

VideoProbe* Справочник по 3D измерениям

Руководство по самым современным 3D технологиям, методам измерений и сферам применения видеоэндоскопов, используемых в дистанционном визуальном контроле.



Получите максимум от видеэндоскопа Mentor Visual iQ*!

(для программного обеспечения Mentor Visual iQ, начиная с версии 2.5)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Важность точных измерений.....	3
Использование технологий и возможностей подключения.....	3
Технологии измерений	
3D фазовые измерения	4
3D стереоскопические измерения.....	4
Стереоскопические измерения.....	4
Сравнение	4
Повторные измерения с помощью ПК.....	4
Рациональные методики 3D измерений: Методы и объективы	5
Выбор подходящего типа измерений для конкретных условий.....	6
Типы измерений	
Длина.....	7
Точка-линия	8
Глубина.....	9
Площадь	10
Многосегментное измерение.....	10
Профиль глубины.....	11
Профиль глубины участка	12
Плоскость измерения	13
Данные о точности измерений.....	18
Спецификации и номера деталей для 3D измерений	20
Глоссарий терминов	21



Введение

Достижения в области 3D измерений, основанных на обработке изображений, делают данный видеоэндоскоп еще более мощным инструментом в арсенале эндоскописта. В прошлом эндоскописты могли выявлять признаки дефектов и делать снимки; современные видеоэндоскопы позволяют им отображать, измерять и анализировать признаки дефектов в 3D, а также обмениваться изображениями и данными по беспроводным каналам с экспертами, находящимися на других объектах. Благодаря повышенной точности и достоверности эти новые функциональные возможности позволяют дополнить видеоконтролем, а в некоторых случаях и заменить другие методы неразрушающего контроля.

Настоящее руководство призвано помочь эндоскопистам, а также владельцам промышленного оборудования в изучении технологий измерений, используемых в аппарате Mentor Visual iQ, а также надлежащих способов их применения для повышения эффективности принимаемых решений в условиях дистанционного визуального контроля.

Многие владельцы видеоэндоскопов не полностью используют современные возможности имеющегося у них оборудования для эндоскопии вследствие недостаточной подготовки. Применение данного справочника в качестве руководства позволит научиться применять новые методы и превратить технические знания в конкурентное преимущество для вашей компании.

Важность точных измерений

Дистанционный визуальный контроль часто используется для проверки исправности того или иного промышленного оборудования. Подобные проверки зачастую основываются на измерении признака дефекта или участка внутри промышленного оборудования. Неточные измерения могут привести к ненужным простоям, образованию отходов и затратам на техническое обслуживание, а также к рискам снижения безопасности и надежности. В связи с этим важно, чтобы эндоскописты понимали, как следует правильно применять доступные измерительные возможности, чтобы обеспечить максимальное качество принятия решений.

В случае применения традиционных технологий измерения, например стереометода, теневого метода или метода сравнения, эндоскопист имеет мало возможностей при оценке качества данных, используемых для вычисления результата измерений, и правильности расположения курсора для измерения, которое требуется провести. Это часто приводит к неточности измерений и может стать причиной дорогостоящих неверных решений.

Новейшие технологии 3D измерений позволяют в реальном времени использовать трехмерное облако точек XYZ для проверки качества данных и точности расположения курсоров с разных углов зрения и при разных проекциях. Это дает эндоскопистам беспрецедентную возможность проверять свою работу и исключать дорогостоящие ошибки.

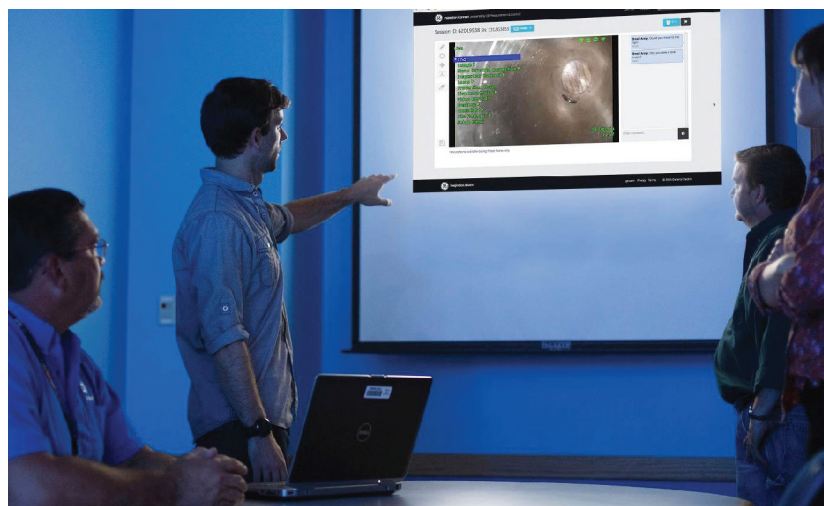
Для обеспечения точности измерений с помощью аппарата VideoProbe требуется следующее:

- хорошо подготовленный оператор;
- правильно откалиброванное и прошедшее надлежащее техническое обслуживание оборудование;
- выбор технологии измерений, соответствующей сфере применения;
- правильное расположение измерительного объектива и организация измерений;
- анализ качества данных и точности расположения курсора.

Использование технологий и возможностей подключения

Когда важное промышленное оборудование зависит от точности измерений, возможно, следует узнать мнение еще одного специалиста. Впервые появилась возможность посредством персонального компьютера, планшета или смартфона осуществлять видеоконтроль в режиме реального времени, находясь в том же помещении, где он проводится или в любой другой точке мира. Средство совместной дистанционной работы InspectionWorks Connect обеспечивает двустороннюю совместную работу и возможность комментирования изображений полевыми эндоскопистами в режиме реального времени с использованием подключения Wi-Fi или Ethernet.

Когда в проведении контроля участвуют несколько специалистов, можно использовать их дополнительные технические знания, повысить вероятность обнаружения дефектов и улучшить производительность контроля, а также сократить расходы. Платформа InspectionWorks Connect является опцией для всех моделей Mentor Visual iQ.



Технологии измерений

(см. Руководство пользователя Mentor Visual IQ, раздел «Преимущества типов измерений»)

3D фазовые измерения

3D фазовые измерения, в которых используется технология подсветки структурированным светом, позволяют эндоскопистам обнаруживать, измерять и анализировать признаки дефектов без замены оптического объектива. Широкое поле обзора и большая глубина резкости позволяют выполнять измерения с помощью тех же объективов, которые используются для контроля, за счет чего исключаются дополнительные действия, необходимые для отвода, смены объектива и последующего повторного поиска признака дефекта.

Фактически 3D фазовые измерения обеспечивают точные измерения «по запросу», при этом экономя время и повышая общую производительность контроля. В 3D фазовых измерениях используется подсветка со структурированным светом, которая направляется на объект от объектива для создания 3D скана поверхности контролируемого участка, и обеспечивается возможность измерения всех признаков дефектов поверхности.

Преимущества:

- возможность просмотра и манипулирования трехмерным облаком точек для тщательной оценки формы поверхности и достоверности измерений;
- полноэкранный просмотр изображения, по которому проводятся измерения, обеспечивающий более высокое разрешение;
- управление, контроль и измерения без замены зондов или оптического объектива;
- возможность использования с зондами диаметром 6,1 мм.

3D стереоскопические измерения

Появившаяся в 2015 г. технология 3D Stereo Measurement представляет собой новейшую технологию компании GE с применением видеоэндоскопов. В 3D стереоскопических измерениях используются оптические объективы, аналогичные применяемым в стереоскопических измерениях (Stereo Measurement), но с более современными алгоритмами калибровки и обработки, позволяющими формировать полное отображение трехмерного облака точек исследуемой поверхности, которое можно просматривать, совершать с ним манипуляции и анализировать.

Преимущества:

- более точные измерения с более высокой повторяемостью по сравнению с традиционными устаревшими стерео- и теневыми методами измерений;
- обеспечение лучших возможностей для сопоставления по сравнению со стереоскопическими измерениями для горизонтальных и повторяющихся признаков дефектов;
- просмотр изображений камеры и трехмерного облака точек с их расположением рядом друг с другом, что обеспечивает высокую эффективность анализа измерений;
- возможность измерений на блестящих (сильноотражающих) поверхностях, включающих мелкие детали;
- возможность измерений на поверхностях с присутствием небольших перемещений;
- возможность использования с зондами диаметром 4,0, 6,1 и 8,4 мм.

Стереоскопические измерения

Традиционные стереоскопические измерения, в которых, по аналогии с 3D стерео, используется запатентованная призма для получения левого и правого стереоизображений, снимаемых с немного отличающихся точек съемки. Сопоставление точек поверхности в правом и левом изображении в местах нахождения курсоров позволяет вычислять 3D координаты и результаты измерений. Эта технология, доступная уже более десяти лет, полезна для использования в системах с ограниченной вычислительной мощностью, но не позволяет получить трехмерное облако точек и, таким образом, ограничивает возможности эндоскопистов в оценке качества измерений.

