

# Волоконно-оптический спектрометр Ocean Optics

Модель QE65000



## Техническое описание

## Руководство по установке и эксплуатации

**ООО «Сенс-Оптик»**

199178, Россия, Санкт-Петербург, Малый пр. В.О., д. 58

Тел./факс: +7 (812) 329 26 88; Тел.: +7 (812) 716 84 16

e-mail: [sales@oceanopticsrussia.com](mailto:sales@oceanopticsrussia.com)

<http://www.oceanopticsrussia.com>

Дата последней редакции: 08.12.2008 г.

## Уважаемый пользователь!

Благодарим вас за приобретение продукции компании Ocean Optics. Перед использованием оборудования внимательно ознакомьтесь с настоящим документом.

## Назначение документа

В данном документе содержатся необходимые инструкции по установке, конфигурированию и эксплуатации спектрометра Ocean Optics.

## Общее описание

Спектрометр QE65000 — это сочетание малошумящего детектора, оптимизированного оптического модуля и современных электронных технологий. Пользователи получают в свое распоряжение высокочувствительную систему для регистрации слабых сигналов, возникающих при флуоресцентном анализе, секвенировании ДНК, в астрономии и рамановской спектроскопии. Квантовая эффективность QE65000 достигает 90% при высоком отношении сигнал/шум и быстрой обработке сигнала. Это самый чувствительный из спектрометров, выпускаемых в настоящее время компанией Ocean Optics.



### Внешний вид высокочувствительного спектрометра QE65000

Спектрометр QE65000 оснащен кремниевым детектором Hamamatsu, освещаемым с обратной стороны и имеющим матричное расположение пикселей (1044 по горизонтали × 64 по вертикали). Вертикальные ряды пикселей суммируются аппаратным способом, что снижает шум считывания. Темновой шум может быть дополнительно уменьшен за счет охлаждения детектора до температуры  $-15^{\circ}\text{C}$  при помощи встроенного термоэлемента. Низкий уровень шума позволяет устанавливать время интегрирования спектрометра (аналог выдержки в фотоаппарате) до 15 минут, что значительно увеличивает порог чувствительности. Освещение детектора с обратной стороны обеспечивает высокую чувствительность к УФ-излучению.

Сочетание малошумящего детектора и 16-разрядного АЦП обеспечивает динамический диапазон 25000:1 и отношение сигнал/шум 1000:1.

QE65000 имеет встроенный программируемый микроконтроллер, управляющий спектрометром и дополнительным оборудованием. Вам доступны 10 программируемых цифровых

линий ввода-вывода и генератор импульсов для запуска других устройств. Цифровые линии можно использовать для управления источником излучения, запуска/остановки процесса, отправки сообщения/предупреждения во время интегрирования. Управление рабочими настройками спектрометра осуществляется при помощи специализированного программного обеспечения. Калибровочные коэффициенты, индивидуальные для каждого спектрометра, записаны в его внутреннюю память.

Быстродействующая электроника спектрометра обеспечивает большую гибкость в соединении с различными модулями и внешними устройствами, включая ПК, программируемые логические контроллеры и другие встраиваемые контроллеры.

Основным интерфейсом QE65000 является USB, который также обеспечивает питание спектрометра. Однако для работы термоэлектрического охладителя (TEC) и интерфейса RS-232 требуется дополнительное питание +5 В. Источник питания включен в комплектацию спектрометра.

Во внутреннюю память спектрометра (EEPROM) записаны данные заводской калибровки по длине волны и линейности, а также серийный номер, уникальный для каждого прибора. Унифицированное программное обеспечение для спектроскопии SpectraSuite (поставляется отдельно) считывает эту информацию из спектрометра, что обеспечивает возможность быстрого подключения спектрометров к различным компьютерам. Данное программное обеспечение имеет модульную структуру и построено на платформе Java, что позволяет использовать его в операционных системах Windows, Macintosh и Linux.

# Возможности спектрометра QE65000

- Детектор Hamamatsu S7031-1006
  - Максимальная квантовая эффективность: 90%
  - Освещение с обратной стороны (back-thinned) для лучшей чувствительности к УФ-излучению
  - Суммирование пикселей для понижения шума
  - Термоэлектрическое охлаждение
- Конструкция оптического модуля
  - Симметричная скрещенная схема Черни-Тернера
  - Фокусное расстояние 101 мм
  - 14 вариантов дифракционных решеток
  - 6 возможных значений ширины щели
- Электрические характеристики
  - АЦП 16 бит, 500 кГц
  - Время интегрирования от 7 мс до ~15 мин
- Встроенный микроконтроллер обеспечивает управление всеми операциями и передачу данных в компьютер
  - USB 2.0, 480 Мб/с и 12 Мб/с
  - RS232, 115 Кбод
  - Два интерфейса периферийных устройств (SPI, I<sup>2</sup>C)
- Встроенный генератор импульсов
  - 2 программируемых стробирующих сигнала для синхронизации с другими устройствами
  - Программное управление почти всеми параметрами импульсов
- Встроенный ввод/вывод
  - 10 программируемых пользователем цифровых линий ввода/вывода
- Память EEPROM
  - Хранение коэффициентов калибровки по длине волны
  - Хранения коэффициентов корректировки линейности
  - Хранение данных калибровки по абсолютной энергетической освещенности (дополнительно)
- Автоматическая настройка интерфейса для подключения к ПК
- 30-контактный разъем для соединения с внешними устройствами
- Сертификация CE

# Требования к системе

Спектрометр Ocean Optics QE65000 может быть подключен к любому компьютеру, оснащенный портом USB и работающему под управлением одной из нижеперечисленных операционных систем:

- Windows — 98/Me/2000/XP/Vista
- Перед первым подключением спектрометра Ocean Optics 65000 на компьютере должно быть установлено программное обеспечение SpectraSuite или OOIBase32 (OOIPS2000 для карманных компьютеров). Более подробная информация по конфигурированию спектрометра QE65000 в OOIBase32 будет приведена далее в соответствующем разделе руководства.

QE65000 также оснащен последовательным портом, который позволяет подключить спектрометр к персональному компьютеру, карманному компьютеру или другому устройству, поддерживающему стандарт RS-232. При использовании последовательного порта дополнительно потребуются внешний блок питания, коммутационный бокс и интерфейсный кабель.

