка ). Подключение в режиме master возможно, только если к микроскопу не подключен другой master.

В начале подключения перед вами появится окно, показанное на рис. 2.6. В этом окне нужно указать адрес сервера и ввести некоторые дополнительные данные.

Когда сервер находится на этом же компьютере, достаточно поставить галочку напротив “Локальный компьютер” и переходить к заполнению остальных полей. Если же сервер расположен в другом месте, то нужно снять галочку напротив “Локальный компьютер” - появится поле “Адрес”, в котором вы должны написать его адрес. Адресом могут быть имя компьютера в локальной сети Microsoft Windows Network (например, COMP145), его URL (например, mscmr.mydomain.ru) или IP адрес (например, 123.132.231.213). В следующем поле (после двоеточия) необходимо указать порт, по которому выполняется подключение (25000 по умолчанию, если оператор сервера не изменил его).

В полях “Образец” и находящемся под ним поле для комментариев указывается информация, которая отразится на файлах, получаемых при сканировании. В поле Sample рекомендуется указывать название исследуемого образца – это название окажется в именах получаемых файлов. В поле “Пользователь” нужно указать свое имя. Имя и пароль используются для аутентификации на сервере (раздел 2.1.2). Поле комментария будет сохранено в текстовых заголовках получаемых файлов. Во время сканирования можно изменять введенное имя, название образца и текст поля комментария. Как это сделать, написано в разделе 2.2.9.

На закладке Безопасность задаются параметры шифрования соединения. Можно отключить шифрование совсем, использовать параметры сервера или установить свои собственные (параметры клиента). В случае, если выбран вариант “Назначить параметры клиента”, на сервере должно стоять либо “Accept Client Parameters”, либо “Force Server Parameters” с аналогичным набором параметров шифрования. При соединении будет сгенерирован ключ текущей сессии, и все передаваемые данные будут шифроваться по выбранному алгоритму.

Если при аутентификации окажется, что пользователь не зарегистрирован ни в одной группе, или не совпадет пароль, пользователь будет автоматически причислен к группе гостей (если она не отключена), и будет выведено соответствующее предупреждение. Шифрование в

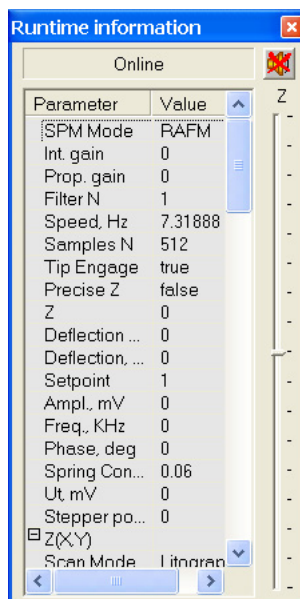



Рис. 2.7. Текущие параметры сканирования

этом случае будет менее безопасным – ключ сессии будет передаваться в незащищенном виде.

Закончив заполнение полей окна подключения к серверу, нажмите ОК. После этого осуществляется подключение к серверу. В случае если указан неправильный адрес, подключения не произойдет, и кнопки Client и Master на панели инструментов SPM останутся отжатыми. Если производится подключение в режиме Master, а к серверу уже подключен один Master, то произойдет подключение в режиме Client. При этом нажатой окажется только кнопка Client. При успешном подключении в режиме Master, нажатой окажутся обе кнопки.

При подключении в режиме Client будет показано окно текущих параметров сканирования (рис. 2.7), предназначенное только для наблюдения. В режиме Master будет вызвано окно настройки параметров сканирования, позволяющее изменять параметры (рис. 2.2.2). После удачного подключения к серверу можно начинать сканирование, но предварительно следует задать параметры цепи обратной связи и некоторые другие.

### 2.2.2 Параметры сканирования

Все параметры сканирования задаются в окне Parameters (рис. 2.2.2). Когда Вы подключаетесь как Master, то программа автоматически открывает это окно. Если окна по какой-то причине нет, его можно вызвать нажатием кнопки  на панели инструментов или командой меню Spm/ Parameters. Все задаваемые параметры автоматически проверяются и уточняются программой в соответствии с калибровочными константами, полученными с сервера. Поэтому, если подключения к серверу не произошло, то значения могут не соответствовать реальным. Если открыть окно параметров до подключения к серверу, то интерфейс окна параметров не будет приведен в соответствие со списком переменных сервера, и окно параметров будет выглядеть нечитаемым.

Если Вы изменяете параметры путем ручного ввода, то для того, чтобы изменения вступили в силу, необходимо нажать ввод (клавишу “Enter”). При этом если окажется, что введенное значение недопустимо, оно будет заменено на ближайшее из возможных. Если же параметр

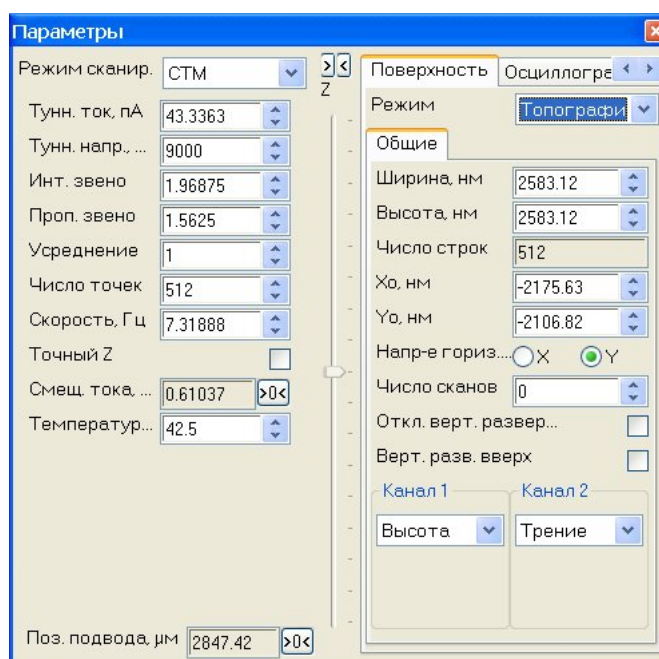


Рис. 2.8. Параметры сканирования. Режим STM.

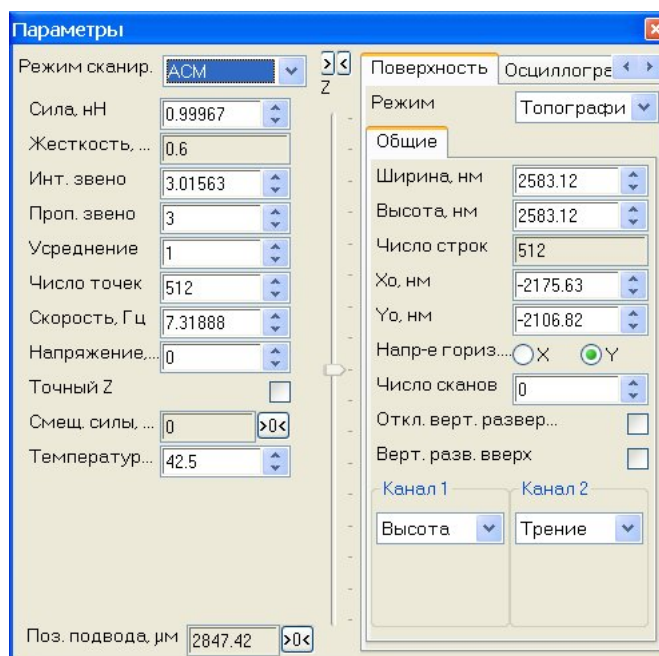


Рис. 2.9. Параметры сканирования. Режим AFM.

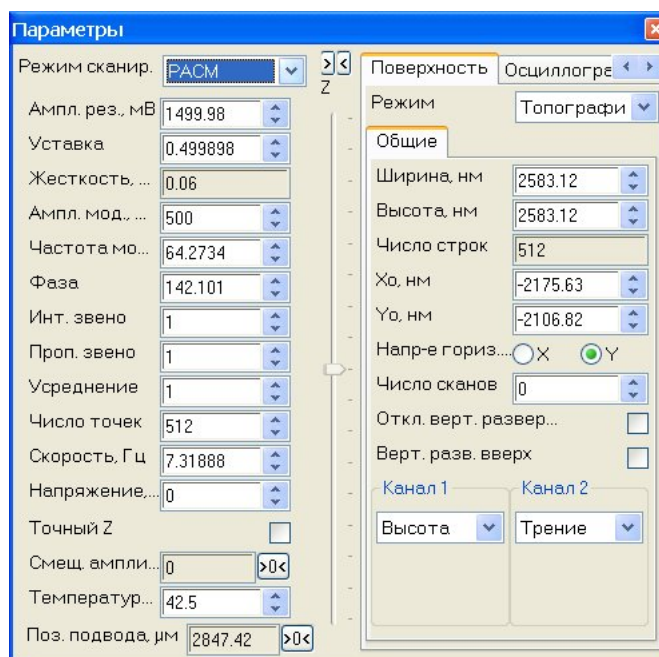


Рис. 2.10. Параметры сканирования. Режим RAFM.

ры изменяются путем нажатия кнопок со стрелками, то они проверяются на истинность и передаются серверу автоматически.

Программа “ФемтоСкан Онлайн” позволяет управлять сканированием в различных режимах, в зависимости от параметров сервера. Стандартные режимы включают в себя туннельный (STM), атомно-силовой (AFM) и резонансный атомно-силовым (RAFM). Для указания режима сканирования предназначено поле SPM Mode, расположенное в верхней левой части окна Parameters.

В левой части окна параметров расположены главные параметры цепи обратной связи, нужные при снятии изображений поверхностей и подводе образца:

- Тунн. ток — опорное значение туннельного тока (режим STM).
- Сила — опорное значение силы взаимодействия (режим ACM).
- Тунн. напр. — напряжение на туннельном переходе (режим STM).
- Ампл. рез. — значение, к которому будет подгоняться величина резонанса при настройке (режим PACM).
- Уставка — коэффициент, с помощью которого задается опорное значение сигнала обратной связи (режим PACM). Опорное значение вычисляется по формуле  $Defl_{sp} = Defl * Setpoint$ .
- Ампл. мод. — амплитуда модуляции (режим PACM).
- Частота мод. — частота модуляции (режим PACM).
- Фаза — фазовое смещение опорного сигнала фазового детектора (режим RAFM).



- Инт. звено — интегральное звено цепи обратной связи.
- Проп. звено — пропорциональное звено цепи обратной связи.
- Усреднение — число измерений, по которым производится автоматическое усреднение сигнала. Значение 1 соответствует отсутствию усреднения. Возможно задание дробных значений.

Ниже параметров обратной связи расположены другие важные параметры, общие для разных режимов сканирования.

- Число точек — число точек в строке сканирования.
- Скорость — скорость сканирования, выражается в числе строк в секунду.
- Точный Z — включает режим повышенной точности по оси Z — в этом режиме сигнал обратной связи подается через высоковольтный усилитель с уменьшенным коэффициентом усиления, за счет чего увеличивается разрешение, но уменьшается динамический диапазон.
- Смещ. тока/силы/амплитуды — значение смещения нуля сигнала ошибки обратной связи. Смещение устанавливается запуском процесса “Set Bias”, так же его можно сбросить в 0 нажатием на кнопку с надписью “>0<”.
- Температура — температура образца (если установлен предметный столик с температурным контролем).
- Поз. подвода — счетчик положения образца. Счетчик можно обнулить в любой момент нажатием на кнопку с надписью “>0<”.

В центре окна параметров выводится индикатор текущего положения кантилевера, такой же, как и в окне текущих параметров (рис. 2.7).

Все остальные параметры сгруппированы по закладкам и расположены в правой части окна параметров. Каждая из закладок верхнего уровня отвечает за один из режимов сканирования.

### Закладка Поверхность

Здесь задаются параметры сканирования, относящиеся к сканированию поверхности  $Z(X,Y)$ . Сканирование может происходить в нескольких режимах. Режим задается в выпадающем списке, расположенном в верхней части закладки. В зависимости от выбранного режима появляются одна или несколько подзакладок, первая из которых содержит общие параметры сканирования поверхности, а остальные — параметры, специфичные для выбранного режима сканирования.

На подзакладке Общие задаются следующие величины:

- $X_0$ ,  $Y_0$ , Ширина, Высота - координаты нижнего левого угла окна сканирования и его размеры (рис. 2.11). Размеры и позицию можно менять во время сканирования, изменения будут произведены на ходу. При изменении этих параметров размеры окна имеют больший приоритет, и в том случае, когда размеры задаются довольно большими, координаты нижнего левого угла автоматически уменьшаются. Ширина всегда соответствует горизонтальному размеру окна, а Высота вертикальному, независимо от выбора быстрой

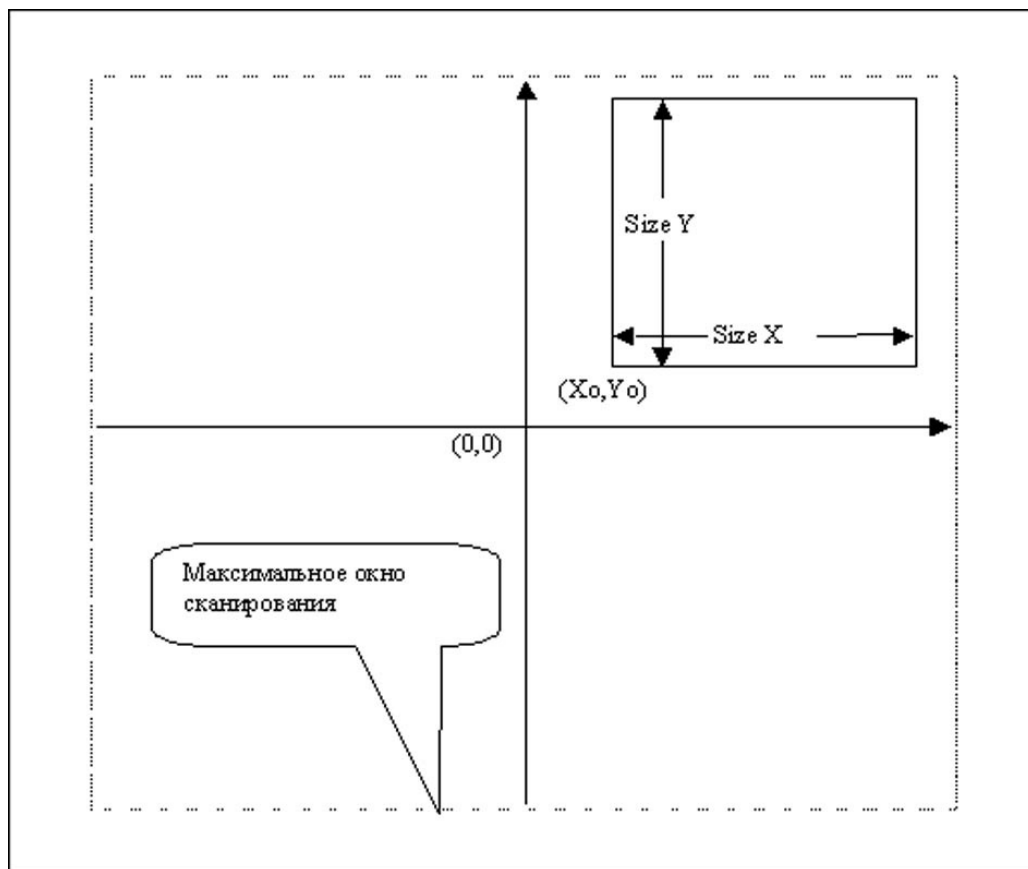


Рис. 2.11. Размеры окна сканирования.

оси сканирования. При изменении ширины меняется одновременно и высота, чтобы величина шага по горизонтали и по вертикали оставалась постоянной. По этой же причине при изменении высоты меняется число строк в изображении.

Программа “ФемтоСкан Онлайн” автоматически следит за тем, чтобы окно сканирования не выходило за динамический диапазон сканера. Точка с координатами (0,0) является центром окна сканирования максимального размера. При выборе этого окна значения  $X_0$  и  $Y_0$  автоматически примут минимальные значения.

- Число строк — число строк в изображении. Это поле недоступно для непосредственного изменения. Для изменения числа точек в строке отведено поле “Число точек” в общих параметрах, а число строк рассчитывается исходя из соотношения параметров ширины и высоты.
- Fast Axis — направление быстрого сканирования (строчной развертки) в глобальных координатах.
- Число сканов — указывает сколько раз сканировать поверхность. Если в поле стоит 0, то сканирование будет продолжаться, пока Вы сами его не остановите.
- Откл. верт. развертки — отключение вертикальной развертки. При отключенной верти-

кальной развертке движение по медленной оси не происходит, хотя в окне сканирования строка будет продолжать двигаться. При этом все кадры будут рисоваться в одном направлении медленной развертки.

- Верт. разв. вверх — направление медленной развертки. в конце каждого кадра меняется на противоположное.

В двух рамках — Канал 1 и Канал 2 — сгруппированы параметры для первого и второго изображений, относящихся к одному и тому же проходу поверхности. Внутри обеих рамок доступны почти одинаковые параметры.

- Выпадающий список, состоящий из Высота, Отклонение, Трение и других типов данных (в рамке 2-го канала кроме того еще есть Отключен) — задает, что будет записано в изображении. Высота — высота поверхности, равная с точностью до знака отклонению столика. Отклонение — отклонение сигнала от опорного значения. Трение — сигнал горизонтального отклонения луча лазера со светодиода (АСМ, РАСМ). Интенсивность — суммарный сигнал со светодиода (АСМ, РАСМ). Отклонение 2 — сигнал вертикального отклонения луча лазера (в режиме АСМ он совпадает с сигналом Отклонение, в режиме РАСМ сигнал Отклонение берется со среднеквадратичного детектора), Фаза — сигнал с фазового детектора (РАСМ), Фаза\* - сопряженная фаза, Проводимость — сигнал проводимости, Канал 6,7 — дополнительные каналы данных. Если на сервере включена возможность снятия данных с дополнительного устройства, подключенного к СОМ-порту, то в списке так же появится тип данных Auxiliary.

Помимо этих параметров, на закладке Общие в зависимости от выбранного режима сканирования могут появляться еще несколько параметров. В данной версии программного обеспечения реализованы следующие режимы сканирования поверхности:

- Топография - обычный режим сканирования поверхности.
- Двойной проход - режим сканирования поверхности с повторным проходом строки. Параметры обратной связи для второго прохода берутся с закладки Двойной проход. На закладке Общие появляются две дополнительных метки “2й скан” — по одной для каждого изображения — позволяющие выводить на изображение результат повторного прохода строки.
- Перемежающийся - режим сканирования с повторным проходом строки по профилю, снятому при первом проходе строки, плюс смещение, задаваемое на закладке Перемежающийся. Отрицательное смещение соответствует удалению зонда от поверхности. На закладке Общие появляются две дополнительных метки “Перемежающийся” — по одной для каждого изображения — позволяющие выводить на изображение результат повторного прохода строки.
- С отводом - режим сканирования с повторным проходом кадра. Сканирование поверхности проходит в два этапа. На первом этапе сканируется выбранное поле с регистрацией высоты поверхности в прямом и обратном направлении прохождения строки. На втором этапе зонд движется по плоскости, соответствующей среднему наклону поверхности, вычисленной методом наименьших квадратов на основе данных первого этапа, плюс смещение, задаваемое на закладке С отводом. Отрицательное смещение соответствует удалению зонда от поверхности.
- Литография - режим литографии. Литография может выполняться в трех режимах - литография зондом (Высота), литография напряжением (Напряжение), и литография модуляцией опорного значения (Уставка). На закладке Литография выбираются

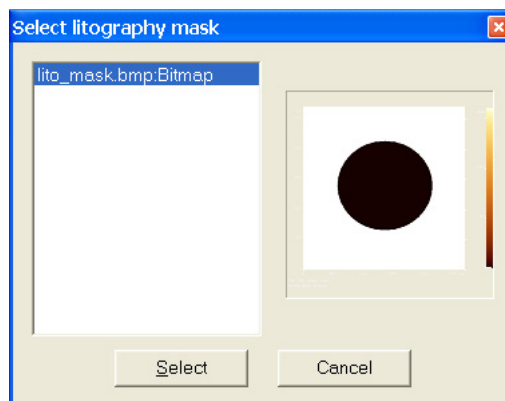


Рис. 2.12. Выбор маски литографии

изображение-маска, режим литографии и параметры воздействия на поверхность. При нажатии на кнопку “Выбрать” появляется окно выбора изображения-маски (рис. 2.12). Если размеры маски не совпадают с размерами сканируемой области (в точках), то маска будет соответствующим образом сжата или растянута. Значения высоты маски будут пронормированы от минимума до максимума согласно выставленному значению масштаба.

В режиме “Высота” сканирование идет в два этапа. На первом этапе снимается профиль поверхности (Dscjnf) в прямом и обратном направлении. На втором этапе вычисляется плоскость среднего наклона поверхности, к ней добавляется промасштабированная от 0 до “Масштаба” маска со смещением “Смещение”, и зонд идет по полученной поверхности. В режиме “Напряжение” во время сканирования поверхности на ЦАП туннельного напряжения выдается профиль строки, взятый из маски изображения. В режиме “Уставка” текущее опорное значение обратной связи изменяется в соответствии с маской.

### Закладка Осциллограф

На этой закладке задается режим работы осциллографа.


- Канал 1, 2 — тип данных, отображаемых в окнах осциллографа. Может быть Высотой, Отклонением сигнала обратной связи от опорного значения, или одним из сигналов со второго АЦП (остальные значения).
- Откл. обр. связь — отключение обратной связи. При установленном флаге опорное значение обратной связи и звенья будут установлены в 0, что уберет смещение из сигнала ошибки обратной связи и зафиксирует положение кантилевера.

### Закладка Модуляция Z

В режиме модуляции Z на Z-координату подается один из выбранных профилей — импульсы, треугольный профиль, или синусоида. Амплитуда сигнала масштабируется от 0 до заданного значения “Амплитуда”. Этот режим предлагается использовать для подбора оптимальных параметров обратной связи. В окне сканирования при этом красным цветом показывается профиль идеального отклика (если выбран тип данных Высота).

- Амплитуда — амплитуда прямоугольного импульса.
- Профиль — форма профиля, подаваемого на Z-координату.
- Канал 1, 2 — тип данных, отображаемых в окнах сканирования.

### Закладка Поиск резонанса (режим РАСМ)

Здесь задаются параметры настройки на резонанс. В этом режиме снимаются зависимости сигнала Отклонение и Фаза от частоты. Параметры Старт и Размер задают первоначальную величину развертки. В режиме автоматической настройки программа снимает кривую отклика, выбирает самый сильный резонанс, подстраивает амплитуду модуляции таким образом, чтобы значение сигнала в резонансе равнялось значению, заданному в поле “Ампл. рез.”, и уменьшает размер развертки. (см. 2.2.2). Сужение развертки идет до тех пор, пока значение сигнала в максимуме не будет равно заданному значению (в пределах уровня шума). После нахождения резонанса с максимально возможной точностью, подстраивается фаза сигнала таким образом, чтобы в максимуме фаза отклика была равна нулю и имела отрицательную производную. В ручном режиме сканирование производится непрерывно, на окне сканирования пользователь двумя вертикальными метками выбирает нужный резонансный пик (рис. 2.13) и нажимает кнопку Zoom In . Программа выставляет пределы сканирования по этим указателям и меняет амплитуду модуляции так, чтобы значение сигнала в максимуме в выбранном диапазоне равнялось заданному в поле “Ампл. рез.”. Если в меню Scan/Tune by... выбрано Amplitude, то настройка частоты производится на максимум амплитуды; если выбрано Phase, то настройка производится на область максимального наклона фазы.

Учтите, что нулевой уровень программа выставляет автоматически по первому скану. Поэтому, если настройка запущена с очень узким диапазоном вблизи резонанса, ноль будет выставлен неправильно, и при подстройке амплитуды модуляции будут задаваться неправильные значения. Чтобы избежать этого, всегда начинайте настройку на резонанс с широким начальным диапазоном (300 - 500 КГц).

### Закладки It(Z) (режим СТМ), F(Z) (режим АСМ), D(Z) (режим РАСМ).

На этих одинаковых по составу закладках задается диапазон сканирования кривых зависимостей It(Z), F(Z), D(Z).

### Закладка It(Ut) (режим СТМ).

Эта закладка используется для быстрого задания диапазона сканирования зависимости It(Ut).

### Закладка Кривые

На этой закладке задаются параметры снятия зависимостей — спектроскопических измерений. Возможно снятие зависимости одного или двух выбранных сигналов (Канал 1 и Канал 2) от одного или двух Аргументов. Аргументы задаются с помощью соответствующих ЦАПов — Высота, Туннельное напряжение, Температура, Контроллер 1 и 2. Если 2-й аргумент не отключен, то результатом сканирования будет двумерное изображение, иначе - кривая.

### Закладка Дополнительно...

На этой закладке можно задавать значения дополнительных устройств — двух ЦАПов и генератора частоты.

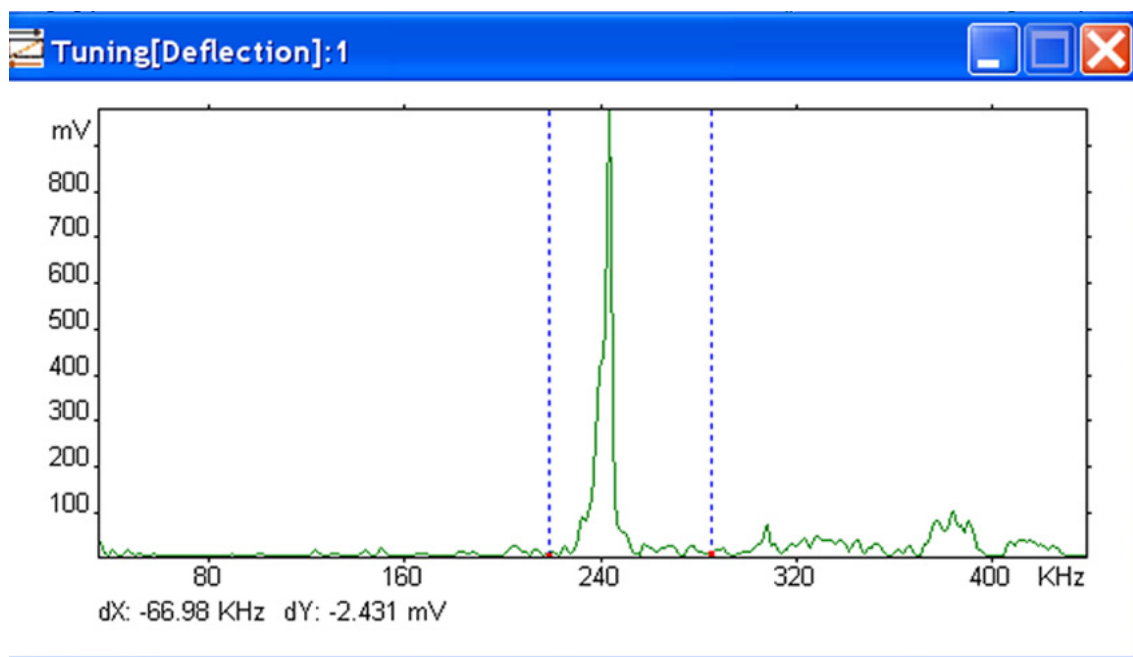


Рис. 2.13. Настройка на резонанс.



### 2.2.3 Сканирование поверхности

Теперь, когда установлено соединение с сервером и заданы все параметры, можно начать работу. Ползунок, находящийся в центре окна параметров сканирования, показывает высоту зонда над поверхностью. При правильных параметрах обратной связи, когда образец не подведен, ползунок должен находиться в крайнем нижнем положении.

#### Загрузка программы платы DSP

С помощью команды меню SPM/ Start/ Download выполняется загрузка программы в плату DSP. Эту операцию необходимо выполнять при каждом включении электронной части микроскопа. Обычно эту операцию выполняет оператор сервера, но может сделать и удаленный пользователь.

#### Установка смещения нуля

Пока образец находится в отведенном состоянии, нужно выставить ноль сигнала ошибки обратной связи (Deflection). Это делается выполнением команды Set Bias, которая расположена в меню SPM/ Start. Это же меню можно вызвать, нажав кнопку . В дальнейшем, когда будет говориться о меню кнопки , помните, что это меню равносильно меню SPM/ Start.

Установка смещения нуля особенно важна в режиме AFM – правильное значение позволит в дальнейшем, после калибровки чувствительности по кривой подвода-отвода  $F(Z)$ , задавать правильную силу взаимодействия кантилевера с образцом. В других режимах установка смещения так же повысит точность задания опорного значения обратной связи.

