

MAGUS

ВЫБОР КАМЕРЫ ДЛЯ МИКРОСКОПА

Цифровая камера микроскопа — это профессиональное устройство, которое выводит изображение объектов исследования под микроскопом на экран компьютера или монитор. Камера делает фотографии и снимает видео, сохраняет информацию для создания архивов и демонстрации наглядного материала или используется для проведения онлайн-трансляций.

При выборе транспортного средства мы прежде всего держим в уме задачи, которые оно призвано решить, и только затем определяемся с его размерами: в одном случае идеально подойдет самолет, в другом — танкер, в третьем — велосипед. Так же и с цифровой камерой: сначала нужно понять, какие задачи должна решать камера, а затем соотнести их с методами исследования, которые применяются на микроскопе. Типовые задачи для камеры: документирование или только онлайн-демонстрация результатов исследования, съемка фото или видео; обработка изображения или только вывод картинки на экран. Методы исследования для микроскопа: предполагаются манипуляции под микроскопом или только наблюдение; исследования на малом увеличении или на 100-кратном объективе; применение метода светлого или темного поля, люминесценции или фазового контраста; наблюдение подвижных или неподвижных объектов.

В описании камер встречаются понятия матрицы, пикселя, разрешения. **Матрица, или сенсор**, камеры — это микросхема, которая состоит из светочувствительных элементов (фотодиодов). Принцип работы, если упростить, выглядит так: объектив микроскопа формирует изображение — свет, фотодиоды принимают свет, формируют электрический сигнал и преобразуют этот сигнал в цифровой. Один диод — один **пиксель**. **Разрешение матрицы** определяется количеством фотодиодов: чем больше пикселей, тем выше разрешение. Производители предлагают камеры для микроскопов с разрешением от 0,3 Мпикс до 40 Мпикс. Потребитель выбирает камеру с большим разрешением в надежде улучшить качество изображения, но это так не работает.

В этой статье мы разберемся, на какие характеристики камеры следует обратить внимание, чтобы получить максимально четкое и детальное изображение.

КАК РАЗРЕШЕНИЕ И РАЗМЕР МАТРИЦЫ СВЯЗАНЫ С ОПТИКОЙ МИКРОСКОПА

Камера подбирается под микроскоп, поэтому при выборе камеры учитывайте оптические свойства микроскопа, а точнее объектива, поскольку только объектив участвует в формировании изображения объекта для камеры.

Главная характеристика объектива — предел разрешения. Пределом разрешения называется наименьшее расстояние между двумя точками или линиями, при котором эти точки или линии будут различаться и не сливаться в одну.

Предел разрешения объектива 100x с апертурой 1,25 составляет 0,20–0,35 мкм, а предел разрешения объектив 4x с апертурой 0,1 составляет 2,77–3,38 мкм.

Поэтому при выборе разрешения камеры ориентируйтесь на объектив микроскопа, с которым чаще проводятся исследования. Также полезное разрешение камеры зависит от размера сенсора и увеличения оптического адаптера.

Кто хочет самостоятельно разобраться в этом вопросе, посмотрите видео с объяснениями теории волновой оптики и выводом формул: <https://www.youtube.com/watch?v=ALaC8N8qEOA>

Когда исследования проводятся на объективе 100x, справятся с задачей камеры 1,7–5 Мпикс. Дополнительные пиксели никак не повлияют на качество изображения. При малом увеличении объектива, наоборот, дополнительные пиксели позволят получить больше деталей. Так, для объектива 4x и для стереомикроскопа подходят камеры 5 Мпикс и выше. Также разрешение камеры напрямую зависит и от размера сенсора: чем больше размер сенсора, тем большее разрешение будет полезным.

Например, если установить камеру 18 Мпикс с размером матрицы 1/2,3" на микроскоп при работе с объективом 100x, качество изображения потеряется. Потеря качества произойдет из-за пониженного соотношения сигнал/шум и работы на завышенных настройках чувствительности. Камера 3 Мпикс с размером матрицы 1/1,2", наоборот, выдаст четкое изображение при работе и с объективом 100x, и с объективом 40x.