Измерения со сравнением

Более традиционная двумерная технология измерения, в которой используется физическая эталонная мишень, устанавливаемая изготовителем или эндоскопистом на используемом объективе для определения расстояния до признака дефекта.

Повторные измерения с помощью ПК

Использование программного обеспечения, например, Inspection Manager, для измерений и анализа на сохраненном изображении после проведения контроля. В настоящее время функции повторных измерений также имеются и в самом аппарате, использовать которые можно посредством системы Mentor Visual IQ или на ПК.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ 3D ИЗМЕРЕНИЙ: МЕТОДЫ И ОБЪЕКТИВЫ

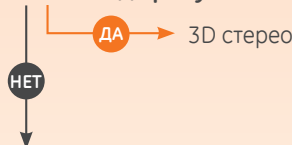
Приведенные ниже рациональные методики относятся к 3D фазовым измерениям и 3D стереоскопическим измерениям. Эти указания по рациональным методикам следует использовать для обеспечения наилучших результатов при организации измерений с помощью аппарата VideoProbe. Дополнительные рекомендации для конкретных типов измерений приведены на стр. 6.

Общие указания

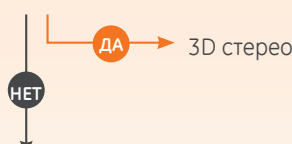
- Обеспечить наличие у эндоскописта подготовки и квалификации для проведения измерений.
- Использовать собственные процедуры или схему выбора, представленную на этой странице, для выбора подходящей технологии и типа измерений для конкретных условий.
- Обеспечить чистоту оптики измерительного объектива и зонда, а также надежное крепление объектива. Если используется стереообъектив, следует правильно определить серийный номер объектива при выполнении первого измерения. Объективы для 3D фазовых измерений определяются системой автоматически.
- Проверить правильность выполнения измерений системой с помощью поставляемого компанией GE поверочного блока, соответствующего стандартам NIST, до и после проведения измерения.
- Установить объектив как можно ближе к участку измерений (небольшое значение максимального расстояния до цели). Для стереоскопических и 3D измерений требуется, чтобы изображение находилось в фокусе; для 3D фазовых измерений измерения при малой глубине (менее 0,010 дюйма), как правило, обеспечивают наибольшую точность, когда при довольно малом расстоянии изображение несколько не сфокусировано. Выполнение измерений на слишком большом расстоянии – наиболее распространенная причина неточных измерений.
- Следить за предупреждениями, отображаемыми системой во время измерений, которые могут сигнализировать о неправильной настройке или несоответствующем значении максимального расстояния до цели (MTD) для выполняемых измерений.
- Проверить настройки измерений и расположение курсора с помощью окна обзора трехмерного облака точек. Многие дефекты трудно распознать только по двумерным изображениям, но в трехмерном облаке точек они становятся очевидными.
- При выполнении измерений малой глубины или малого профиля глубины использовать обзор трехмерного облака точек с включенной картой глубины, чтобы убедиться в том, что признак дефекта четко выделяется на фоне шума. В противном случае следует сделать другой снимок с меньшего расстояния или с другой ориентацией.
- При измерении глубины участка, например язвы или вмятины, использовать обзор облака точек, чтобы убедиться в том, что измерение проводится в самой глубокой точке участка и что эталонная плоскость измерения точно выровнена с эталонной поверхностью.
- При выполнении 3D фазовых измерений отражения или затенение могут приводить к появлению области данных низкого качества, которые выделяются желтым цветом. Следует по возможности исключать измерения в таких областях, особенно при измерениях глубины или профиля глубины. Выполнение другого снимка с другой ориентацией может устранить желтые области.
- Области, 3D координаты которых система не смогла определить, выделяются красным цветом. В красных областях измерения выполнить невозможно.
- Чтобы обеспечить максимальное качество данных, во время съемки следует удерживать зонд неподвижно, насколько это возможно. Это особенно важно для 3D фазовых измерений в связи с большим количеством выполняемых снимков.

Выберите подходящую 3D технологию измерения

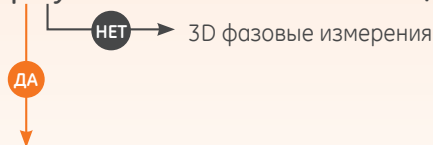
Какой зонд требуется — 4 мм или 8,4 мм?



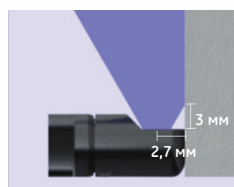
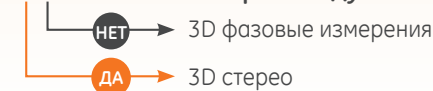
Измерения проводятся на сильноотражающей, маслянистой или влажной поверхности?



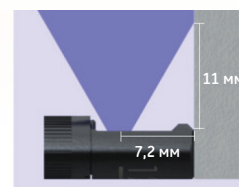
Требуется ли объектив бокового вида?



Должна ли оптика объектива, вследствие наличия механических препятствий, находиться очень близко к концу объектива бокового вида, чтобы обеспечивался обзор исследуемого участка?



Боковой вид при 3D стереоскопических измерениях



Боковой вид при 3D фазовых измерениях

- При использовании 3D стерео отрегулировать яркость изображения и ориентацию съемки, чтобы свести к минимуму блики на исследуемом участке перед съемкой изображения для измерений.
- Прямые линии или кромки на просматриваемых объектах часто выглядят изогнутыми на двухмерных изображениях вследствие перспективы съемки и оптических искажений. Так как все измерения выполняются в 3D, прямые линии в 3D измерениях прорисовываются на двухмерном изображении так, как они воспринимаются камерой, т. е. зачастую изогнутыми. За счет этого облегчается выравнивание по прямым кромкам и более точно отображается место измерения.

Выберите подходящий тип измерений для конкретных условий

При том, что в некоторых условиях можно использовать несколько типов измерений, в данной схеме приводятся рекомендации экспертов.



Длина

- Простые измерения на участках или деталях
- Длина растрескивания
- Изменение размеров деталей из-за расширения или эрозии/коррозии/износа
- Остаточный размер показателей износа
- Расположение/зона признаков дефектов на детали



Площадь

- Углы лопастей
- Износ покрытия
- Площадь поверхности точечной коррозии или коррозии
- Повреждения посторонними предметами



Точка-линия

- Повреждение кромок лопасти турбины
- Ширина зазора
- Ширина сварного шва
- Отсутствуют углы лопастей



Многосегментное измерение

- Общая длина трещины
- Угол входа истертого участка или признака дефекта кромки лопасти
- Большая точность по сравнению с измерением длины или измерениями на изогнутых или неровных поверхностях



Глубина

- Зазоры между торцами лопастей и кожухом
- Язвины или вмятины от коррозии, эрозии или повреждений посторонними предметами
- Внутренний диаметр труб
- Высота сварного шва
- Качание лопаток статора
- Ширина зазора



Профиль глубины

- Глубина отдельных коррозионных или эрозионных язвин
- Глубина повреждения посторонними предметами
- Высота сварного шва или глубина выработки
- Быстрая оценка контуров поверхности



Профиль глубины участка

- Коррозия, эрозия, точечная коррозия
- Повреждения посторонними предметами
- Максимальная высота сварного шва
- Максимальная глубина выработки



Плоскость измерения

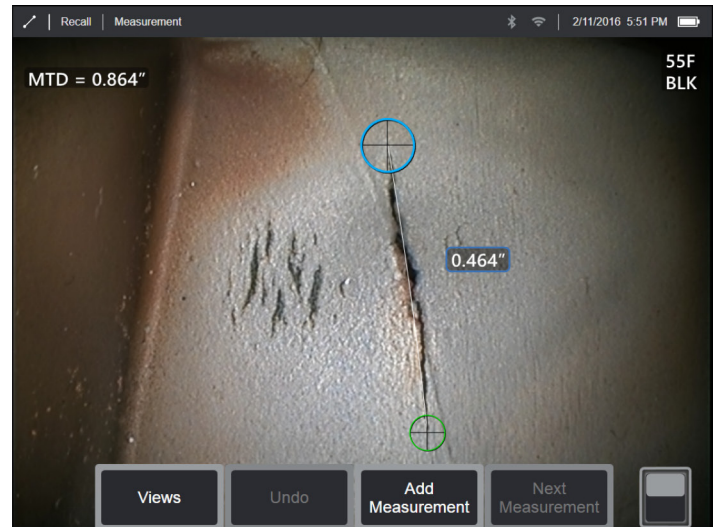
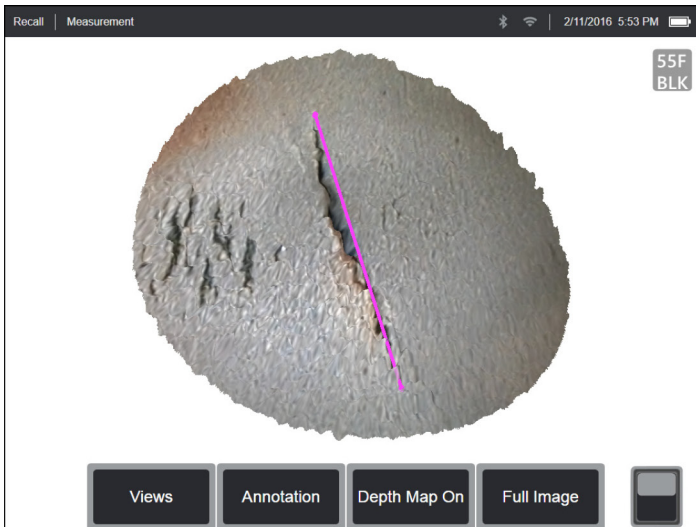
- С типом измерения «Площадь» для недостающих углов
- С типом измерения «Точка-Линия» для повреждений кромок лопастей
- С типом измерения «Глубина» для зазоров между торцами лопастей и кожухом
- С типом измерения «Длина» или «Точка-Линия» для малых участков
- С типом измерения «Профиль глубины участка» для измерений группы язвин