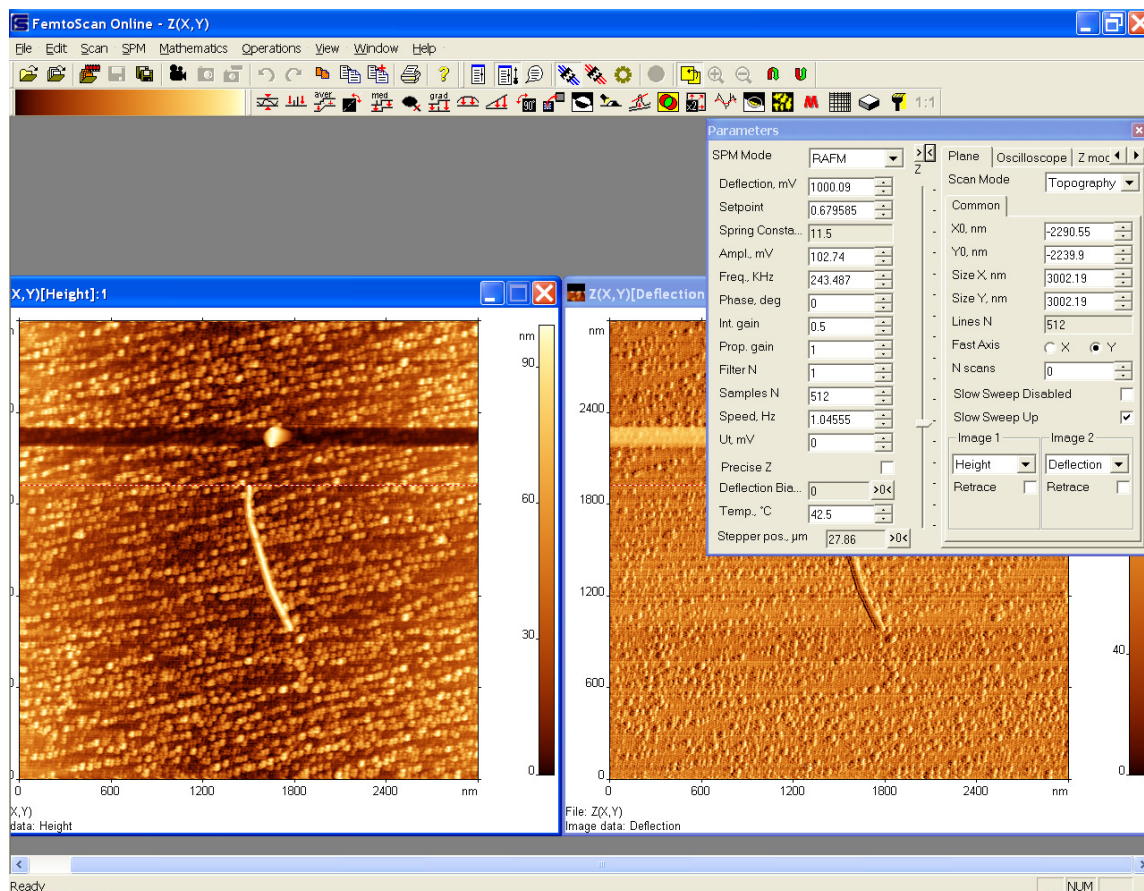


Рис. 2.14. Сканирование поверхности.


### Подвод образца

Подвод запускается командой Landing.

После запуска команды подвода, в окне параметров сканирования начнет увеличиваться значение Stepper pos., показывающее, на сколько шагов сдвинулся образец относительно положения, в котором он был вначале данного подключения. Когда подвод действительно завершится, то индикатор положения будет уже не в крайнем нижнем состоянии, а где-то посередине. Если же подвод не произошел, а микроскоп принял случайный выброс за сигнал, то индикатор останется внизу.



Если образец был подведен на большое расстояние (обычно 100 *μm*), а обратная связь так и не сработала, то появится сообщение о неудачной попытке подвода с предложением продолжить подвод. Ответьте Ok.

### Начало сканирования

Если произошел удачный подвод, можно начинать сканирование. Это осуществляется командой меню кнопки  / Z(X,Y) Scan. После выполнения этой команды в зависимости от установленных параметров появится одно или два окна сканирования (рис. 2.14). По изображению двигается планка, показывающая текущую строку сканирования. При получении оче-


редного изображения, оно может быть автоматически открыто в новом окне, а может быть забыто (раздел 2.2.9). После того, как снято очередное изображение, сканирование продолжается в том же окне в обратную сторону. Пока идет сканирование, Вы уже можете обрабатывать отснятые изображения.

### Изменение размеров окна сканирования



С помощью команд меню Scan/ Zoom In и Scan/ Zoom Out или кнопок  и  можно увеличивать или уменьшать размеры участка сканирования (если размеры текущего участка это позволяют). Для уменьшения выберите нужную часть поверхности и нажмите Zoom In. Новое изображение будет соответствовать выбранному участку. Для увеличения выберите участок поверхности, которому будет соответствовать на новом изображении текущее окно, и нажмите Zoom Out. Сканирование будет продолжено в текущем окне, но с новыми параметрами. Одновременно изменятся установки в окне Parameters.

Участки всегда выделяются с тем же соотношением сторон, какое у текущего кадра.



### Смещение окна сканирования

Для того, чтобы переместить окно сканирования в другое место, выберите команду меню Scan/ Offset или нажмите кнопку  и выберите команду Offset. Курсор примет вид мишени. Прицельтесь им на то место, где будет центр нового изображения, и нажмите левую клавишу мыши. Сканирование будет продолжено в текущем окне, но с новыми параметрами. Одновременно изменятся установки в окне Parameters.


### Перезапуск сканирования

Если изображение дало сбой и Вы хотите получить новую картинку этого же участка, не дожидаясь окончания текущего сканирования, нажмите кнопку  или . Эти же команды доступны из меню Scan — это Rescan Up и Rescan Down .


### Подстройка положения столика

Если во время сканирования из-за дрейфа или по каким-либо еще причинам образец отошел слишком далеко, или наоборот, зонд начал задевать за поверхность, то образец можно подвинуть с помощью команд пошагового подвода/отвода. Для этого есть кнопки  и . Выполнение этих команд перемещает столик на один шаг шагового двигателя вверх или вниз. Учитывайте, что у механической системы всегда существует некоторый люфт, и при первых шагах перемещения столика может не произойти.

### Остановка сканирования


Чтобы остановить процесс сканирования, нажмите кнопку  или команду меню SPM/ Stop Scan. Учтите, что во время сканирования окна сканирования закрыть нельзя.

### Выключение питания шагового двигателя


Питание шагового двигателя может быть отключено кнопкой . Эта кнопка появляется на панели инструментов, только если на сервере включена соответствующая возможность.



### Быстрый отвод иглы


В микроскопе есть возможность отвести иглу пьезоманипулятором в крайнее положение — в таком состоянии меньше вероятность повредить зонд. Это выполняется нажатием на кнопку . Шаговый двигатель при этом не трогается. При начале сканирования кнопка автоматически отжимается.


### 2.2.4 Снятие зависимостей

Режим сканирования зависимостей Dependency позволяет получить зависимость сигнала по выбранным каналам от одного или двух аргументов. Например, чтобы получить в режиме АСМ зависимость  $F(Z)$ , нужно выбрать канал Отклонение, и аргумент  $Z$ . При запуске сканирования открывается окно, в котором выводятся отснятые кривые. Зеленым цветом выводится результат прямого прохода, красным — обратного. Шкала автоматически масштабируется так, чтобы все кривые умещались на изображении. Если в параметрах сканирования  $N$  Scans отлочно от нуля, то будет отснято указанное число кривых. Результат сканирования усредняется по числу проходов по мере снятия кривых. Если в  $N$  Scans стоит 0, то усреднения не происходит, а сканирование продолжается до остановки пользователем кнопкой  или командой меню SPM/ Stop. В этом случае на изображении сохраняется только результат последнего прохода.


При снятии зависимости от двух аргументов, пвяляется окно, аналогичное окну сканирования поверхности, но по оси  $X$  откладывается первый аргумент, а по оси  $Y$  второй.

### 2.2.5 Осциллограф


Режим осциллографа запускается выбором команды меню кнопки  / Oscilloscope. В ответ на эту команду открывается окно, аналогичное окнам снятия зависимостей, за исключением того, что по горизонтальной оси отложено время.

Надо отметить, что все команды меню кнопки  являются взаимно исключающими, т.е. при запуске нового процесса текущий останавливается.


### 2.2.6 Модуляция $Z$

Режим модуляции  $Z$  запускается выбором команды меню кнопки  /  $Z$  Modulation.

### 2.2.7 Фотодиод (режим АСМ)

Команда меню кнопки  / Photo Diode вызывает окно, в котором показывается положение лазерного пучка на фотодиоде и интенсивность этого пучка. Если монитор находится рядом с микроскопом, то удобно, глядя на окно Photo Diode, вращать настроечные винты фотодиода и добиваться хорошего попадания на него лазерного луча. В меню View можно отметить галочкой строчку Normalize by Intensity — тогда отклонение луча будет нормализоваться с учетом его интенсивности — при низкой интенсивности сигнала чувствительность не будет падать.

### 2.2.8 Снятие кривых в точке изображения

Снятие кривых в точке сканируемого изображения запускается выбором команд меню кнопки  /  $F(Z)$  at...,  $D(Z)$  at...,  $I_t(Z)$  at...,  $I_t(U_t)$  at.... Курсор примет форму мишени, и при нажатии на поле текущего окна сканирования произойдет запуск выбранного режима

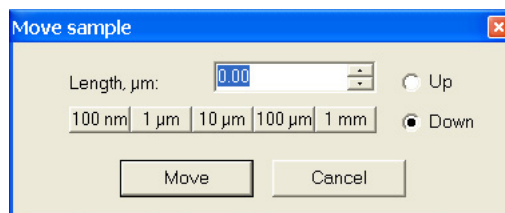


Рис. 2.15. Настройка на резонанс.

сканирования зависимости с начальными координатами, соответствующими этой точке. Параметры, соответствующие выбранному режиму, будут автоматически введены на закладке Dependency.


### 2.2.9 Дополнительные команды

Помимо описанных, программа “ФемтоСкан Онлайн” содержит набор команд для работы при сканировании. Эти команды позволяют выполнить некоторые специальные операции по управлению микроскопом и настройке интерфейса.


#### Быстрый подвод и отвод зонда

Для быстрого перемещения зонда (например, для его отвода в конце работы) воспользуйтесь командой меню SPM/ Move sample. Эта команда выполняет перемещение образца на указанную величину вверх (к зонду) или вниз. В появившемся окне (рис. 2.15) нажатием на кнопки наберите необходимую длину перемещения и выберите направление движения образца.

#### Обмен сообщениями

Для обмена сообщениями с сервером и остальными клиентами нужно открыть специальное окно Chat. Это можно сделать, отметив слово Chat window в меню SPM, или нажав кнопку . В поле Connected Clients окна Chat показываются все клиенты, подключенные к серверу, в поле Dialog history — все сообщения, которые Вы отправили или получили. Для написания сообщений служит третье поле (Send message), в котором Вы можете ввести свое послание. Если оно предназначено всем клиентам, подсоединенным к серверу, просто нажмите ввод, и сообщение будет отправлено. Чтобы сообщение попало только к некоторым из клиентов, выделите их в поле Connected Clients с помощью мыши и кнопок Ctrl и Shift, после чего тоже нажмите ввод. Все отправленные сообщения появляются не только у клиентов, к которым они отправлены, но и в окне сообщений Messages сервера.

#### Режим сохранения изображений

Когда Вы выполняете сканирование, то возможны несколько вариантов действий программы с отснятыми изображениями. Программа может сохранять их в файлы на диске, выводить в отдельных окнах, а может забывать. Чтобы данные выводились в новых окнах, в меню Scan напротив Capture должна стоять галочка, что равносильно тому, что нажата кнопка . Что делать для автоматического сохранения данных на диск, написано ниже.

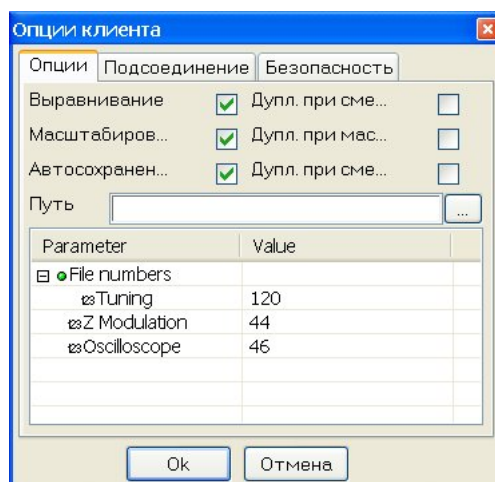


Рис. 2.16. Окно настроек, влияющих на работу программы с получаемыми изображениями

### Действия программы с получаемыми файлами

Если выбрать команду меню SPM/ Client options... , то появится окно, показанное на рис. 2.16. В трех нижних полях окна Вы можете менять информацию, которая была введена при подключении. О том, что это за информация, написано в разделе 2.2.1.

Если отмечено “Автосохранение”, то получаемые изображения будут автоматически записываться на диск в каталог, выбранный в поле Путь.



Параметры “Выравнивание” и “Масштабирование” отвечают за то, как будет отображаться информация в окнах сканирования поверхности, не влияя на сами данные. При выравнивании считается средний наклон для каждой строки и автоматически вычитается из этой строки. Масштабирование подстраивает цветовую шкалу отдельно под каждую строку, так что данные оказываются “растянуты” на весь диапазон цветов. Оба параметра, хотя и делают изображение неправильным, позволяют сделать более видимыми мелкие детали поверхности.

Параметры Дупл. при смене напр-я, Дупл. при масштабировании и Дупл. при смещении включают режимы, когда, соответственно, при повторном сканировании, изменении размеров окна сканирования и смещении окна сканирования, уже имеющиеся данные будут выведены в новых окнах.

### Изменение имен сканируемых файлов

По умолчанию отснятым файлам даются имена в соответствии с информацией, которая была введена при подключении (раздел 2.2.1). Если нужно изменить эти имена, это можно сделать на закладке Connection в поле Sample. Номера, присваиваемые файлам, изменяются в таблице на закладке Options.

### Включение звука

Во время сканирования возможно включение звуковых сигналов, оповещающих о том, что зонд слишком близко подошел к образцу, либо наоборот, не достает до него. В окне Runtime information для этого есть кнопка  (или ). Если динамик, нарисованный на кнопке, перечеркнут, то звуковые сигналы выключены, в противном случае включены. Чтобы изменить состояние кнопки, просто нажмите на нее.

### **2.2.10 Окончание работы**

В конце работы остановите сканирование и отсоединитесь от сервера, последовательно убрав галочки в меню SPM/ Connect as Master и SPM/ Connect as Client. При закрытии программы все текущие параметры, а так же калибровочные константы, полученные с сервера, автоматически сохраняются на Вашем компьютере, и при следующем запуске программы будут восстановлены.

## Глава 3

# Обработка изображений с помощью программы “ФемтоСкан Онлайн”


Программа ФемтоСкан Онлайн предоставляет широкий набор функций обработки и анализа изображений. Успешность их использования зависит от понимания пользователем методов, используемых при получении данных и их обработке.


В том случае, когда в дальнейшем описании будет указываться какая-либо команда меню, учтите, что большинство команд так же доступно через выпадающее меню, появляющееся при нажатии правой клавишей мыши на поле изображения.

### 3.1 Работа с файлами

Программа может работать с файлами, полученными на микроскопах FemtoScan, Nanoscope II, III, и некоторых других микроскопах (см. таблицу 3.1). При сохранении файлов Nanoscope II, III в текстовом заголовке файла сохраняется только информация, общая с форматом файлов FemtoScan. Текстовый заголовок файла всегда можно просмотреть, выбрав команду меню View/ Parameters....

#### 3.1.1 Открытие и импорт файлов

Открытие файлов производится нажатием на кнопку  или выбором команды меню File/ Open. В появляющемся окне вы можете выбрать сразу несколько файлов, используя сочетания клавиш Shift, Ctrl и левой кнопки мыши. Выбранные файлы могут быть открыты как в одном окне, так и каждый в отдельном окне, для этого параметр Merge documents нужно поставить в значение Yes или No соответственно. Последний каталог, в котором происходило открытие или сохранение файлов, запоминается при выходе из программы, и автоматически восстанавливается при новых запусках программы. Текущий каталог для спасения новых файлов можно изменить командой меню File/ Save Path....

Команда меню File/ Open, как и кнопка , позволяет не только открывать файлы зондовой микроскопии (см. выше), но и импортировать данные из текстовых ASCII файлов и из графических файлов в форматах Bitmap (расширение BMP) и Jpeg (расширение JPG/JPEG).

Данные в текстовых файлах, относящихся к поверхностям, должны быть организованы следующим образом. Первые две колонки, или колонки с заголовками X и Y, должны задавать координаты точек, а в остальных колонках указываются значения в этих точках. Колонки разделяются табуляцией. Если колонок кроме X и Y несколько, то будет открыто несколько

Формат файла	Формат имени файла	Тип данных	
		Поверхности	Кривые
ФемтоСкан Онлайн	*.spm	•	•
NT-MDT	*.mdt, *.sm2	•	•
NanoEducator (NT-MDT)	*.spm	•	
NanoScope II	*.0??	•	
NanoScope III	*.0??	•	•
Скан 8	*.tmd	•	
Park Scientific	*.hdf	•	
Molecular Imaging	*.stp	•	
Asylum Research (Igor Pro)	*.ibw	•	•
WSxM Nanotec Electronica	*, *	•	
Nanotop	*.spm	•	
Amphora (оптич. данные)	*.tlk	•	
WITec	*.wip	•	
Omicron	*.par	•	
Nanosurf	*.nid	•	
Pacific Nanotechnology	*.pni	•	
Digital Surf	*.sur	•	
AIST-NT	*.aist	•	•
LEO	*.tif (16-bit grayscale и цветные)	•	
Bitmap	*.bmp	•	
Jpeg	*.jpg, *.jpeg	•	
Текстовый формат	*.txt, *.dat	•	•


Таблица 3.1. Воспринимаемые форматы данных

изображений. В заголовках колонок после названия через запятую можно указать единицы измерения.

Данные в текстовых файлах, содержащих кривые, должны быть организованы в виде нескольких колонок. Колонка с горизонтальными координатами должна быть либо первой, либо с заголовком X. Если колонок будет больше двух, то будет открыто несколько кривых. В заголовках колонок после названия через запятую можно указать единицы измерения.

Программа автоматически распознает формат файла по его содержимому, расширение используется только для удобства пользователя. Возможен импорт сразу нескольких файлов. Если графический файл содержит палитру, то значения высоты поверхности в импортированном файле соответствуют индексам палитры. В противном случае в высоту преобразуется интенсивность изображения.

### 3.1.2 Сохранение и экспорт файлов

Программа позволяет сохранять данные о поверхностях и кривых в формате FemtoScan. Для сохранения файла нажмите кнопку  или выберите команду меню File/ Save. Для сохранения файла под другим именем выберите команду меню File/ Save As.... Чтобы сохранить все измененные или несохраненные файлы выберите команду меню File/ Save All. Новые файлы при этом будут сохранены в текущий каталог (указанный в меню File/ Save Path...).

В программе предусмотрен экспорт изображений в текстовые файлы ASCII, в файлы рисунков Bitmap и Jpeg, а также в файлы трехмерных изображений для Internet (Vrml). Возможности экспорта для различных изображений приведены в таблице 3.2. При экспорте в текстовый формат не сохраняется информация о выделениях, метках, шкалах и т.п., а для форматов Bitmap и Jpeg, чтобы сохранить эту информацию, нужно в диалоговом окне Export File установить параметр Export with decorations в значение true. Имейте в виду, что после экспортирования импортировать получится только файлы Bitmap (сохраненные без шкал, меток, выделений), т.к. формат Jpeg не импортируется, а организация данных в импортируемых и экспортируемых текстовых файлах различается.

Виды изображений	Форматы экспорта			
	*.txt	*.bmp	*.jpeg	*.wrl
Обычные изображения кривых и поверхностей	•	•	•	
Сечения	•	•	•	
Гистограммы	•	•	•	
Диаграммы “Enum Features”	•	•	•	
Изображения Фурье-спектров		•	•	
Трехмерные изображения		•	•	•

Таблица 3.2. Экспорт данных

Экспорт производится командой меню File/ Export. В появляющемся окне можно выбрать формат файла. Надо отметить, что экспорт изображений поверхностей в текстовый формат может потребовать большое количество дискового пространства.

Для экспорта сразу нескольких файлов используется команда меню File/ Batch Export. При выполнении этой команды открывается диалог выбора файлов для экспорта (рис. 3.1), в котором можно выбрать среди открытых файлов, какие экспортировать, выбрать формат для экспорта, и задать параметры, зависящие от формата. В зависимости от того, какие окна выбираются для экспорта, список возможных форматов может меняться: например, трехмерные

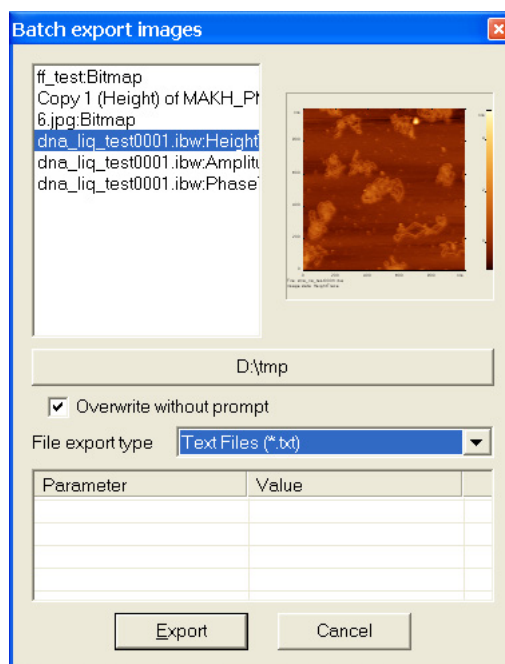


Рис. 3.1. Окно группового экспорта файлов.

изображения можно экспортировать в формат VRML, но если выбрано двумерное изображение поверхности, то такой тип экспорта будет недоступен.


### 3.1.3 Удаление файлов

Если Вы считаете, что какой-то файл нужно удалить с диска, вы можете сделать это, выбрав одно из изображений, содержащихся в этом файле, и выполнив команду File/ Delete.

### 3.1.4 Восстановление файлов

В случае необходимости можно отменить все изменения, произошедшие с файлом во время его обработки, выбрав команду меню File/ Revert. Файл будет заново считан с диска в своем первоначальном состоянии.

### 3.1.5 Быстрый просмотр файлов

Для быстрого просмотра нескольких файлов в текущем каталоге нажмите кнопку  или выберите команду меню File/ Quick View. В появившемся окне (рис. 3.2), выделите файлы для просмотра и нажмите Open. Выбранные файлы откроются в уменьшенном виде и будут равномерно расположены на всем пространстве рабочего окна программы. Двойным нажатием левой клавиши мыши на поле окна быстрого просмотра это окно восстанавливается до нормального размера и становится доступным для обработки. Вид заголовка и легенды, отображаемых в окнах быстрого просмотра, определяется в окне выбора файлов для быстрого просмотра. В рамке Title указывается информация, которая будет показана в заголовке окна быстрого просмотра, а в рамке Legend указывается состав его легенды. Если напротив слов



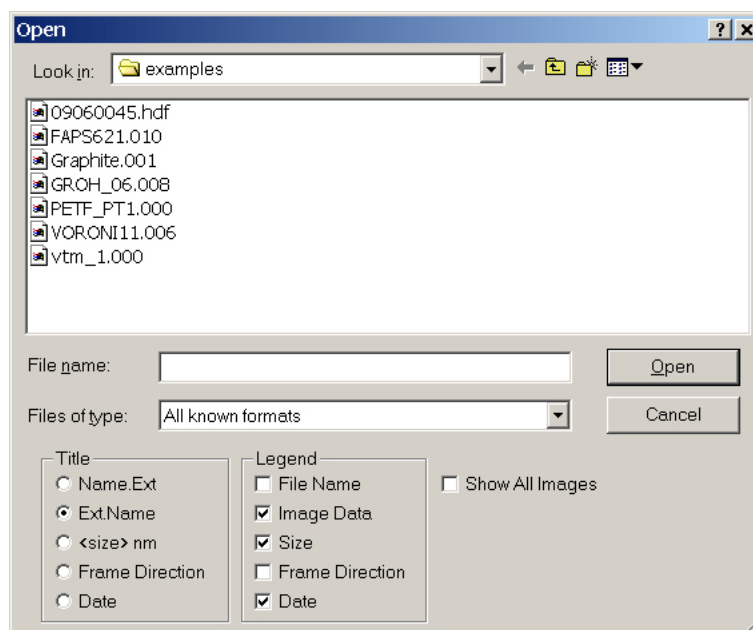


Рис. 3.2. Окно выбора файлов для быстрого просмотра.

Show All Images на панели выбора поставлена галочка, то при быстром просмотре на каждое изображение, содержащееся в одном файле, будет открыто отдельное окно. Иначе на каждый файл будет открыто только одно окно с первым изображением из содержащихся в файле.

### 3.1.6 Автоматический просмотр файлов

Файлы любого каталога и его подкаталогов можно просмотреть в автоматическом режиме с помощью команды File/ Slide Show. При этом вам сначала будет предложено указать параметры просмотра (рис. 3.3). На кнопке в верхней части диалога написано название папки, в которой будет проходить просмотр. При нажатии этой кнопки вы сможете сменить папку для просмотра (по умолчанию выбрана текущая). В поле Delay,sec указывается временная задержка, а напротив Recurse можно отметить, просматривать вложенные папки или нет. В центре диалога находится таблица, где приведены все доступные файлы из выбранной папки. Можно удалять из таблицы файлы, нажимая клавишу Delete или выбирая команду Delete selection из меню, появляющегося при нажатии правой кнопки мыши. Удаленные файлы не будут показаны при просмотре, но с диска они не удаляются.

После нажатия кнопки ОК перед вами будут один за другим циклически показываться изображения с выбранной временной задержкой. Минимальная задержка равна 3 секундам. Чтобы приостановить/продолжить просмотр, нажмите пробел, выход из просмотра происходит при нажатии клавиши "Escape". При выходе из просмотра программа открывает файл, который показывался последним.

### 3.1.7 Работа с файлами кривых

При открытии кривых, они отображаются в таких же окнах, как и сечения (раздел 3.5.2) и возможности обработки и настройки отображения кривых те же, что и у сечений. При

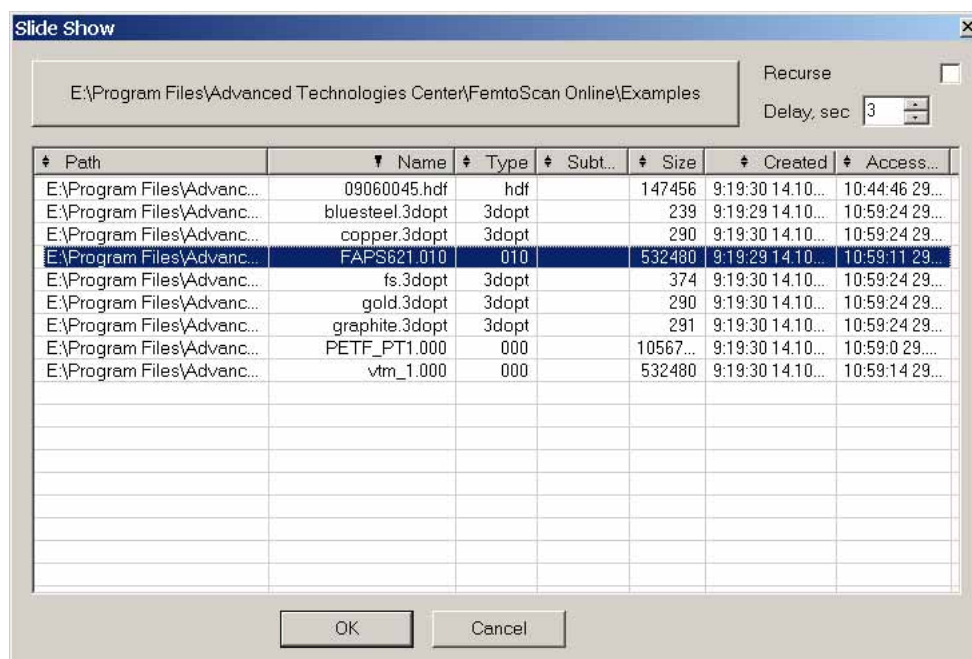


Рис. 3.3. Параметры автоматического просмотра

открытии файлов кривых в некоторых форматах, например, ФемтоСкан Онлайн, Nanoscope III, NT-MDT в одном окне может быть показано несколько кривых. При этом одна кривая будет текущей и изображаться сплошной линией, а остальные штриховыми. Фурье-спектр будет показываться для текущей кривой. Переключаться между линиями можно клавишей Tab.

### 3.1.8 Просмотр текстовых заголовков файлов

У файлов в формате ФемтоСкан Онлайн есть текстовые заголовки, которые Вы можете просмотреть, выбрав команду меню View/ Parameters... . Откроется окно, где показаны все параметры, при которых происходило сканирование — во время сканирования эти параметры были установлены в окне Parameters (раздел 2.2.2), а также информация о дате появления файла, о том кто снимал изображение и его комментарии.

Вы можете менять записанные в файле комментарии. Для этого выберите команду меню View/ Comment... и впишите в поле открывшегося окна то, что вам нужно.

### 3.1.9 Изменение масштаба изображений

Если по каким-то причинам у изображения поверхности или кривой установлен неправильный горизонтальный или вертикальный масштаб, Вы можете исправить его. Для этого выберите команду меню View/ Resolution... . Команда доступна, если окно, с которым Вы работаете, — изображение поверхности, гистограмма, сечение или кривая. Если команда Resolution... выполнена для поверхности, на которой нет измеренного расстояния, появится диалоговое окно, показанное на рис. 3.4(a).

В этом окне Вы можете указать новые единицы измерения по вертикали и горизонтали — для этого предназначены два поля Units. В поле Size Z указывается перепад высот на

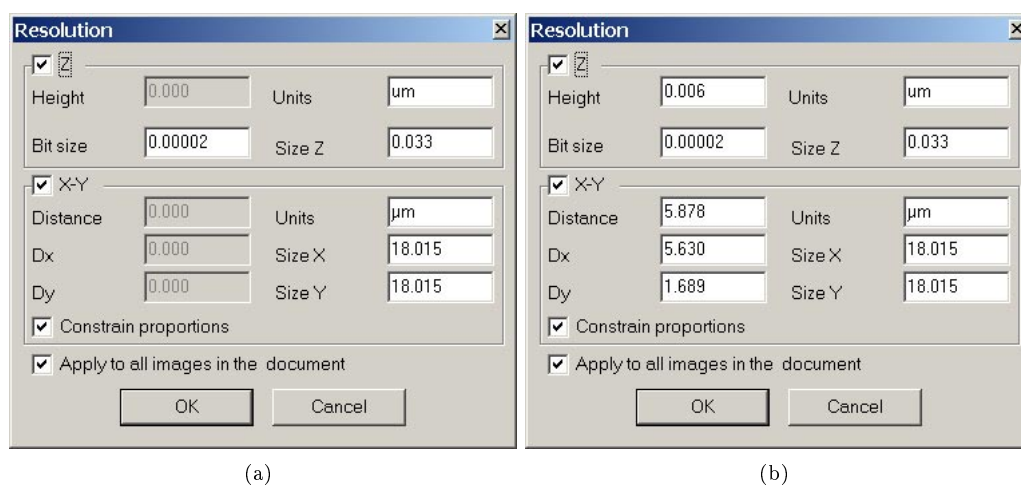


Рис. 3.4. Окна для изменения масштаба изображений поверхностей

поверхности.