## Введение в программное обеспечение SpectraSuite

SpectraSuite — это операционное программное обеспечение последнего поколения, служащее для управления всеми моделями спектрометров компании Ocean Optics. Данное программное обеспечение имеет модульную структуру и построено на платформе Java, что позволяет использовать его в операционных системах Windows, Macintosh и Linux.

SpectraSuite позволяет управлять любыми USB-спектрометрами и другими устройствами Ocean Optics, а также оборудованием сторонних производителей при наличии соответствующих драйверов.

SpectraSuite — это многофункциональное, конфигурируемое пользователем программное обеспечение для получения и отображения данных, которое предоставляет множество функций обработки сигнала в режиме реального времени.

SpectraSuite позволяет решать различные спектроскопические задачи, включая измерение оптической плотности, коэффициента отражения и интенсивности излучения, а также управлять всеми параметрами системы, получать и отображать данные в реальном времени, выполнять сравнительные и кинетические измерения.

Более подробную информацию, а также требования к аппаратной части компьютера вы можете найти в специализированном руководстве пользователя SpectraSuite.

**Программное обеспечение SpectraSuite поставляется отдельно!**

### *Примечание*

Обновление программного обеспечения OOIBase32 прекращено, но последние выпущенные версии совместимы с моделью HR4000. Дополнительная информация об OOIBase32 содержится в руководстве пользователя OOIBase32.

# Построение измерительной системы

Компания Ocean Optics предлагает широкий ассортимент спектроскопических модулей и принадлежностей к ним. Большинство компонентов оснащены оптическими разъемами SMA, что позволяет легко изменять конфигурацию измерительной системы.

## Принцип действия

Компоненты измерительной системы Ocean Optics взаимодействуют следующим образом:

1. Пользователь сохраняет опорный и темновой сигналы.
2. Свет от источника излучения передается по оптическому волокну в образец.
3. Свет взаимодействует с образцом.
4. Свет, вышедший из образца, собирается другим оптическим волокном и передается на вход спектрометра
5. Спектрометр измеряет количество света и преобразует полученный электрический сигнал в цифровую форму.
6. Спектрометр передает цифровые данные программному обеспечению SpectraSuite (или OOIBase).
7. SpectraSuite (или OOIBase) сравнивает полученный сигнал с опорным и отображает спектр.

## Возможности обмена данными

Благодаря наличию USB и последовательного порта (используется с адаптером), спектрометр QE65000 можно подключать к самым разным моделям настольных, портативных или карманных компьютеров. Однако при подключении через последовательный порт пользователю необходимо разработать собственное программное обеспечение для управления спектрометром. Программное обеспечение SpectraSuite поддерживает только порт USB.

| Интерфейс   | Требования к операционной системе  | Необходимые комплектующие                                 | Описание комплектующих   |
|---|--|---|--|
| USB   | <b>SpectraSuite:</b><br>Windows2000/XP/Vista,<br>OS X версии 10.0 или<br>более поздней,<br>Red Hat 9 или более<br>поздняя, Fedora (любая<br>версия), Debian 3.1<br>(Sarge) или SUSE<br>(9.0 или более поздняя)<br><b>OOIBase32:</b> Windows<br>98/Me/2000/XP | USB-CBL-1<br>(включен в<br>комплект<br>поставки)          | Кабель для соединения порта<br>USB спектрометра с портом<br>USB компьютера   |
| Последовательный<br>порт (настольный<br>или портативный<br>компьютер) | Любая 32-разрядная<br>операционная система<br>Windows  | HR4-<br>BREAKOUT<br>(не входит в<br>комплект<br>поставки) | Коммутационный бокс для<br>соединения спектрометра с<br>последовательным портом<br>настольного или<br>портативного компьютера;<br>поставляется с блоком<br>питания 5 В (требуется при<br>подключении через<br>последовательный порт) |

# Комплект поставки спектрометра Ocean Optics QE65000

- **Упаковочный лист.** Содержит список всех заказанных компонентов, включая внутренние компоненты спектрометра, выбранные пользователем при конфигурировании (дифракционная решетка, собирающая линза детектора, входная щель).
- **Блок питания 5 В** для термоэлектрического охладителя.
- **Кабель USB** для подключения спектрометра к компьютеру.
- **Лист с калибровочными данными.** Содержит калибровочные коэффициенты, уникальные для каждого спектрометра. Эти коэффициенты считываются из памяти спектрометра программой SpectraSuite (или OOIBase32) при подключении к компьютеру через порт USB.

## *Примечание*

Сохраняйте лист с калибровочными данными спектрометра.

- **Компакт-диск** с программным обеспечением, руководствами по эксплуатации и описаниями продуктов Ocean Optics. Для чтения электронной документации вам потребуется Adobe Acrobat Reader версии 6.0 или более поздней. Эта программа также содержится на диске. Программное обеспечение Ocean Optics требует ввода пароля в процессе установки. Наклейки с паролями для приобретенных программ находятся на обратной стороне конверта с компакт-диском.

## Дополнительные комплектующие

На интернет-ресурсе [www.OceanOpticsRussia.com](http://www.OceanOpticsRussia.com) вы найдете подробную информацию о дополнительных компонентах для решения различных задач в области спектрального анализа. Также вы сможете загрузить с сайта электронную версию каталога Ocean Optics.

Ассортимент дополнительных компонентов включает:

- волоконно-оптические кабели;
- источники излучения;
- встраиваемые системы анализа пробы;
- оптические кюветы и держатели кювет;
- фильтры и держатели фильтров;
- коммутационный бокс HR4-BREAKOUT;
- другие компоненты.

## Коммутационный бокс — общие сведения

Коммутационный бокс (HR4-BREAKOUT) является пассивным модулем, основное назначение которого — вывод сигналов с 30-контактного разъема спектрометра на стандартные разъемы, обеспечивающие легкий доступ к различным функциям спектрометра.

Внутри бокса находится печатная плата со специальным участком для сборки прототипов собственных схем.

# Установка спектрометра Ocean Optics

## Общие сведения

**Программное обеспечение SpectraSuite (или OOIBase32) должно быть установлено ДО подключения спектрометра к компьютеру!**

В состав SpectraSuite и OOIBase входят драйверы, необходимые для функционирования спектрометра. При подключении спектрометра выполняется его автоматическое определение и установка необходимых драйверов.

Если спектрометр подключался к компьютеру до установки программного обеспечения, система не сможет корректно его распознать. В этом случае обратитесь к разделу «Устранение проблем подключения».