ТИПЫ ИЗМЕРЕНИЙ



В этом разделе подробно описан каждый тип измерений, который может применяться с эндоскопом Mentor Visual IQ, сферы применения, в которых каждый из методов может оказаться наиболее эффективным, а также советы и предложения по организации точных измерений.

Длина



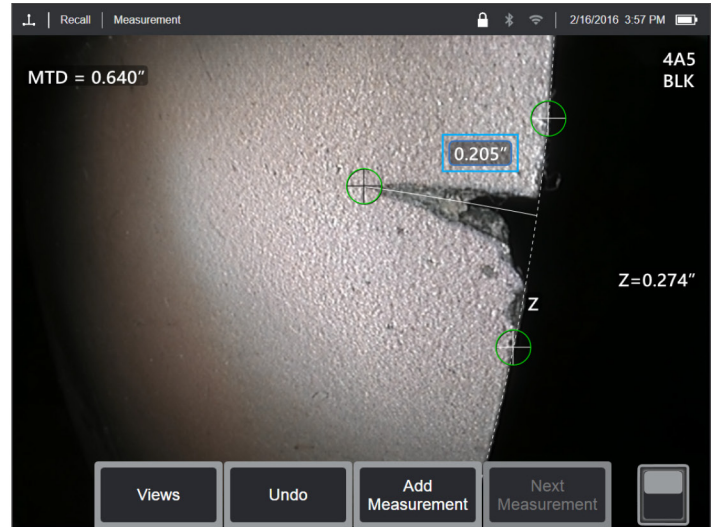
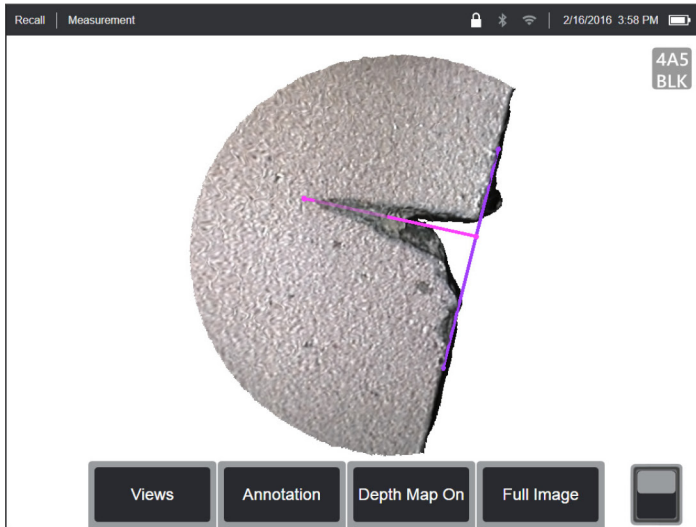
Данный тип измерений позволяет определять расстояние по прямой между двумя wybranными курсорными точками.

Примеры применения:

- простые измерения на участках или деталях;
- измерение длины признака дефекта (т. е. трещин);
- измерение изменений размеров деталей из-за расширения или эрозии/коррозии/износа;
- определение остаточного размера показателей износа;
- измерение расположения/зоны признаков дефектов на детали.

Рациональные методики, позволяющие повысить точность измерений:

- Тип измерений «Длина» предназначен для измерений на прямой. Данный тип не подходит для измерения расстояний на изогнутых поверхностях.
- Проанализировать трехмерное облако точек, чтобы убедиться в верном расположении курсоров. Диагональные или наклонные измерения приводят к ошибке.
- Переместить объектив ближе, чтобы максимально увеличить изображение исследуемого участка на экране, при этом сохраняя фокусировку участков точек курсоров.
- Следить за оранжевыми вспомогательными индикаторами, чтобы обеспечить нахождение измеряемого расстояния в доверительном интервале.
- 3D фазовые или 3D стереоскопические измерения важно начинать с обеспечения четкого изображения, чтобы курсоры можно было точно расположить на признаке дефекта.
- Использовать тип измерений «Плоскость измерения», когда красные зоны не позволяют правильно расположить курсор или когда 3D шум может повлиять на результат. Подробные сведения см. в разделе «Плоскость измерения».



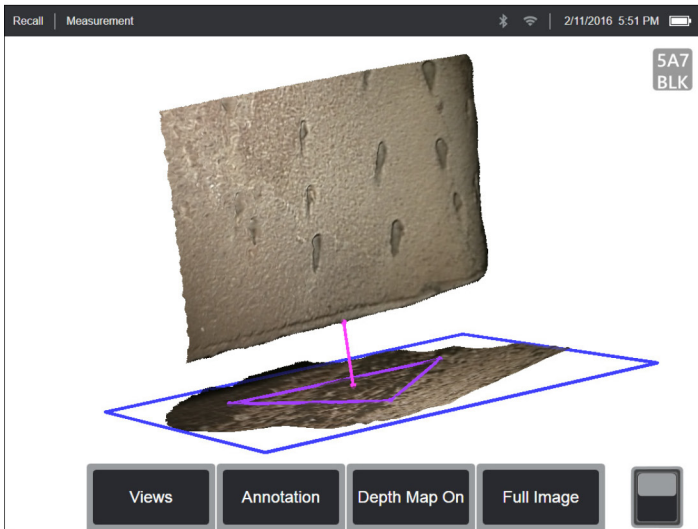
Данный тип измерений позволяет определять длину перпендикуляра между линией (заданной двумя точками) и выбранной точкой.

Примеры применения:

- повреждение кромок лопасти турбины;
- оценка площади недостающего угла с помощью нескольких измерений «Точка-линия»;
- ширина зазора или выработки;
- ширина сварного шва.

Рациональные методики, позволяющие повысить точность измерений:

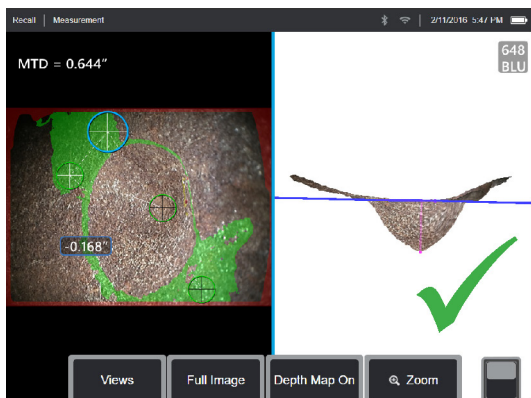
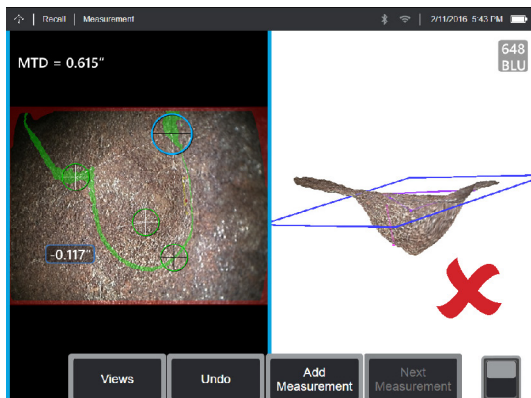
- Проанализировать трехмерное облако точек, чтобы убедиться в верном расположении курсоров.
- Проверить облако точек и убедиться в том, что эталонная линия не имеет наклона относительно эталонной кромки на детали. Это особенно важно, когда оба курсора эталонной линии находятся на одной стороне с третьим курсором и удалены от него.
- Также следует проверить облако точек, убедившись, что измеренное расстояние не находится на диагонали, что может дать завышенный результат.
- Использовать тип измерений «Плоскость измерения», когда красные зоны не позволяют правильно расположить курсор или когда 3D шум может повлиять на результат. Подробные сведения см. в разделе «Плоскость измерения».