Более подробно остановимся на поле Bit size. В формате файлов ФемтоСкан Онлайн значения по оси Z хранятся в целых числах размером в два байта. Для перевода целых чисел в реальные значения используются коэффициенты. Если Вы открываете файл другого формата, в котором высота хранится не в двух байтах, программа при открытии преобразует данные в свой двухбайтовый формат. В поле Bit size указывается высота, соответствующая одному биту из указанных двух байт формата ФемтоСкан Онлайн.

В полях Size X и Size Y указываются горизонтальные размеры изображения. Если отмечена опция Constrain proportions, то отношение размеров изображения по X и по Y останется каким было, в противном случае вы сможете менять размеры по этим двум осям независимо. Если отмечено Apply to all images in the document, то масштаб будет одинаково меняться на всех изображениях файла, а если эти слова не отмечены, изменения будут происходить только с выбранным изображением.

Некоторые поля в окне на рис. 3.4(a) недоступны для изменения. Они могут быть доступны, когда на поверхности измерено некоторое расстояние, или команда Resolution... выполнена для сечения, кривой или гистограммы.

Окно, показанное на рис. 3.4(b), появилось при выполнении команды Resolution... для сечения. В этом окне в поле Height указывается высота некоторого объекта. Для сечения или кривой этим объектом будет разность высот между метками на штриховых линиях (раздел 3.5.2), для гистограммы — разность высот между штриховыми линиями (раздел 3.7.4). В поле Distance указывается расстояние между штриховыми линиями на сечении, кривой или измеренное расстояние на поверхности (раздел 3.5.3), а в полях Dx и Dy — x- и y-проекции этого расстояния.

Если Вы меняете только горизонтальное (вертикальное) разрешение, оставляйте неотмеченной метку Z (X-Y), чтобы избежать смены вертикального (горизонтального) разрешения.

## 3.2 Переключение в полноэкранный режим


Все окна с графическими изображениями можно просматривать в полноэкранном режиме. Для перехода в полноэкранный режим нужно нажать комбинацию клавиш **Ctrl-F** или выбрать команду меню **View/ Full Screen**. Выход из полноэкранного режима осуществляется повторным нажатием клавиш **Ctrl-F**, либо **Esc**, либо при смене выбранного окна (при переходе в другое приложение по клавишам **Alt-Tab** или при активации другого окна, например опций изображения).


## 3.3 Получение изображений с других устройств


С помощью программы **ФемтоСкан Онлайн** можно получать изображения от сканеров и видеокамер.



### 3.3.1 Видеокамеры

Программа позволяет видеть то, что снимает видеокамера, записывать видео-файлы и извлекать отдельные кадры, которые потом можно будет обрабатывать.

Для начала процесса достаточно выбрать команду меню **File/ Capture.../ Video** или нажать кнопку , при этом на экране появится окно, где будет показываться видеосъемка. Для выбора видеоустройства и настройки других параметров, таких как кодек, используемый при записи видео, частота съятия кадров, а также настройки, которые предоставляет драйвер видеоустройства, необходимо нажать правую кнопку мыши на видео-окне.

Чтобы получить текущий кадр как рисунок, с которым можно работать, выберите команду меню **Video/ Capture frame** или нажмите кнопку . После этого появится новое окно, где будет показан кадр. Полученный рисунок будет содержать два подизображения с растровым рисунком **BMP** и файлом **SPM**, в программе можно обрабатывать только второе подизображение.

Кроме отдельных кадров, можно получать рисунки, являющиеся результатами усреднения нескольких кадров. Для этого предназначена команда меню **Video/ Capture multiple frames** и кнопка . После выбора такой команды появится окошко, где нужно указать интервал между усредняемыми кадрами и их количество. По нажатию кнопки **Start** в этом окошке, начинается выборка кадров и их усреднение. Усредненное изображение будет выводиться в формате **SPM**. Перед началом преобразования появится окно **Bitmap conversion options**, показанное на рис. 3.5, в котором можно будет настроить параметры преобразования. При преобразовании цвета в высоту, программа будет делать высоту пропорциональной сумме интенсивностей трех компонент цвета с весами, указанными в этом окне. Если отмечено поле **Invert Image**, программа будет считать рисунок негативом, и вычислять высоту соответствующим образом. После нажатия кнопки **Convert** преобразование будет завершено, полученное изображение становится доступным для обработки.

Для записи видео выберите команду меню **Video/ Record** или нажмите кнопку . Для остановки записи выберите команду меню **Video/ Stop** или нажмите кнопку . Имя файла, в который будет производиться запись, и путь к нему устанавливается в опциях, вызываемых по правой кнопке мыши.

Для восстановления исходных размеров видео-окна выберите команду меню **Video/ Restore original size**.

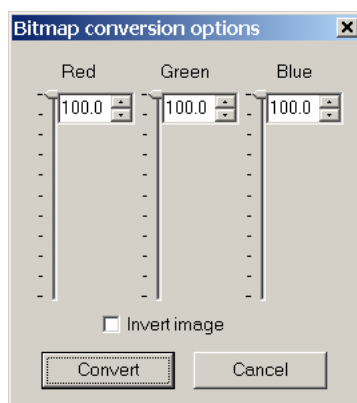


Рис. 3.5. Окно для указания параметров преобразования растрового рисунка в SPM-изображение

### 3.3.2 Сканеры

Перед получением изображений, необходимо указать программе на нужный сканер. Для этого запустите команду меню **File/ Capture.../ TWAIN.../ Select Source...** и в появившемся окошке выберите нужное устройство.


Теперь можно выбирать команду **Acquire...**, находящуюся в том же меню. По этой команде запускается программа сканирования, которая установлена на вашем компьютере для управления выбранным сканером. После успешного сканирования, в программе **ФемтоСкан Онлайн** появится окно с полученным изображением, причем формат изображения — растровый рисунок. Как сделать изображение доступным для дальнейшей обработки написано в предыдущем разделе.

## 3.4 Работа с палитрой

Вид изображения во многом зависит от выбора соответствия цвета и высоты — палитры. В программе существует несколько заранее созданных цветовых палитр, а также пользователю предоставляется возможность создавать свои собственные палитры. Если изображения палитры на панели инструментов нет, то его можно вызвать, поставив галочку в меню **View/ Toolbars** напротив **Scale**. Выбор текущей палитры осуществляется нажатием правой клавиши мыши на изображении палитры — в ответ появляется выпадающее меню со списком палитр.

Командой **Custom** выпадающего меню вызывается окно создания новой палитры (рис. 3.6). В этом окне Вы можете покомпонентно задать отображение цветов на шкалу вертикальных значений точек изображения. Кнопка **“Smooth”** позволяет сглаживать нарисованную цветовую кривую. Палитры можно сохранять — кнопка **“Save”**, а потом считывать сохраненные — команда **“Load”**. После нажатия на кнопку **“Ok”** созданная палитра становится текущей.

В нижней части меню, выпадающего при нажатии правой клавишей мыши на палитру, можно выбрать режим масштабирования палитры.

В режиме **Fixed scale** на изображении палитры на панели инструментов выводятся две перемещаемые планки. Палитра будет в этом случае отображаться на поддиапазон возможных значений, соответствующий расстоянию между планками. При перемещении планок на палитре выводятся три числа — это ширины трех полос в пикселах. Если в меню **View** напротив **Auto Refresh** стоит отметка, то при перемещении планок активное изображение будет автоматически обновляться. Для обновления изображения вручную нажмите кнопку  или

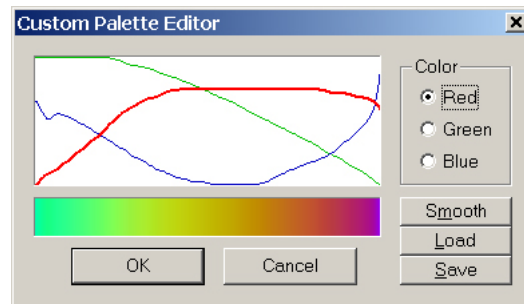



Рис. 3.6. Работа с палитрой

выберите команду меню View/ Refresh. При двойном щелчке на палитру она растягивается от минимума до максимума текущего изображения. Другие изображения можно перерисовать в этой же шкале, если нажать на кнопку . Если единицы измерения вертикальной шкалы изображения не совпадают с единицами измерения изображения, установленного двойным щелчком по палитре, то для такого изображения палитра будет растянута на половину возможного диапазона данных.

Если в настройках изображения (окно Preferences, вызываемое командой View/Preferences) шкала Z настроена в относительных единицах, то шкала будет отображаться от минимума данных. Если настроены абсолютные единицы, то шкала будет отображаться в абсолютных координатах.

В режиме Autoscaling палитра будет автоматически растягиваться на диапазон от минимального до максимального значений, содержащихся в изображении (рис. 3.7(a)).

В режиме Per-line Autoscaling палитра изменяется для каждой строки изображения - она будет растягиваться на диапазон от минимального до максимального значений, содержащихся в изображении (рис. 3.7(b)).

В режиме Per-line Autoscaling with Planefit палитра растягивается на каждую строку изображения, как и в предыдущем случае, но при этом каждая строка предварительно выравнивается - из нее вычитается средний наклон. Получающееся в результате изображение является наиболее контрастным (рис. 3.7).

Если Вы выбрали какую-то палитру, то она будет использоваться для всех открываемых изображений, а также для всех уже открытых при их обновлении. Такое поведение можно изменить, если для какого-то изображения поставить галочку в меню View/ Remember Palette. В этом случае изменение палитры, когда выбрано какое-то другое изображение, не отразится на палитре данного. Кроме того, если изображение было сохранено с отмеченными словами Remember Palette, то при его открытии в дальнейшем, оно откроется с сохраненной палитрой.

### 3.5 Режимы курсора

В этом разделе, как и в разделах 3.6 и 3.7, рассказывается о действиях, предназначенных для работы с поверхностями. Для обработки одномерных изображений они недоступны.

При нажатии правой клавишей мыши на поле изображения появляется выпадающее меню. В его первом разделе задается текущий режим курсора (отмечен галочкой). Для изменения режима курсора просто выберите новую строчку меню. Также режим курсора можно поменять с помощью нажатия одной из кнопок, расположенных в левой части каждого окна с изображением.

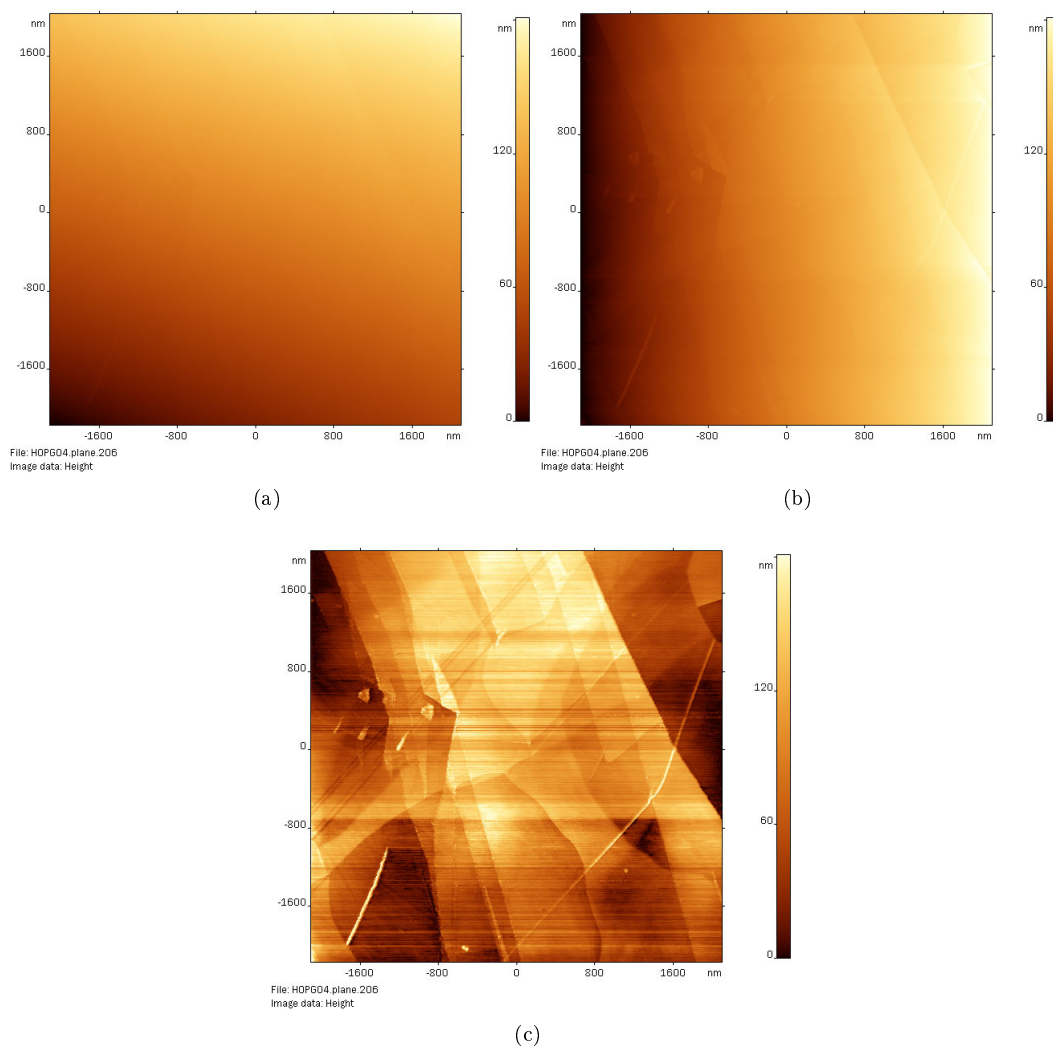


Рис. 3.7. Различные режимы автомасштабирования палиры

### 3.5.1 Выделение участков поверхности

По умолчанию всегда включен режим курсора Selection. В этом режиме Вы можете выделять участки поверхности для их последующей обработки. Существует возможность выделения прямоугольных и эллиптических участков, а также изолиний (т.е. линий постоянной высоты). По умолчанию включен режим выделения прямоугольных областей. Изменить режим выделения можно во всплывающем меню, которое возникнет при повторном нажатии на режим курсора Selection.

В каждом режиме выделения можно выделять несколько участков, для этого, помимо удержания левой кнопки мыши, нужно нажать клавишу Ctrl (рис. 3.8). Также возможно вычитать из участка участок, удерживая клавишу Alt, и передвигать выделенную область, удерживая клавишу Shift. Если начать вычитать выделение при отсутствии выделения, то автоматически получается инвертированная область выделения - как если бы изначально было выделено все изображение.

В режиме выделения изолиний на экран выводится информация о последней выделенной изолинии: ее длина, а если изолиния оказалась замкнутой, то и ограниченная ею площадь.

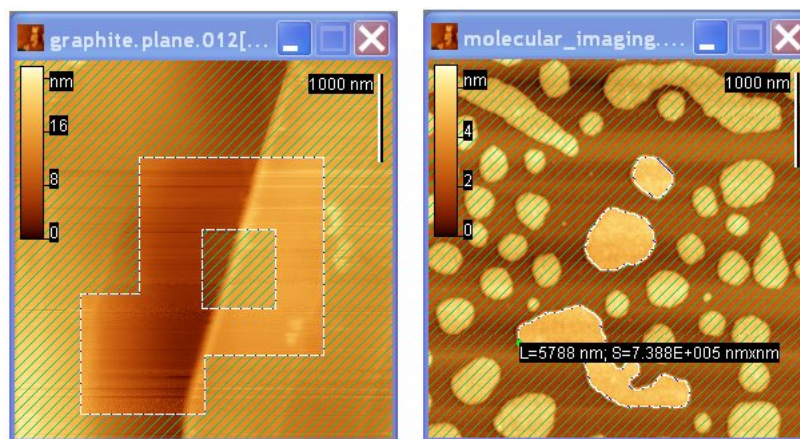


Рис. 3.8. Выделение участков.

### 3.5.2 Сечения

В режиме Section Вы можете строить сечения поверхности. Сечения рекомендуется строить на изображениях, содержащих данные о высоте (Height). Для выполнения операции нажмите левой клавишей мыши в точке, которая будет началом линии сечения, и не отпуская мышь, проведите линию сечения. После того, как клавиша мыши будет отпущена, будет построена линия сечения и появится окно, содержащее профиль поверхности вдоль этой линии (рис. 3.9). Если файл содержит несколько изображений, то линия сечения появится и на других изображениях.

Одновременно с сечением можно увидеть и его спектр. Для этого нажмите на сечение правой кнопкой мыши или выберите команду меню View/Options... и в появившемся окне отметьте Show Spectrum. Красным цветом в поле спектра нарисован спектр мощности, а серым — спектр фазы.

По краям окна сечения находятся две штриховые линии, передвигая которые (с помощью левой клавиши мыши), Вы можете измерять расстояния и высоты на построенном профиле.



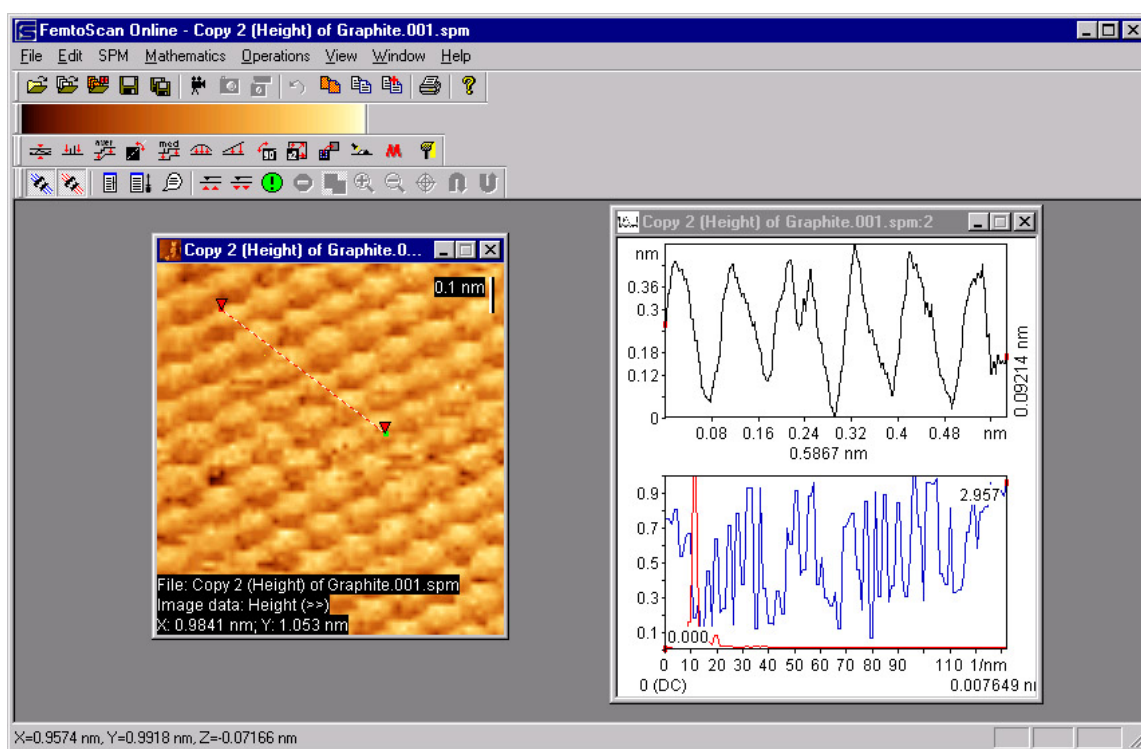


Рис. 3.9. Построение сечений.

Одновременно с перемещением этих линий на первоначальном изображении перемещаются два треугольных курсора, соответствующие положению линий. Нажав правой клавишей мыши на поле сечения, в меню параметров Вы можете изменить характер величин, рассчитываемых для участков кривых между метками, по горизонтали и вертикали (по горизонтали может вычисляться расстояние между метками, контурная длина, интеграл или площадь под участком кривой; по вертикали может вычисляться расстояние между крайними точками или угол наклона соединяющего их отрезка). На изображении спектра сечения Вы, с помощью таких же линий, можете получать значения мощности и фазы.

В меню View/Options... можно задавать режим построения сечений по горизонтальной и вертикальной оси. Для горизонтальной оси можно установить режим Fixed Width или Fixed Scale. В первом случае при изменении размеров окна сечения будут меняться и размеры самого сечения. Во втором случае ширину сечения изменить будет нельзя.

Для вертикальной оси сечения можно выбрать режим Auto, при этом масштаб по вертикальной оси будет выбран так, чтобы профиль полностью заполнял рамку сечения. В режиме Fixed можно указать размер вертикальной шкалы.

Точки привязки сечения можно перемещать по окну изображения поверхности, при этом автоматически изменяется содержимое окна сечения.

### 3.5.3 Измерение расстояний

Режим Distance позволяет измерять расстояния на поверхности изображения. Расстояния измеряются в проекции на плоскость X-Y, без учета расстояния по вертикали (по оси Z). Измеренная величина выводится рядом с построенной линией.

### 3.5.4 Измерение углов

В режиме Angle производится измерение углов между двумя отрезками. Сначала строится первый отрезок, а затем второй. При этом, когда вы указали первый конец отрезка и, удерживая нажатой левую кнопку мыши, двигаете его второй конец, в левом нижнем углу окна программы показывается, какой угол отрезок образует с горизонталью.

### 3.5.5 Расстановка меток

В режиме Marks производится расстановка меток на изображении. Вид меток определяется в меню View/ Marks Style. Если выбрано поле Numbered, то возле каждой метки будет выводиться ее порядковый номер. Метки могут выводиться в виде стрелочек (Arrow-like), либо в виде галочек (V-like). Удалить метку можно, наведя на нее курсор до появления красного креста (только в режиме Marks), или можно удалить все метки, выбрав команду меню View/ Clear/ Marks (в любом режиме). При переключении режима курсора метки сохраняются. Метки можно перемещать при нажатой клавише Shift.

### 3.5.6 Построение кривых

Режим Curve дает Вам возможность измерять длины кривых. Для этого просто расставьте точки вдоль измеряемой кривой — ее длина будет подсчитана автоматически (рис. 3.10). Чтобы удалить кривую, наведите курсор на ее начало (отмечено зеленым квадратом) и нажмите левую клавишу мыши. Если Вы нажмете на какую-либо другую из расставленных точек, то она будет удалена из кривой, предшествующая ей и последующая точки соединятся.

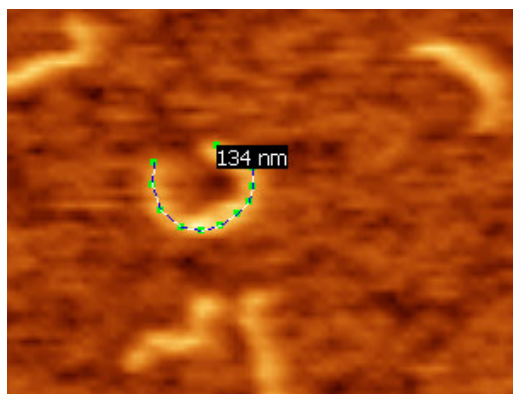


Рис. 3.10. Измерение длин кривых.

Для добавления новой точки между двумя существующими подведите курсор к отрезку, соединяющему их, и нажмите левую кнопку мыши. При нажатой клавише Shift точки кривой можно перемещать.

Можно построить одновременно несколько кривых. Для того, чтобы начать отмечать новую кривую, а не продолжать старую, при нажатии левой кнопки мыши удерживайте нажатой клавишу Ctrl.

Все построенные кривые можно удалить командой меню View/ Clear/ Curve. Также каждую кривую может быть преобразована в сечение с помощью команды меню Operations/ Convert Curve to Section.


### 3.5.7 Выделение строк

В режиме Line Selection возможно построение сечений вдоль всей строки сканирования. Нажмите на нужную строку — строка окажется выделенной, и будет построено ее сечение с указанием номера строки, считая от нижнего края. Выделенную строку можно двигать, пользуясь клавишами “↑” и “↓” на клавиатуре. В том случае, если на изображении присутствует строка с плохим профилем, ее можно удалить командой меню Line/ Smooth . В результате выполнения этой команды выбранная строка заменяется средним значением двух соседних строк. Команды меню Line/ Replace to Upper и Line/ Replace to Lower заменяют выбранную строку на соседнюю сверху или снизу.

### 3.5.8 Выделение столбцов

В режиме Column Selection возможно построение сечений вдоль вертикальных линий на изображении — столбцов. Нажмите на нужный столбец — он окажется выделенным, и будет построено его сечение с указанием номера столбца, считая от левого края. Выделенный столбец можно двигать, пользуясь клавишами “←” и “→” на клавиатуре. В том случае, если на изображении присутствует столбец с плохим профилем, его можно удалить командой меню Line/ Smooth . В результате выполнения этой команды выбранный столбец заменяется средним значением двух соседних столбцов. Команды меню Line/ Replace to Upper и Line/ Replace to Lower заменяют выбранный столбец на соседний слева и справа соответственно.

### 3.5.9 Выделение протяженных объектов

В режиме Lengthy Objects (кнопка ) возможно выделить протяженные объекты. При подведении курсора к одному из концов протяженного объекта и нажатии на левую кнопку мыши, появляется точка и очерчивается контур объекта (рис. 3.11). Не отпуская левую кнопку мыши нужно провести курсор вдоль контура объекта до его конца и отпустить левую кнопку мыши, при этом вдоль контура, начиная с первой нажатой точки будет построена кривая, состоящая из множества соединенных друг с другом отрезков (рис. 3.11). Работа с выделенными таким образом объектами аналогична работе с кривыми (см. параграф 3.5.6).

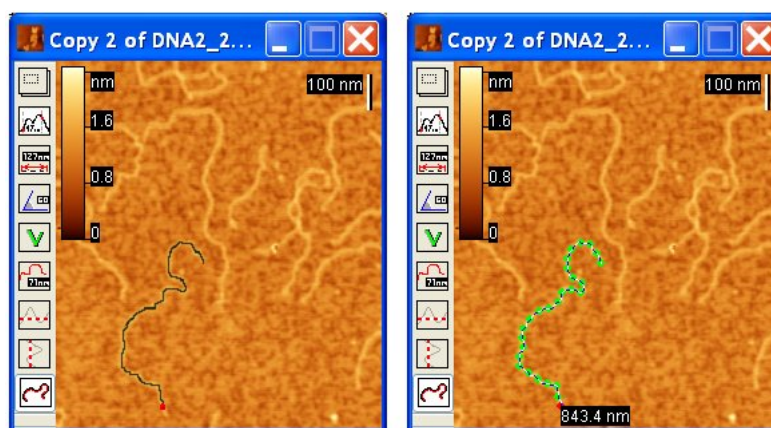






Рис. 3.11. Выделение протяженных объектов.

## 3.6 Функции обработки данных (меню Mathematics)

В программе реализован широкий набор различных математических функций обработки и анализа данных. Эти функции расположены в двух меню — Mathematics и Operations. Разделение функций между меню довольно условно. Команды меню Mathematics служат, в основном, для корректировки данных, а в меню Operations расположены, главным образом, функции анализа данных. В этом разделе рассматриваются команды меню Mathematics. Все команды данного раздела доступны также по нажатию правой кнопки мыши на изображении.

### 3.6.1 Использование макрокоманд

Создавать макросы и управлять ими можно с помощью команды меню Mathematics/ Macros... После выполнения этой команды появляется окно Macros с несколькими панелями (рис. 3.12). На левой панели показан набор возможных команд и кнопки, присвоенные им на панели инструментов. Перетаскивая их мышью на правую панель, вы формируете макрокоманду с именем, которое высвечивается над панелью (например, New Macro). Порядок команд можно менять, опять же, с помощью мыши. Если Вы нажмете на кнопку , текущий макрос будет удален. В верхней строчке высвечивается имя макроса, присвоенного кнопке  на панели инструментов. Выбрать редактируемый макрос (если их у вас уже несколько) можно с помощью выпадающего меню. Редактируемый макрос можно привязать к панели инструментов, нажав кнопку . Созданные макросы помещаются в меню Mathematics в самом низу после разделителя. Первый из них присвоен кнопке  на панели инструментов.

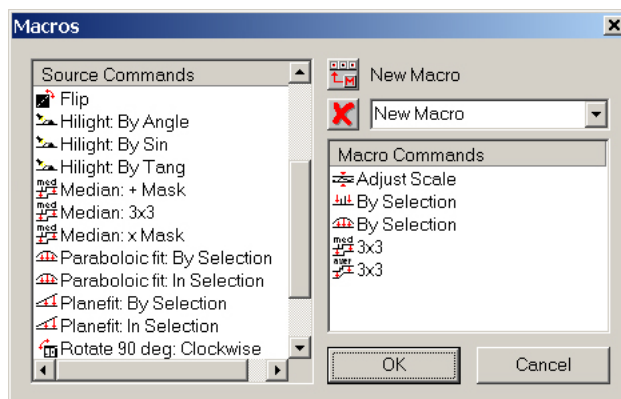




Рис. 3.12. Окно управления макрокомандами.

### 3.6.2 Обрезание изображений

Если на изображении выделена некоторая область, то с помощью команды Обрезать (Crop) или кнопки  изображение может быть обрезано по границам прямоугольника, описанного вокруг выделенной области.