## Установка спектрометра Ocean Optics QE65000 с использованием порта USB

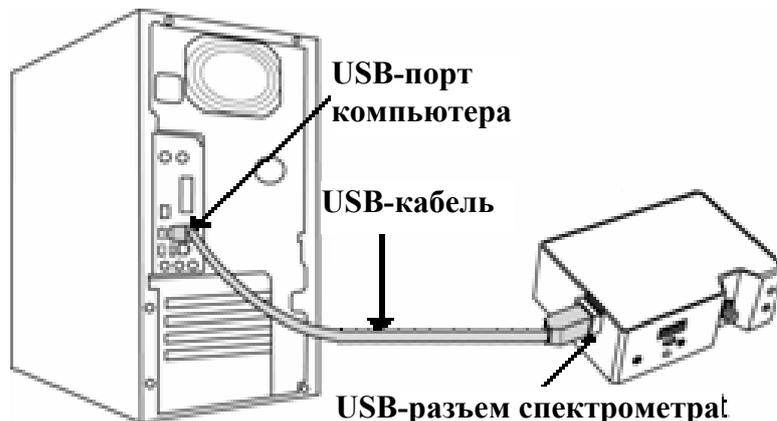
### *Примечание*

Стандартный компьютерный порт USB способен обеспечить питанием до пяти спектрометров (или спектрометрических каналов) Ocean Optics. Системы, оснащенные более чем пятью каналами, требуют наличия USB-концентратора с дополнительным питанием.

### ► Процесс установки

Следуйте приведенной инструкции для правильного подключения спектрометра Ocean Optics USB4000 к компьютеру через порт USB:

1. Установите программное обеспечение SpectraSuite на компьютер, к которому будет подключен спектрометр.
2. Распакуйте входящий в комплект поставки каждого спектрометра кабель USB.
3. Квадратный разъем кабеля вставьте в соответствующее гнездо спектрометра.
4. Прямоугольный разъем кабеля вставьте в свободный USB-порт компьютера.
5. При необходимости охлаждения детектора подключите дополнительный блок питания 5 В, входящий в комплект поставки, к спектрометру QE65000.



При подключении спектрометра после установки программного обеспечения его определение и установка драйверов выполняются автоматически. Спектрометр будет показан в списке устройств операционной системы.

При подключении спектрометра к компьютеру до установки SpectraSuite, система не сможет корректно распознать спектрометр. В этом случае обратитесь к разделу «Устранение проблем подключения».

## **Конфигурирование спектрометра QE65000 при использовании SpectraSuite**

После выполнения описанных выше шагов запустите SpectraSuite. Спектрометр сразу начнет передавать данные. Даже при отсутствии света на входе спектрометра в нижней части графика будет видна колеблющаяся линия. При попадании света в спектрометр эта линия будет подниматься тем выше, чем больше интенсивность света. Это означает, что программное обеспечение и оборудование установлены корректно.

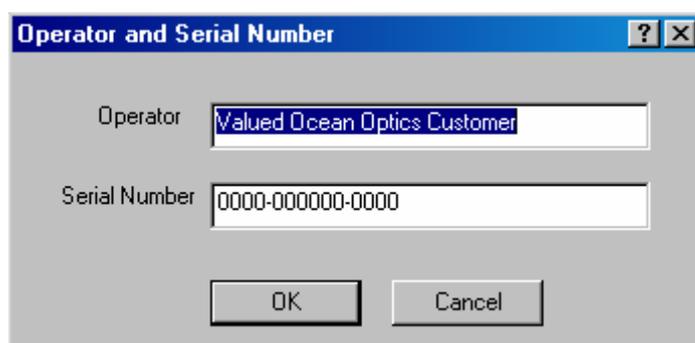
## **Конфигурирование спектрометра QE65000 при использовании OOIBase32**

После выполнения описанных выше шагов запустите OOIBase32 и выполните необходимые настройки, позволяющие верно определить спектрометр. Дополнительная информация об OOIBase32 содержится в руководстве пользователя OOIBase32.

Далее описано первичное конфигурирование спектрометра QE65000 в программе OOIBase32.

### **- Диалоговое окно Operator and Serial Number**

В диалоговом окне Operator and Serial Number следует ввести имя пользователя и серийный номер программы OOIBase32. Некоторые файлы данных, генерируемые OOIBase32, содержат эту информацию в заголовках.



Вид диалогового окна Operator and Serial Number

### **- Файл с настройками спектрометра**

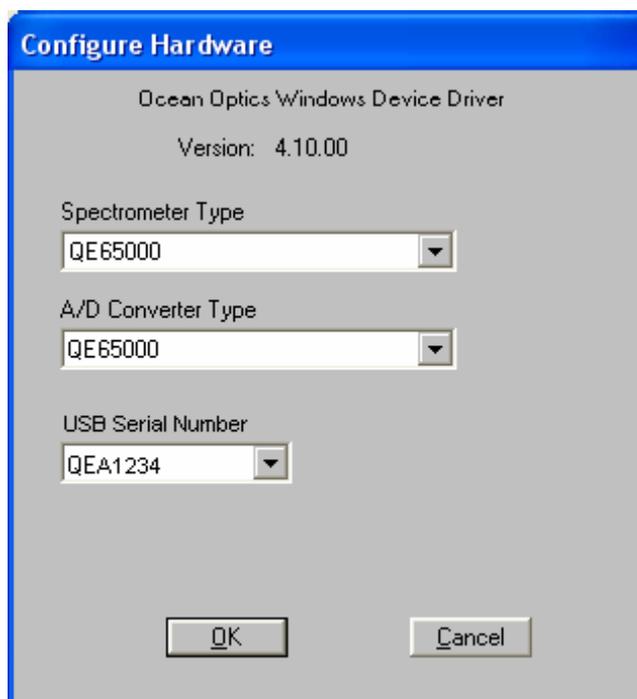
Окно Default Spectrometer Configuration File позволяет Вам выбрать файл с настройками спектрометра (.SPEC), который будет использоваться для работы с QE65000. Расширению файла предшествует уникальный серийный номер QE65000 (например, DEFAULT.SPEC).

Перейдите в папку установки OOIBase32 и выберите файл с настройками спектрометра.



## - Окно Configure Hardware

В диалоговом окне Configure Hardware следует ввести необходимую информацию о спектрометре. Обычно эти данные необходимо вводить только при первом запуске OOIBase32. Однако вы можете изменить конфигурационные данные оборудования в любое время, выбрав в меню программы пункт Spectrometer | Configure.