Данный тип измерений позволяет определять расстояние от эталонной плоскости (заданной тремя выбранными точками) до четвертой выбранной точки, расположенной выше или ниже этой плоскости.

Примеры применения:

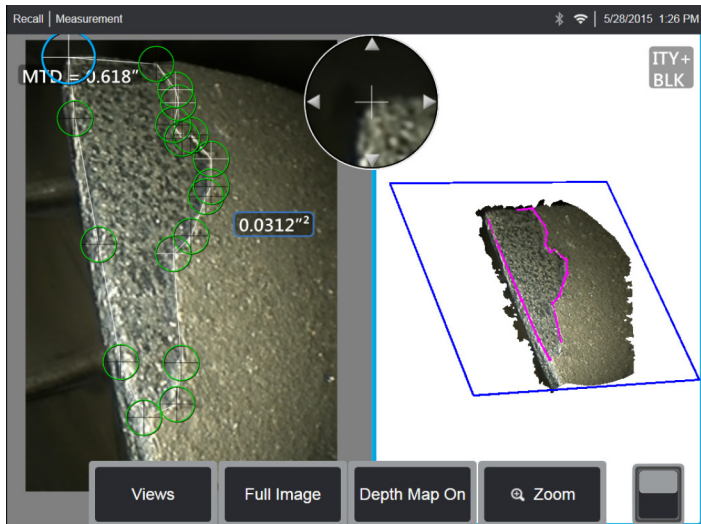
- зазоры между торцами лопастей и кожухом;
- язвыны или вмятины от коррозии, эрозии или повреждений посторонними предметами;
- внутренний диаметр труб;
- высота сварного шва;
- качание лопаток статора;
- ширина зазора.



Рациональные методики, позволяющие повысить точность измерений:

- Измерительный объектив должен располагаться как можно ближе к признаку дефекта для повышения точности измерения.
- При использовании 3D фазовых измерений неперпендикулярные виды дают наилучшие результаты для измерения глубины, особенно при измерении объектов с блестящими поверхностями.
- Зеленая Маска поверхности, отображаемая при активном курсоре эталонной плоскости, указывает точки, расположенные очень близко к эталонной плоскости. Следует скорректировать положение курсоров, чтобы увеличить количество зеленого цвета на эталонной поверхности. Обзор трехмерного облака точек можно также использовать для проверки точности выравнивания эталонной плоскости, отмеченной синим квадратом, относительно эталонной поверхности.
- После размещения третьего курсора Вспомогательная функция измерения глубины часто автоматически помещает четвертый курсор в самую глубокую, самую высокую точку или на расположенную рядом кромку лопасти. Следует проверить положение автоматически установленного курсора и при необходимости скорректировать его.
- Включить режим карты глубины в обзоре облака точек, чтобы лучше видеть контуры поверхности и убедиться в том, что измерение выполняется в нужной точке (часто в самой высокой или самой нижней точке признака дефекта), а также в том, что данный признак дефекта четко выделяется на фоне шума 3D данных.
- Линия, проецируемая из точки измерения глубины, должна заканчиваться вблизи или внутри треугольника, образованного курсорами эталонной плоскости, чтобы свести к минимуму неточность вследствие наклона плоскости.
- При необходимости выполнить измерения в точке, находящейся далеко за пределами эталонного треугольника, следует увеличить размер эталонного треугольника для компенсации (это относится только к плоским поверхностям, не к изогнутым поверхностям).
- Использовать Плоскость измерения при измерении зазоров между торцами лопастей и кожухом, а также когда красные зоны вдоль кромок лопастей не позволяют правильно расположить четвертый курсор или когда 3D шум может повлиять на результат. Подробные сведения см. в разделе «Плоскость измерения».

Площадь



Данный тип измерений позволяет определять площадь планарного участка на поверхности путем указания контуров признака дефекта с помощью нескольких курсорных точек.

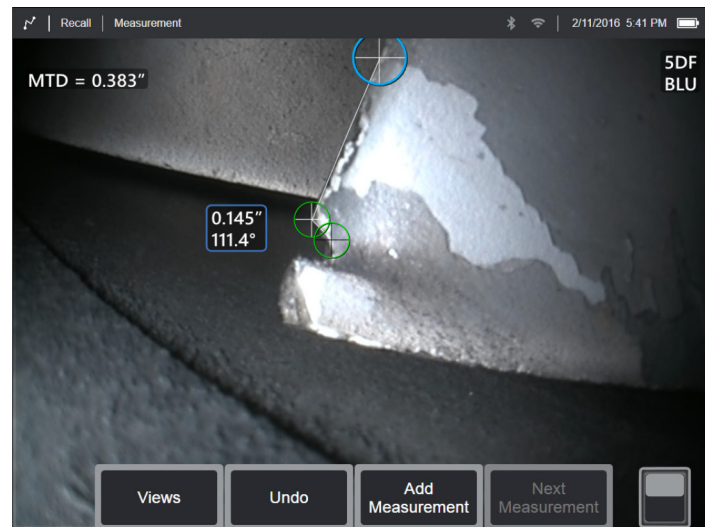
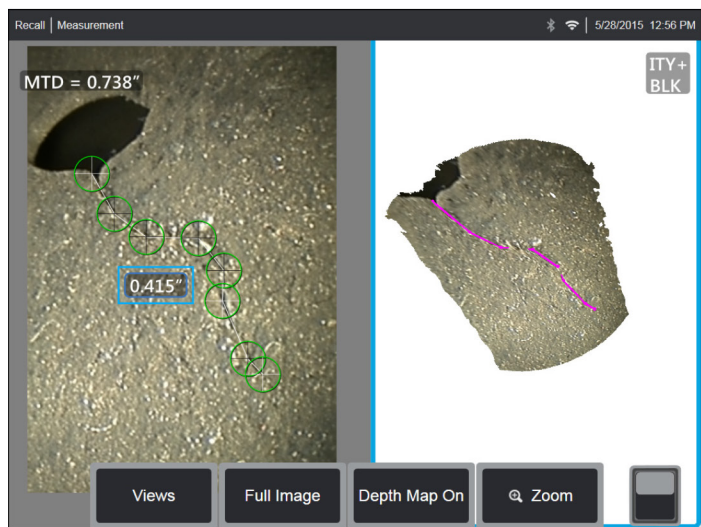
Примеры применения:

- недостающие углы лопастей с использованием типа измерений «Плоскость измерения»;
- износ покрытия;
- площадь поверхности точечной коррозии или коррозии;
- повреждения посторонними предметами.

Рациональные методики, позволяющие повысить точность измерений:

- проверить облако точек и убедиться в правильном расположении курсоров;
- при измерении на изогнутой поверхности можно уменьшить погрешность, измеряя несколько меньших по размеру участков и объединяя результаты;
- использовать тип измерений «Плоскость измерения» для определения площади и длины недостающих углов лопастей. Подробные сведения см. в разделе «Плоскость измерения».

Многосегментное измерение



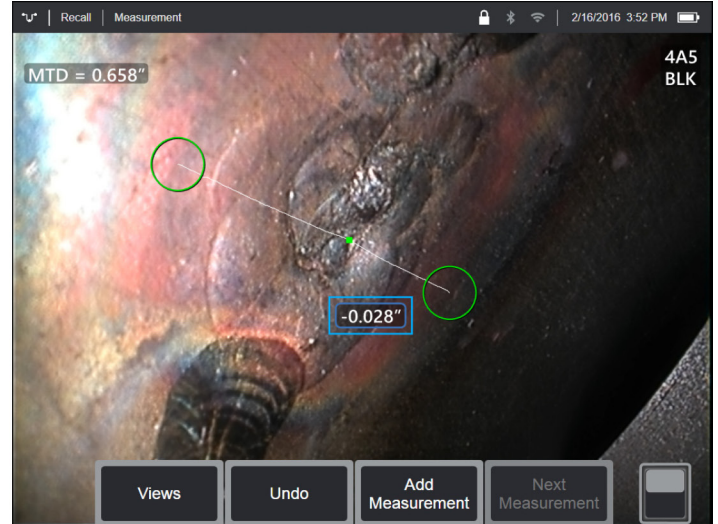
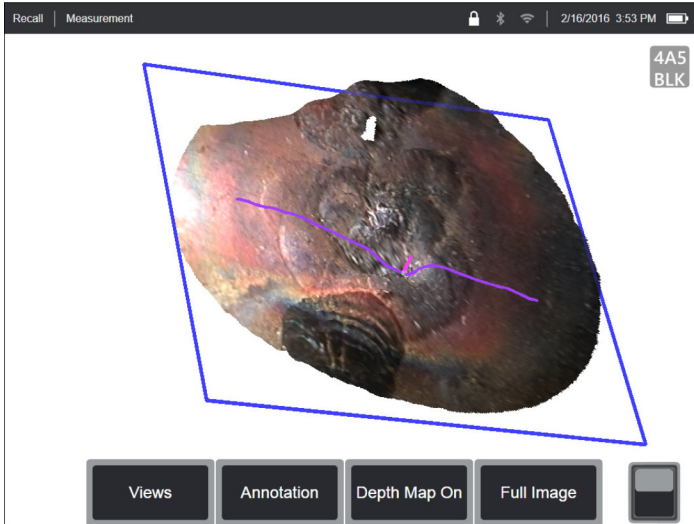
Позволяет измерить общую длину изогнутой линии или рваной кривой, используя несколько курсоров, расположенных вдоль линии признака дефекта. При использовании трех курсоров данный тип измерений также позволяет измерить 3D угол между сегментами линии.