### 3.6.3 Инвертирование

С помощью команды Invert (кнопка ) можно изменить рельеф изображения, а именно, возвышенности заменить на углубления и наоборот, т.е. при выполнении функции изменится знак координат поверхности относительно среднего уровня (см. рис.3.13).

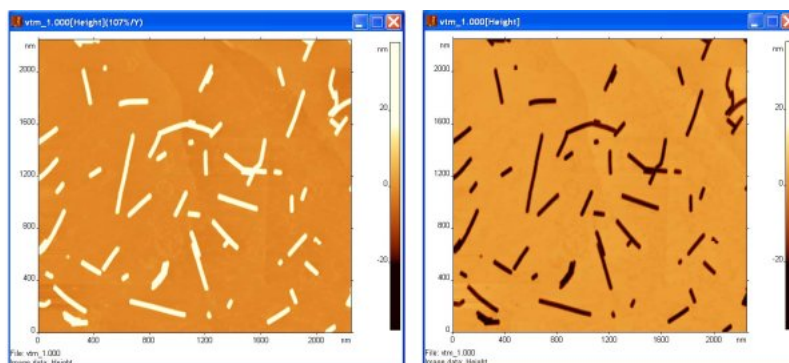




Рис. 3.13. Изображение до (слева) и после (справа) инвертирования


### 3.6.4 Оптимизация шкалы

Функция Оптимизировать шкалу (Adjust Scale) (кнопка ) используется для масштабирования значений изображения по вертикали во избежание ошибок округления и переполнения при дальнейшей обработке. После применения этой функции минимальное значение точек изображения становится равно -16384, максимальное +16383. Коэффициенты для преобразования целых значений в реальные величины уточняются соответствующим образом.

### 3.6.5 Усреднение


Усреднение выполняется командой Average или нажатием кнопки  на панели инструментов. Размер матрицы усреднения может быть установлен в появляющемся при вызове меню параметров (можно выбрать матрицы 3×3, 5×5 и т.д.).

### 3.6.6 Увеличение резкости


Увеличение резкости осуществляется командой Увеличить резкость (Sharpen) или с помощью кнопки . При увеличении резкости подчеркиваются различия между цветами смежных пикселей и выделяются незаметные детали. В ядре резкости центральный коэффициент больше 1, а окружен он отрицательными числами. Таким образом увеличивается любой существующий контраст между цветом пикселя и цветами его соседей. При обработке каждого пикселя в изображении используется ядро резкости размером 3×3. Красная, зеленая и синяя цветовые составляющие обрабатываются отдельно и позже объединяются, чтобы сформировать 24-битное значение цвета. Отрицательные веса вокруг центра ядра увеличивают контраст между центральным пикселем и соседями. Конечное изображение более четкое чем оригинал. Процесс увеличения резкости повышает существующий контраст между пикселями. При повторной обработке изображения четкость может увеличиться еще больше. В данной функции используется матрица 3×3 вида:

$$A = \begin{vmatrix} -1/8 & -1/8 & -1/8 \\ -1/8 & 16/8 & -1/8 \\ -1/8 & -1/8 & -1/8 \end{vmatrix}$$


### 3.6.7 Транспонирование изображение

В случае, если Вы снимали изображения одного участка поверхности в двух различных направлениях (по X и по Y), то совместить Вы их сможете только с помощью зеркального отображения. Команда Транспонировать изображение (Flip) (кнопка ) выполняет зеркальное отображение картинки относительно оси X=Y.



### 3.6.8 Фильтр Виннера

Данная функция предназначена для уничтожения добавочного шума, существующего на изображении, с помощью метода фильтрации Виннера с маской произвольного размера. Для вызова функции вызовите команду Фильтр Виннера (Wiener filter) или нажмите кнопку  на панели управления.


### 3.6.9 Медианная фильтрация

Эта операция выполняется командой Медианный фильтр (Median) или с помощью кнопки . В качестве маски может выступать квадрат произвольной ширины.


### 3.6.10 Медианная фильтрация маской X

Эта операция выполняется командой Медиана X (Median X) или с помощью кнопки . В качестве маски используется конфигурация вида  размером 3×3.

### 3.6.11 Медианная фильтрация маской Крест

Эта операция выполняется командой Медианный фильтр Крест (Median Cross) или с помощью кнопки . В качестве маски используется конфигурация вида  $\oplus$  размером  $3 \times 3$ .

### 3.6.12 Выделение зерен

Выделение зерен осуществляется с помощью команды Выделить зерна (кнопка ). Данная функция применяется для определения границ между выступающими объектами (частицами). Поверхность лучше применять состоящую из "зерен" (рис. 3.14).

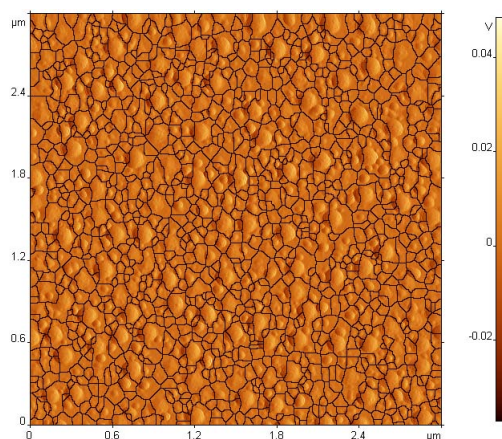


Рис. 3.14. Выделение зерен.

При применении этой функции выходит окно настроек (рис.3.15)

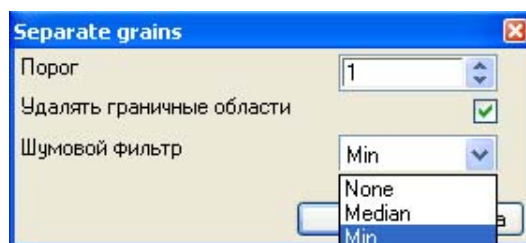



Рис. 3.15. Окно настройки при выделении зерен.

В этом окне настроек задается порог для пороговой фильтрации, значение шумового фильтра, где:

1. None – убирает шумовой фильтр;
2. Median – медианная фильтрация, т.е. берется среднее значение;
3. Min – берется минимальное значение.

После фильтрации остаются черные области, которые уменьшаются с каждой стороны относительно объекта, до тех пор, пока они не уменьшатся до 1-го пиксела, т.е. не станут границей объекта.

### 3.6.13 Выделение границ

Данная функция осуществляется с помощью команды Выделить границы или кнопки . Функция предназначена для выделения границ объектов методом Канни (см. рис. edgedet). Функция подходит для изображений с крупными объектами, имеющими четкие границы.

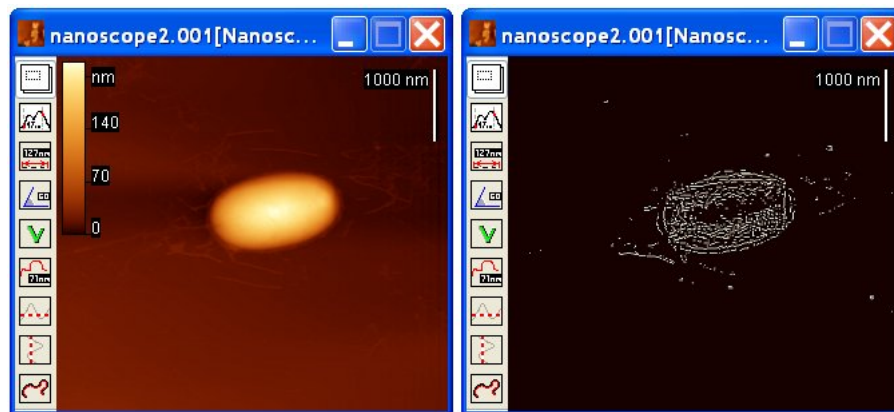



Рис. 3.16. Выделение границ (слева - до выполнения, справа - после выполнения).

При вызове функции появляется окно параметров, в котором необходимо настроить величину порогового значения и уровень шума в долях от 1.

### 3.6.14 Поворот

Поворот изображения осуществляется командой Поворот (кнопка ). При этом выходит окно (рис. 3.17) в котором можно выбрать:

1. 90 clocwise – поворот на 90 градусов по часовой стрелке;
2. 90 cownterclockwise – поворот изображения на 90 градусов против часовой стрелки;
3. on angel – поворот изображения на заданный пользователем угол.

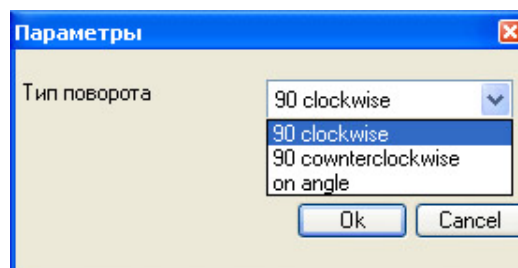



Рис. 3.17. Поворот изображения.

Если изображение имело прямоугольный вид, его размеры изменятся соответствующим образом.



### 3.6.15 Выравнивание

Возможно вычитание двух типов поверхностей — поверхности первого порядка (плоскости), и поверхности второго порядка. Выравнивание осуществляется по команде Выравнивание (Fitting) в меню Mathematics или при нажатии на кнопку , которая находится на панели инструментов.

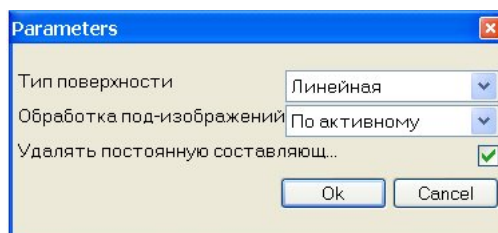


Рис. 3.18. Окно параметров.

При выполнении этой команды появляется окно параметров (рис. 3.18), в котором можно указать тип вычитаемой поверхности: Linear — для поверхности первого порядка (плоскости) или Parabolic — для поверхности второго порядка. Так же возможно выбрать обработку подизображений:

1. Раздельно — для каждого подизображения высчитывается средняя поверхность методом наименьших квадратов по отдельности;
2. По активному — рассчитывается для активного подизображения, а вычитается из всех;
3. По всем — рассчитываются средние поверхности по всем подизображениям и усредняются.

Если напротив "Удалять постоянную составляющую" стоит галочка то убирается нулевое смещение.


### 3.6.16 Сплайн

Программа ФемтоСкан Онлайн может строить билинейные кубические сплайны для поверхностей и производить вычитание сплайнов из поверхностей. Чтобы вычесть сплайн из поверхности или ее части, выберите команду Выравнивание сплайном (BSpline fitting). Для построения сплайна поверхность разбивается на прямоугольники, стороны которых указываются в диалоговом окне, появляющемся при вызове команды. Для каждого прямоугольника ищется среднее значение высоты поверхности и сплайн строится по центральным точкам прямоугольников, где значениями по оси Z считаются вычисленные средние высоты.

В диалоговом окне также можно выбрать область, по которой будет вычисляться сплайн. Для поля Обработка под-изображений может быть выбрано значение:

1. Separate — в этом случае для каждого подизображения в отдельности высчитывается средняя поверхность методом наименьших квадратов ;
2. Use Active — в этом случае расчет средней поверхности ведется для активного подизображения, которая затем вычитается из всех.

### 3.6.17 Сглаживание участка поверхности

Сглаживание участка поверхности осуществляется командой Сгладить участок (Smooth Region) (кнопка ). Необходимо выделить прямоугольный участок с каким-то периметром, в котором присутствуют ненужные выступы. На этот периметр, как бы, натягивается пленка, убирая все выступы на выделенном участке (рис. 3.19).

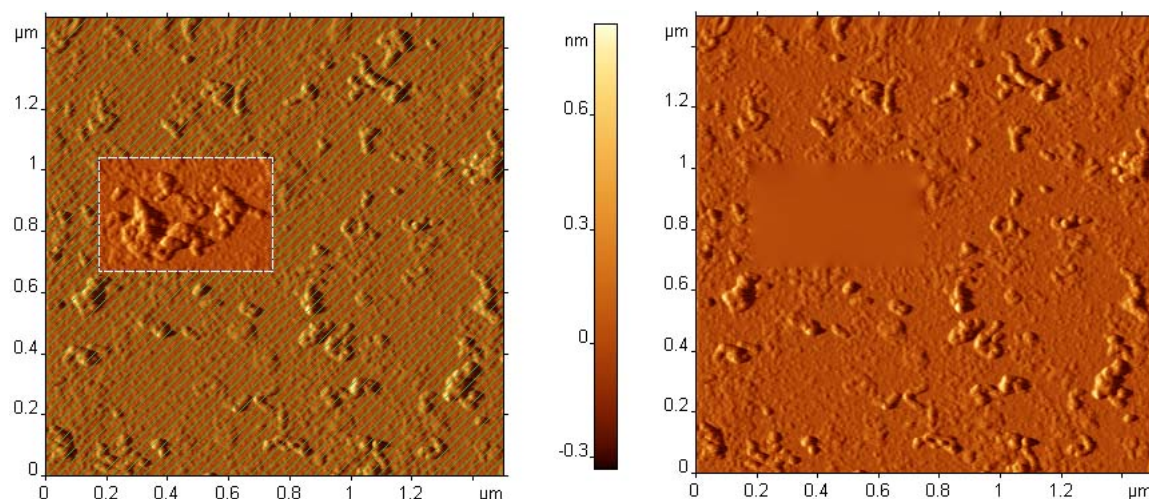




Рис. 3.19. Сглаживание участка поверхности.

Формула, которой описывается эта операция, имеет вид:


$$Z(x, y) = \frac{\sum_{p=0}^P \frac{z_p}{r_p^2}}{\sum_{p=0}^P \frac{1}{r_p^2}},$$

где  $r_p$  – расстояние от точки с координатой (x,y) до каждой точки периметра,  $z_p$  – высота.

### 3.6.18 Усреднение по строкам

Подробное описание этой функции дано в первой части руководства. Усреднение по строкам может быть выполнено по всему изображению (меню Mathematics/ Усреднение по строкам (Adjust Scan)/ Все изображение(Whole Image) или кнопка ) или по области, не включающей выделенную (меню Mathematics/ Усреднение по строкам (Adjust Scan)/ Исключая выбранное(Excluding Selection) или кнопка ).

### 3.6.19 Исправление искажений

Функция исправления искажений (Dewarp) (кнопка ) предназначена для корректировки изображения исходя из информации о калибровке.

При вызове функции появляется окно с параметрами, в котором необходимо задать имя файла с коэффициентами, описывающими гистерезис. Создание файла с коэффициентами описано в разделе 3.7.8. Файл должен содержать данные для каждой из осей изображения, в простейшем случае файл будет иметь два раздела: **x-calibration** и **y-calibration-slow**. Стандартная последовательность действий выглядит следующим образом:

1. Получают изображение калибровочной решетки, периодические структуры лучше выровнять вдоль осей сканирования, скорость сканирования должна соответствовать скорости при которой были получены изображения.
2. Строятся две калибровочные кривые на изображении решетки, с известными расстояниями между узлами кривых (рис. 3.42). По каждой из кривых создается файл калибровки. При записи файла можно указывать одно и то же имя файла для обоих кривых – данные будут сохранены в нужную секцию, в зависимости от ориентации кривой.

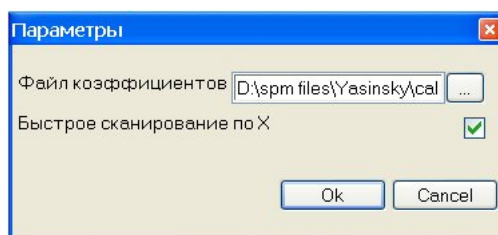


Рис. 3.20. Настройка параметров для исправления искажений.

3. Сохраненный файл устанавливается в качестве файла коэффициентов в окне параметров (рис. 3.20).

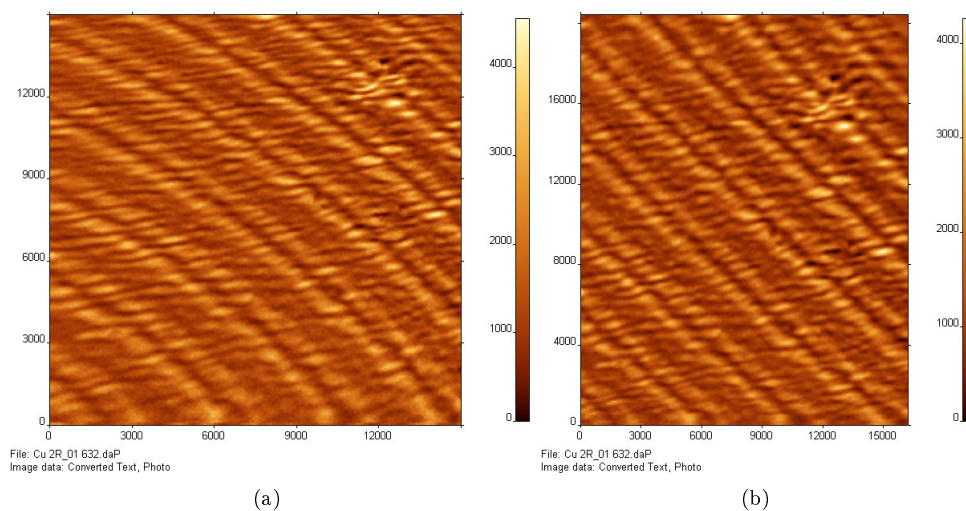


Рис. 3.21. Устранение искажений.

4. Выполняется корректировка искажений на интересующих изображениях командой Исправление искажений (Dewarp) (рис. 3.21).

### 3.6.20 Линейные фильтры

В программе ФемтоСкан Онлайн реализованы три фильтра из класса линейных: градиентный, фильтр Лапласа и фильтр Гаусса.

### Градиент

В общем виде производная по оси  $x$  (оси  $y$ ) для дискретной функции представима в виде  $h_x \otimes S$  ( $h_y \otimes S$ ), где  $\otimes$  обозначает свертку двух функций,  $h_x$  и  $h_y$  — некоторые дискретные функции (матрицы),  $S$  — дифференцируемая функция. Зная производные поверхности по двум осям, нетрудно найти модуль градиента как корень из суммы квадратов. В программе доступны три варианта вычисления градиента: разность, Превит и Собель, выбрать один из которых можно в диалоговом окне, появляющемся при вызове команды. Эти варианты различаются матрицами  $h_x$  и  $h_y$ . В таблице 3.3 приведены используемые матрицы. В диалоговом окне также можно выбрать способ вычисления комбинации между величинами, вычисляемыми по двум осям. Это могут быть: горизонтальная или вертикальная проекция, проекция на вектор, либо амплитуда.

	$h_x$	$h_y$
Разность	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$
Превит	$\frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$
Собель	$\frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$

Таблица 3.3. Матрицы, используемые при вычислении первых производных

### Лаплас

Фильтр Laplace вычисляет лапласиан следующим образом:  $Laplace(S) = h \otimes S$ , где

$$h = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

### Гаусс

Фильтр Гаусса использует следующую матрицу для вычисления свертки:

$$h = \begin{pmatrix} 1/16 & 2/16 & 1/16 \\ 2/16 & 4/16 & 2/16 \\ 1/16 & 2/16 & 1/16 \end{pmatrix}$$

#### 3.6.21 Морфологические фильтры

Все морфологические фильтры основаны на двух операциях — *dilation* и *erosion*. Они определяются следующим образом. Пусть у нас есть два произвольных набора точек в дискретном двумерном пространстве:  $\{(m, n)\}$  и  $\{(p, q)\}$ . На этих наборах определим функции  $A(m, n)$  и  $B(m, n)$  — будем называть их объектами  $A$  и  $B$ . Теперь определим операцию *dilation* (расширение):

Фильтр	Описание
Smooth	$Smooth(S, F) = Close(Open(S, F), F) = E(D(D(E(S, F), F), F), F)$
Contrast	$Contrast(m, n) = \frac{D(m, n) - E(m, n)}{65535} \cdot (S(m, n) - E(m, n))$ — здесь при вычислении <i>dilation</i> и <i>erosion</i> применяется структурный элемент $F$ .
Min	В качестве значения точки берется минимальное из значений самой точки и восьми прилегающих. В терминах морфологических операций — это операция <i>erosion</i> со структурным элементом $3 \times 3$ , где все значения равны нулю.
Max	В качестве значения точки берется максимальное из значений самой точки и восьми прилегающих. В терминах морфологических операций — это операция <i>dilation</i> со структурным элементом $3 \times 3$ , где все значения равны нулю.
Dilate	Операция <i>dilation</i> со структурным элементом $F$ .
Erode	Операция <i>erosion</i> со структурным элементом $F$ .
Open	$Open = D(E(S, F), F)$
Close	$Close = E(D(S, F), F)$
Gradient	$Gradient = \frac{1}{2}(D(S, F) - E(S, F))$
Laplace	$Laplace = \frac{1}{2}[(D(S, F) - S) - (S - E(S, F))] = \frac{1}{2}[D(S, F) + E(S, F) - 2 \cdot S]$

Таблица 3.4. Стандартные морфологические фильтры, реализованные в программе ФемтоСкан Онлайн

$$D(A, B)(r, s) = \max_{(j, k) \in B} (A(r - j, s - k) + B(j, k))$$

Операция *erosion* (разъедание) выглядит так:

$$E(A, B)(r, s) = \min_{(j, k) \in B} (A(r + j, s + k) - B(j, k))$$

В приведенных выражениях  $A$  принято называть изображением, а  $B$  — структурным элементом. В реализованных в программе ФемтоСкан Онлайн морфологических операциях роль изображения играет поверхность (будем обозначать ее  $S$ ), а роль структурного элемента — чаще всего объект  $F$ , приведенный ниже.

$$F = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 3 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Здесь значение 3 соответствует координате  $(0, 0)$ .

Стандартные морфологические фильтры, имеющиеся в программе ФемтоСкан Онлайн, и их описания, приведены в таблице 3.4.

Кроме обычных морфологических фильтров, в программе есть фильтры, специально придуманные для сканирующей зондовой микроскопии. Подробно о работе этих фильтров написано в статьях J.S.Villarrubia, Surface Science 321 (1994) 287-300 и J.S.Villarrubia, J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 102 (1997) 425.

При запуске команды Non-distorting tip производится расчет максимально тупой формы иглы, которая при сканировании не вносила искажений в полученное изображение (или выбранную часть изображения). Другими словами Вы считаете, что данное изображение — точная копия поверхности и ищите такую иглу, которая могла обеспечить такое удачное сканирование.

Фильтр Blind tip estimation тоже вычисляет максимально тупую форму иглы, с помощью которой могло быть получено изображение (или часть изображения). Но теперь отсутствует требование неискаженности поверхности. В данном случае на форму иглы действует ограничение другого рода. Понятно, что если производится сканирование иглой с некоторым радиусом кривизны, то на изображении не появятся выпуклые объекты с большей кривизной. Таким образом выпуклости на поверхности ограничивают форму иглы.

При запуске фильтра Blind tip estimation появляется окошко с индикатором прогресса. В ходе работы фильтра производятся итерации, и ожидается, что результат следующей итерации будет отличаться от предыдущей. Если в результате очередной итерации никаких изменений в форме иглы не произошло, работа фильтра завершается. Вы можете завершить работу фильтра и не дожидаясь пока он сделает это сам — для этого нажмите Cansel в окошке запущенного фильтра. При этом результатом работы фильтра будет результат итераций, которую он выполнял при нажатии кнопки Cansel.

По команде Continue blind tip estimation... появляется окно со списком всех открытых в программе изображений поверхностей. Выберите то окно, где уже находится оценка формы иглы и нажмите Select. Алгоритм данного фильтра тот же, что и у фильтра Blind tip estimation, с той только разницей что нулевой итерацией будет не плоскость, а выбранная оценка.

По команде Erode tip... появляется окно, в котором нужно из всех открытых в программе изображений выбрать оценку формы иглы. Работа фильтра заключается в выполнении операции *erosion* над данным изображением с выбранной иглой в качестве структурного элемента.

### 3.6.22 Корреляции между изображениями

Существует несколько способов определения степени соответствия между двумя изображениями. Один из них — построение корреляционной функции  $R_{tx}(r, c)$  для изображения и шаблона:

$$R_{tx}(r, c) = \sum_{i=0}^{tpR-1} \sum_{j=0}^{tpC-1} t(i, j) \cdot x(i + r - \frac{tpR}{2}, j + c - \frac{tpC}{2}),$$

где  $x(r, c)$ ,  $t(i, j)$  — значения анализируемых функций, например высоты, в точках  $(r, c)$  изображения и  $(i, j)$  шаблона,  $tpR$  и  $tpC$  — ширина и длина шаблона. Чем большее значение принимает корреляционная функция в точке, тем полнее вблизи нее совпадает изображение с шаблоном.

В программе ФемтоСкан Онлайн вычисляется нормализованная корреляционная функция  $\rho_{tx}(r, c)$ :

$$\rho_{tx}(r, c) = \frac{R_{tx}(r, c)}{\sqrt{R_{xx}(r, c) \cdot R_{tt}(\frac{tpR}{2}, \frac{tpC}{2})}},$$

где  $R_{xx}$  и  $R_{tt}$  являются автокорреляционными функциями изображения и шаблона соответственно:

$$R_{xx}(r, c) = \sum_{i=r-\frac{tpR-1}{2}}^{r+\frac{tpR-1}{2}} \sum_{j=c-\frac{tpC-1}{2}}^{c+\frac{tpC-1}{2}} x^2(i, j),$$

$$R_{tt}(\frac{tpR}{2}, \frac{tpC}{2}) = \sum_{i=0}^{tpR-1} \sum_{j=0}^{tpC-1} t^2(i, j).$$

При вычислениях корреляционной функции значения  $x$  и  $t$  в точках, выходящих за пределы изображения и шаблона, приравниваются нулю.

Чтобы сравнить два изображения, выберите команду Correlation/ Cross-correlation, при этом окно одного из изображений должно быть активным. Из предложенного программой списка выберите шаблон (второе изображение). Корреляционная функция будет построена в новом окне, размеры матрицы со значениями функции будут совпадать с размерами матрицы, задающей первое изображение.

Для установления корреляций в пределах одного изображения выберите команду Correlation/ Self-correlation. В этом случае шаблон совпадает с изображением.

### 3.6.23 Анализ шероховатости поверхности

По команде Roughness вычисляется набор параметров, характеризующих шероховатость поверхности в выделенном участке поверхности, или во всем изображении. Подробно об этих параметрах рассказано в приложении F. При вызове функции появляется диалоговое окно (см. рис. 3.22), в котором могут быть настроены некоторые опции для дальнейшего анализа.

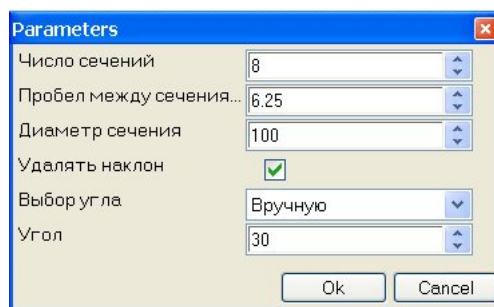


Рис. 3.22. Окно настройки параметров анализа шероховатости

### 3.6.24 Пороговая фильтрация

С помощью команды Threshold вызывается окошко, показанное на рис. 3.23. В этом окошке Вы можете задать пороговый уровень (в долях от максимальной высоты изображения), и преобразовать части поверхности, оказавшиеся выше и ниже него. Если напротив поля Установить выше стоит галочка, то значению высоты во всех точках, где оно превышало значение порогового уровня, будет присвоено значение, равное максимальной высоте на поверхности, либо высоте порогового уровня, в зависимости от выбранного. Аналогично, если галочка стоит напротив поля Установить ниже.

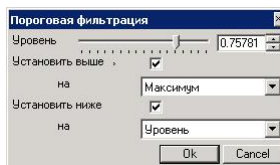



Рис. 3.23. Окно выбора порогового уровня

### 3.6.25 Высота по интерференционной картине

Данная функция предназначена для измерения крутизны ростового холмика на поверхности кристалла по интерференционной картине (кнопка ).

Для начала необходимо выбрать отрезок или отрезки, наклон которых будет находиться далее. Для этого может быть использован режим курсора Section или Distance (о работе с режимами курсора модно узнать в разделе 3.5).

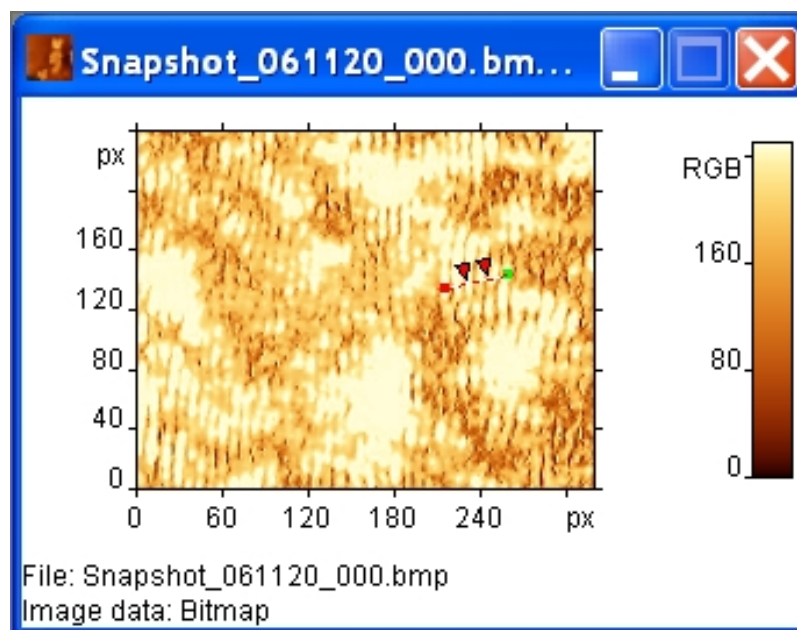


Рис. 3.24. Выделение отрезка на интерференционной картине.