Вид диалогового окна Configure Hardware

► Выполните следующие шаги для настройки спектрометра:

1. Выберите тип спектрометра (QE65000) в списке Spectrometer Type.
2. Выберите тип АЦП спектрометра (QE65000) в списке A/D Converter Type.
3. Выберите серийный номер спектрометра QE65000 в списке USB Serial Number.

### **Примечание**

В списке будут содержаться серийные номера всех подключенных спектрометров QE65000.

4. Нажмите на кнопку ОК для подтверждения выбора.
5. Теперь спектрометр готов к получению данных. Выйдите из программы и запустите ее снова.

## - Окно Spectrometer Configuration

В окне Spectrometer Configuration при необходимости можно настроить параметры более низкого уровня, определяющие работу спектрометрического канала.

► Для этого выполните следующие шаги:

1. Выберите пункт меню Spectrometer | Configure и установите необходимые системные параметры.
2. Выберите вкладку Wavelength Calibration. OOIBase32 считывает калибровочные коэффициенты из памяти EEPROM спектрометра QE65000.
3. Удостоверьтесь, что считанные из памяти спектрометра коэффициенты соответствуют приведенным в калибровочном листе, прилагаемом к спектрометру. При необходимости измените эти значения, используя программу USB Programmer.
4. Также убедитесь, что активированы поля Master и Channel Enabled.
5. На вкладке A/D Interface введите те же значения, что и в окне Configure Hardware. При закрытии программы OOIBase32 вся информация будет автоматически сохранена для последующего использования.

## - Управление спектрометром QE65000 в OOIBase32

Программа OOIBase32 позволяет управлять рядом функций QE65000. Для отображения панели управления спектрометром щелкните правой кнопкой мыши на панели инструментов OOIBase32.

### *Примечание*

Если ваша версия OOIBase32 не поддерживает функции, описанные ниже, следует обновить ее последней доступной версии.

Последнюю версию OOIBase32 вы можете загрузить по адресу

<http://www.oceanoptics.com/technical/softwaredownloads.asp>.



Панель управления спектрометром QE65000 в программе OOIBase32

| Элемент управления   | Описание   |
|----------------------|--|
| TEC On               | Поставьте галочку для включения термоэлектрического охладителя (рекомендуется в лабораторных условиях).  |
| Det. Temp. Set Point | Введите температуру, до которой будет охлаждаться детектор спектрометра: <ul style="list-style-type: none"><li>• Минимальное значение: <math>-15\text{ }^{\circ}\text{C}</math>,</li><li>• Рекомендуемое значение: <math>-5\text{ }^{\circ}\text{C}</math></li></ul> Термоэлектрический охладитель и вентилятор будут работать до достижения заданной температуры. |
| Set                  | Нажмите эту кнопку для применения настроек, выполненных на панели управления QE65000.  |
| Current Det. Temp.   | Отображение текущей температуры детектора спектрометра.  |

После установки и проверки работоспособности программного обеспечения и спектрометра, вы можете приступить к сборке измерительной системы, а затем — к выполнению измерений.

## **Подключение дополнительных компонентов**

Инструкции по подключению дополнительных компонентов вы сможете найти на прилагаемом компакт-диске или загрузить с интернет-сайта Ocean Optics.

## **Внешняя синхронизация**

На 30-контактный интерфейсный разъем спектрометра QE65000 выведены линии запуска от внешнего сигнала. Более подробная информация о внешней синхронизации содержится в документе External Triggering Options, который можно загрузить по ссылке <http://www.oceanoptics.com/technical/External-Triggering.pdf>.

### ***Примечание***

При использовании карманного компьютера возможна только внешняя программная синхронизация.

# Устранение проблем подключения

Данный раздел содержит информацию по исправлению возможных неполадок, возникающих при работе со спектрометром QE65000.

## Спектрометр подключен к компьютеру до окончания установки программного обеспечения SpectraSuite или OOIBase

### - для пользователей операционной системы Windows

Если вы подключили спектрометр Ocean Optics к компьютеру до окончания установки программного обеспечения, в процессе установки могут возникнуть проблемы, которые необходимо устранить перед продолжением работы со спектрометром. Следуйте приведенной ниже инструкции для удаления из системы неверно установленного оборудования, его драйверов и установочных файлов.

#### *Примечание*

Если описанная ниже процедура не поможет решить проблему с драйвером устройства, загрузите более подробную инструкцию с сайта Ocean Optics:

<http://www.oceanoptics.com/technical/engineering/correctingdevicedriverissues.pdf>.

### 1. Удалите Неизвестное устройство из Диспетчера устройств Windows

#### ► Для этого:

1. Откройте диспетчер устройств Windows. При необходимости воспользуйтесь справкой Windows.
2. Выберите в списке устройств пункт **Другие устройства** и раскройте его, щелкнув на значке "+" слева от названия.

#### *Примечание*

Неверно установленные устройства USB также могут отображаться в ветке **Контроллеры универсальной последовательной шины USB**. Проверьте это место, если ветка **Другие устройства** отсутствует в списке.

3. Найдите **Неизвестное устройство** (отмечено большим вопросительным знаком). Щелкните на нем правой кнопкой мыши и в контекстном меню выберите пункт **Удалить**.
4. Подтвердите удаление в открывшемся предупредительном окне.
5. Отключите оборудование Ocean Optics от компьютера.

### 2. Удалите неверно установленные файлы

#### ► Для этого:

1. Откройте Проводник Windows.
2. Перейдите в папку **Windows | INF**.

### **Примечание**

Если папка INF не отображается в Проводнике, следует отключить опции **Скрывать системные файлы и папки** и **Скрывать расширения для зарегистрированных типов файлов** в Свойствах папок Windows. Окно с настройками свойств папок Windows может быть вызвано из меню **Сервис | Свойства папки** Проводника Windows.

3. Удалите файл **OOI\_USB.INF** из папки INF. Если Вы работаете в среде Windows 2000/XP, следует также удалить из этой папки файл **OOI\_USB.PNF**.
4. Перейдите в папку **Windows | System32 | Drivers**.
5. Удалите файл **EZUSB.SYS**.
6. Переустановите программное обеспечение Ocean Optics и перезагрузите систему.
7. Подключите USB-устройство Ocean Optics.

Теперь система сможет корректно определить подключенное оборудование и установить необходимые драйверы.

### **- для пользователей операционной системы Mac OS**

Проблем с преждевременным подключением спектрометра не возникает.