Ниже приведена таблица, в которой при расчете разрешения камеры использовались средняя длина волны 555 нм и оптические адаптеры, которые подходят под конкретный размер сенсора. Для определения предела разрешения объектива применялся не критерий Рэля, как в предложенном видео, а привычная формула Аббе $d = \lambda/2NA$, где λ — длина волны, NA — числовая апертура объектива. Произведение увеличения объектива и предела его разрешения дает изображение точки для считывания камерой. Камера различает две точки, если расстояние между ними не меньше 0,4 диаметра диска Эйри. Таблица рассчитана на основании этих вводных.

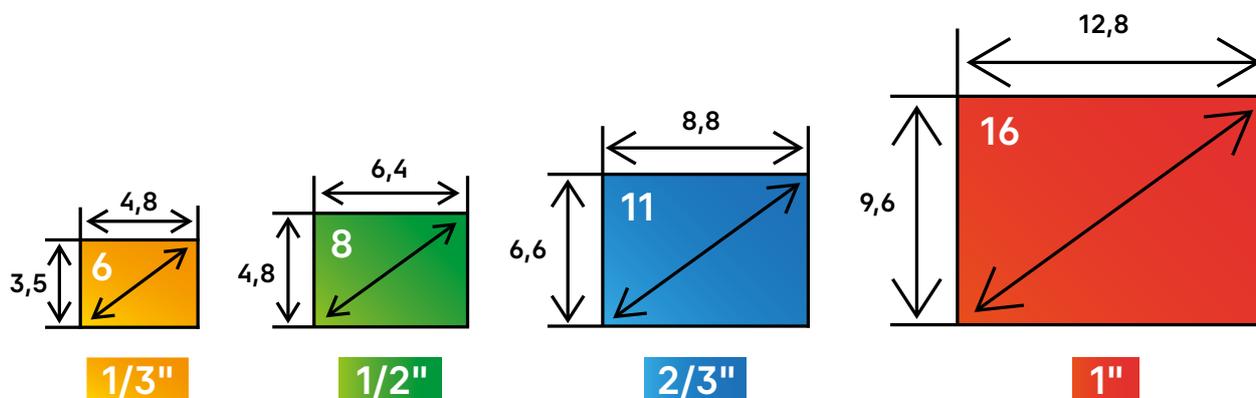
Размер сенсора Адаптер	1/2,5" 0,5x	1/2,3" 0,5x	1/2" 0,5x	1/1,8" 0,5x	2/3" 0,75x	1/1,2" 0,75x	1" 1x	1,1" 1x	4/3" 1x
Увеличение объектива/апертура									
4x/0,10	5,04	5,85	6,02	8,03	5,46	6,40	5,91	7,36	11,68
10x/0,25	5,04	5,85	6,02	8,03	5,46	6,40	5,91	7,36	11,68
20x/0,40	3,23	3,74	3,86	5,14	3,50	4,10	3,78	4,71	7,48
40x/0,65	2,13	2,47	2,55	3,39	2,31	2,71	2,50	3,11	4,94
60x/0,80	1,43	1,66	1,71	2,28	1,55	1,82	1,68	2,09	3,32
100x/1,25	1,26	1,46	1,51	2,01	1,37	1,60	1,48	1,84	2,92

Точный теоретический расчет разрешения камеры не предусматривает погрешности оптики и характер структуры объекта, поэтому желательно выбирать разрешение камеры больше того, что дает теория.

Рассмотрим другие параметры, которые стоит учесть при выборе камеры для микроскопа.