Затем в меню Mathematics необходимо вызвать функцию Высота по интерференционной картине (Mathematics/Height from interference figure). При вызове функции появится меню с параметрами (рис. 3.25), в котором задается длина волны падающего потока и порог, задающий минимальную величину амплитуды, которая еще возможна для одного периода. Значение порога задается в процентах от максимальной амплитуды.

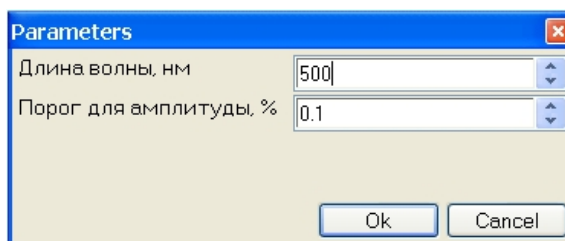



Рис. 3.25. Параметры функции.

Первоначально вычисления будут произведены с параметрами по умолчанию. Если они не соответствуют данному случаю, то их следует заменить. Результаты выводятся в виде таблицы (рис. 3.26), в которую записывается величина падения высоты на выбранном



отрезке (Drop) и расстояние между концами отрезка (Distance). Если это возможно для данных единиц измерения, то вычисляется угол наклона кристалла на выбранном участке.




N	Drop,nm	Distance,px
1	1989.58	44.911

Рис. 3.26. Результаты вычислений.

### 3.7 Анализ данных (Меню Operations)

Команды, собранные в меню Operations (все они доступны также по нажатию правой кнопки мыши на изображении), позволяют получать разного рода информацию о поверхности, складывать изображения, делать изображения более наглядными.

#### 3.7.1 Дублирование изображений

Изображения поверхности всегда можно продублировать командой Duplicate или нажатием на кнопку , которая находится на панели инструментов. Если на изображении выделена некоторая область, то продублирован будет именно этот участок, иначе — все изображение.

#### 3.7.2 Построение 3х-мерных изображений

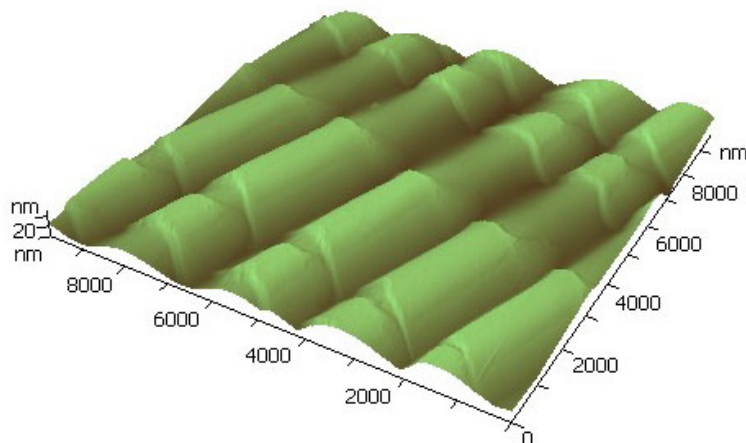



Рис. 3.27. Трехмерное изображение.

Программа позволяет строить трехмерные изображения поверхности. Чтобы сделать это, выберите команду Build 3D View (кнопка ). С получившимся 3х-мерным объектом можно производить множество операций.

- Шкалы на всех координатных осях можно показывать, а можно убрать. За это отвечает галочка, поставленная или не поставленная напротив слова Оси в Дополнительных элементах в окне настроек Parameters (рис 3.28), которое вызывается командой View/Preferences... или при нажатии правой кнопкой мыши на 3-х мерном изображении.

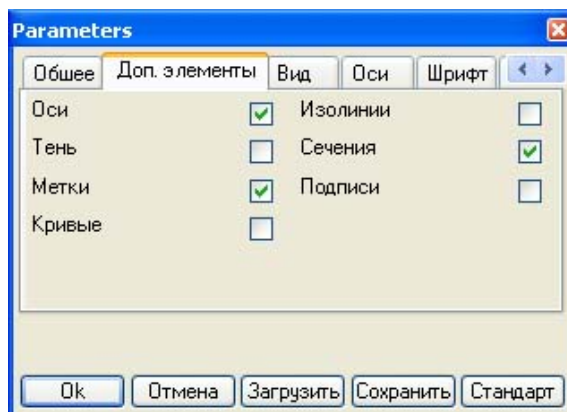



Рис. 3.28. Окно настроек Parameters

- Можно показывать или скрывать построенные на поверхности метки, кривые, изолинии и сечения. Для того чтобы эти элементы были показаны, в окне настроек Parameters (рис 3.28) должны быть отмечены Метки, Кривые и Сечения соответственно. Если отмечено Подписи, то будут показаны подписи к показываемым элементам. Когда вы на обычном изображении поверхности, для которого было построено трехмерное, построили новые элементы, эти элементы не будут автоматически отображены на трехмерном изображении. Для того чтобы обновить трехмерное изображение, нажмите на него левой кнопкой мыши в течение секунды, а затем отпустите. Обновление можно так же выполнить нажатием кнопки .
- Поверхность можно поворачивать вокруг вертикальной оси. Для этого нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее нажатой, двигайте мышь вправо или влево.
- Для приближения и удаления поверхности удерживая нажатой левую кнопку мыши, перемещайте курсор вниз или вверх.
- Можно изменить масштаб изображения по вертикали (оси Z). Для этого, при нажатой кнопке Z, опять же нужно нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, двигать мышь вверх и вниз.
- Поверхность можно поворачивать вокруг горизонтальной оси, лежащей в плоскости экрана (ось Y), и вокруг оси, перпендикулярной плоскости экрана (ось X). Для этого, удерживая нажатыми Ctrl и левую кнопку мыши, двигайте мышь вверх-вниз и влево-вправо.
- Изображение можно сдвигать мышью влево-вправо и вверх-вниз при нажатой клавише Shift.
- Если в меню View отмечено слово Highlighted, то поверхность оказывается освещенной. При этом есть возможность менять положение источника света, что может сильно

сказаться на наглядности изображения. Удерживая нажатыми Shift, Ctrl и левую кнопку мыши, Вы, двигая мышью, будете двигать и источник света.

- В программе предусмотрена возможность не только управлять положением источника света, но и менять оптические свойства поверхности. Без использования этой возможности можно легко обойтись, поэтому ее описание было расположено в приложении Е.

### Запись пролета над трехмерной поверхностью

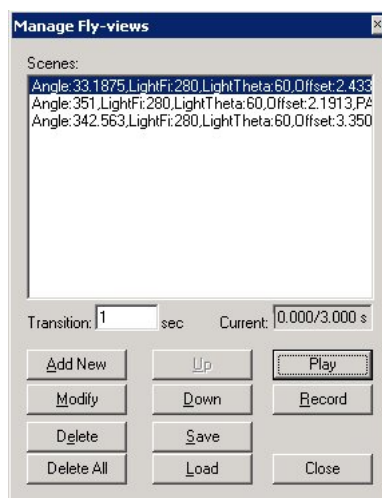


Рис. 3.29. Окно управления сценами.

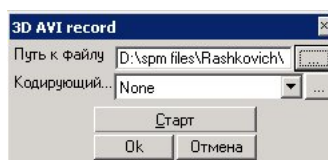


Рис. 3.30. Окно записи видеосюжета.

Программа позволяет запоминать различные сцены просмотра поверхности и записывать перемещение камеры между сценами. В результате получается красочный фильм, наглядно представляющий форму поверхности. Для создания фильмов используется диалог управления сценами, вызываемый командой меню View/Manage Fly-views (рис. 3.29). Процесс создания происходит следующим образом:

1. Выбирается желаемый ракурс трехмерного изображения.
2. Выбранный ракурс запоминается нажатием на кнопку Add New.
3. Пункты 1 и 2 повторяются, пока не будет задан весь маршрут камеры.
4. Далее можно поменять сцены местами (кнопки Up и Down), удалить лишние сцены (кнопки Delete и Delete All), и изменить скорость перемещения камеры в поле

Transition. При нажатии на кнопку Modify текущие настройки будут записаны вместо выбранной сцены в списке сцен.

Список сцен можно сохранять в текстовый файл и считывать из него, таким образом возможно загружать ранее созданные сценарии пролета для новых изображений.

При нажатии на кнопку Play запускается режим предварительного просмотра с пониженным разрешением. При нажатии на кнопку Record появляется диалог записи видеосюжета (рис. 3.30, в котором можно задать имя записываемого файла, выбрать способ компрессии и настроить параметры сжатия изображения. При нажатии на кнопку Старт в диалоге записи начнется запись изображения в файл, текущий кадр будет показываться в окне предварительного просмотра.

### 3.7.3 Преобразование Фурье

Преобразование Фурье является мощным средством обработки и анализа изображений. Получить представление двумерного изображения в Фурье-пространстве можно с помощью команды Fourier. У полученного изображения можно менять контрастность — для этого в меню Fourier выберите один из трех вариантов команды Contrast: More (увеличение контрастности), Less (уменьшение) или Restore (восстанавливает исходную установку). Эти три варианта команды можно запустить и через меню, выпадающее по нажатию правой кнопки мыши на Фурье-изображении.

В окне Фурье-спектра можно выделять несколько произвольных областей — режим Selection или ставить метки — режим Marks. Для выбора режима нажмите на спектр правой кнопкой мыши. Чтобы удалить выделение, наведите на него курсор (при этом рядом с курсором появится красный крестик) и нажмите левую кнопку мыши.

Если Вы выделили какие-то области спектра, то можете обнулить их внутреннюю или внешнюю часть — для этого есть команды Zero Inner и Zero Outer, доступные по нажатию правой кнопки мыши, а также из меню Fourier. При этом происходящие изменения в Фурье-спектре сразу отражаются и на изображении поверхности.

В статусной строке главного окна программы Вы можете увидеть величины, соответствующие периодам и ненормированной интенсивности спектральной плотности в точке Фурье-плоскости, над которой находится в настоящее время курсор. Когда вы ставите метки в режиме Marks, то рядом с помеченной точкой выводится соответствующий период и интенсивность.

### 3.7.4 Построение гистограмм

После выполнения команды Histogram появляется окно, содержащее распределение точек поверхности по высотам. Перемещая штриховые вертикальные линии, Вы можете измерять относительную площадь выделенного участка гистограммы. По команде меню Histogram/Cutoff высота каждой точки, оказавшейся снаружи от вертикальных линий становится равной высоте, указанной соответствующей вертикальной линией.

### 3.7.5 Нахождение объектов

С помощью команды Enum Features на поверхности отыскиваются объекты, которые затем помечаются на изображении. Рис. 3.31 поясняет, что считается объектом. Для поверхности вычисляются средний уровень (Average level), среднее квадратичное отклонение (на рисунке — d) и максимальная высота (Maximum height). Затем сравниваются две плоскости — A и B. Плоскость A имеет высоту, среднюю между Average level и Maximum height. Плоскость B на

2d выше чем Average level. Плоскость, оказавшаяся ниже становится пороговой, и те части поверхности, которые оказываются выше нее, считаются объектами.

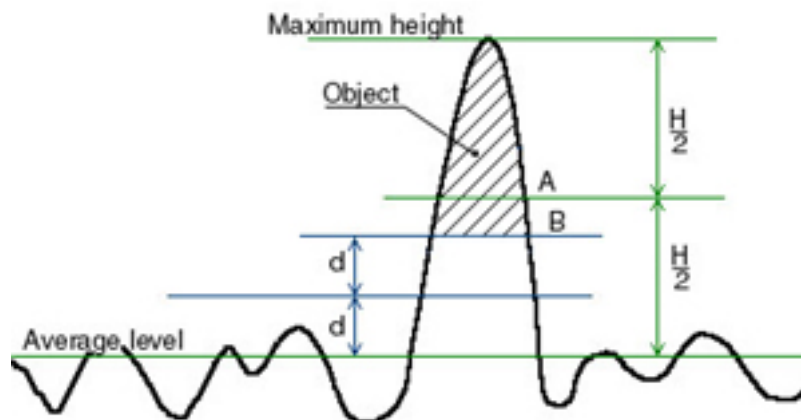


Рис. 3.31. Выделение объектов

По команде Enum Features на изображении появляются расставленные метки и возникает два новых окна: таблица со свойствами объектов, и гистограмма, на которой показаны объекты — их площади и количество.

Таблица со свойствами объектов содержит кроме номера объекта 8 колонок: Square (площадь), Perimeter (периметр), Volume (объем), RMS (дисперсия высоты объекта), Form Factor 1 (характеризует округлость объекта), Form Factor 2 (характеризует на сколько объект близок к своему скелету, т.е. на сколько он тонкий), H (высота), <H> (средняя высота). Можно сортировать объекты по любому свойству, нажимая на название колонки. При этом объекты перенумеровываются. В таблице можно выделить все объекты или несколько и скопировать их свойства в буфер обмена. Для выделения нескольких объектов нужно нажимать на них мышью, удерживая нажатой клавишу CTRL или SHIFT, а для копирования нажать CTRL+C или выполнить команду Copy Text из меню Edit.

В окне гистограммы можно двигать две вертикальные линии и, таким образом, проводить отбор объектов по площади. Если в окне Parameters (Рис. 3.31), которое появляется при нажатии на правую кнопку мыши в окне гистограммы, напротив надписи (в закладке Общее) Оставлять внутр... стоит галочка, то будут отобраны только объекты, внутренние к вертикальным линиям, если эту галочку убрать — то только внешние. В этом окне также возможно задавать тип маски в строке Тип маски:

1. None — отменяет маску и в результате остаются только метки указывающие на объект и его номер;
2. Mask — оставляет найденные объекты, а все что ниже порога удаляет;
3. Contour — изображение не изменяется, но у найденных объектов вычерчивается контур, цвет которого можно задавать в закладке Цвет контура;
4. Skeleton — изображение не меняется, но найденные объекты отмечаются каркасом.

В окне Parameters можно выбрать режим пороговой фильтрации в строке Режим:

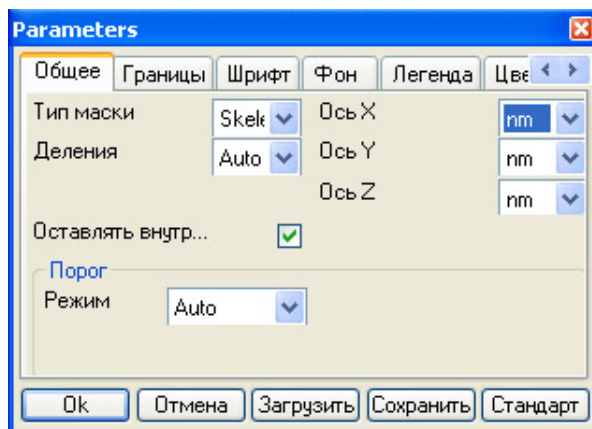


Рис. 3.32. Выделение объектов

1. Auto – пороговое значение рассчитывается автоматически;
2. Manual – пороговое значение задается в ручную, при этом выходит шкала на которой можно задать порог от 0 до 1.

Объекты, которые не оказались отобранными, можно. Для этого предназначена команда меню Features/ Remove filtered from image (объекты удаляются на изображении).

Команда меню Features/ Exclude filtered from histogram удаляет неотобранные объекты из гистограммы, оставляя их нетронутыми на поверхности.

По команде Profile average height из меню Features вычисляется средняя высота объектов.

Делается это следующим образом. Находится средняя высота поверхности без учета выбранных объектов. Затем для каждого объекта вычисляется его средняя высота, которая равна средней по строкам максимальной высоте (относительно нового среднего уровня).

После этого считается среднее значение между высотами всех объектов. Полученное значение и будет выведено на экран в нижнем правом углу изображения поверхности.

По команде Fill inner areas из меню Features не учитывается внутренняя часть объекта, если объект имеет форму кольца.

### 3.7.6 Ступенчатая структура поверхности

На поверхности кристаллов можно обнаружить ступеньки. Это связано с ростом кристалла слоями (рис.3.33). Каждый новый слой образует с предыдущим ступеньку. Постепенно слой растет, увеличивая площадь и ступенька передвигается. С помощью команды Find Steps можно описывать рост ступенек во времени. По этой команде открывается окошко (рис.3.34). Выбираем направление исследования: слева на право – если самая верхняя ступень слева, а нижняя справа, иначе справа налево.

Сканируем всегда одну строчку, а вертикальная развертка идет по времени.

Считается производная. Происходит свертка с ядром  $(1,0,-1)$  или  $(-1,0,1)$ , т.е. строка значений умножается на вектор  $(1,0,-1)$  для направления слева на право, или  $(-1,0,1)$  – справа налево. Операция осуществляется снизу вверх со строки, которая указывается в пункте „Начало ряда“, до строки – „Конец ряда“.

Для получившейся производной считаем среднеквадратичное отклонение — RMS (дисперсия высоты объекта).

Происходит пороговая фильтрация  $th = RMS \otimes x(\text{порог})$ , где  $x$  задается в строке „Порог“. То, что ниже порога мы не учитываем, а среди значений выше порога ищем локальные максимумы, присваивая 1 — если есть максимум, 0 — нет. Ширина окна для определения локальных максимумов задается в строке „Наклон“. Такую операцию делаем с несколькими первыми строками, количество которых задается в строке „Start rows“. Суммируем результат.

Для полученного ряда опять ищем локальные максимумы. В окрестности этих максимумов в первоначальных данных ищем максимум и это считается началом ступеньки. Поднимаемся на строку вверх и на ней ищем максимум в окрестности каждого максимума прошлой строки. Если максимума нет, то строка пропускается. Количество пропущенных строк для каждой ступени не должно превышать число, задаваемое в строке „Максимальный интервал“, иначе эта ступень обрывается. Если максимум для данной ступени в течении максимального интервала появился, то он соединяется прямой линией с предыдущим. Нажимаем кнопку ОК и для каждой ступеньки строится координатная функция — зависимость координаты ступеньки по  $X$  от времени по  $Y$  (рис.3.35). На этой зависимости передвигая вертикальную прямую мы получаем новый график горизонтального сечения поверхности. С помощью команды Remove trend line в меню Curve можно выровнять изображение текущего горизонтального сечения. По этой команде из нашей кривой вычитается линия Тренда (рис.3.36).

Для координатной функции можно сделать авто-корреляцию командой Auto-correlation в меню Curve (рис.3.37). А с помощью команды Structure function в меню Curve получим структурную функцию (рис.3.38), вычисляющуюся по следующей формуле:

$$S(\Delta t) = \langle [x(t) - x(t + \Delta t)]^2 \rangle. \quad (3.1)$$

Легко увидеть, что корреляционная и структурная функции симметричны (рис.3.37 и рис.3.38).

### 3.7.7 Преобразование кривых в сечения

Вы можете построить сечение поверхности по ломаной линии. Для этого надо в режиме построения кривых отметить на поверхности кривую (раздел 3.5.6), а затем выполнить команду Convert Curve to Section. Сечение будет выведено в новом окне.

### 3.7.8 Создание файла калибровки гистерезиса

Создание файла калибровки сводится к следующим действиям пользователя:

- На полученном изображении калибровочного образца последовательно с помощью ломаной отмечаются узловые точки с известным расстоянием друг от друга (для удобства построения кривой можно отметить опцию Cursor/ Snap to Maximum) (рис. 3.39)
- Выбрав команду Operations/ Create Calibration Curve, в появившемся окне увидим две колонки (рис. 3.40)  
В левой колонке обозначены параметры (длины отмеченных промежутков), в правой их значения, которые нужно установить, куда мы и вписываем известные нам точно расстояния между точками (к примеру период решетки).
- По предложению программы сохраняем файл калибровки в нужное нам место на диске.

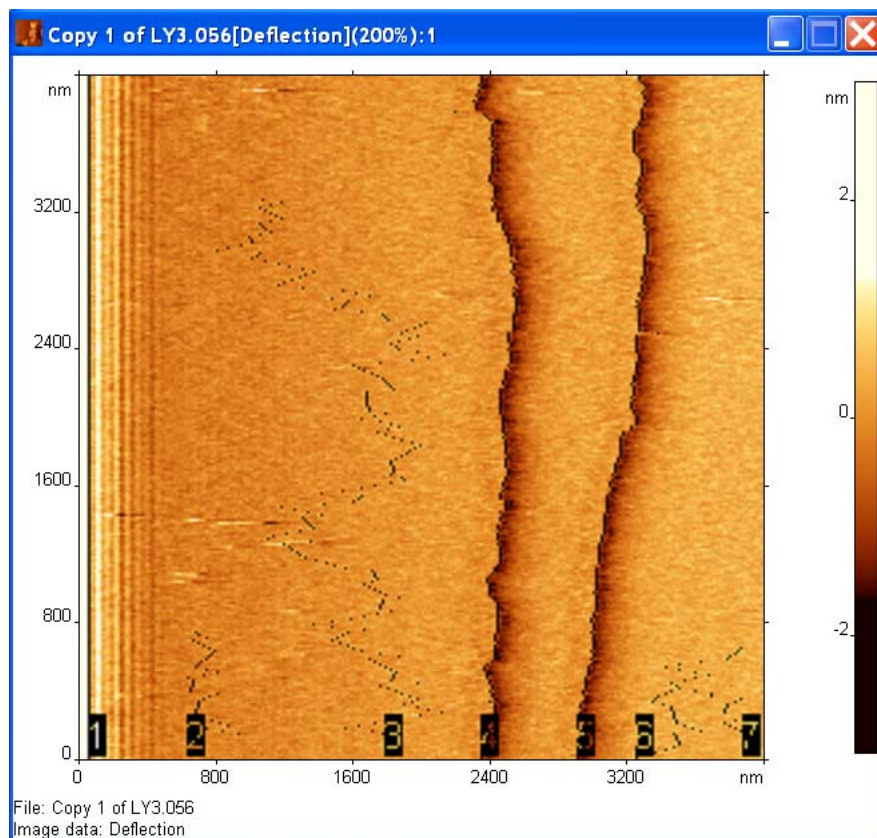


Рис. 3.33. Все ступеньки пронумерованы

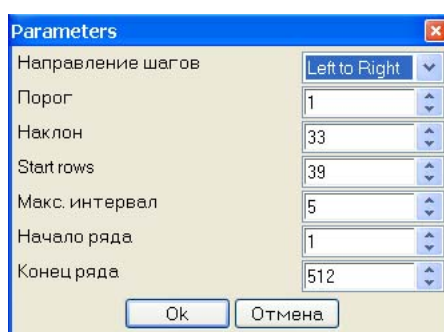


Рис. 3.34. Окно параметров расчета



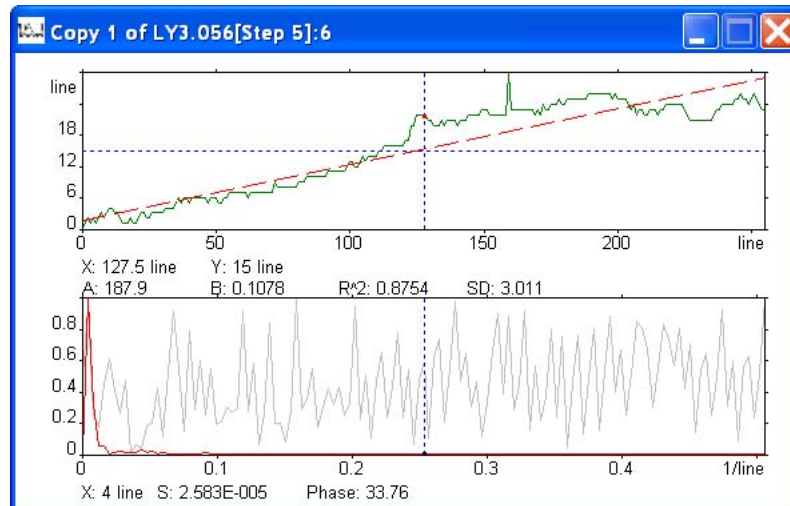


Рис. 3.35. Зависимость координаты ступеньки от времени для 5 ступеньки

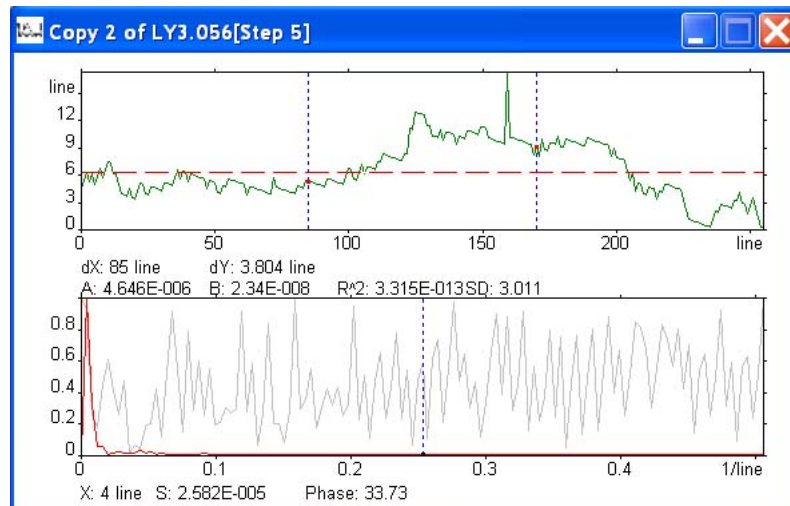


Рис. 3.36. Линия Тренда горизонтальна

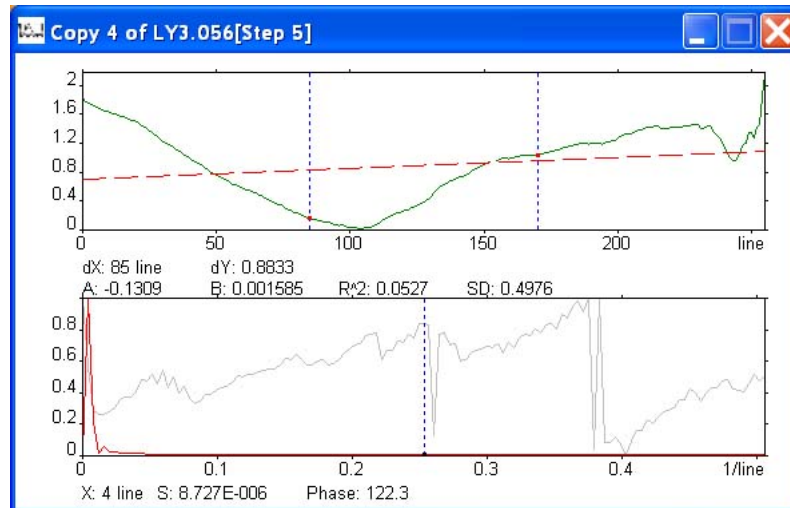


Рис. 3.37. Корреляционная функция

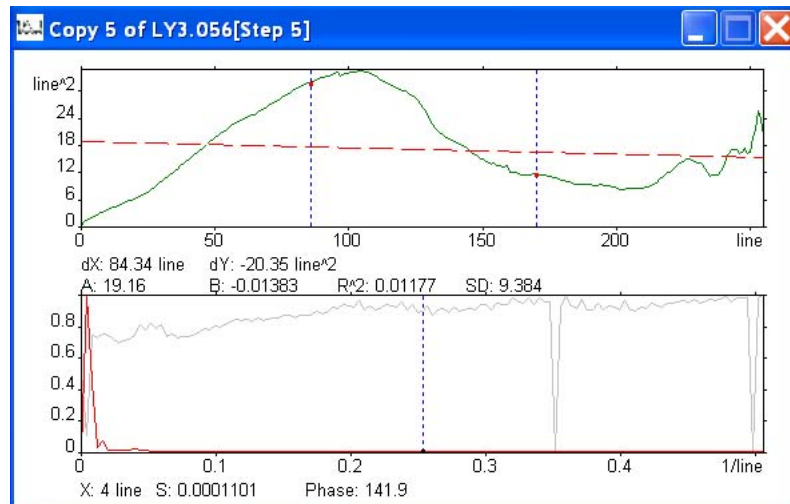


Рис. 3.38. Структурная функция

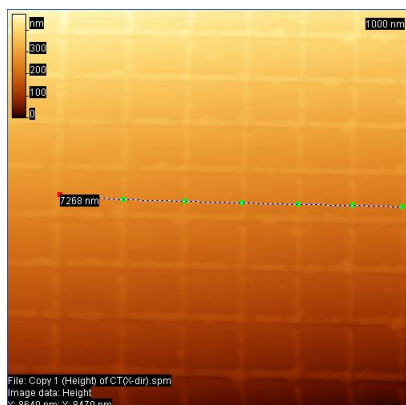


Рис. 3.39. Отсканированное изображение с отмеченными точками.

Calibration table	
Parameter	Value
D 1=1393.542 nm	1000
D 2=1326.707 nm	1000
D 3=1239.583 nm	1000
D 4=1173.188 nm	1122.15
D 5=1154.746 nm	1154.75
D 6=1053.633 nm	1053.63

OK Cancel

Рис. 3.40. Таблица для определения точек, необходимых для построения калибровочных графиков.

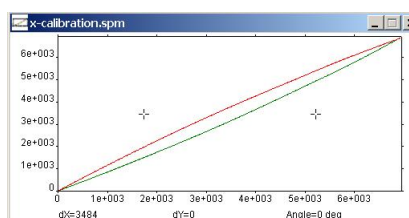


Рис. 3.41. Калибровочный график x-calibration.

- После этого программа строит две калибровочные кривые **x-calibration** и **y-calibration-slow** (для оси x и y соответственно) и выдает их на экран (рис. 3.41):

По оси абсцисс на графике отмечены проекции на ось X (или Y) точек ломаной отмеченной на полученном изображении, по оси ординат - истинные значения тех же точек. Строится график, отмеченный зеленой линией, а красная кривая получается его зеркальным отображением относительно прямой, являющейся биссектрисой угла, образованного осями координатной сетки, эта кривая используется для корректировки напряжения, управляющего пьезокерамическим манипулятором.