Примеры применения:

- общая длина сложной трещины;
- общая длина на изогнутой поверхности;
- использование трех курсоров для измерения угла между кромкой лопасти турбины и признаком дефекта или истертым участком.

Рациональные методики, позволяющие повысить точность измерений:

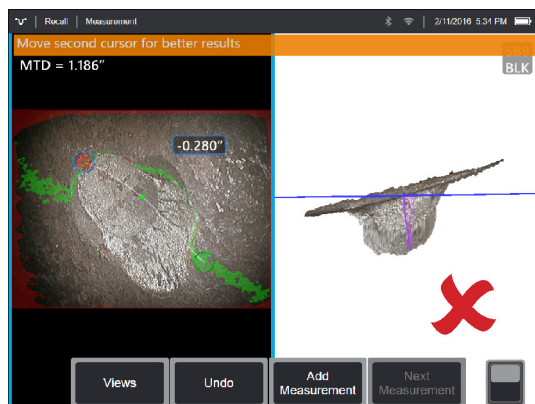
- проверить облако точек и убедиться в правильном расположении курсоров;
- расположить курсоры как можно дальше друг от друга, при этом не отклоняясь от линии признака дефекта, чтобы свести к минимуму влияние шума 3D данных на результат;
- при измерении угла (только при использовании многосегментного измерения с тремя курсорами) вдоль кромки точность можно повысить с помощью «Плоскости измерения».



При любом угле съемки позволяет отобразить расстояние вдоль перпендикулярной линии от эталонной плоскости между двумя wybranymi точками и автоматически определяет самую глубокую или самую высокую точку.

Примеры применения:

- глубина отдельных коррозионных или эрозионных язвин;
- глубина повреждения посторонними предметами;
- высота сварного шва или глубина выработки;
- быстрая оценка контуров поверхности.

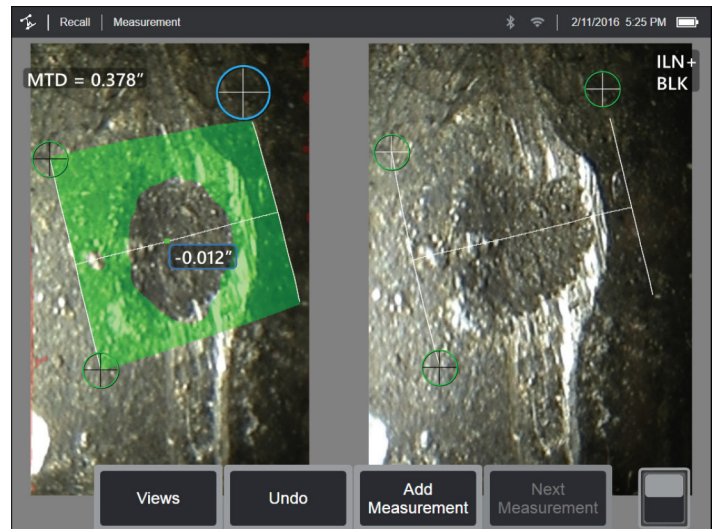
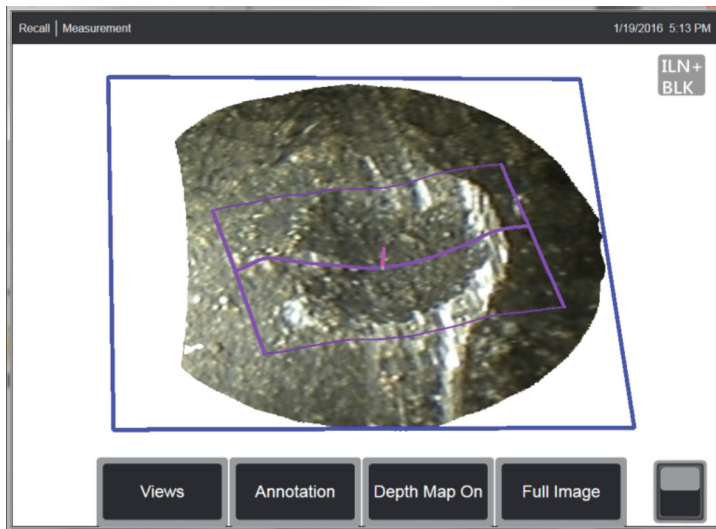


Рациональные методики, позволяющие повысить точность измерений:

- Установить измерительный объектив как можно ближе к признаку дефекта, чтобы повысить точность измерений.
- Включить режим карты глубины в обзоре облака точек, чтобы лучше видеть контуры поверхности и убедиться в том, что измерение выполняется в нужной точке (часто в самой высокой или самой нижней точке признака дефекта), а также в том, что данный признак дефекта четко выделяется на фоне шума 3D данных.
- Зеленая маска поверхности, отображаемая при перемещении курсора, указывает точки, расположенные очень близко к эталонной плоскости. Следует скорректировать положения курсоров, чтобы увеличить количество зеленого цвета на эталонной поверхности. Обзор трехмерного облака точек можно также использовать для проверки точности выравнивания эталонной плоскости, отмеченной синим квадратом, относительно эталонной поверхности.
- Если курсор становится красным, это указывает на его неправильное расположение.
- Так как эталонная плоскость определяется путем обеспечения совмещения со всеми данными о поверхности в пределах периметров обоих курсоров, следует убедиться в том, что оба курсора полностью расположены в одной исследуемой плоскости без наложения на кромку или на смещенные или изогнутые поверхности, что может привести к ошибке в измерениях.
- При измерениях на изогнутой поверхности, например, внутри трубы малого диаметра, курсоры следует расположить на расстоянии друг от друга в направлении, параллельном линии изгиба, чтобы они находились в одной плоскости. В обзоре облака точек синий квадрат эталонной плоскости должен отображаться на касательной к эталонной поверхности.
- В условиях, когда требуется определить самую глубокую или самую высокую точку, возможно, будет предпочтительнее использовать тип измерений «Профиль глубины участка» или «Глубина» вместо «Профиля глубины», поскольку они автоматически определяют самую глубокую или самую высокую точку участка.



Профиль глубины участка



Позволяет выполнить серию срезов профиля глубины на участке, заданном тремя курсорами, и определить срез профиля с самой высокой или самой низкой точкой.

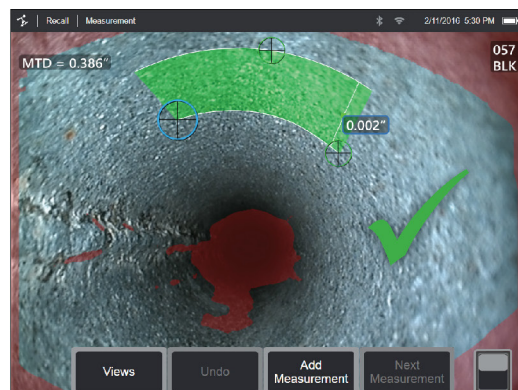
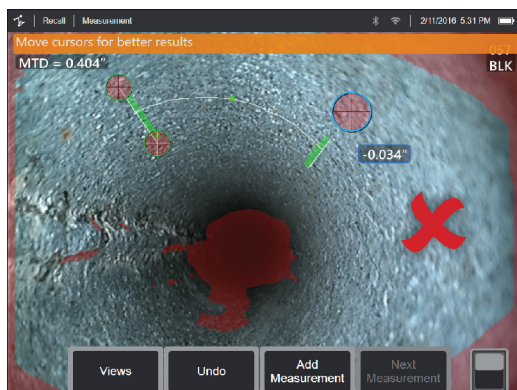
Примеры применения:

- коррозия, эрозия, точечная коррозия;
- повреждения посторонними предметами;
- максимальная высота сварного шва, включая кольцевые сварные швы;
- максимальная глубина выработки.