РАЗМЕР МАТРИЦЫ

Размер матрицы — это длина диагонали, которая выражается в дюймах. В камерах для микроскопов используют типичные размеры матриц: 1/4", 1/3", 1/2,8", 1/2,5", 1/2,3", 1/2", 1/1,8", 2/3", 1/1,2", 1", 1,1", 4/3". Истинная единица измерения не дюйм, а видиконовский дюйм, который составляет 2/3 полноразмерного имперского дюйма. Длины сторон матрицы обозначаются в миллиметрах.



Большая матрица дает следующие преимущества:

- Меньше шума, следовательно, чище снимок: это важно при работе по методу темного поля и в свете люминесценции;
- Больше света, следовательно, больше оттенков, большая глубина цвета: важно при работе в поляризованном свете и с монохромными объектами;
- Больше размер поля зрения: при корректном подборе C-mount адаптера поле зрения изображения с камеры приближается к полю зрения в окулярах;
- Чем больше матрица, тем больше фотодиодов большего размера помещаются, а значит, решаются обе задачи – и повысить светочувствительность, и повысить разрешение.

На матрице 1/2,5" помещается 5,1 млн пикселей размером 2,2x2,2 мкм, а на матрице 4/3" помещается 21 млн пикселей размером 3,3x3,3 мкм.

Для учебного микроскопа подойдет матрица размером 1/3"–1/2,5", для лабораторного — 1/2,3" и больше, а вот для профессиональной работы в свете люминесценции лучше выбирать матрицу не меньше 1/1,2".

ФИЗИЧЕСКИЙ РАЗМЕР ПИКСЕЛЯ

Размер пикселя — длина сторон фотодиода в микронах. В камерах для микроскопов размер пикселя варьирует от 1,25x1,25 мкм до 9x9 мкм.

Чем больше пиксель, тем больше света на него попадает, следовательно, тем меньше шумов на снимке и выше светочувствительность камеры. Сравним две камеры с матрицами одинакового размера 1/1,2". В камере MAGUS CDF50 стоит матрица с пикселем 5,8x5,8 мкм. В камере MAGUS CDF30 стоит матрица с пикселем 2,9x2,9 мкм. Светочувствительность первой камера в 1,5 раза превосходит светочувствительность второй.

Выбирая между камерами с одинаковым размером матрицы и неравным разрешением, учитывайте, что выше светочувствительность у камеры с бóльшим физическим размером пикселя, т.е. с меньшим разрешением.

Матрица с пикселем 3x3 мкм подойдет при работе в светлом поле на объективах 40x, 60x и 100x. Для темного поля на этих объективах рекомендуется выбирать размер пикселя не меньше 3,5x3,5 мкм. При съемке в свете люминесценции лучше себя покажут матрицы с пикселем 5x5 мкм и больше.

КАК ПОДОБРАТЬ АДАПТЕР ДЛЯ КАМЕРЫ

Оптико-механический адаптер — это устройство для установки камеры на микроскоп. Адаптеры различаются конструкцией и увеличением. Конструкцию адаптера определяет микроскоп, на который устанавливается камера. Увеличение адаптера подбирается под камеру.

Рынок предлагает два типа адаптеров: оригинальные для установки камеры в канал визуализации микроскопа и универсальные окулярные адаптеры. Один конец обоих типов адаптеров заканчивается резьбой C-mount, на которую накручивается стандартная камера. Другой конец устанавливается в микроскоп и различается конструкцией и внешним видом. Устройство оригинального C-mount адаптера соответствует конструкции и оптическим свойствам канала визуализации конкретной модели микроскопа. Эти оригинальные адаптеры идут в комплекте с тринокулярными микроскопами MAGUS.

Другой тип — универсальные окулярные C-mount адаптеры — устанавливаются в тубус визуальной насадки микроскопа с посадочным диаметром 23,2 мм, 30 мм или 30,5 мм вместо окуляра. Такие универсальные C-mount адаптеры не входят ни в комплект микроскопов, ни в комплект камер MAGUS и при необходимости установки камеры в бинокулярный микроскоп приобретаются дополнительно.