Есть одно замечание: если проекции точек построенной ломаной на ось y (или x) малы, что может произойти к примеру в том случае, если ломаная почти параллельна одной оси проецирования (достигается высокая точность) и перпендикулярна второй оси (возникает большая ошибка). В этом случае необходимо построить две кривые для быстрого и медленного направления сканирования (**x-calibration** и **y-calibration-slow**), для этого отмечаем на полученном изображении две кривые, так чтобы получились "хорошие" проекции как на одну так и на другую ось (см. рис. 3.42). Для того чтобы начать строить вторую кривую без привязки к первой необходимо, нажимая клавишу CTRL, отметить первую точку новой линии.

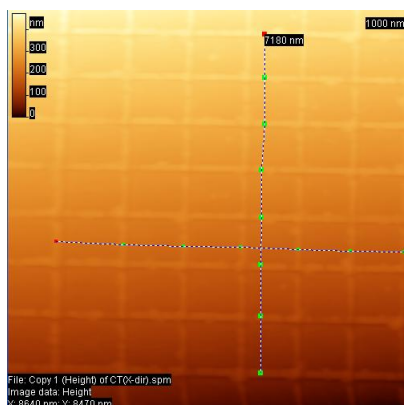


Рис. 3.42. Построение двух ломаных на одном изображении.

Программа автоматически сохранит данные для преимущественного направления. Для определения, сохранять данные или нет для конкретного направления, вычисляется проекция кривой на это направление, и если она в 3 раза меньше проекции на другое направление, то данные не сохраняются.

- Полученный файл используется в калибровке гистерезиса при конфигурировании сервера (см. приложение В).

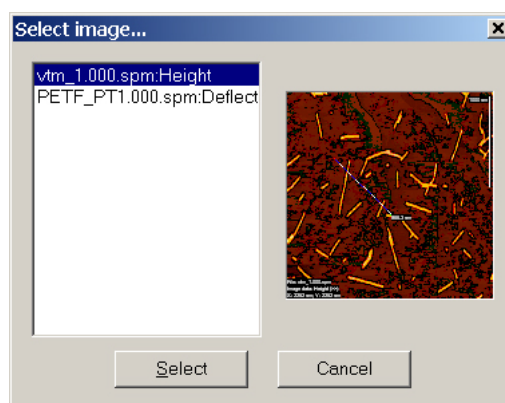
Полученный калибровочный файл можно использовать для исправления изображения только в одном направлении сканирования (описанный случай для X-direction). Для того чтобы получить калибровку гистерезиса в обоих направлениях сканирования, необходимо произвести все те же операции с изображением тестового образца отсканированного с Y-direction. Можно сохранять данные в файл с другим именем, и после этого объединить полученные файлы калибровки в один, а можно сразу сохранять данные в тот же файл - они запишутся в секции **x-calibration-slow** и **y-calibration**.

### 3.7.9 Вычисление ограниченного изолинией объема

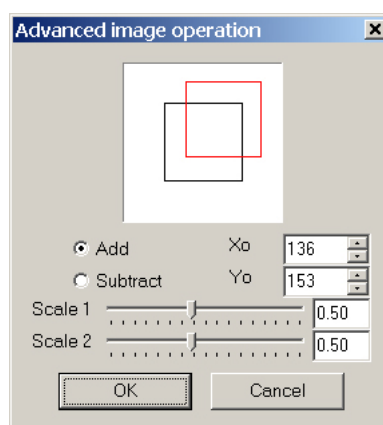
Если на изображении поверхности отмечена замкнутая изолиния, то есть возможность посчитать объем тела, которое изолиния “отрезает” от поверхности. Для этого предназначена команда Isoline Volume.

#### 3.7.10 Сложение и вычитание изображений

Команды меню Operations/ Image Operation/ Add, Subtract и Advanced позволяют складывать и вычитать изображения. При выборе одной из этих команд появляется окно выбора изображения (рис. 3.43(a)), которое будет прибавлено или вычтено из текущего изображения. Выбрав изображение, нажмите “Select”. Если выполнялась команда Add или Subtract, то сразу будет произведено сложение или, соответственно, вычитание изображений. При этом считается, что левые нижние углы изображений совпадают, а новая высота каждой точки будет получена как полусумма или полуразность высот на исходных изображениях.



(a) Выбор изображения.



(b) Окно сложения изображений с расширенными возможностями.

Рис. 3.43. Диалоги сложения и вычитания изображений

Если выполнялась команда Advanced, то появится еще одно окно (рис. 3.43(b)). Здесь можно

сдвигать красный прямоугольник (второе изображение) относительно черного (первое изображение) прямо на поле, где они нарисованы, а можно, что равносильно, изменять параметры  $X_0$  и  $Y_0$ , которые являются разностью координат (в пикселях) левых нижних углов изображений. Параметры  $Scale\ 1$  и  $Scale\ 2$  влияют на то, как будет считаться высота точек получаемого изображения. Соответствующая формула  $Z = (Scale1) \cdot Z_1 + (Scale2) \cdot Z_2$ . Обратите внимание, что по оси  $Z$  в разных изображениях могут откладываться разные величины. Помимо обычных единиц длины иногда могут быть отложены ток или напряжение. Складывать изображения, на которых показаны разные величины, очевидно, не имеет смысла.

### 3.7.11 Изменение разрешения

При выполнении команды Resample появляется диалоговое окно, показанное на рис. 3.44. В этом окне находятся две колонки полей — Original и Destination. Поля в колонке Original недоступны для редактирования и показывают значения, которые установлены на данный момент. В полях колонки Destination указываются новые значения.

Если Вы хотите изменить хранение значений по оси  $Z$ , поставьте галочку у  $Z\ Scale$  или  $Z\ Offset$ . О том, как хранятся данные о высоте в формате ФемтоСкан Онлайн написано в разделе 3.1.9. В поле Bit size указывается, какая высота приходится на один бит из двух байт, отведенных на хранение значения по высоте. Отличие поля Bit size окна Resample от поля Bit size окна Resolution (раздел 3.1.9) состоит в том, что в первом случае по значению в поле будут изменены целые двухбайтовые числа внутреннего представления данных, а во втором случае — коэффициент перевода этих целых чисел в значения по высоте.

В поле RMS указывается дисперсия высоты поверхности в битах.

В поле  $\langle Z \rangle$  указывается, на какую высоту во внутреннем представлении данных будет приходиться среднее значение высоты поверхности.

Для изменения количества точек в изображении служат поля Width и Height.

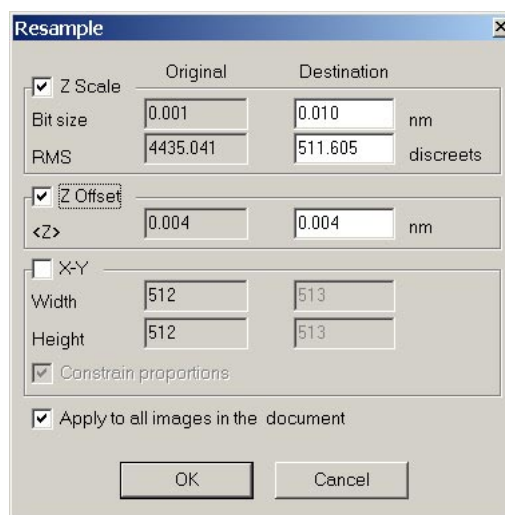



Рис. 3.44. Окно для изменение внутреннего представления данных


### 3.7.12 Вычисление площади участка поверхности

Если Вы выделили участок изображения, то с помощью команды Surface Area Вы можете получить площадь соответствующего участка поверхности. Рядом с выделением появляется надпись, где  $S$  — указанная площадь, а  $dS$  — разность этой площади и площади проекции участка на плоскость  $XY$ .

### 3.7.13 Подсветка

Подсветка изображения осуществляется командой Highlight в вариантах By Angle (по углу), By Sin (по синусу) и By Tang (по тангенсу). По сути, при выполнении одной из этих операций новый цвет точки будет определяться уже не ее высотой, а наклоном поверхности в данной точке (такого рода операции называют градиентными преобразованиями). Вариант команды определяет, с помощью какой функции угла наклона будет выбран новый цвет точек. Кнопка  соответствует варианту By Angle.

### 3.7.14 Удвоение изображения

Команда Redouble (кнопка ) увеличивает число точек в изображении или в выделенном участке и помещает результат в новое окно. Частота следования точек по направлениям  $X$ ,  $Y$  и диагоналям становится в два раза больше. Новые точки рассчитываются методом линейного сплайна.

## 3.8 Работа с кривыми

В программе ФемтоСкан Онлайн предусмотрена возможность работы с обычными и параметрическими кривыми. При выборе окна с данными сечения или силовой кривой появляется меню Curve. С помощью команд этого меню можно проводить обработку и анализ данных кривой.

### 3.8.1 Дифференцирование

Команда Differentiate выполняет дифференцирование данных путем свертки с ядром  $\{-0.5, 0.5\}$ . Для кривых, открытых из файла, операция производится над данными файла. Для сечений данные первоначального изображения (поверхности) не меняются.

### 3.8.2 Корреляция

Корреляционная функция вычисляется по формуле:

$$A(\Delta t) = \langle x(t) \cdot x(t + \Delta t) \rangle. \quad (3.2)$$

В меню Curve/Auto-Correlation корреляция выполняется, при выборе одного из пунктов Finite или Cyclic, где:

1. Finite — означает, что когда происходит наложении двух изображений, все что не входит в пересечение этих изображений заполняется нулями.
2. Cyclic — означает, что при наложении двух изображений заполнение областей не входящих в пересечение происходит циклически.

Подробнее об использовании корреляционной функции можно прочитать в разделе [3.7.6](#).

### 3.8.3 Структурная функция

Команда Structure function предназначена для вычисления структурной функции:

$$S(\Delta t) = \langle [x(t) - x(t + \Delta t)]^2 \rangle. \quad (3.3)$$

При вызове функции может быть выбран один из двух способов расчета – Finite или Cyclic, где:


1. Finite – означает, что когда происходит наложение двух изображений, все что не входит в пересечение этих изображений заполняется нулями.
2. Cyclic – означает, что при наложении двух изображений заполнение областей не входящих в пересечение происходит циклически.

Подробнее об использовании структурной функции можно прочитать в разделе 3.7.6.

### 3.8.4 Построение гистограммы

Команда Histogram строит гистограмму с распределением данных по вертикальной оси. Эту команду нельзя вызвать для сечений.


### 3.8.5 Копирование кривой

Кривая всегда может быть скопирована командой Duplicate или нажатием на кнопку , которая находится на панели инструментов. Если на кривой выделена некоторая область, то продублирован будет именно этот участок, иначе — вся кривая. Эта команда полезна для того, чтобы запомнить текущее сечение — при смещении точек сечения на изображении поверхности, копия не будет меняться.

### 3.8.6 Построение параметрической кривой

По двум существующим не параметрическим кривым  $Y1(X)$  и  $Y2(X)$  может быть построена одна параметрическая  $Y2(Y1)$ . Для этого при активном окне кривой  $Y2(X)$  необходимо выбрать команду Curve/ Select X curve... При этом на экране появится диалоговое окно со списком открытых на данный момент кривых. Выберите в этом окне кривую, которая будет выступать в качестве параметра при построении параметрической кривой, и нажмите кнопку Select. После этого параметрическая кривая будет построена в новом окне. Данная функция может пригодиться, например, если открыты два окна - с данными Deflection от времени, и данными Z-сенсора от времени. Выбрав Z-сенсор в качестве оси X для Deflection, будет построена зависимость Deflection от координаты Z.

### 3.8.7 Обрезание кривой


Если на кривой выделена некоторая область, то с помощью команды Обрезать(Crop) или кнопки  изображение может быть обрезано по границам выделенной области.

### 3.8.8 Усреднение

Команда Average выполняет усреднение данных окном шириной в 3 точки. Для кривых, открытых из файла, операция производится над данными файла. Для сечений данные первоначального изображения (поверхности) не меняются.



### 3.8.9 Инвертирование

С помощью команды Invert (кнопка ) можно зеркально отобразить кривую относительно горизонтальной оси (см. рис.3.45).

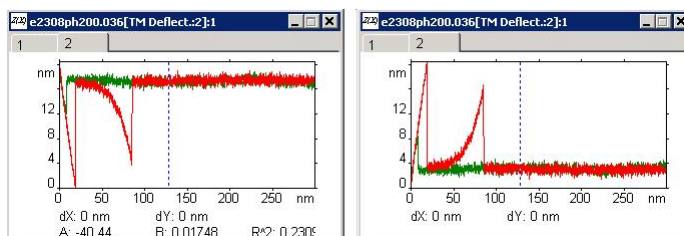




Рис. 3.45. Кривая до (слева) и после (справа) инвертирования

### 3.8.10 Увеличение резкости


Увеличение резкости осуществляется командой Увеличить резкость (Sharpen) или с помощью кнопки . При увеличении резкости выделяются незаметные детали. В ядре резкости центральный коэффициент больше 1, а окружен он отрицательными числами. Таким образом увеличивается любой существующий контраст между соседними точками кривой. При обработке каждого пиксела в изображении используется ядро резкости размером 3. Конечное изображение более четкое чем оригинал. Процесс увеличения резкости повышает существующий контраст между пикселями. При повторной обработке изображения четкость может увеличиться еще больше. В данной функции используется следующий вектор размерности 3:

$$V = \begin{pmatrix} -1/2 & 4/2 & -1/2 \end{pmatrix}$$


### 3.8.11 Медианная фильтрация

Эта операция выполняется командой Медианный фильтр (Median) или с помощью кнопки . В качестве маски может выступать вектор произвольной длины (3, 5, 7 и т.д.).

### 3.8.12 Оптимизация шкалы

Функция Оптимизировать шкалу (Adjust Scale) (кнопка ) используется для масштабирования значений кривой по вертикали во избежание ошибок округления и переполнения при дальнейшей обработке. После применения этой функции минимальное значение точек кривой становится равно -16384, максимальное +16383. Коэффициенты для преобразования целых значений в реальные величины уточняются соответствующим образом.

### 3.8.13 Выравнивание

Возможно вычитание двух типов кривой — прямой или кривой второго порядка. Выравнивание осуществляется по команде Выравнивание (Fitting) в меню Curve или при нажатии на кнопку , которая находится на панели инструментов.

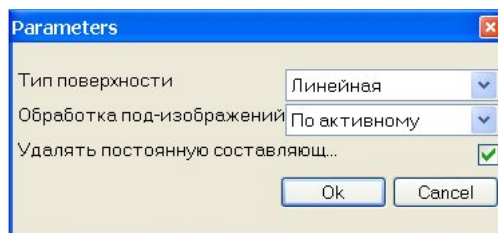


Рис. 3.46. Окно параметров.

При выполнении этой команды появляется окно параметров (рис. 3.46), в котором можно указать тип вычитаемой кривой: Linear – для кривой первого порядка (прямой) или Parabolic – для кривой второго порядка. Так же возможно выбрать обработку подизображений:

1. Раздельно – для каждого подизображения по отдельности высчитывается вычитаемая кривая методом наименьших квадратов ;
2. По активному – вычитаемая кривая рассчитывается для активного подизображения, а вычитается из всех;
3. По всем – рассчитываются кривые для всем подизображений и усредняются.

Если напротив "Удалять постоянную составляющую" стоит галочка то убирается нулевое смещение.

#### 3.8.14 Сплайн

Программа ФемтоСкан Онлайн может строить билинейные кубические сплайны для кривых и производить вычитание сплайнов из кривых. Чтобы вычесть сплайн из кривой или ее части, выберите команду Выравнивание сплайном (BSpline fitting).

Для построения сплайна кривая разбивается на отрезки, длины которых указываются в диалоговом окне, появляющемся при вызове команды. Для каждого отрезка ищется среднее значение высоты на кривой и сплайн строится по центральным точкам отрезков, где значениями по оси Z считаются вычисленные средние высоты.

В диалоговом окне также можно выбрать область, по которой будет вычисляться сплайн. Для поля Обработка под-изображений может быть выбрано значение:

1. Separate – в этом случае для каждого подизображения в отдельности высчитывается усредненная кривая методом наименьших квадратов ;
2. Use Active – в этом случае расчет усредненной кривая ведется для активного подизображения, которая затем вычитается из всех.

#### 3.8.15 Анализ шероховатости

Команда Roughness analysis рассчитывает параметры шероховатости поверхности, описанные в приложении F.

### 3.8.16 Пороговая фильтрация

С помощью команды Threshold вызывается окошко, показанное на рис. 3.47. В этом окошке Вы можете задать пороговый уровень (в долях от максимальной высоты на кривой), и преобразовать части кривой, оказавшиеся выше и/или ниже него. Если напротив поля Установить выше стоит галочка, то значению высоты во всех точках, где оно превышало значение порогового уровня, будет присвоено значение, равное максимальной высоте на поверхности, либо высоте порогового уровня, в зависимости от выбранного. Аналогично, если галочка стоит напротив поля Установить ниже.

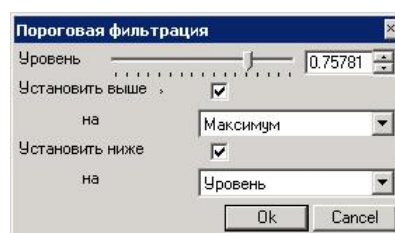


Рис. 3.47. Окошко выбора порогового уровня


### 3.8.17 Анализ силовой кривой

Программа ФемтоСкан Онлайн обладает рядом функций для работы с силовыми кривыми и их анализа в рамках персистентной модели полимерной цепи, предоставляя возможности обработки как единичных кривых, так и массива кривых одновременно.

Модуль по обработке силовых кривых включает три функции:

- Нормализовать силовую кривую (Normalize force curve) - для нормализации силовых кривых и приведения всех кривых к удобному виду для дальнейшей обработки
- Кривая разделения (Separation Curve) - для преобразования исходной кривой к кривой в координатах Сила от Расстояния между кантилевером и образцом
- WLC анализ (WLC Analysis) - непосредственный анализ и получение параметров кривой в приближении персистентной модели полимерной цепи

#### Нормализация силовой кривой

Для дальнейшей работы необходимо, чтобы кривая имела определенный вид: область контакта должна находиться слева, линии нулевого уровня для всех кривых должны совпадать, быть строго горизонтальными и проходить через нуль оси F, участки, соответствующие контакту кантилевера с поверхностью, также должны совпадать для кривой подвода и отвода (в случае открытия нескольких файлов - для всех кривых). Для преобразования кривой к такому виду используется функция *Нормализовать силовую кривую* из меню Curve (кнопка ).

Есть возможность автоматического переворота кривых, не имеющих выше описанный вид (значение *Авто* для параметра *Переворачивать*) или же выбор вручную: переворачивать все кривые (значение *Да*) или не переворачивать ни одной (значение *Нет*). При выборе параметра *Выровнять нуль по выделенному* происходит выравнивание нулевого уровня путем вычета прямой, аппроксимирующей участок, выбранный с помощью меток, для

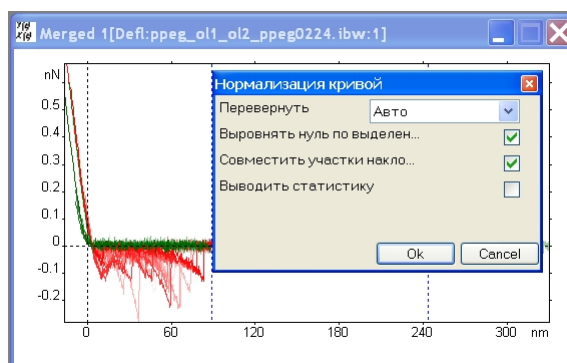


Рис. 3.48. Функция нормализации силовой кривой.

каждого подизображения. Если выбран параметр *Совместить участки наклона*, то автоматически соединяются участки наклона в начале каждого подизображения. Если требуется рассчитать параметры кривой, такие как наклон участка наклона, соответствующего контакту  $dF/dZ$  и  $Ang$ , уравнение прямой, соответствующей свободному положению кантилевера, среднее квадратичное отклонение данных от этой прямой, то необходимо выбрать параметр *Статистика*. Выбор подизображений для анализа задается опционально, расчет может проводиться для выделенной области, либо же для кривых подвода или отвода в целом, в этом случае находится статистика наклонного и нулевого участков.


Если расчет статистики производится по для выбранной области, то для каждой кривой выбранный участок аппроксимируется по МНК и находятся соответствующие коэффициенты.

Расчет для кривых в целом реализован следующим образом.

1. Построение сглаженной кривой по исходным данным. В зависимости от количества точек, выбирается один из трех вариантов:
  - $N \leq 64$  - усреднение бегущим окном шириной 3 точки
  - $N \leq 256$  - усреднение бегущим окном шириной 5 точек
  - $N > 256$  - построение билинейного сплайна по 64 точкам
2. Вычисление первой производной.
3. Фильтрация первой производной медианным фильтром шириной 3 точки.
4. Вычисление среднее квадратичного отклонения первой производной  $RMS$ .
5. Поиск наклонного участка. Ищется первый слева ненулевой участок, на котором значение первой производной меньше значения  $(-RMS)$ . На этом участке методом наименьших квадратов по исходным данным строится прямая наклона.
6. Поиск плато. Ищется первый справа участок длиной более  $1/5$  общей длины кривой, на котором модуль первой производной меньше значения  $RMS$ . На этом участке методом наименьших квадратов по исходным данным строится прямая плато.
7. Вычисление наклона силовой кривой. За наклон принимается угол между прямой плато и прямой наклона. Если прямая плато не была найдена, за наклон принимается угол наклона прямой наклона.

Вычисленные прямые отображаются на кривой синим цветом.

### Кривая разделения

Функция *Curve/Separation Curve* предназначена для построения кривой разделения (кнопка ). Вычисление коэффициентов наклонной прямой, соответствующей области контакта кантилевера и поверхности, реализовано двумя способами - путем расчета по МНК, либо по калибровочным данным микроскопа. Первый метод стоит применять лишь в том случае, если информация о калибровке отсутствует (это имеет место, если в возможных осях для силы отсутствуют нанометры). Расчет по МНК производится с учетом шума, задаваемого как параметр (*Уровень шума*).

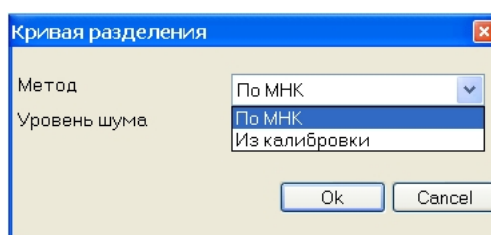


Рис. 3.49. Построение кривой разделения.

### WLC анализ

Анализ производится в два этапа - поиск локальных минимумов и получение параметров из персистентной модели. При вызове команды появляется меню с параметрами (рис. 3.50). Для начала необходимо выбрать кривые, на которых будет производиться анализ, если поле *Выбрать подизображения* не установлено, то анализ будет идти по всем нечетным подизображениям (подразумевается, что нечетные подизображения соответствуют кривым отвода), если же требуется производить анализ по четным подизображениям или же для одного, то для параметра *Подизображения* нужно установить значение *Подвод*, если интересует только активное подизображение - значение *Активное*.

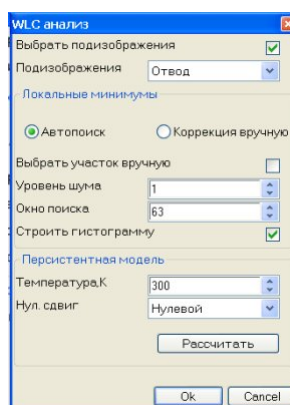


Рис. 3.50. Параметры.

Существует два метода поиска локальных минимумов: автоматический (Автопоиск) или полностью ручной (Коррекция вручную). Рекомендуется сначала воспользоваться автопоиском, а затем при необходимости подкорректировать найденные участки вручную.

#### 1. Режим автопоиска.

Поиск локальных минимумов можно проводить на участке, подбираемом автоматически (поле *Выбрать участок вручную* не установлено) с использованием параметра шума *Уровень шума*, или же выбирать его вручную, для этого нужно выбрать нужный участок с помощью меток и нажать *Установить*. Значение, выбранное для параметра *Ширина окна*, отражает точность по отношению к шуму, с которой будут искаться локальные минимумы. На изображении найденные локальные минимумы отображаются синими точками, также рисуются локальные максимумы - зеленые точки. Аппроксимация с помощью WLC модели будет проводиться на участках между максимумами до минимумам.

#### 2. Режим коррекции.

Чтобы подкорректировать участок от максимума до минимума или добавить новый, выберите с помощью меток правильный по Вашему мнению участок и нажмите *Корректировать по меткам*.

Есть возможность статистического анализа найденных локальных минимумов, для этого нужно выбрать параметр *Построить гистограмму*. После этого будет построена гистограмма всех локальных минимумов и выведена таблица с ними (рис. 3.51).

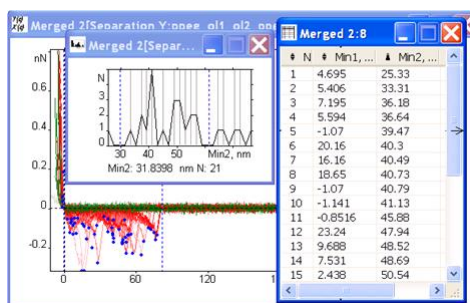


Рис. 3.51. Нахождение локальных минимумов.

В таблице каждая следующая строка соответствует новой кривой. В столбцах находятся координаты найденных минимумов. Гистограмма строится по выбранному столбцу, т.е. лишь для минимумов с определенным номером от начала, по этому же столбцу происходит сортировка таблицы, повторное нажатие меняет сортировку по убыванию на сортировку по возрастанию. Если выбрана строка в таблице, то соответствующее ей подизображение становится активным.

С помощью меток на гистограмме можно выбрать некоторую область, при этом в таблице останутся лишь те кривые, минимумы которых в активном столбце попадают в выбранный интервал. Для работы с гистограммой в меню Items есть несколько специальных функций. Remove not used удаляет из изображения те кривые отвода и соответствующие им кривые подвода, на которых не найдено локальных минимумов. Remove filtered удаляет кривые, не попавшие в выбранную на гистограмме область, при этом кривые без минимумов не удаляются. Remove selected удаляет кривые, попавшие в выделенную на гистограмме область. Кроме того до начала анализа из массива кривых можно удалять активную кривую и вторую, соответствующей ей, с помощью функции Curve/Remove active curve.

Когда корректирование найденных локальных минимумов закончено, можно переходить к анализу. На каждом из участков между двумя минимумами поведение кривой может быть

описано персистентной моделью с постоянными параметрами. В поле выбора параметров нужно установить температуру и выбрать алгоритм (параметр *Нулевой сдвиг*), по которому будут аппроксимированы все участки растяжения на кривых. Реализовано три варианта: *Нулевой* - с нулевым вертикальным сдвигом; *По данным* - с введением вертикального сдвига для каждого участка (в этом случае величина вертикального сдвига вычисляется как третий вариационный параметр  $F_0$ ); *Суперпозиция* - с учетом суперпозиции, т.е. анализ участков ведется справа налево, первая (самая правая) кривая обрабатывается непосредственно, для каждой последующей производится вычет "хвостов" всех кривых, лежащих правее данной, вертикальный сдвиг не учитывается. После этого для непосредственного расчета необходимо нажать кнопку *Рассчитать*, тогда будет произведен расчет и результаты будут выведены на экран в виде таблицы (рис. 3.52).

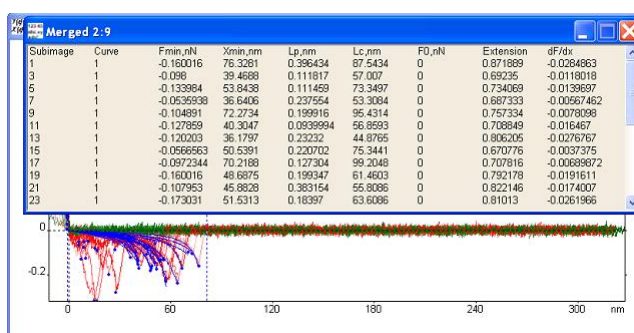




Рис. 3.52. Вывод результатов.

Выводятся следующие величины: Subimage - номер подизображения, Curve - номер кривой на данном подизображении, Fmin - критическая сила, при которой произошел конформационный переход или разрыв, Xmin - длина, при которой произошел конформационный переход или разрыв, Lp - персистентная длина, Lc - контурная длина,  $F_0$  - величина вертикального сдвига  $F_0$ , использованного как дополнительный параметр, Extension - относительное растяжение,  $dF/dx$  - производная от найденной кривой в точке перехода (разрыва).

### 3.9 Работа с буфером обмена

В меню Edit есть три команды для работы с буфером обмена — это команды Copy, Copy Text и Add Text. Команда Copy копирует содержимое активного окна в папку обмена. Команда Copy Text помещает в папку обмена текстовые данные, которые есть в активном окне, удаляя при этом имеющееся содержимое папки. Команда Add Text, в отличие от Copy Text, добавляет данные в папку обмена, не удаляя уже имеющиеся там.

### 3.10 Отмена и восстановление изменений

Когда Вы обрабатываете изображение, программа запоминает сделанные изменения, так что потом их можно отменять командой меню Edit/ Undo (кнопка ) , а также восстанавливать отмененные изменения командой меню Edit/ Redo (кнопка ). Следует отметить, что программа не запоминает изменений в представлении данных, таких как смена палитры, расстановка меток, рисование сечений и т.д. .

## 3.11 Работа с окнами

### 3.11.1 Упорядочивание окон

Для упорядочивания окон предназначены команды Cascade и Tile из меню Window. По команде Cascade окна будут расположены одно под другим по диагонали от левого верхнего угла. По команде Tile окна располагаются не перекрываясь, следуя друг за другом слева направо и сверху вниз.

Если в рабочей области программы есть свернутые окна, то после команды меню Windows/ Arrange Icons их заголовки будут расположены вплотную друг за другом слева направо и снизу вверх начиная из левого нижнего угла.

Если вы хотите закрыть все окна (и видимые, и свернутые), выберите команду Close All того же меню.

### 3.11.2 Смещение окон

С помощью мыши с колесом можно смещать все окна, находящиеся внутри главного окна программы. Для вертикального смещения просто вращайте колесо мыши, а для горизонтального — вращайте колесо, удерживая нажатой клавишу Ctrl.