### **- для пользователей операционной системы Linux**

Решением проблемы в среде Linux является отключение и повторное подключение спектрометра к компьютеру.

## **2. Установлена старая версия программного обеспечения OOIBase32**

Если на компьютере, к которому предполагается подключить спектрометр HR4000, уже установлена старая версия OOIBase32, следует установить последнюю версию данной программы. Последнюю доступную версию OOIBase32 можно загрузить с интернет-сайта Ocean Optics по адресу <http://www.oceanoptics.com/technical/softwaredownloads.asp>. В процессе обновления не обязательно удалять с компьютера старую версию.

# Приложение 1.

## Калибровка спектрометра Ocean Optics QE65000 по длинам волн

### Общие сведения

В этом приложении описана процедура калибровки спектрометра по длинам волн. Каждый спектрометр калибруется на предприятии-изготовителе перед отправкой заказчику, однако с течением времени, а также при изменении условий окружающей среды возможен небольшой дрейф шкалы длин волн. Ocean Optics рекомендует проводить периодическую калибровку спектрометра.

### О калибровке

Длина волны связана с номером пиксела уравнением третьей степени:

$$\lambda p = I + C_1 p + C_2 p^2 + C_3 p^3,$$

где:

$\lambda$  = длина волны для пиксела  $p$ ;

$I$  = длина волны для пиксела 0;

$C_1$  = первый коэффициент (нм/пиксел);

$C_2$  = второй коэффициент (нм/пиксел<sup>2</sup>);

$C_3$  = третий коэффициент (нм/пиксел<sup>3</sup>);

Вам предстоит определить начальную длину волны  $I$  и три коэффициента.

## Калибровка спектрометра

### 1. Подготовка к калибровке

Для калибровки спектрометра по длинам волн вам потребуются следующее оборудование:

- Источник света, способный воспроизводить спектральные линии.

#### *Примечание*

Для калибровки спектрометров Ocean Optics идеально подходит источник излучения HG-1 с ртутно-аргоновой лампой. При отсутствии HG-1 вам потребуется другой источник излучения, воспроизводящий несколько (как минимум 4–6) спектральных линий в диапазоне работы вашего спектрометра.

- Спектрометр Ocean Optics QE65000.
- Волоконно-оптический кабель (для спектрометров без входной щели оптимальным является кабель с диаметром волокна 50 мкм).
- Программа для работы с электронными таблицами (например, Microsoft Excel или Quattro Pro), или калькулятор, позволяющий выполнять линейную регрессию третьего порядка.

### Примечание

При использовании Microsoft Excel выберите пункт **Надстройки** в меню **Сервис** и поставьте отметки напротив **AnalysisToolPak** и **AnalysisToolPak-VBA**.

## 2. Калибровка

► Для калибровки спектрометра по длинам волн выполните следующие действия:

1. Переведите SpectraSuite в режим Score и получите спектр излучения калибровочного источника. Установите такое время интегрирования (или частоту АЦП), чтобы вершины по крайней мере нескольких спектральных пиков не выходили за верхний предел шкалы.
2. Переместите курсор в область одного из пиков и установите его в точку с максимальным сигналом.
3. Запишите номер пикселя, показанный в строке состояния или легенде (расположенной под графиком). Повторите это для каждого из пиков.
4. Используя программу для работы с электронными таблицами или калькулятор, создайте таблицу по образцу, приведенному ниже. В первую колонку занесите истинные (известные из справочников) длины волн спектральных линий. Во вторую колонку занесите полученные номера пикселей, в третью — номера, возведенные в квадрат, в четвертую — номера, возведенные в куб.

| Истинная длина волны | № пикселя | № пикселя <sup>2</sup> | № пикселя <sup>3</sup> | Расчетная длина волны | Разность |
|----------------------|-----------|------------------------|------------------------|-----------------------|----------|
| 253.65               | 175       | 30625                  | 5359375                | 253.56                | 0.09     |
| 296.73               | 296       | 87616                  | 25934336               | 296.72                | 0.01     |
| 302.15               | 312       | 97344                  | 30371328               | 302.40                | -0.25    |
| 313.16               | 342       | 116964                 | 40001688               | 313.02                | 0.13     |
| 334.15               | 402       | 161604                 | 64964808               | 334.19                | -0.05    |
| 365.02               | 490       | 240100                 | 117649000              | 365.05                | -0.04    |
| 404.66               | 604       | 364816                 | 220348864              | 404.67                | -0.01    |
| 407.78               | 613       | 375769                 | 230346397              | 407.78                | 0.00     |
| 435.84               | 694       | 481636                 | 334255384              | 435.65                | 0.19     |
| 546.07               | 1022      | 1044484                | 1067462648             | 546.13                | -0.06    |
| 576.96               | 1116      | 1245456                | 1389928896             | 577.05                | -0.09    |
| 579.07               | 1122      | 1258884                | 1412467848             | 579.01                | 0.06     |
| 696.54               | 1491      | 2223081                | 3314613771             | 696.70                | -0.15    |
| 706.72               | 1523      | 2319529                | 3532642667             | 706.62                | 0.10     |
| 727.29               | 1590      | 2528100                | 4019679000             | 727.24                | 0.06     |
| 738.40               | 1627      | 2647129                | 4306878883             | 738.53                | -0.13    |
| 751.47               | 1669      | 2785561                | 4649101309             | 751.27                | 0.19     |

Независимая переменная

Зависимые переменные

Значения, полученные в результате регрессионного анализа

5. Вычислите калибровочные коэффициенты. Для этого найдите в программе электронной таблицы функции, выполняющие линейный регрессионный анализ:

- При использовании Quattro Pro перейдите в меню **Tools | Advanced Math**
- При использовании Excel перейдите в меню **Сервис | Анализ данных**

6. Выберите известную длину волны в качестве зависимой переменной (Y). В качестве независимых переменных (X) выберите номер пиксела, номер пиксела в квадрате и номер пиксела в кубе. После выполнения регрессии вы получите результат, похожий на приведенный ниже. Нужные вам величины указаны стрелками.