Оригинальный адаптер



Универсальный окулярный адаптер

Выбор увеличения адаптера зависит от размера матрицы камеры и от задачи, которую решает камера. Стандартное требование к оптике адаптера – показать как можно большее поле зрения без искажений. Для соблюдения этого требования используются адаптеры:

- 0,37х или 0,35х для сенсоров размером 1/4"–1/3";
- 0,5х для сенсоров размером 1/3"–1/1,8";
- 0,63х для сенсоров размером 1/2"–2/3";
- 0,75х для сенсоров размером 1/1,8"–1";
- 1х для сенсоров размером 1/1,2" и больше.

Для решения нестандартных задач требуются дополнительные адаптеры:

1. Если стоит задача обрезать поле зрения и получить как можно большее увеличение на экране, потребуется адаптер с большей кратностью — 0,75х или 1х.

Пример фото с камеры CBF10 (18 Мпикс, 1/2,3" (6,14x4,61 мм)) на стереоскопическом микроскопе MAGUS STEREO 9T на увеличении объектива 0,7х с использованием адаптера 1х.



2. С задачей получить как можно большее поле зрения справится уменьшающий адаптер 0,37х или 0,5х.

Пример фото с камеры CBF10 (18 Мпикс, 1/2,3" (6,14x4,61 мм)) на стереоскопическом микроскопе MAGUS STEREO 9T на увеличении объектива 0,7х с использованием адаптера 0,37х.

Важно помнить:

- если таким образом вписываем круг поля зрения объектива в прямоугольник монитора, на изображении появятся края адаптера;
- адаптер 0,37х при работе на объективах 4х и 10х уменьшает разрешение изображения камеры с пикселем 6 мкм и выше.

3. Если стоит задача показать и максимальное поле зрения, и максимально возможное разрешение, потребуется установить на адаптер 1х камеру с большой диагональю сенсора и большим разрешением.

Пример фото с камеры CBF70 (21 Мпикс, 4/3" (17,4x13,0 мм)) на стереоскопическом микроскопе MAGUS STEREO 9T на увеличении объектива 0,7х с использованием адаптера 1х.

Фотографии при размещении в статье сжимаются, поэтому разница качества изображения на втором и третьем примере неочевидна. На оригинальных фотографиях разница качества изображения не вызывает сомнений.



КАМЕРА: ЦВЕТНАЯ И МОНОХРОМНАЯ

Камеры изготавливаются в монохромном и цветном исполнении.

Изначально матрица монохромная — черно-белая. Пиксель умеет накапливать только свет и не различает цвета. Монохромный сенсор реагирует одинаково на свет в соответствии с собственной чувствительностью.

Цветная матрица получается из монохромной. На каждый пиксель монохромной матрицы наносятся 4 светофильтра: 1 красный, 1 синий и 2 зеленых. Поверх фильтров наносятся 4 микроскопические линзы для сбора света. Благодаря цветным фильтрам пиксели матрицы показывают интенсивность этих цветов. При этом часть света отражается от фильтров и это снижает суммарную чувствительность пикселя.

Один и тот же сенсор, выполненный в черно-белом и цветном вариантах, различается техническими характеристиками: светочувствительность и частота кадров монохромного сенсора в среднем в 2–4 раза выше. Следовательно, при одинаковом уровне света монохромное изображение будет ярче и контрастнее.

Сравним две камеры на базе одной матрицы 1,7 Мпикс, размер 1,1", пиксель 9x9 мкм по светочувствительности и частоте кадров (понятие частоты кадров разобрано дальше):

	Светочувствительность	Частота
Цветная камера MAGUS CLM50	4910 мВ	33 кадра в секунду
Монохромная камера MAGUS CLM70	8100 мВ	94 кадра в секунду

При этом цены на обе камеры лежат в одном диапазоне.

Цветная камера подходит в случае, если для выделения или классификации объекта исследования под микроскопом важен цвет.

Монохромная камера подходит для решения задач, при которых на микроскопе используются методы контрастирования с пониженной освещенностью: при работе по методу темного поля или люминесценции.