### 3.11.3 Выбор изображения

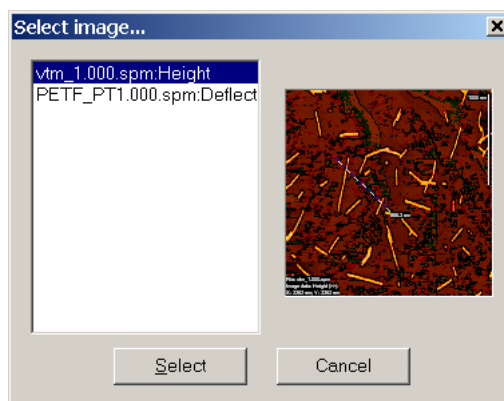


Рис. 3.53. Окно выбора изображения.

С помощью команды меню Windows/ Windows... Вы можете быстро перейти к нужному изображению. При выполнении этой команды появляется диалог со списком всех открытых окон (рис. 3.53). Передвигаясь по списку, Вы увидите в правой части диалога уменьшенное изображение выбранного окна. После нажатия кнопки “Activate” выбранное окно становится активным. Нажав кнопку “Close Window”, Вы закроете выбранное изображение.

Выбрать нужное изображение можно и проще. Список открытых изображений есть в нижней части меню Window, но там прописываются не более девяти из них.

### 3.11.4 Изменений размеров окна

Изменить размер окна с изображением можно стандартным для системы Windows образом. При подведении курсора к краю окна, он принимает форму линии с двумя стрелками. При



такой форме курсора, если нажать и удерживать левую кнопку мыши, то с движением мыши размер окна будет меняться. При изменении размеров на окне будут показаны две штриховые линии с подписями, показывающими размер окна в точках.

### 3.11.5 Восстановление размеров окна

Если Вы растягивали или сжимали окно, используя стандартные приемы Windows, то восстановить его первоначальные размеры можно командой меню View/ Normalize.

### 3.11.6 Формат легенды

Все манипуляции с форматом вывода изображения на экран могут быть осуществлены на закладке Общее в окне параметров, вызываемых с помощью команды View/ Preferences...

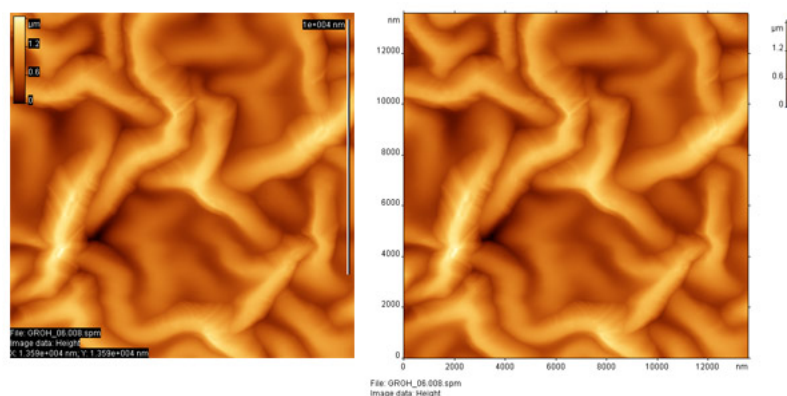


Рис. 3.54. Компактный (слева) и расширенный (справа) форматы легенды.

Изображение может выводиться в двух режимах - компактном и расширенном (рис. 3.54). Если Вы хотите, чтобы изображение выводилось в компактном виде, то поставьте галочку напротив поля Компактный вид. На изображении поверхности обычно выводится легенда, состоящая из масштабной линии (в компактном режиме) или осей (в расширенном режиме), шкалы соответствия цвета и высоты, и дополнительной информации о файле и данных этого изображения. Вывод вертикальной шкалы можно включить или отключить с помощью поля Показать шкалу Z. Аналогичным образом можно управлять выводом на изображении информации о названии и особенностях файла (поле Файловые данные), параметрах изображения (поле Параметры) и статистических данных по изображению (поле Статистика).

## Приложение А

# Инсталляция программного обеспечения

Установка программного обеспечения производится путем запуска программы setup.exe, находящейся на инсталляционном диске. После запуска установки появится окно выбора языка. Для установки русской версии программы выберите русский язык. Внимательно прочитайте лицензионное соглашение. Для установки программы необходимо принять его условия.

На странице информации о пользователе введите регистрационное имя и серийный номер, полученные от поставщика. Если имя или номер будут введены неправильно, программа "FemtoScan" при первом запуске попросит ввести верные данные.

В окне выбора вида установки выберите подходящий вариант. Вариант "Обычный" устанавливает клиентскую часть программного обеспечения (программа "ФемтоСкан Онлайн"), руководство пользователя, и файлы примеров. Если нужно установить серверную часть, выберите вариант "Выборочная". Изначально выбраны все компоненты. При желании можно изменить папку, в которую устанавливается программа.

Далее все операции выполняются автоматически. При установке серверной части программного обеспечения, во-первых, на компьютере должна быть установлена операционная система семейства Windows 2000, Windows XP, или Windows 2003 Server, а во-вторых, необходимо войти в систему с правами администратора, иначе будет выдано предупреждение о невозможности установки и будет предложено выбрать другой набор компонентов или прервать инсталляцию. По окончании установки серверных компонент необходимо перезагрузить компьютер, чтобы был запущен драйвер платы DSP.

Если программа устанавливается в первый раз, после перезагрузки появится сообщение о том, что найдено новое устройство. Драйвер для этого устройства лежит в той же папке, куда установлена программа. В ответ на запрос системы, укажите путь к драйверу. После установки драйвера в диспетчере устройств можно будет найти в разделе Scanning Probe Microscopes устройство FemtoScan DSP Board.

## Приложение В

### Описание калибровочных констант

- Hysteresis - путь к файлу калибровки гистерезиса. Для корректировки нелинейных искажений размеров образца, получающихся вследствие наличия у пьезокерамики гистерезиса, используется калибровочный файл, создаваемый программой "ФемтоСкан Онлайн" по введенным пользователем данным (см. 3.7.8).
- Client Interface - название клиентского интерфейса. У клиента при подсоединении будет загружен интерфейс окна параметров с этим именем и расширением "XML". Текущая версия интерфейса – "fsvarlist.1.1".
- Security - раздел опций шифрования.
  - Encryption - режим установки параметров шифрования – без шифрования, использовать настройки сервера или настройки клиента. В случае, если установлен режим использования параметров сервера, у клиента должен быть установлен аналогичный режим - иначе он не сможет подключиться.
  - Message Digest - режим генерации подписи блока данных.
    - \* Cipher - алгоритм шифрования.
    - \* Mode - режим шифрования - блоками (ECB), цепочкой (CBC) или с обратной связью (CFB).
    - \* Key Length - длина сессионного ключа, сам ключ генерируется автоматически.
    - \* Padding - метод дополнения блока данных до кратной длины (нулями или по алгоритму PKCS7).
- DAC Max., V - максимальное выходное напряжение ЦАП. Напряжение варьируется в диапазоне от  $-DACMax$  до  $DACMax$ . Стандартное значение – 3 В.
- ADC Max., V - максимальное входное напряжение АЦП. Напряжение варьируется в диапазоне от  $-ADCMax$  до  $ADCMax$ . Стандартное значение – 10 В.
- $U_t$  - параметры генератора опорного напряжения  $U_t$ .
  - Max., V - максимальное выходное напряжение генератора опорного напряжения  $U_t$ . Стандартное значение – 9 В.
  - Bias, mV - смещение нуля генератора опорного напряжения  $U_t$ .
- Freq. Max., KHz - максимальная частота генератора частоты. Стандартное значение – 10000 КГц.

- Z Ampl. Max., mV - максимальное напряжение генератора частоты. Стандартное значение – 500 мВ.
- PI Gains Scale - масштабирующий множитель пропорционального и интегрального звеньев. Внутреннее представление позволяет задавать значения звеньев в диапазоне от  $-2^{15}$  до  $2^{15} - 1$ , но работа с такими величинами неудобна для пользователя. Поэтому вводится масштабирующий множитель, и пользователь работает с величиной, равной  $Gain * 2^{-PI Gains Scale}$ . Стандартное значение – 6 (соответствует масштабирующему коэффициенту 1/64).
- Inverse Z - направление поляризации трубки. Принято, что если при подаче положительной разности потенциалов на Z-обкладки пьезоманипулятора он сжимается, то  $InverseZ = Yes$ , если растягивается, то  $InverseZ = No$ .
- Precise X,Y DACs - наличие в электронике усилителей X,Y для сканирования с повышенным разрешением.
- Reduced Z DAC - наличие в электронике усилителя Z для сканирования с повышенным разрешением.
- Sensitivity - чувствительность пьезоманипулятора. Значения чувствительности можно менять при проведении калибровки пьезосканера. Например, если установлена чувствительность  $X_{Sensitivity} = X_{sens0}$ , и период решетки графита при калибровочных измерениях получается равным  $L_0$ , а табличное значение равно  $L_1$ , то правильное значение чувствительности находится по формуле

$$X_{sens1} = \frac{X_{sens0}}{L_0} L_1$$

- X, nm/V - по оси X.
- Y, nm/V - по оси Y.
- Z, nm/V - по оси Z.

Для пьезосканера с диапазонами сканирования по X-Y-Z  $10 \times 10 \times 2 \mu\text{m}$  стандартными значениями являются  $45 \times 45 \times 7 \text{ nm/V}$ .

- Gains - коэффициенты усиления высоковольтных усилителей. Выходное напряжение ЦАП, умноженное на эти коэффициенты, подается на обкладки пьезоманипуляторов.
  - X - коэффициент усиления по оси X. Стандартное значение – 40.
  - X Precise - коэффициент усиления по оси X усилителя с повышенным разрешением. Стандартное значение – 1.25.
  - Y - коэффициент усиления по оси Y. Стандартное значение – 40.
  - Y Precise - коэффициент усиления по оси Y усилителя с повышенным разрешением. Стандартное значение – 1.25.
  - Z - коэффициент усиления по оси Z. Стандартное значение – 40.
  - Z Reduced - коэффициент усиления по оси Z усилителя с повышенным разрешением. Стандартное значение – 2.5.

- Resistance - параметры усилителя сигнала, снимаемого по каналу Conductivity в резистивном режиме.
  - Rfb, МОм - сопротивление обратной связи операционного усилителя. Стандартное значение – 3 МОм.
  - Mode - режим подачи опорного напряжения  $U_t$  – напрямую или через делитель (при подключении через кабель "Резистивный режим").
    - \* Ra, КОм - сопротивление плеча делителя  $a$ . Стандартное значение – 10 КОм.
    - \* Rb, Ом - сопротивление плеча делителя  $b$ . Стандартное значение – 10 Ом.
- STM - параметры головки для режима STM.
  - Rfb, МОм - сопротивление обратной связи операционного усилителя в STM-головке (рис. В.1).
  - It Max., нА - ток насыщения, рассчитывается автоматически по напряжению АЦП и сопротивлению обратной связи.
  - Inverse Feedback - режим инверсии обратной связи. Если для коррекции положительного значения ошибки обратной связи требуется увеличение сигнала обратной связи (удаление образца от зонда), то *InverseFeedback* = No, если требуется уменьшение сигнала обратной связи, то *InverseFeedback* = Yes. Стандартное значение – No.
  - Inverse It - режим инверсии значения ошибки обратной связи. Если в цепи сигнала ошибки есть инвертирующий элемент (например, операционный усилитель), то *InverseIt* = Yes, иначе *InverseIt* = No. Стандартное значение – Yes.
  - Feedback Channel - номер канала АЦП 1, на котором регистрируется сигнал ошибки обратной связи. Стандартное значение – 0.
- AFM - параметры головки для режима АСМ.
  - Force Max., нН - максимальная регистрируемая сила взаимодействия зонд-образец. Это значение всегда является приблизительным, реальное значение устанавливается после калибровки головки по кривой подвода-отвода.
  - Inverse Feedback - режим инверсии обратной связи. Стандартное значение – No.
  - Inverse Force - режим инверсии значения ошибки обратной связи. Стандартное значение – No.
  - Feedback Channel - номер канала АЦП 1, на котором регистрируется сигнал ошибки обратной связи. Стандартное значение - 0.
  - Cantilever Rigidity, Н/м - жесткость кантилевера, эту величину можно узнать в спецификации установленного кантилевера. Параметр жесткости используется для преобразования величины отклонения кантилевера  $dZ$  в силу взаимодействия  $dF$  по формуле  $dF = dZ * (CantileverRigidity)$ .
- RAFM - параметры головки для резонансного режима АСМ (РАСМ).
  - Deflection Max., мВ - максимальное регистрируемое значение сигнала среднеквадратичного детектора амплитуды.
  - Inverse Feedback - режим инверсии обратной связи.
  - Inverse Deflection - режим инверсии значения ошибки обратной связи.

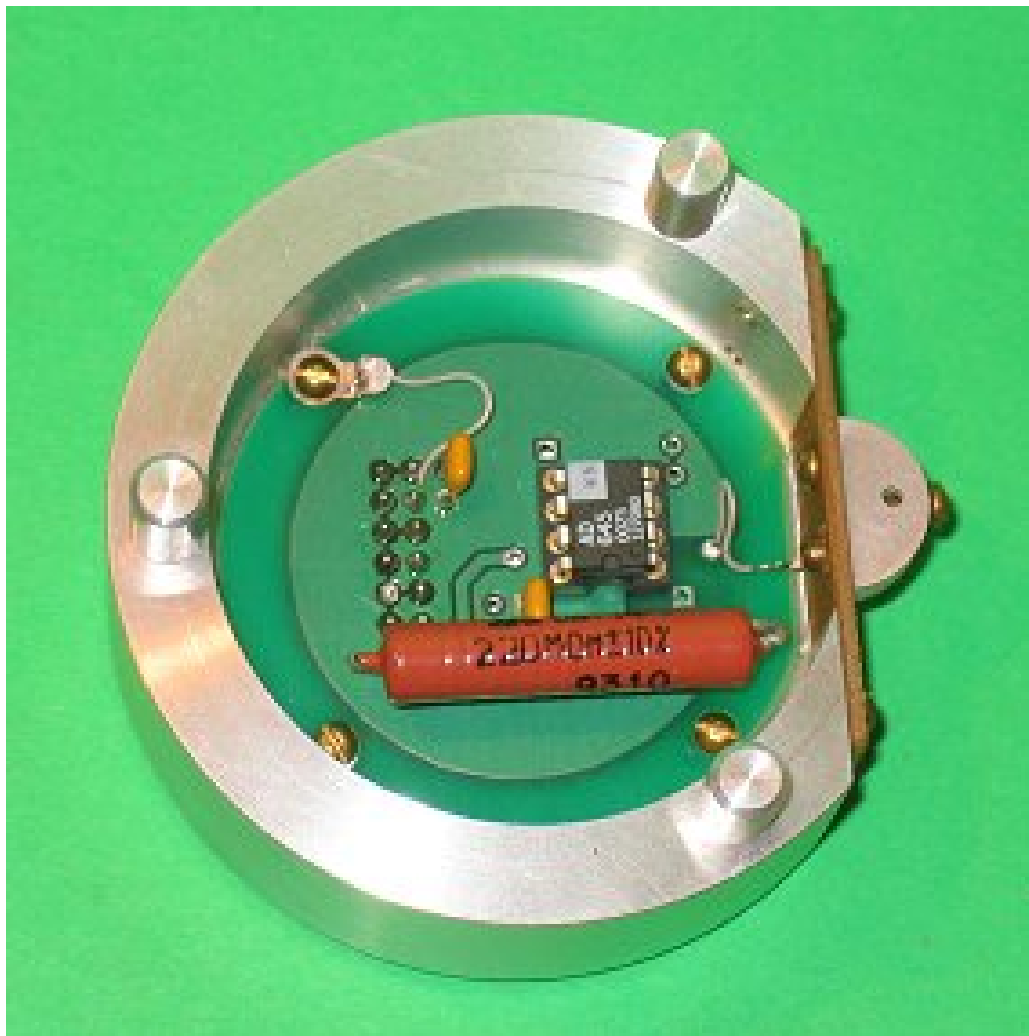


Рис. В.1. СТМ-головка – вид снизу. Виден номинал сопротивления обратной связи операционного усилителя.

- Feedback Channel - номер канала АЦП 1, на котором регистрируется сигнал ошибки обратной связи.
- Cantilever Rigidity, N/m - жесткость кантилевера.
- DACs - адреса ЦАП-ов, ответственных за различные контроллеры и усилители.
  - X - усилитель X. Стандартное значение – 8.
  - X Precise - усилитель X повышенного разрешения. Стандартное значение – 9.
  - Y - усилитель Y. Стандартное значение – 10.
  - Y Precise - усилитель Y повышенного разрешения. Стандартное значение – 11.
  - Z - усилитель Z. Стандартное значение – 12.
  - Z Reduced - усилитель Z повышенного разрешения. Стандартное значение – 13.
  - Ut - генератор опорного напряжения  $U_t$ . Стандартное значение – 0.
  - Stepper - контроллер шагового двигателя. Стандартное значение – 7.
  - Generators Data - регистр данных генераторов частоты. Стандартное значение – 5.
  - Generators Configuration - регистр конфигурации генераторов частоты. Стандартное значение – 6.
  - Controller 1 - вспомогательный контроллер 1. Стандартное значение – 1.
  - Controller 2 - вспомогательный контроллер 2. Стандартное значение – 2.
  - Temperature - контроллер термостата. Стандартное значение – 3.
- DSP Timing - опорные частоты сигнального процессора, ЦАПов и АЦП.
  - DSP Freq., MHz - тактовая частота сигнального процессора, равна удвоенной частоте задающего кварцевого генератора. Стандартное значение – 32.768 МГц.
  - DAC Clock, MHz - тактовая частота ЦАПов. Стандартное значение – 4.096 МГц.
  - ADC Clock, MHz - тактовая частота АЦП. Стандартное значение – 1.024 МГц.
  - Timer - частоты прерывания таймера сигнального процессора.
    - \* Resolution,  $\mu$ s - разрешение (частота прерывания кратна разрешению). Стандартное значение – 5.5542  $\mu$ s.
    - \* Freq., KHz - частота прерывания. Стандартное значение – 60.0147 КГц.
  - ADC Read Freq., KHz - частота оцифровки сигнала АЦП. Рассчитывается автоматически.
  - Feedback DAC Update Freq., KHz - частота обновления сигнала обратной связи. Рассчитывается автоматически.
  - Max. DAC Update Freq., KHz - максимальная частота обновления значений ЦАП. Рассчитывается автоматически.
- Stepper - настройка контроллера шагового двигателя. Контроллер шагового двигателя совмещен с коммутатором входных каналов АЦП, поэтому часть его настроек относится к коммутатору.
  - Step Size, nm - размер одного шага. Стандартное значение – 20 нм.

- Speed, nm/s - скорость перемещения, зависит от величины шага, ограничена сверху аппаратными возможностями контроллера, так что начиная с некоторых скоростей контроллер начинает пропускать шаги, и установленная здесь скорость может не соответствовать действительной. Стандартное значение – 1630.84 нм/с.
- "Forward"Value - значение бита направления для подвода образца. Стандартное значение – 0.
- "Backward"Value - значение бита направления для отвода образца. Стандартное значение – 1.
- "Power On/Off"Feature - на некоторых моделях контроллеров есть отдельный бит для включения и выключения питания шагового двигателя, этот параметр задает наличие этой возможности. Стандартное значение – Disabled.
- Power - параметры управления питанием.
  - \* "On"Value - значение бита питания для состояния "Включено".
  - \* "Off"Value - значение бита питания для состояния "Выключено".
- Bits - соответствие битов контроллера отдельным функциям.
  - \* Direction - бит направления движения.
  - \* Step - бит шага. Вращение шагового двигателя выполняется путем пульсации состояния бита.
  - \* Power - бит питания.
  - \* Channels - биты управления каналами коммутатора.
    - ADC 1 (Feedback) - коммутатор АЦП 1. Номер канала задается числом от 0 до 3, что в двоичном представлении выглядит как два бита информации. Нумерация битов задает отображение битов этого числа (младший-нулевой) на биты контроллера. АЦП 1 используется для оцифровки сигнала ошибки обратной связи.
    - ADC 2 (Friction etc.) - коммутатор АЦП 2. Номер канала задается числом от 0 до 7, что в двоичном представлении выглядит как 3 бита информации. АЦП 2 используется для оцифровки произвольных сигналов.
- Landing - параметры операции подвода образца.
  - It, % - величина туннельного тока, в процентах от опорного значения, при которой подвод будет остановлен. Этот параметр введен для того, чтобы при подводе в режиме СТМ не повредить иглу. Стандартное значение – 30%.
  - Speed, nm/s - скорость подвода. Стандартное значение – 401.168 нм/с.
  - Max. Length, nm - максимальная длина подвода. Если образец был подведен на эту величину, а контакта с поверхностью так и не произошло, то подвод будет остановлен, и клиентская программа потребует вмешательства оператора. Стандартное значение – 200 мкм.
  - Update Precision, nm - частота, с которой позиция столика обновляется на стороне клиента. Стандартное значение – 200 нм.
  - Draw Back on Every Step - включение режима "осторожного" подвода. В этом режиме перед каждым шагом столик выдвигается пьезокерамикой вперед до отказа, и только если не было контакта с поверхностью, делается один или несколько шагов. Если же контакт произошел, то подвод считается завершенным.



- Drawback - опции режима "осторожного" подвода.
  - \* Speed, nm/s - скорость перемещения столика пьезокерамикой.
  - \* Precision, nm - точность перемещения столика пьезокерамикой (размер шага пьезокерамики).
  - \* Step Length, nm - длина перемещения столика шаговым двигателем.
- Temperature - параметры калибровки термостата.
  - Path - путь к файлу калибровки термостата. Формат файла подробно описан в приложении С.
  - Calibration Data - содержимое файла калибровки.
- Auxiliary Port - включение дополнительного канала данных, получаемых через СОМ-порт. Если включена эта функция, то в списке возможных каналов появится еще один, с названием Auxiliary.
- AUX - параметры СОМ-порта
  - Initialization File - путь к файлу инициализации. Формат файла описан в приложении D
  - Data Units - единицы измерения данных.
  - Max. Data - максимальное значение данных (используется для преобразования в выбранные единицы).
  - СОМ Port Number - номер СОМ-порта.
  - Configure - вызов диалога конфигурации СОМ-порта.
- Network - сетевые настройки.
  - Listen ip - адрес TCP/IP, на котором сервер ожидает входящие подключения клиентов. Можно выбрать один из адресов, присвоенных компьютеру, либо все адреса сразу.
  - Listen port - порт TCP/IP, к которому подключаются клиенты. Стандартное значение – 25000. При смене значения порта необходимо поменять порт в клиентском программном обеспечении.
  - Max. Users - максимальное количество одновременно подключенных пользователей. Стандартное значение – 20 пользователей.
  - Buffer Size, Kb - размер буфера отправляемых данных. При заполнении буфера новые данные сканирования будут теряться, передаваться будут только служебные сообщения. Стандартное значение – 1 Мб.
  - Max. Buffer Size, Kb - максимальный размер буфера отправляемых сообщений. При превышении размера буфера клиент будет отсоединен. Стандартное значение – 1280 Кб.
  - Max. Idle Timeout, min - максимальный период времени, в течении которого клиент, подсоединенный в режиме управления микроскопом, может "молчать". Если в течении этого периода клиент не произвел никаких действий, он будет отключен от управления микроскопом, и перейдет в режим наблюдения. Значение 0 соответствует бесконечному периоду молчания. Стандартное значение – 1440 мин. (24 часа).

- Max. Authentication Timeout, sec - время, в течении которого подключающийся клиент должен аутентифицироваться. По истечении этого времени клиент будет автоматически отключен. Этот параметр введен для предотвращения DoS атак. Стандартное значение – 180 с. (3 мин.).
- HTTP Server - включение встроенного HTTP сервера. Эта опция запускает виртуальный HTTP сервер, на который будут выкладываться сканируемые изображения в формате JPEG с именами image0.jpeg и image1.jpeg, и списки текущих параметров с именами image0.txt и image1.txt.
- HTTP - параметры HTTP сервера.
  - Listen ip - адрес TCP/IP, на котором сервер ожидает входящие подключения.
  - Listen port - порт веб-сервера. Стандартное значение – 80.
  - Max. Users - максимальное количество одновременно подключенных клиентов. Стандартное значение – 10.
  - Refresh Timeout, sec - период обновления изображений и списков параметров. Стандартное значение – 60 с.
- Video Capture - включение видеозахвата. Сервер может периодически захватывать изображение с видеокамеры, подключенной к блоку управления, и передавать его клиентам. Так же он может сохранять изображение на локальном диске.
- Video - параметры видеозахвата.
  - Camera - выбор камеры.
  - Configure - конфигурация камеры.
  - Period, sec - период захвата. Стандартное значение – 30 сек.
  - Save to File - включает сохранение в файл.
  - File path - путь к файлу.
  - Publish to WWW - публикация изображения на встроенном веб-сервере (опция доступна только если сервер включен).
  - WWW file name - имя ресурса, который будет доступен на веб-сервере.
- PIC USB controller - включение дополнительного контроллера на базе микропроцессора PIC16C765.
- PIC16C765 - параметры контроллера.
  - CLSID - системный идентификационный номер устройства.
  - Device number - порядковый номер устройства (начинается с 0) – для выбора устройства в случае, если подключено несколько устройств.
- Alarm action - включение таймера для запуска произвольного действия. Эта функция позволяет один раз или периодически выполнять произвольное действие путем вызова функции в задаваемой пользователем библиотеке (DLL).
- Alarm - настройка таймера и действия.
  - Type - тип события - одиночное или периодическое.

- Start date - дата и время первого запуска действия.
  - \* Year - год.
  - \* Month - месяц.
  - \* Day - день.
  - \* Hour - час.
  - \* Min - минута.
  - \* Sec - секунда.
- Period - периодичность повтора действия.
  - \* Days - дни.
  - \* Hours - часы.
  - \* Minutes - минуты.
  - \* Seconds - секунды.

## Приложение С

# Формат файла данных калибровочной кривой столика с контролируемой температурой образца

Файл записан в текстовом формате и состоит из одной секции. Секция начинается заголовком

[data]

и продолжается до конца файла. В секции содержится несколько записей. Запись имеет формат

<напряжение>=<температура>;

<напряжение> и <температура> - вещественные числа в стандартном научном формате, с точкой (.) в качестве десятичного разделителя.

Ниже приведен пример файла инициализации.

[temperature]

-3.00=27.5;  
-2.67=28.0;  
-2.33=29.0;  
-2.00=31.5;  
-1.67=33.5;  
-1.33=36.0;  
-1.00=37.0;  
-0.67=39.0;  
-0.33=42.0;  
0.00=42.5;  
0.33=45.0;  
0.67=47.5;  
1.00=49.0;  
1.33=50.0;  
3.00=60.0;

## Приложение D

# Формат файла инициализации СОМ-порта

Файл записан в текстовом формате и состоит из нескольких секций. Порядок следования секций не имеет значения. Каждая секция начинается заголовком вида

[<имя\_секции>]

и продолжается до начала следующей секции или конца файла. В каждой секции содержится несколько записей. Запись имеет формат

<имя\_записи>=<значение>;

В файле должны быть описаны следующие секции: `init`, `sample`, `var`, `var.scale` (не обязательно), `var.display` (не обязательно).

В секции `var` описываются переменные. Имена переменных могут подставляться со знаком `$` в значения записей. В том случае, если существует секция `var.scale`, в этой секции могут быть заданы масштабные коэффициенты для преобразования значений переменных в вещественные числа. Тогда в окне параметров клиентского программного обеспечения будут появляться значения, умноженные на масштабные коэффициенты. Если существует секция `var.display`, в ней могут задаваться альтернативные названия переменных, более удобные для пользователя.

В секции `init` должны содержаться следующие записи:

- `RdInterval` - максимальный интервал (в миллисекундах) между двумя последовательными символами, считываемыми с порта.
- `RdTotMult` - максимальное время считывания одного символа.
- `RdTotConst` - постоянная считывания; считывание с порта строки в `N` символов прерывается по тайм-ауту, если время считывания строки превышает значение, равное `N*RdTotMult+RdTotConst`, либо интервал между приходом двух последовательных символов превышает значение `RdInterval`.
- `WrTotMult` - максимальное время записи одного символа.
- `WrTotConst` - постоянная записи.

- **Speed** - формула, задающая максимальную скорость снятия данных (в Герцах). В формуле могут быть использованы переменные, вещественные числа, операции + - \* / и скобки ( ). Операции умножения и деления имеют приоритет над операциями сложения и вычитания.
- **init** - строка инициализации устройства; строка состоит из числовых значений, задержек и escape-функций, разделенных запятыми. Числовые значения представляются в десятичном (например 123), шестнадцатеричном (например 0xa1) или восьмеричном (0175) виде. Каждое числовое значение соответствует одному байту посылаемой информации. Задержка записывается в виде !<время в миллисекундах>, например !500. Escape-функция - одно из следующих значений:
  - CLRDTR
  - CLRRTS
  - SETDTR
  - SETRTS
  - SETXOFF
  - SETXON
  - SETBREAK
  - CLRBREAK
- **init\_read** - число байт, которые нужно считать после отправки строки **init**

В секции **sample** должны содержаться следующие записи:

- **init** - строка инициализации считывания одного значения. Строка состоит только из числовых значений, разделенных запятыми.
- **init\_read** - число байт, которые нужно считать после отправки строки **init**.
- **lobyte** - строка инициализации считывания нижнего байта значения.
- **lobyte\_read** - число байт, которые нужно считать после отправки строки **lobyte**.
- **lobyte\_offset** - смещение к нижнему байту в считанной строке, может быть отрицательным.
- **hibyte** - строка инициализации считывания верхнего байта значения.
- **hibyte\_read** - число байт, которые нужно считать после отправки строки **hibyte**.
- **hibyte\_offset** - смещение к верхнему байту в считанной строке, может быть отрицательным.