Рациональные методики, позволяющие повысить точность измерений:

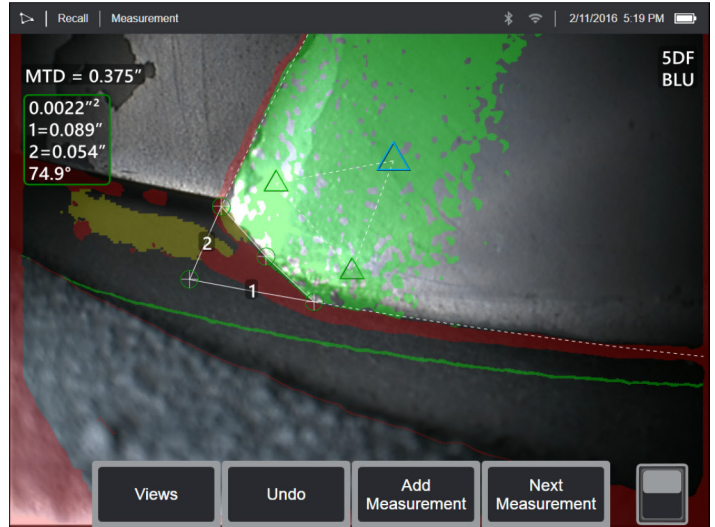
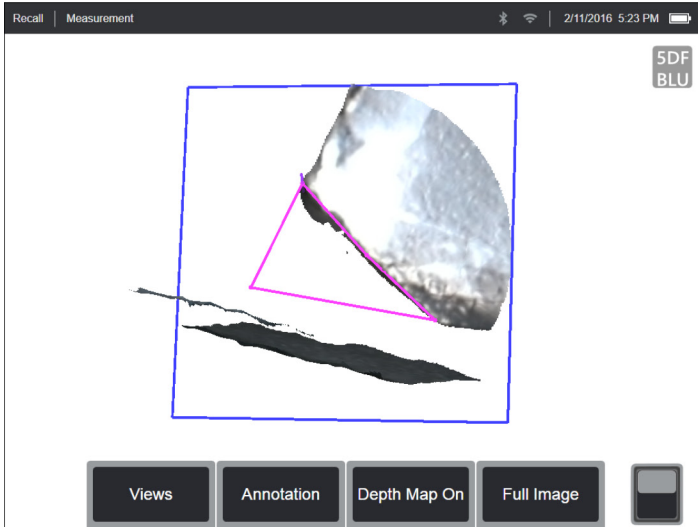
- Установить измерительный объектив как можно ближе к признаку дефекта.
- Использовать с неплоскими эталонными поверхностями и поверхностями, имеющими кривизну только в одном направлении, например, прямой участок трубы. Не использовать на поверхностях со сложной кривизной, например, колено трубы или основание лопасти турбины на передней или задней кромке.
- При измерениях на изогнутой поверхности расположить курсоры так, чтобы эталонные линии профиля были изогнутыми. В случае неуверенности в необходимой ориентации следует попрактиковаться с пробным образцом аналогичной формы. При правильной установке курсоров должен получиться результат, близкий к нулю, и большая часть участка должна иметь зеленый цвет. См. изображения ниже.

- Зеленая Маска поверхности, отображаемая при перемещении курсора, указывает точки, расположенные очень близко к эталонным плоскостям срезов профиля глубины. Если отображается лишь небольшая зеленая линия рядом с двумя эталонными линиями профиля, линии, вероятно, размещены на изогнутой поверхности неправильно. См. изображения ниже.
- Эталонные линии профиля повторяют кривизну поверхности и используются для определения эталонных плоскостей для срезов профиля. Следует расположить курсоры так, чтобы эталонные линии профиля полностью находились на эталонной поверхности.
- Использовать трехмерное облако точек для проверки точного выравнивания эталонной плоскости для результирующего среза, обозначенной синим квадратом, относительно эталонной поверхности в месте расположения результирующего среза.
- Первые два курсора определяют первую эталонную линию профиля. Третий курсор задает расстояние между второй и первой эталонными линиями профиля. Система определяет конечные точки второй эталонной линии профиля в соответствии с кривизной поверхности вдоль первой линии. Затруднения с получением второй эталонной линии профиля в нужном месте, вероятно, означают неверно выполненные настройки измерений относительно кривизны поверхности.





Плоскость измерения



Вспомогательное средство измерения, используемое в сочетании с другими типами измерений, позволяющее размещать курсоры в красных зонах, в которых отсутствуют 3D данные или в которых шум 3D данных может снизить точность измерений.

Примеры применения:

- с типом измерения «Площадь» для измерения недостающих углов;
- с типом измерения «Точка-Линия» для поврежденных кромок лопастей;
- с типом измерения «Глубина» для зазоров между торцами лопастей и кожухом;
- с типом измерения «Длина» или «Точка-линия» для малых участков при невозможности съемки с небольшого расстояния;
- с типом измерения «Профиль глубины участка» при измерении группы язвин на плоской поверхности;
- с типом измерения «Профиль глубины» в случае невозможности установки курсоров целиком на плоской эталонной поверхности.

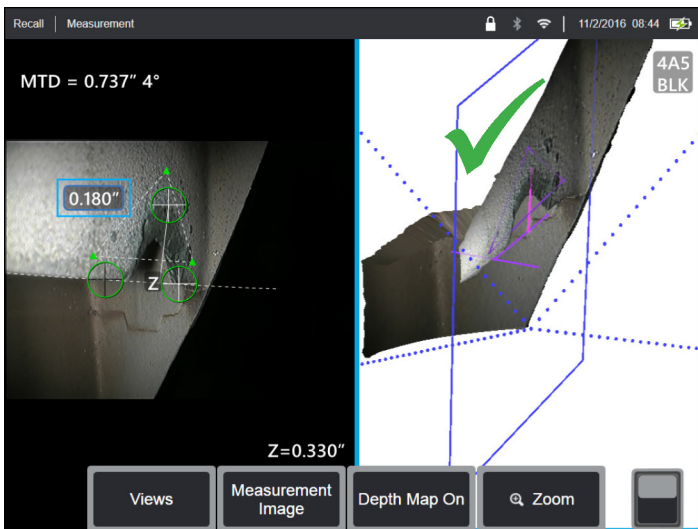
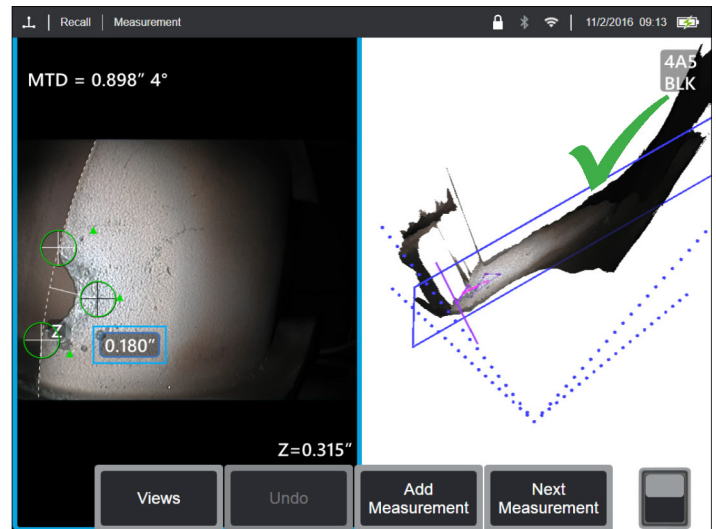
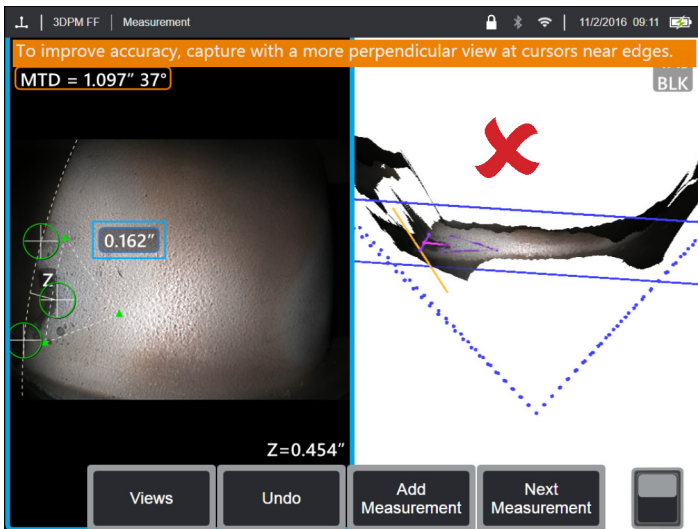
Влияние типа измерений «Плоскость измерения» на другие типы измерений:

- «Длина», «Точка-линия», «Многосегментное измерение» и «Площадь». Все курсоры проецируются на Плоскость измерения, и результат вычисляется с помощью спроецированных положений на плоскости.