ЧАСТОТА КАДРОВ

Частота кадров, или FPS (frames per second), — это количество кадров, которые камера фиксирует за секунду. Частота кадров камер для микроскопии различается от 2 до 125 кадров в секунду. Утверждение, что человеческий глаз не воспринимает скорость выше 24 FPS — это миф, который зародился в сфере кинематографии. Индустрия кинематографа из экономических соображений утвердила 24 кадра, поскольку это минимальная частота, которая давала реалистичное видео и поддерживала приемлемый звук при воспроизведении. Увеличение скорости увеличивало финансовые затраты.

В действительности предел восприятия человеческого глаза составляет 1000 FPS. В быту человек не живет на пределах зрения, в среднем видит и обрабатывает до 150 кадров в секунду и только при регулярных тренировках достигает 250 FPS. Это геймеры, пилоты истребителей, автогонщики.

Камеру с высокой частотой кадров выбирайте для изучения под микроскопом живых объектов, для манипуляций под стереоскопическим микроскопом, для демонстрации на мониторе в студенческой аудитории. Для съемки неподвижных объектов подойдет камера с меньшим FPS, поскольку частота кадров важна только для настройки фокуса микроскопа.

Камера с частотой 5 FPS не подходит ни для комфортной настройки микроскопа, ни для съемки подвижных объектов, ни для манипуляций под микроскопом. Поэтому камеры с таким FPS не входят в модельный ряд профессиональных камер MAGUS.

Камера MAGUS CBF50 с частотой 53 FPS позволит легко настроить фокус даже при работе с объективом 100x.

Для манипуляций под стереоскопическим микроскопом подойдет камера MAGUS CHD20 со скоростью 60 FPS.

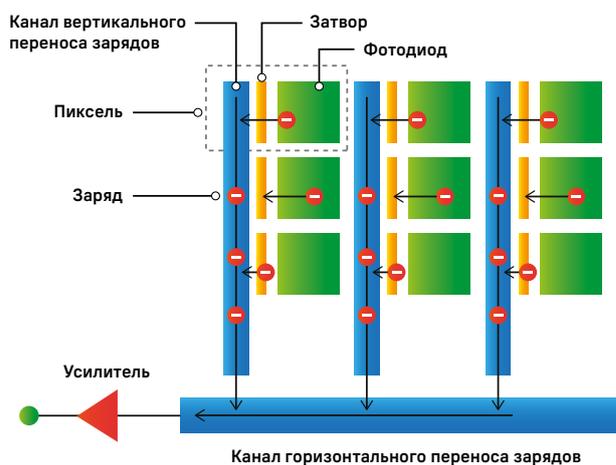
Комфортную настройку микроскопа на малом увеличении гарантирует камера с 20 FPS, а на увеличении объектива 100x потребуется 50 FPS.

Камера с 60 FPS и выше позволит работать под стереоскопическим микроскопом, снимать быстротекущие процессы или подвижные объекты.

ТИП МАТРИЦЫ

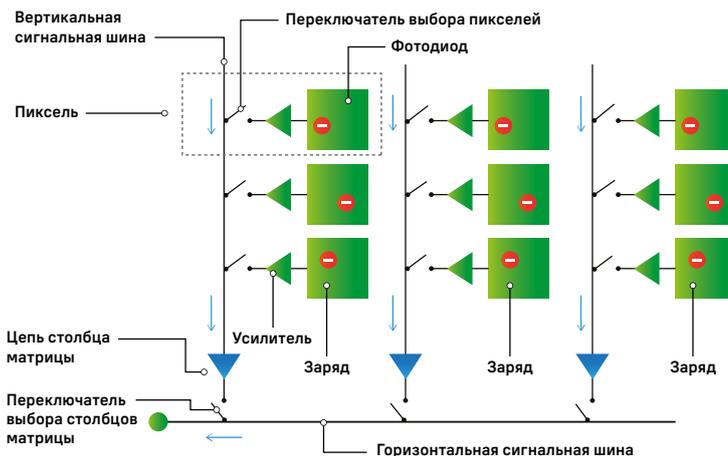
Камеры для микроскопии используют два типа матриц: **CCD** (ПЗС) и **CMOS** (КМОП). Различие матриц заключается в методике преобразования сигнала, который идет от пикселя.