#### **Регрессионная статистика**

|                         |             |                  |
|-------------------------|-------------|------------------|
| Множественный R         | 0.999999831 | ← R <sup>2</sup> |
| R-квадрат               | 0.999999663 |                  |
| Нормированный R-квадрат | 0.999999607 |                  |
| Стандартная ошибка      | 0.125540214 |                  |
| Наблюдения              | 17          |                  |

|                | <b>Коэффициенты</b> | <b>Стандартная ошибка</b> |                |
|----------------|---------------------|---------------------------|----------------|
| Y-пересечение  | 190.473993          | 0.369047536               | 1й коэффициент |
| Переменная X 1 | 0.36263983          | 0.001684745               | 2й коэффициент |
| Переменная X 2 | -1.174416E-05       | 8.35279E-07               | 3й коэффициент |
| Переменная X 3 | -2.523787E-09       | 2.656608E-10              |                |

7. Запишите координату пересечения кривой с вертикальной осью (точка пересечения) и значения трех коэффициентов. Также обратите внимание на величину R<sup>2</sup>. Она должна быть очень близка к единице. Если это не так, то скорее всего вы взяли неверное значение для одной из длин волн.

### **3. Сохранение новых калибровочных коэффициентов (USB-подключение)**

Калибровочные коэффициенты, уникальные для каждого отдельного спектрометра, сохраняются в его встроенной памяти (EEPROM). Вы можете перезаписать старые калибровочные коэффициенты, находящиеся в EEPROM, через порт USB с помощью специальной программы.

► *Для сохранения новых калибровочных коэффициентов в EEPROM выполните следующие действия:*

1. Убедитесь, что спектрометр корректно подключен к компьютеру и все приложения закрыты.
2. Откройте в браузере страницу <http://www.oceanoptics.com/technical/softwaredownloads.asp> и переместитесь вниз до раздела **Microcode**. Выберите пункт **USB EEPROM Programmer**.
3. Сохраните установочный файл программатора на свой компьютер.
4. Запустите файл **Setup.exe** для установки программатора. На экране отобразится окно приветствия **Welcome**.
5. Нажмите кнопку **Next**. Отобразится экран выбора места установки **Destination Location**.
6. Подтвердите установку по умолчанию, или нажмите на кнопку **Browse** для выбора другой папки. Затем нажмите на кнопку **Next**. На экране отобразится окно **Program Manager Group**.
7. Нажмите на кнопку **Next**. На экране отобразится окно начала установки **Start Installation**.
8. Для начала установки нажмите на кнопку **Next**. По окончании установки на экране отобразится окно **Installation Complete**.

9. Нажмите на кнопку **Finish** и перезагрузите компьютер.
10. После перезагрузки компьютера выберите в меню Пуск пункт **USB EEPROM Programmer** и запустите приложение.
11. Выберите необходимое устройство (спектрометр) в левой панели окна программатора **USB Programmer**.
12. Дважды щелкните на каждом из калибровочных коэффициентов, отображенных в правой панели окна программатора, и введите новые значения.
13. Повторите шаг 12 для всех новых значений.
14. Нажмите на кнопку **Save All Values** для сохранения информации, затем закройте программатор, нажав кнопку **Exit**.

Теперь новые калибровочные коэффициенты сохранены в памяти EEPROM спектрометра QE65000.

## Приложение 2

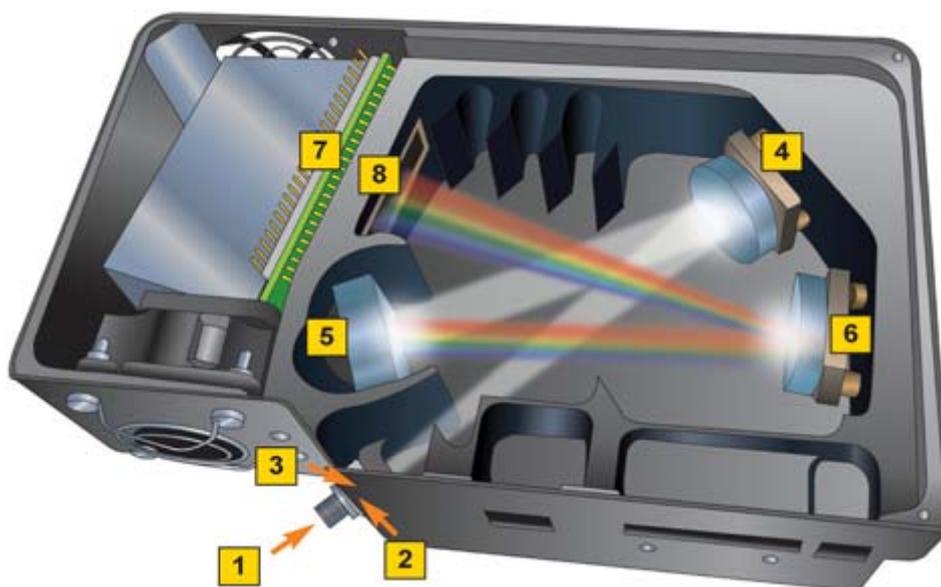
### Технические характеристики

#### Общие сведения

Этот раздел содержит информацию об устройстве спектрометра, его технических характеристиках и совместимости с компьютерами. Также приведена схема дополнительного разъема спектрометра и описано назначение его контактов.

#### Принцип работы спектрометра QE65000

Ниже схематично показан путь света через оптический модуль спектрометра QE65000. Оптический модуль не содержит подвижных частей, подверженных износу и риску поломки; все компоненты фиксируются во время сборки. Замену компонентов спектрометра могут выполнять только специалисты компании Ocean Optics.



Расположение компонентов спектрометра QE65000

#### Таблица компонентов спектрометра QE65000

| Компонент | Название                   | Описание  |
|-----------|----------------------------|---|
| 1         | Разъем SMA 905             | Фиксирует положение входного оптического волокна. Через этот разъем свет из оптического волокна попадает в оптический модуль спектрометра.  |
| 2         | Фиксированная входная щель | Пластина из непрозрачного материала с прямоугольной прорезью, установленная непосредственно за разъемом SMA. От ширины щели зависит количество света, попадающего в оптический модуль, а также оптическое разрешение. Возможно использование спектрометра без щели. В этом случае размер входной апертуры определяется диаметром оптического волокна. Замена щели должна осуществляться только специалистами компании Ocean Optics. |