Общение с портом происходит следующим образом:

- При загрузке DSP, если включен дополнительный канал данных (??), происходит отправка в выбранный COM-порт строки **[init]init** и считывается **[init]init\_read** байт.

- В каждой точке изображения в порт посылается строка `[sample]init` и считывается `[sample]init_read` байт. После их считывания посылается строка `[sample]lobyte` и считывается `[sample]lobyte_read` байт. Затем аналогичным образом посылается строка `[sample]hibyte` и считывается `[sample]hibyte_read` байт. Из считанных данных длиной `[sample]init_read + [sample]lobyte_read + [sample]hibyte_read` берутся два байта со смещениями `[sample]init_read + [sample]lobyte_offset` и `[sample]init_read + [sample]lobyte_read + [sample]hibyte_offset`, из которых формируется 16-битный результат.

Ниже приведен пример файла инициализации.

```
[init]
RdInterval=500;
RdTotConst=500;
RdTotMult=500;
Speed=1.0/(2.0e-6*$CCPR2*$TMRQuanta);
WrTotConst=0;
WrTotMult=0;
init=SETRTS,!100,CLRRTS,!100,0x74,$Uhv,0xf4,0x74,$Ud,0xfc;
init_read=6;

[sample]
hibyte=0xa6;
hibyte_offset=0;
hibyte_read=1;
init=0x30,$C_DvdReg,0x1c,$CCPR2High,0x1b,$CCPR2Low,0x29,$TMRQuanta,0xf2;
init_read=9;
lobyte=0x81;
lobyte_offset=0;
lobyte_read=1;

[var]
CCPR2(Cntr),int,0,0xffff=256;
CCPR2High,int,0,255,,#CCPR2 >> 8=#CCPR2 >> 8;
CCPR2Low,int,0,255,,#CCPR2 & 0xff=#CCPR2 & 0xff;
C_DvdReg(Div),int,0,255=0;
TMRQuanta(Cntr T, ms),int,0,255,0.05*##=40;
Ud(Ud, V),int,0,255=20;
Uhv(Uhv, V),int,0,255=200;
sample_freq,double,,,,1.0/(2.0e-6*#CCPR2*#TMRQuanta)=1;
```

## Приложение Е

# Параметры 3-х мерных изображений

При выводе 3-х мерных изображений используются функции библиотек OpenGL. Поэтому параметры трехмерных изображений (рис. Е.1) отражают параметры, используемые в уравнении освещенности (lighting equation), используемом этими библиотеками. Выглядит оно следующим образом:

$$L = I_E^M + R_A^M \cdot I_A^S + \sum_{i=1}^n (R_A^M \cdot I_A^{L_i} + R_D^M \cdot I_D^{L_i} \cdot (\bar{N} \cdot \bar{N}_{L_i}) + R_S^M \cdot I_S^{L_i} \cdot (\bar{N}_V \cdot \bar{N}_{L_i})^{Sh^M})$$

Здесь

- $I_E^M$  - Интенсивность излучения материала (Mat. Emission).
- $R_A^M$  - отражающая способность материала для рассеянного света (Mat. Color).
- $R_D^M$  - отражающая способность материала для направленного света (Mat. Color).
- $R_S^M$  - отражающая способность материала для отражаемого света (Mat. Specular)
- $I_A^S$  - интенсивность собственной освещенности пространства (Scene Ambient)

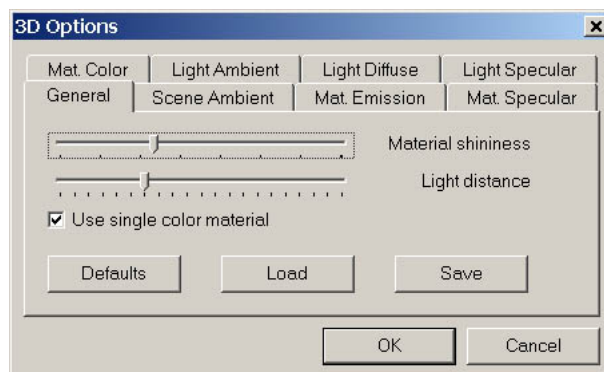


Рис. Е.1. Параметры трехмерных изображений



- $n$  - число источников света (в нашем случае - 1, если освещение включено, и 0, если выключено, задается командой меню View/ Highlighted)
- $I_A^{L_i}$  - интенсивность рассеянного света (Light Ambient)
- $I_D^{L_i}$  - интенсивность направленного света (Light Diffuse)
- $I_S^{L_i}$  - интенсивность отражаемого света (Light Specular)
- $\overline{N}$  - вектор нормали к поверхности
- $\overline{N}_{L_i}$  - вектор направления из точки поверхности на источник света
- $\overline{N}_V$  - вектор направления из точки поверхности на наблюдателя
- $Sh^M$  - светимость материала (Material Shininess)

В нашем случае используется модель, в которой  $R_A^M = R_D^M$ , и этот параметр называется Material Color. Если на закладке General отмечен флаг Use single color material, то цвет материала будет браться с закладки Material Color, в противном случае - из текущей палитры в соответствии с высотой точки.

R, G и B составляющие каждого параметра можно задать как с помощью линеек прокрутки, так и с помощью диалога выбора цвета. Этот диалог появляется при нажатии левой кнопкой мыши на цветном квадрате, расположенном в правой части соответствующей закладки. Текущие настройки можно сохранить в файл с расширением .3dopt, считать из него, или восстановить значения по умолчанию.

## Приложение F

# Параметры шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная, например, с помощью базовой линии или части плоскости. Оценивать шероховатость поверхности в программе ФемтоСкан Онлайн можно как для поверхности, так и для конкретного выделенного профиля вдоль заданного отрезка. В первом случае команда вызывается в меню Operations/ Roughness . Для того чтобы вывести результаты для профиля поверхности вдоль выделенного отрезка, необходимо выбрать отрезок, далее Curve/ Roughness analysis . Для поверхности в целом будут выведены следующие параметры :  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $R_{sk}$ ,  $R_q$ ,  $R_{ku}$  (см. таблицу F.1) Для профиля вдоль отрезка кроме этих параметров также будут присутствовать:  $R_z$ ,  $S_m$ ,  $S_{mh}$ ,  $S_{ml}$  (см. таблицу F.2). Например, снимок поверхности монетки (см. рис F.1) и выделенная кривая на ней (ее профиль) (см. рис F.2).

$R_a$	$R_{max}$	$R_q$	$R_{sk}$	$R_{ku}$
1.69нм	17.1нм	2.19нм	0.614нм	3.76нм

Таблица F.1. Параметры шероховатости для поверхности.

$R_a$	$R_{max}$	$R_z$	$R_q$	$R_{sk}$	$R_{ku}$	$S_m$	$S_{mh}$	$S_{ml}$
1.2нм	8.41нм	3.89нм	1.56нм	1.1нм	4.71нм	501нм	217нм	292нм

Таблица F.2. Параметры шероховатости для профиля.

Теперь более подробно об этих параметрах.

### F.1 $R_a$ средняя шероховатость.

Этот параметр определяется как среднее арифметическое отклонение профиля от средней наклонной прямой или плоскости (средней линии профиля, средней плоскости), проведенной методом наименьших квадратов. Он определяется как площадь отклонения профиля

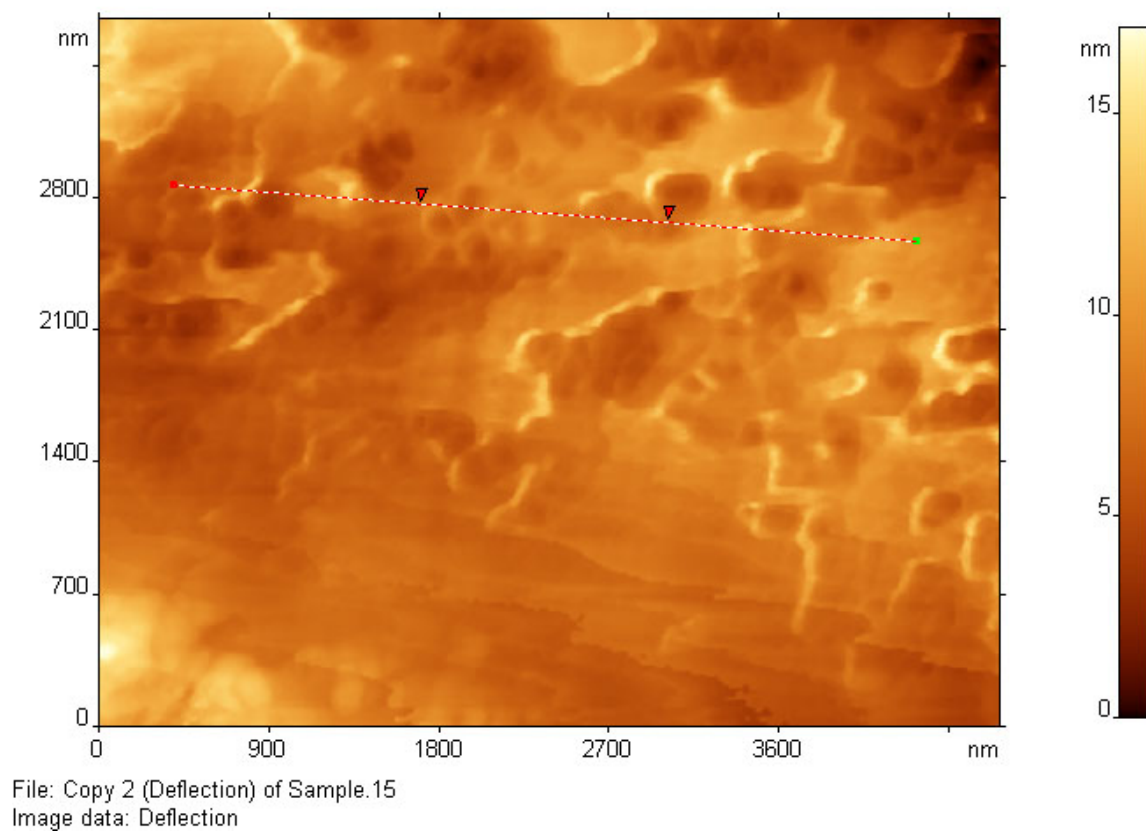


Рис. F.1. Пример поверхности и выбор прямой на ней.

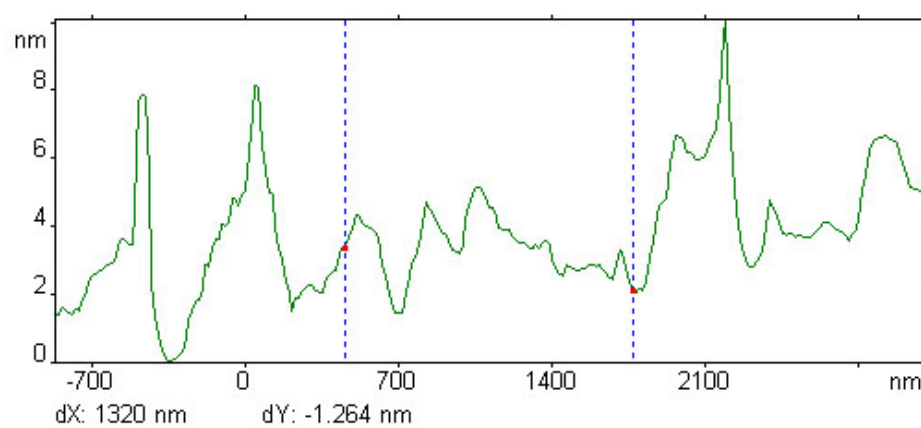


Рис. F.2. Профиль, выбранный на F.1.

шероховатости относительно средней прямой (плоскости) деленной на общую длину базовой линии, и численно равен интегралу:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |r(x)| dx$$

для дискретного случая

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |r_n|$$

Аналогично для поверхности. Но  $R_a$  не дает полной картины профиля шероховатости поверхности, ведь многие поверхности могут иметь одинаковую среднюю шероховатость, но совершенно различную форму.

## F.2 $R_q$ среднеквадратичная шероховатость.

Среднеквадратичная шероховатость вычисляется через другой интеграл:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L r^2(x) dx}$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N r_n^2}$$

и характеризует среднеквадратичное отклонение профиля поверхности относительно базовой линии.  $R_q$  имеет значение в применении к оптике, где от этого параметра зависят оптические свойства поверхности.

## F.3 $R_{max}$ наибольшая высота профиля.

$R_{max}$ - расстояние между линией выступов и линией впадин, т.е. наибольшим пиком и наибольшей впадиной на базовой линии (плоскости).

## F.4 $R_z$ высота неровностей профиля по 10 точкам

$$R_z = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (R_{nmax} + R_{nmin})$$

$R_{nmax}$   $n = 1 \dots 5$  пять высот наибольших пиков,  $R_{nmin}$   $n = 1 \dots 5$  пять высот наибольших впадин.

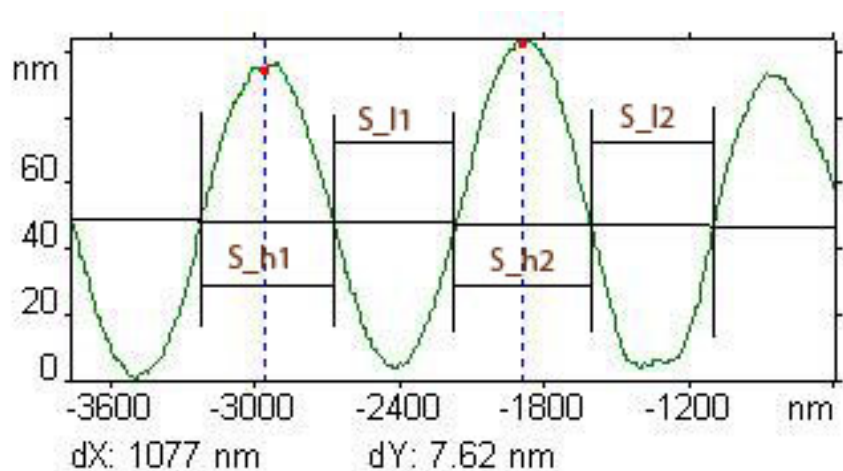


Рис. F.3. Вычисление среднего периода по пикам и впадинам.

### F.5 $S_m$ средний период.

Периодом считается участок профиля, пересекающий среднюю линию снизу вверх два раза. Если  $S_i$  ширина каждого периода, то

$$S_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (S_n)$$

### F.6 $S_{mh}$ , $S_{ml}$ средние периоды по пикам и впадинам.

Расстояние между впадинами определяется как длина участка базовой линии, в котором профиль поверхности пересекает среднюю линию снизу вверх и вернулся обратно. Расстояние между пиками определяется как длина участка базовой линии, в котором профиль поверхности пересекает среднюю линию сверху вниз и вернулся обратно (см. рис F.3). Средние периоды по впадинам  $S_{ml}$  и пикам  $S_{mh}$  получается путем усреднения этих величин.

$$S_{mh} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_{hn}$$

$$S_{ml} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_{ln}$$

### F.7 $R_{sk}$ параметр асимметрии.

Функция распределения вероятности. Функция распределения вероятности дает вероятность того, что профиль имеет заданную высоту  $Z$ . Функция распределения имеет колоколообразную форму и показывает какое "количество" профиля имеет определенную высоту. Параметр асимметрии описывает форму функции распределения вероятности, то

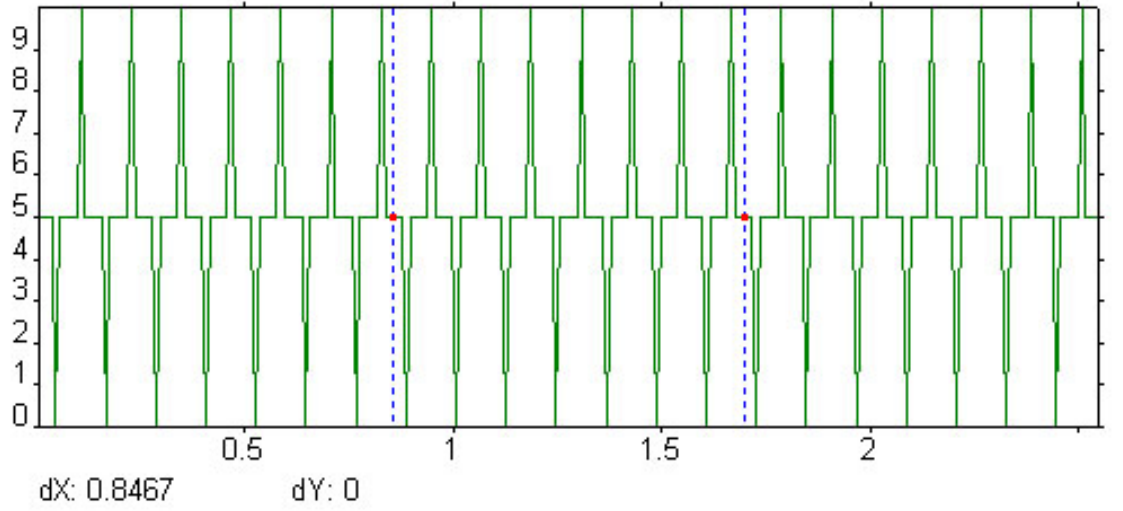


Рис. F.4. Пример профиля с узкими пиками и впадинами.

есть симметричность разброса профиля относительно средней линии.

$$R_{sk} = \frac{1}{LR_q^3} \int_0^L r^3(x) dx$$

$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} \sum_{n=1}^N r_n^3 dx$$

Профиль с положительным коэффициентом асимметрии, имеет четкие высокие пики, которые выделяются от среднего. Поверхности с отрицательным коэффициентом асимметрии (пористые поверхности) имеют четкие глубокие впадины в гладких плато. В менее очевидных случаях  $R_{sk} \approx 0$ . Значения  $|R_{sk}| > 1.5$  показывают то, что поверхность имеет непростую форму и простые параметры, такие как  $R_a$ , вероятно, не могут адекватно характеризовать качество поверхности. Коэффициент асимметрии безразмерен.

## F.8 $R_{ku}$ мера эксцесса

Этот параметр характеризует ширину пиков или впадин, т.е. отклонение гистограммы от гауссовой формы. Если гистограмма имеет гауссову форму, то  $R_{ku}=3$ .

$$R_{ku} = \frac{1}{LR_q^4} \int_0^L r^4(x) dx$$

Если профиль поверхности имеет вытянутые (узкие) пики или впадины (см. рис F.4), то  $R_{ku} > 3$  (см. таблицу F.3)

Если есть широкие пики или впадины (см. рис F.5), то  $R_{ku} < 3$  (см. таблицу F.4)

$R_a$	$R_{max}$	$R_z$	$R_q$	$R_{sk}$	$R_{ku}$	$S_m$	$S_{mh}$	$S_{ml}$
0.848	10.1	5.05	2.03	$-2.57e_{-017}$	6.07	0.112	0.0564	0.0559

Таблица F.3. Параметры шероховатости для профиля, имеющие узкие пики и впадины.

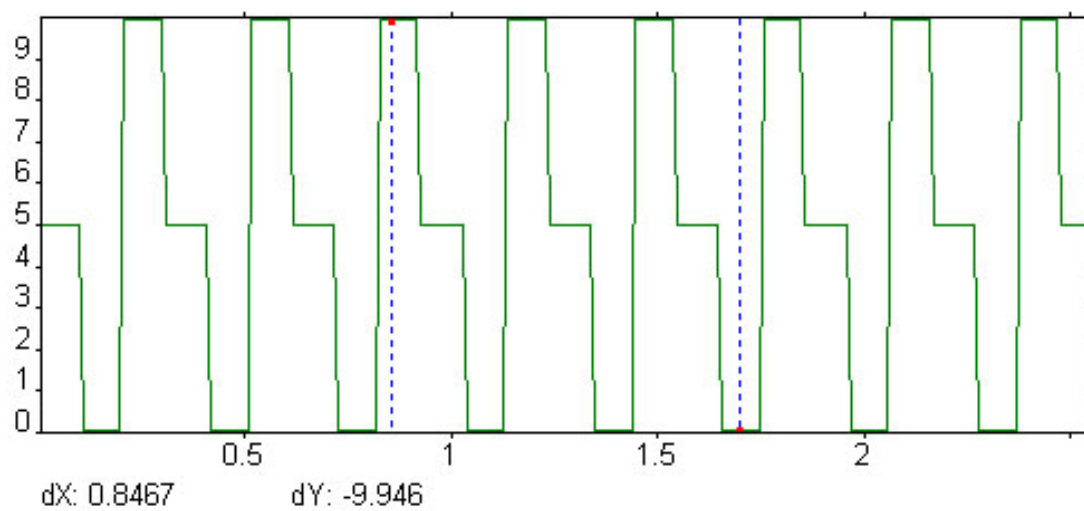


Рис. F.5. Пример профиля имеющего широкие пики и впадины.

$R_a$	$R_{max}$	$R_z$	$R_q$	$R_{sk}$	$R_{ku}$	$S_m$	$S_{mh}$	$S_{ml}$
3.2	10.6	6.16	3.95	-0.00219	1.6	0.296	0.147	0.149

Таблица F.4. Параметры шероховатости для профиля, имеющего широкие пики и впадины.

# Предметный указатель

## Мат. функции

- Анализ шероховатости, [65](#)
- Фильтр Виннера, [56](#)
- Инвертировать, [55](#)
- Исправление искажений, [60](#)
- Линейные фильтры, [61](#)
  - Гаусс, [62](#)
  - Градиент, [62](#)
  - Лаплас, [62](#)
- Медиана X, [56](#)
- Медианный фильтр, [56](#)
- Медианный фильтр Крест, [57](#)
- Морфологические фильтры, [62](#)
- Обрезание изображений, [55](#)
- Оптимизировать шкалу, [55](#)
- Пороговая фильтрация, [65](#)
- Поворот, [58](#)
- Сгладить участок, [60](#)
- Транспонировать изображение, [56](#)
- Усреднение, [56](#)
- Усреднение по строкам, [60](#)
- Увеличить резкость, [56](#)
- Выделить границы, [58](#)
- Выделить зерна, [57](#)
- Выравнивание, [59](#)
- Выравнивание сплайном, [59](#)
- Высота по интерференционной картине, [66](#)
  - подсветка, [81](#)
  - сложение, [79](#)
  - вычитание, [79](#)

## Меню File

- Batch Export, [41](#)
- Capture...
  - TWAIN..., [47](#)
  - Video, [46](#)
- Delete, [42](#)
- Export, [41](#)
- Open, [39](#)
- Quick View, [42](#)

Revert, [42](#)

Save, [41](#)

Save All, [41](#)

Save As..., [41](#)

Save Path..., [39](#), [41](#)

Slide Show, [43](#)

## Меню Mathematics, [54](#)

Adjust Scale, [55](#)

Adjust Scan, [60](#)

Average, [56](#)

BSpline fitting, [59](#)

Correlation, [64](#)

Cross-correlation, [65](#)

Self-correlation, [65](#)

Crop, [55](#)

Detect edges, [58](#)

Dewarp, [60](#)

Fitting, [59](#)

Flip, [56](#)

Height from interference figure, [66](#)

Invert, [55](#)

Macros..., [54](#)

Median, [56](#)

Median Cross, [57](#)

Median X, [56](#)

Rotate 90 deg, [58](#)

Roughness, [65](#)

Separate grains, [57](#)

Sharpen, [56](#)

Smooth Region, [60](#)

Threshold, [65](#)

Wiener filter, [56](#)

## Меню Operations, [67](#)

Build 3D View, [67](#)

Convert Curve to Section, [53](#), [73](#)

Create Calibration Curve, [73](#)

Duplicate, [67](#)

Enum Features, [70](#)

Fill inner areas, [72](#)

Find Steps, [72](#)



- Fourier, 70
- Highlight, 81
- Histogram, 70
- Image Operation
  - Add, 79
  - Advanced, 79
  - Subtract, 79
- Isoline Volume, 79
- Redouble, 81
- Resample, 80
- Surface Area, 81
- Меню Video
  - Capture frame, 46
  - Capture multiple frames, 46
  - Record, 46
  - Restore original size, 46
  - Stop, 46
- Меню View
  - Auto Refresh, 47
  - Clear
    - Curve, 53
    - Marks, 52
  - Comment, 44
  - Decorations
    - Curves, 68
    - Labels, 68
    - Marks, 68
    - Sections, 68
  - Full Screen, 46
  - Highlighted, 68
  - Manage Fly-views, 69
  - Marks Style, 52
  - Normalize, 91
  - Options..., 50
    - Auto, 52
    - Fixed, 52
    - Fixed Scale, 52
    - Fixed Width, 52
  - Parameters..., 39, 44
  - Refresh, 48
  - Remember Palette, 48
  - Resolution..., 44
  - Toolbars
    - Scale, 47
- Палитра, 47
  - Autoscaling, 48
  - Custom, 47
  - Fixed Scale, 47
  - Per-line Autoscaling, 48
  - Per-line Autoscaling with PlaneFit, 48
- Параметры
  - Дополнительно..., 31
  - Кривые, 31
  - Модуляция Z, 30
  - Осциллограф, 30
  - Поиск резонанса, 31
  - Поверхность, 27
    - Двойной проход, 29
    - Литография, 29
    - Общие, 27
    - Перебегающий, 29
    - Режим, 27
    - С отводом, 29
  - D(Z), 31
  - F(Z), 31
  - It(Ut), 31
  - It(Z), 31
- Параметры обратной связи, 26
- Работа с кривыми, 81
  - Анализ силовой кривой, 85
    - Кривая разделения, 87
    - Нормализация силовой кривой, 85
    - WLC анализ, 87
  - Анализ шероховатости, 84
  - Дифференцирование, 81
  - Инвертировать, 83
  - Копирование кривой, 82
  - Корреляция, 81
  - Медианный фильтр, 83
  - Обрезание кривой, 82
  - Оптимизировать шкалу, 83
  - Пороговая фильтрация, 85
  - Построение гистограммы, 82
  - Построение параметрической кривой, 82
  - Структурная функция, 82
  - Усреднение, 82
  - Увеличить резкость, 83
  - Выравнивание, 83
  - Выравнивание слайном, 84
- Режимы курсора, 48
  - Angle, 52
  - Column Selection, 53
  - Curve, 52
  - Distance, 52
  - Lengthy Objects, 54
  - Line Selection, 53
  - Marks, 52
  - Section, 50
  - Selection, 50
- Режимы сканирования поверхности

- Двойной проход, 29
  - Литография, 29
  - Перемежающийся, 29
  - С отводом, 29
  - Топография, 29
- драйвер, 7
- клиент, 9, 22
  - Параметры, 24
- IeC см.Параметры24
  - параметры сканирования, 24
  - создание файла калибровки гистерезиса, 73
- мат. функции
  - медианная фильтрация, 13
  - подсветка, 14
  - усреднение, 12
  - усреднение по строкам, 13
  - вычитание среднего наклона, 12
- сервер, 8, 16
  - конфигурация, 19
  - Logging, 22
- 3D Options
  - General, 107
  - Light Ambient, 107
  - Light Diffuse, 107
  - Light Specular, 107
  - Mat. Color, 106
  - Mat. Emission, 106
  - Mat. Specular, 106
  - Material Shininess, 107
  - Scene Ambient, 106
- auxport.ini, 103
  - init, 103
  - sample, 104
  - var, 103
- Curve, 81
  - Adjust Scale, 83
  - Auto-Correlation, 81
  - Average, 82
  - BSpline fitting, 84
  - Crop, 82
  - Differentiate, 81
  - Duplicate, 82
  - Fitting, 83
  - Histogram, 82
  - Invert, 83
  - Median, 83
  - Normalize force curve, 85
  - Roughness analysis, 84, 108
  - Select X curve, 82
  - Separation Curve, 87
  - Sharpen, 83
  - Structure function, 82
  - Threshold, 85
  - WLC analysis, 87
- DSP
  - программа, 7
- Edit
  - Add Text, 89
  - Copy, 89
  - Copy Text, 89
  - Redo, 89
  - Undo, 89
- Features
  - Profile average height, 72
  - Remove filtered from histogram, 72
  - Remove filtered from image, 72
- Fmboard, 16
  - клиенты, 18
  - конфигурация сервера, 19
    - Calibration, 20
    - Profiles, 19
    - Users, 19
  - окна сканирования, 18
  - окна сообщений, 18
    - Errors, 18
    - Events, 18
  - осциллограф, 18
  - панель инструментов, 16
  - загрузка, 18
  - Console, 18
  - Download, 18
  - Options, 19
- Fourier
  - Contrast, 70
  - Zero Inner, 70
  - Zero Outer, 70
- Histogram
  - Cutoff, 70
- Line
  - Replace to Lower, 53
  - Replace to Upper, 53
  - Smooth, 53

## Manage Fly-View

Add New, [69](#)

## Operations

Roughness, [108](#)Parameters, [25](#)

## Scan

D(Z) at..., [35](#)F(Z) at..., [35](#)It(Ut) at..., [35](#)It(Z) at..., [35](#)Offset, [34](#)Rescan, [34](#)Zoom In, [34](#)Zoom Out, [34](#)settings.ini, [93](#)

## SPM

Chat Window, [36](#)Client options..., [37](#)Connect as Client, [23](#), [38](#)Connect as Master, [23](#), [38](#)Move sample, [36](#)Parameters, [24](#)

## Start

Download, [32](#)Landing, [33](#)Oscilloscope, [35](#)Photo Diode, [35](#)Set Bias, [32](#)Z Modulation, [35](#)Z(X,Y) Scan, [33](#)Stop, [35](#)Stop Scan, [34](#)Toolbar, [22](#)

## Start

Dependency, [35](#)temperature.ini, [102](#)

## View

Highlighted, [107](#)Options..., [106](#)

## Window

Arrange Icons, [90](#)Cascade, [90](#)Close All, [90](#)Tile, [90](#)Windows..., [90](#)