Матрица CCD (ПЗС; Прибор с Зарядовой Связью) работает следующим образом: заряд между чувствительными элементами передается последовательно от пикселя к пикселю с минимумом шумов. Заряды сдвигаются по матрице строчками сверху вниз. Перед тем, как покинуть сенсор, заряд усиливается, и аналоговый сигнал пересылается на отдельный аналого-цифровой преобразователь. Цифровые данные преобразуются в байты, которые представляют строчку изображения. Матрица работает медленно и энергозатратно, зато создает меньше помех, следовательно, производит меньше шумов на выходе. Сложная электронная схема сопровождения повышает стоимость камеры с использованием матрицы CCD.



Структура CCD-матрицы

Матрица CMOS (КМОП;
Комплементарная структура
Металл — Оксид — Полупроводник)
 использует другой принцип работы:
 устройство обработки информации
 размещено рядом с каждым пикселем.
 Матрица работает быстро, уровень
 энергопотребления понижается,
 но такая методика добавляет шумы.



Структура CMOS-матрицы

Технологии постоянно совершенствуются. Производители уделяют больше внимания матрицам CMOS и, как следствие, камеры CMOS переживают серьезное развитие. CMOS сенсоры стали лучше работать при съемке со слабым освещением благодаря технологии обратной засветки компании SONY. Так убрали недостаточную светочувствительность.

Качество изображений камеры с матрицей CMOS зачастую не уступают камерам CCD. Камеры CMOS потребляют меньше энергии, работают быстрее.

Производство этих камер обходится дешевле, поэтому цена на CMOS-камеры ниже.

Сравним две монохромные камеры для люминесценции с двухступенчатым охлаждением на базе сенсоров одного производителя SONY:

Тип	Разрешение	Диагональ	Пиксель	Светочувствительность	Скорость
MAGUS CLM70	1,7 Мпикс	1,1"	9,0 x9,0	8100 мВ	94 FPS
CCD ICX825ALA	1,4 Мпикс	2/3"	6,45x6,45	2000 мВ	25 FPS

Характеристики CMOS-камеры превосходят характеристики камеры CCD, при этом цена CMOS-камеры в два раза ниже.

Современные камеры на базе сенсоров CMOS можно смело выбирать для лабораторной микроскопии, проведения онлайн-трансляций, демонстрации наглядного материала в учебном процессе.

Камеры на базе сенсора CCD по-прежнему отличаются меньшим цифровым шумом. Такие камеры подойдут для микроскопа исследовательского уровня в случае, если не важна скорость, нет ограничения по финансам и принципиальное значение имеет отсутствие шумов на снимке.

ЗАТВОР

Термин пришел из аналоговой фототехники. Затвор у аналогового фотоаппарата — шторка, которая открывает доступ света к фотопленке и определяет время экспозиции. Затвор цифровой камеры обозначает способ считывания сигнала со светочувствительных элементов матрицы. Первый способ — скользящий, бегущий, строчный затвор (Rolling Shutter). Второй способ — глобальный, центральный затвор (Global Shutter).

В режиме скользящего затвора сигнал считывается построчно сверху вниз, т.е. каждая следующая строка смещает по времени экспозицию от предыдущей. Недостаток — искажения быстро движущихся объектов. В режиме глобального затвора считывание сигнала со всех пикселей происходит одновременно. Global Shutter захватывает «стоп-кадр» подвижных объектов и снимает в условиях слабого освещения. Недостатки по сравнению со скользящим затвором: больше влияет на разогрев сенсора, снижает динамический диапазон, увеличивает шум изображения, дороже стоит.