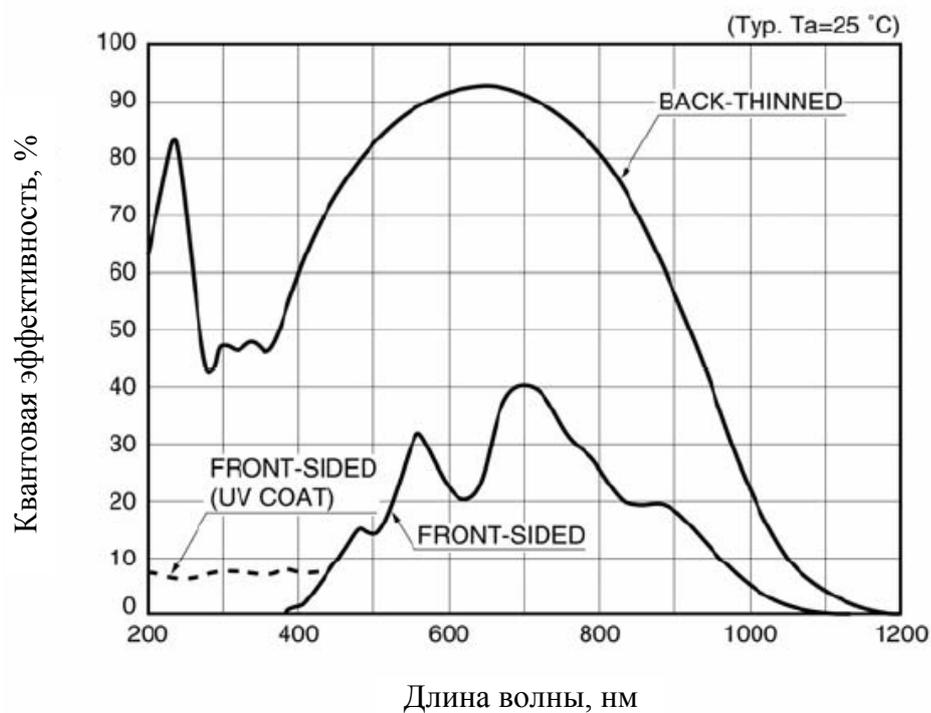
|   |   |  |
|---|---|--|
| 3 | Оптический фильтр                         | Ограничивает спектр оптического излучения определенным диапазоном длин волн. Свет проходит через фильтр до входа в оптический модуль. В спектрометр могут устанавливаться длинноволновые и коротковолновые поглощающие фильтры. Замена оптического фильтра должна осуществляться только специалистами компании Ocean Optics. |
| 4 | Коллимирующее зеркало                     | Преобразует расходящийся световой пучок, вышедший из оптического волокна, в параллельный, и направляет его на дифракционную решетку. Можно выбрать стандартное зеркало или зеркало SAG+.   |
| 5 | Дифракционная решетка                     | Разлагает свет в спектр и направляет его на фокусирующее зеркало. От конструкции и числа штрихов дифракционной решетки зависят спектральный диапазон и разрешение спектрометра. Замена дифракционной решетки должна осуществляться только специалистами компании Ocean Optics.   |
| 6 | Фокусирующее зеркало                      | Фокусирует свет, отраженный от дифракционной решетки, на поверхность ПЗС-детектора.  |
| 7 | Детектор с термоэлектрическим охлаждением | Преобразует световой сигнал в электрический. Каждый пиксел линейного ПЗС-детектора соответствует определенной длине волны света. После аналого-цифрового преобразования спектр в цифровом виде передается программе SpectraSuite или OOIBase.  |
| 8 | Переменный фильтр высших порядков OFLV    | Переменный фильтр высших порядков срезает второй и третий порядки дифракции. Устанавливается по заказу.  |

# Технические характеристики спектрометра QE65000

В этом разделе приведены технические характеристики ПЗС-детектора, а также спектрометра в целом.

## Детектор

|  |  |
|--|--|
| Тип, модель:   | линейный ПЗС, Hamamatsu S7031-1006   |
| Спектральный диапазон:                                   | 200–1100 нм с окном;<br>до 150 нм в исполнении VUV<br>(в исполнении VUV предусмотрена продувка<br>оптического модуля и отсутствует окно<br>детектора, охладитель не устанавливается);<br>200–925 нм с решеткой HC1 |
| Активная площадь:  | 24.576 x 1.392 мм  |
| Чувствительность:  | 130 фотонов/отсчет (400 нм);<br>60 фотонов/отсчет (600 нм)   |
| Площадь пикселя:   | 24.6 мкм <sup>2</sup>  |
| Емкость пикселя:   | 300 тыс. электронов (одна ячейка);<br>~1.5 млн. электронов (суммирующая ячейка<br>столбца)   |
| Темновой ток:  | 4000 эл/пикс/с при 25 °С;<br>200 эл/пикс/с при 0 °С  |
| Темновой шум:  | 2.5 отсчета RMS  |
| Шум считывания   | 1.5 отсчетов RMS (40 электронов)   |
| Линейность<br>нескорректированная:<br>скорректированная: | 1% максимум<br>< 0.5 %   |
| Квантовая эффективность                                  | 90% в максимуме (см. график ниже)  |



Квантовая эффективность детектора

## Спектрометр

|  |   |
|--|---|
| Габаритные размеры:                              | 185 x 115 x 50 мм.  |
| Вес:<br>QE65000<br>Источник питания              | 1180 г<br>450 г   |
| Температура:<br>рабочая<br>хранения              | 0...+50 °C<br>-30°C ... +70 °C<br>Охлаждение детектора возможно не более чем на 40 °C ниже температуры окружающей среды |
| Допустимая влажность:                            | 0–90% без конденсации   |
| Питание:<br>без охладителя<br>с охладителем      | 5В, 500 мА<br>5В, 3.5 А   |
| Напряжение питания:                              | 4.5–5.5 В   |
| Время включения:                                 | 2 с   |
| Отношение сигнал/шум:                            | 1000:1 для единичного измерения   |
| Дифракционная решетка/<br>спектральный диапазон: | 14 вариантов, от УФ до ближнего ИК  |
| Входная апертура:                                | щель 5, 10, 25, 50, 100 или 200 мкм, или волокно (без щели); выбирается при заказе                                      |
| Коллимирующие и фокусирующие                     | стандартные или SAG+UPG; выбираются при   |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| зеркала:                      | заказе  |
| Фильтры высших порядков:      | длинноволновые и полосовые;<br>устанавливаются по заказу  |
| Фокусное расстояние (входное) | f/4, 101 мм   |
| Оптическое разрешение         | зависит от дифракционной решетки и входной щели   |
| Рассеяние                     | < 0.05% при 600 нм; < 0.10% при 435 нм  |
| Динамический диапазон         | $7.5 \times 10^9$ (во всем диапазоне интегрирования);<br>25000:1 (для единичного интегрирования)                                  |
| Волоконно-оптический разъем:  | SMA 905 для одножильного волоконно-оптического кабеля с числовой апертурой 0.22   |
| Скорость передачи данных:     | полный спектр передается с периодом 7 мс (USB 2.0)  |
| Время интегрирования:         | от 8 мс до 15 мин   |
| Интерфейсы:                   | USB 2.0, 480 Мбит/с (совместим с USB 1.1);<br>RS-232 (2 провода), 115.2 Кбод  |
| Операционная система:         | Windows 98/Me/2000/XP, Mac OS X и Linux при подключении через USB; любая 32-разрядная версия Windows при подключении через RS-232 |

## 30-контактный интерфейсный разъем

Дополнительный 30-контактный интерфейсный разъем расположен на передней панели спектрометра.