- **Глубина.** Первыми тремя курсорами выбираются отдельные точки поверхности, как при обычном измерении глубины. Только четвертый курсор проецируется на Плоскость измерения.
- **Профиль глубины.** Плоскость измерения используется в качестве эталонной плоскости, в связи с чем курсоры Профиля глубины могут перекрывать края или заходить в красные зоны. Полученный в результате размер означает высоту или глубину от Плоскости измерения. Следует использовать только для плоских эталонных поверхностей.
- **Профиль глубины участка.** Обе эталонные линии размещаются на Плоскости измерения, что позволяет им проходить по красным зонам или язвинам поверхности, не влияя на профили, находящиеся между эталонными линиями. Полученный в результате размер означает высоту или глубину от Плоскости измерения. Следует использовать только для плоских эталонных поверхностей.
- На одном изображении может использоваться только одна плоскость измерения.
- В случае применения Плоскости измерения она используется во всех других типах измерений независимо от того, в каком порядке они были применены.



Предупреждения относительно угла обзора краев (EVA) при использовании Плоскости измерения



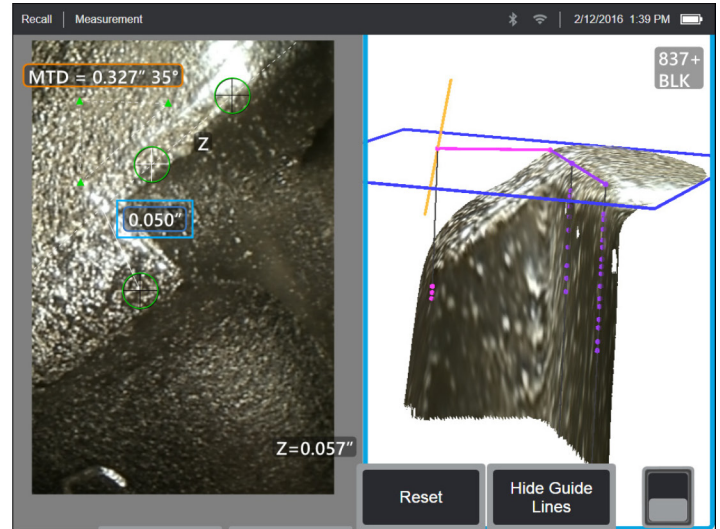
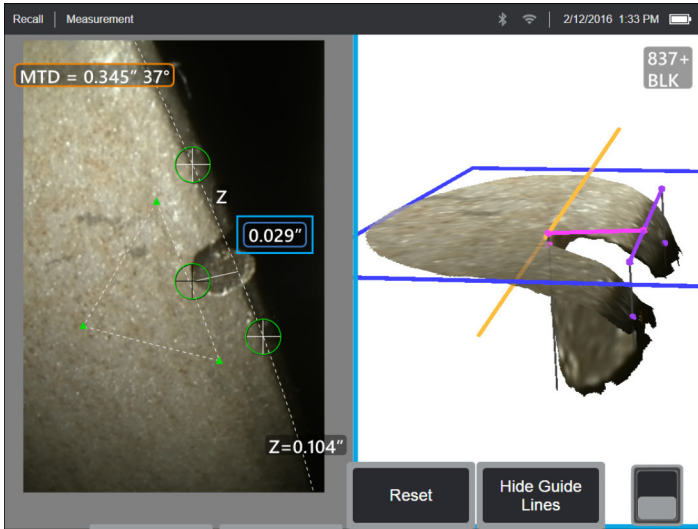
Некоторые аспекты, касающиеся угла обзора края (EVA):

- EVA — это угол между Плоскостью измерения и Плоскостью обзора краев, задаваемый двумя 3D координатами на краю и в точке начала отсчета поля обзора, в которой сходятся четыре показанные пунктиром 3D Перспективные линии облака точек. Для визуализации данной концепции следует открыть обложку книги в твердом переплете и держать край обложки у глаза. Обложка — это Плоскость обзора краев, первая страница — Плоскость измерения, линия стыка между ними — это край поверхности, а угол между ними — это EVA.
- Перемещение курсоров вдоль прямого края мало влияет на EVA, так как Плоскость обзора краев не изменяется.
- EVA зависит от положения края на изображении. На верхнем левом изображении показан неправильный EVA, когда измерения выполняются у левой стороны изображения с видом из центральной точки изображения в перпендикулярном направлении. На правом изображении показана гораздо более правильная перспектива у края детали, что выражается в меньшем EVA.
- Вращение объектива бокового вида в фиксированном положении (например, в отверстии для эндоскопа) влияет на EVA незначительно. Как правило, требуется сместить исследуемый объект или выполнить параллельное перемещение объектива.
- Как показано на нижнем левом изображении, чтобы получить малый EVA, не требуется, чтобы вид на деталь был перпендикулярным. По аналогии с книгой, можно наклонить и переместить книгу, сохраняя угол 90° между обложкой и первой страницей.
- Если край, вдоль которого выполняется измерение, имеет небольшой радиус относительно измеряемого расстояния, точные результаты можно получить даже при наличии предупреждения относительно EVA при приближении края к объективу зонда. Следует избегать измерений при больших значениях EVA на краях, отдаляющихся от объектива.
- Измерения на закругленных краях при больших значениях EVA описаны в разделе «Направляющие линии Плоскости измерения».

При использовании типа измерений «Плоскость измерения» с типом «Точка-линия», «Площадь» или «Глубина» для измерений рядом с краем перспектива съемки может отрицательно влиять на точность, особенно если край имеет значительный радиус. Чтобы получить максимальную точность, система отображает значение угла обзора края (EVA) рядом с MTD и линию угла обзора края (линия EVA) в обзорах облака точек. Идеальный EVA, равный 0°, появляется, когда Линия EVA перпендикулярна Плоскости измерения. Ошибка измерения обычно увеличивается по мере увеличения EVA при измерении рядом с закругленным краем. Если EVA выходит за верхний предел (25° для типа измерений «Точка-линия», 35° для типов измерений «Площадь» и «Глубина») при размещении курсоров рядом с краем система отображает сообщение с предупреждением, вокруг MTD и EVA мигает оранжевая обводка, а Линия EVA отображается оранжевым цветом. Для уменьшения EVA следует проверить облако точек Полного изображения, в котором четыре показанные пунктиром 3D Перспективные линии отображают углы поля обзора и визуализируют, каким образом нужно настроить относительные положения объектива и объекта, чтобы сделать Линию EVA более перпендикулярной к Плоскости измерения, показанной в виде отдельного синего прямоугольника. Следует выполнить новый снимок со скорректированными положениями и повторить измерения.



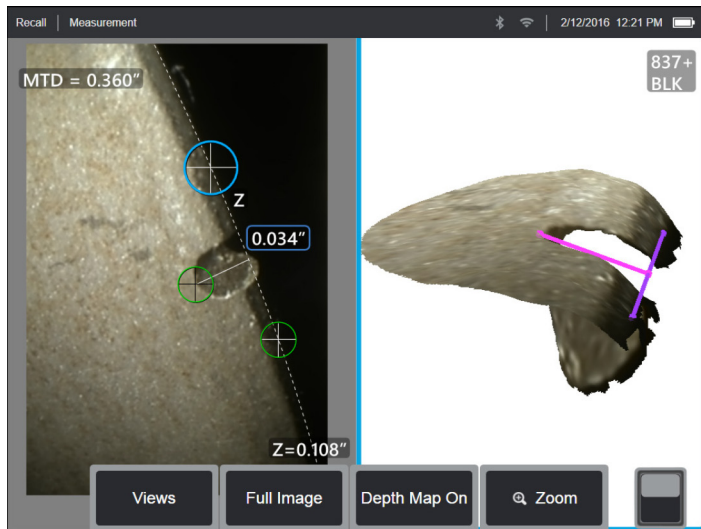
Направляющие линии Плоскости измерения



Направляющие линии отображаются на видах облака точек при использовании типа измерения «Плоскость измерения» с типами «Длина», «Точка-линия», «Многосегментное измерение» или «Площадь». Они отображаются в виде черных линий, перпендикулярных Плоскости измерения, и проходят от курсоров на Плоскости измерения до точек на поверхности прямо над или под курсорами. В местах пересечения Направляющих линий с поверхностью отображаются сферы.

Примеры применения:

- повреждения кромок на закругленных кромках лопастей или лопаток турбин;
- зазоры между платформой лопаток и кожухом турбины;
- оценка радиусов кромок;
- ширина зазора;
- любые размеры в плоскости между точками, не лежащими в одной плоскости.