Глобальный затвор рекомендуется при покупке камеры для работы в свете люминесценции или для съемки быстро движущихся объектов. В остальных случаях подойдет скользящий затвор.

ИНТЕРФЕЙС

Интерфейс — это разъем, с помощью которого камера передает информацию. Камеры для микроскопа оборудованы интерфейсами USB 2.0, USB 3.0 или HDMI, или несколькими одновременно.

Разъем USB 2.0 считается устаревшим, однако присутствует в большинстве компьютеров. Производители продолжают выводить на рынок камеры с разъемом USB 2.0, но модельный ряд скорее сокращается, чем обновляется.

Разъем USB 3.0 — это новый интерфейс и отличается от 2.0 скоростью передачи информации и силой тока. Новые изобретения производители реализуют в камерах с интерфейсом USB 3.0.

Разъем HDMI напрямую подключает камеру к монитору или телевизору без использования компьютера.

Первое отличие камер HDMI и USB заключается в управлении. USB-камеры управляются с компьютера. Камеры выводят изображение на экран компьютера, фотографируют, снимают видео, измеряют, обрабатывают снимки и сохраняют файлы на диск компьютера с помощью специальной программы. Программа идет в комплекте с камерой. HDMI-камеры подключаются напрямую к монитору, проектору или телевизору. Для сохранения фотографий используется SD-карта. Камеры управляются с помощью мыши, которая подключается в специальный порт камеры. Управление мышью исключает вибрации, возникающие при прямом контакте пользователя с камерой.

Второе отличие: подключение через HDMI увеличивает скорость передачи информации между камерой и монитором. Кроме того, частота кадров камеры HDMI составляет 30–60 FPS. Вместе эти два параметра гарантируют живое видео без «торможений».

Дополнительные интерфейсы USB 2.0 или USB 3.0 на камерах HDMI используются для работы с приложениями обработки фото и видео, а дополнительные интерфейсы WiFi и WLAN передают информацию по сети.

Камеры с USB 2.0 подойдут, когда стоит задача сэкономить — для любительской домашней съемки или для ученика на уроке биологии в средней школе. Также выбирайте камеры с USB 2.0, если в учебном классе стоят старые компьютеры и обновления техники не предвидится. Камеры USB 3.0 не будут работать с портом компьютера USB 2.0, поскольку требуют большей силы тока или будут тормозить при работе.

Камеры с USB 3.0 рекомендуются для профессиональной работы в лаборатории, для исследований или демонстрации материала в вузах. В этих случаях экономить не разумно. Сравним две камеры. Камера 5 Мпикс с USB 2.0 передает информацию со скоростью 5–7 кадров в секунду. Этой скорости недостаточно даже для комфортной настройки фокуса микроскопа. Камера 6,3 Мпикс с USB 3.0 работает со скоростью 59 кадров в секунду. Такая скорость позволит комфортно настроить фокус, найти необходимый участок объекта исследования и снимать живое видео.

Для работы под стереоскопическим микроскопом или онлайн-демонстрации аудитории подходят камеры HDMI с высокой частотой кадров и высокой скоростью передачи данных. Камеры HDMI с автофокусом подойдут для неопытного пользователя и помогут избежать заминки в процессе презентации.

ВЫБОР КАМЕРЫ

Камера — это инструмент для решения конкретных задач, и, если к выбору камеры применить профессиональный подход, все окажется не так сложно, как выглядит на первый взгляд. Информация в этой статье поможет в каждом отдельном случае профессионально оценить, какой параметр не важен и разрешает сэкономить, а какой остается в приоритете.

Чтобы убедиться в правильности выбора, приглашаем наших клиентов посетить демонстрационный зал. Вы можете прийти со своими объектами исследования, сравнить работу нескольких камер, получить нашу консультацию и выбрать идеальную камеру для решения ваших задач.

Марина Лобач
Научный руководитель проекта MAGUS