Расположение 30-контактного разъема на корпусе спектрометра QE65000

## Схема расположения контактов

|          |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| USB-порт | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 |
|          | 1 | 3 | 5 | 7 | 9  | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 |

## Назначение контактов

| № контакта | Назначение                       | Направление сигнала | Описание   |
|------------|----------------------------------|---------------------|--|
| 1          | RS232 Rx                         | Вход                | Сигнал приема RS232 (контакт 3 разъема DB9)  |
| 2          | RS232 Tx                         | Выход               | Сигнал передачи RS232 (контакт 2 разъема DB9)  |
| 3          | GPIO (2)                         | Вход/выход          | Программируемый цифровой вход/выход общего назначения (номер канала)                               |
| 4          | –                                | –                   | Зарезервирован   |
| 5          | Общий (Ground)                   | Вход/выход          | Общий  |
| 6          | I <sup>2</sup> C SCL             | Вход/выход          | Тактовый сигнал I <sup>2</sup> C (для связи с другими устройствами по интерфейсу I <sup>2</sup> C) |
| 7          | GPIO (0)                         | Вход/выход          | Программируемый цифровой вход/выход общего назначения (номер канала)                               |
| 8          | I <sup>2</sup> C SDA             | Вход/выход          | Сигнал данных I <sup>2</sup> C (для связи с периферийными устройствами I <sup>2</sup> C)           |
| 9          | GPIO (1)                         | Вход/выход          | Программируемый цифровой вход/выход общего назначения (номер канала)                               |
| 10         | Внешний запуск (Ext. Trigger In) | Вход                | Сигнал TTL, см. раздел «Внешняя синхронизация»   |

|    |   |                |  |
|----|---|----------------|--|
| 11 | GPIO (3)                                      | Вход/выход     | Программируемый цифровой вход/выход общего назначения (номер канала)   |
| 12 | V <sub>CC</sub> или 5V <sub>IN</sub>          | Вход или выход | Питание спектрометра. При работе в режиме USB этот контакт можно использовать для питания периферийного оборудования (убедитесь, что оно соответствует стандартам USB) |
| 13 | SPI Data Out                                  | Выход          | Сигнал SPI Master Out Slave In (MOSI) (для связи с периферийными устройствами SPI)   |
| 14 | V <sub>CC</sub> или 5V <sub>IN</sub>          | Вход или выход | Питание спектрометра. При работе в режиме USB этот контакт можно использовать для питания периферийного оборудования (убедитесь, что оно соответствует стандартам USB) |
| 15 | SPI Data In                                   | Вход           | Сигнал SPI Master In Slave Out (MISO) (для связи с периферийными устройствами SPI)   |
| 16 | GPIO (4)                                      | Вход/выход     | Программируемый цифровой вход/выход общего назначения (номер канала)   |
| 17 | Однократное стробирование (Single Strobe)     | Выход          | Сигнал TTL для стробирования внешних устройств. Имеет программируемую задержку относительно начала периода интегрирования спектрометра                                 |
| 18 | GPIO (5)                                      | Вход/выход     | Программируемый цифровой вход/выход общего назначения (номер канала)   |
| 19 | SPI Clock                                     | Выход          | Сигнал SPI Clock (для связи с периферийными устройствами SPI)  |
| 20 | Непрерывное стробирование (Continuous Strobe) | Выход          | Сигнал TTL для стробирования внешних устройств, получен делением частоты основного тактового сигнала   |
| 21 | SPI Chip Select                               | Выход          | Сигнал SPI Chip/Device Select (для связи с периферийными устройствами SPI)   |
| 22 | GPIO (6)                                      | Вход/выход     | Программируемый цифровой вход/выход общего назначения (номер канала)   |
| 23 | –   | –              | Зарезервирован   |
| 24 | –   | –              | Зарезервирован   |
| 25 | Управление источником света (Lamp Enable)     | Выход          | Сигнал TTL, высокий уровень устанавливается по команде Lamp Enable   |
| 26 | GPIO (7)                                      | Вход/выход     | Программируемый цифровой вход/выход общего назначения (номер канала)   |
| 27 | Общий (Ground)                                | Вход/выход     | Общий  |
| 28 | GPIO (8)                                      | Вход/выход     | Программируемый цифровой вход/выход общего назначения (номер канала)   |
| 29 | Общий (Ground)                                | Вход/выход     | Общий  |
| 30 | GPIO (9)                                      | Вход/выход     | Программируемый цифровой вход/выход общего назначения (номер канала)   |

## Номера деталей 30-контактного разъема по каталогу производителя

- Разъем модели Pak50™ выпускается 3M Corp под номером P50-030P1-RR1-TG.
- Ответная часть: P50-030S-TGF.
- Для соединения двух компонентов требуются два ленточных кабеля с шагом 1.27 mm (50 mil). Рекомендуются кабели 3M серии 3365.

Эта информация может потребоваться при построении специализированной спектрометрической системы или реализации внешнего запуска.

## Назначение контактов 15-контактного разъема для подключения дополнительных принадлежностей

| № контакта | Описание      | № контакта | Описание   |
|------------|---------------|------------|------------|
| 1          | Single Strobe | 9          | GPIO-9     |
| 2          | ContStrobe    | 10         | GND SIGNAL |
| 3          | V5_SW         | 11         | SDA        |
| 4          | ExtTrigIn     | 12         | SCL        |
| 5          | ExtTrigIn     | 13         | LampEnable |
| 6          | GPIO-8        | 14         | A_IN       |
| 7          | A_OUT         | 15         | GPIO-7     |
| 8          | ExtTrigIn     |            |            |