Обычное измерение по диагонали

Рациональные методики, позволяющие повысить точность измерений:

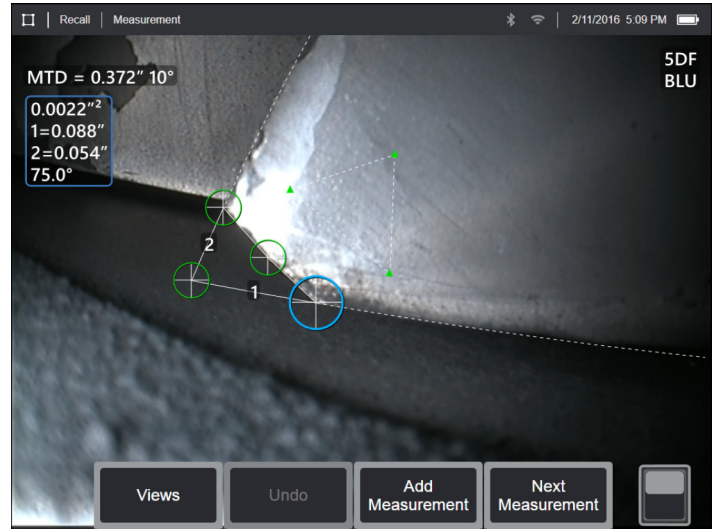
- Корректировать положения курсоров на двухмерном изображении до тех пор, пока Направляющие линии и сферы на пересечениях с поверхностью не будут отображаться на поверхности в требуемых положениях.
- Использовать при измерениях на закругленных кромках и измерениях в плоскости подобно измерениям с использованием оптического компаратора. Обычное измерение типа «Точка-линия» признака дефекта закругленной передней кромки, показанное на нижнем левом изображении, выполнено по диагонали и, следовательно, дает большее результирующее значение, чем при использовании оптического компаратора. На верхнем левом изображении показано измерение того же признака дефекта с помощью Плоскости измерения с Направляющими линиями для исключения угла.
- Данный тип измерений не обеспечивает достоверность, если EVA превышает приблизительно 10° , а закругленная кромка удалена от объектива зонда.
- Данный тип измерений не может использоваться, если 3D данные не распространяются до края поверхности.
- Данный тип измерений следует использовать для установки курсоров на закругленных кромках, ориентированных к объективу зонда, особенно когда значение EVA превышает 15° . Закругленные кромки не совпадают с плоскостью измерения, поэтому при малом значении EVA курсоры не удастся расположить правильно только с помощью двухмерного изображения. Это особенно справедливо при больших значениях EVA, при которых отображаются предупреждения, показанные на двух изображениях выше.



Примеры Плоскости измерения

Размеры недостающих углов лопастей турбины:

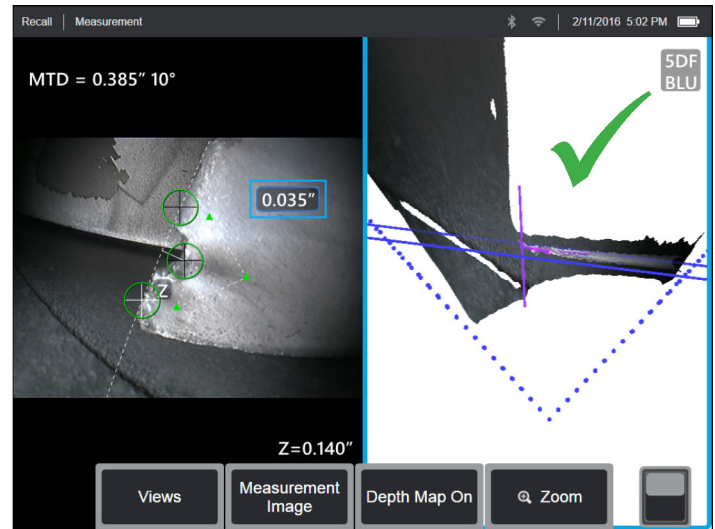
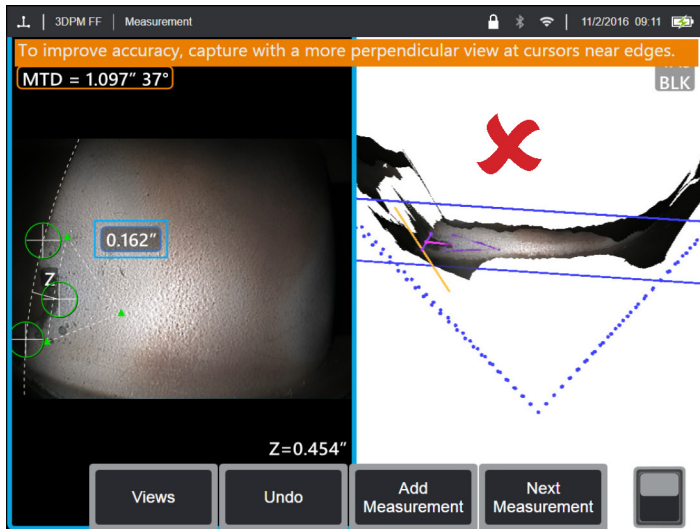
- Использовать тип измерений «Плоскость измерения» с типом измерений «Площадь».
- Расположить объектив зонда в соответствии с рекомендациями, приведенными в разделе «Предупреждения относительно угла обзора краев (EVA) при использовании Плоскости измерения».
- Поместить Плоскость измерения на лицевую сторону лопатки рядом с недостающим углом.
- Использовать тип измерений «Площадь», установив по одному курсору на оставшиеся углы, один курсор в пространстве недостающего угла, и столько курсоров, сколько необходимо, чтобы описать поврежденную кромку.
- После нажатия кнопки «Готово» скорректировать положения курсоров так, чтобы исходящие от них линии совпали с кромками лопасти рядом с недостающим участком угла.
- Размеры недостающего участка и недостающих кромок, а также величина угла недостающего углового участка отображаются на экране, что устраняет необходимость в дополнительных измерениях.



Признак дефекта кромки лопасти турбины:

- При отсутствии 3D данных вдоль кромки лопасти или в случае их зашумленности использовать тип измерений «Плоскость измерения» с типом измерений «Точка-линия».
- Расположить объектив зонда в соответствии с рекомендациями, приведенными в разделе «Предупреждения относительно угла обзора краев (EVA) при использовании Плоскости измерения».
- Поместить Плоскость измерения на лицевую сторону лопатки рядом с признаком дефекта.

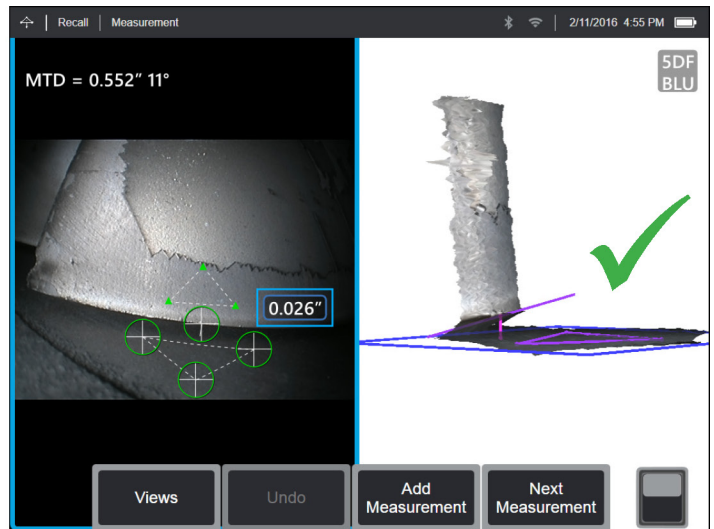
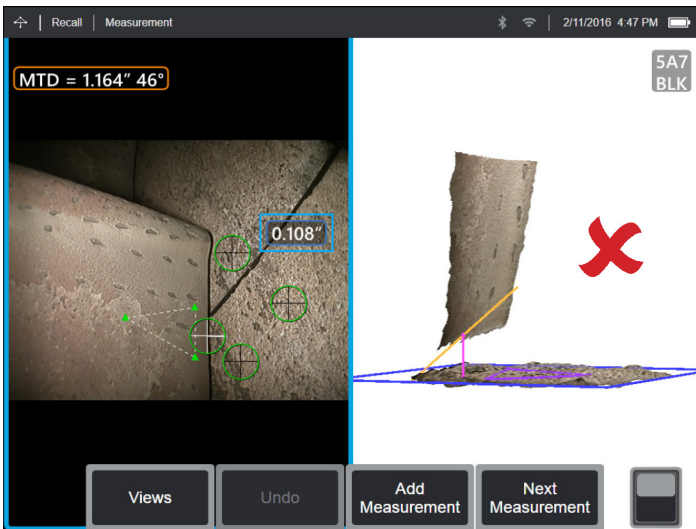
- Дополнительно использовать тип измерений «Точка-линия» с помощью первых двух курсоров, установленных на кромке лопасти, и третьего курсора на внутреннем краю признака дефекта.
- Значение EVA отображается рядом с MTD. Чем меньше EVA, тем выше точность, особенно при измерениях на закругленных передних кромках. При выполнении важных измерений следует пытаться получить EVA менее 15°.



Примеры Плоскости измерения

Зазор между торцом лопасти и кожухом турбины

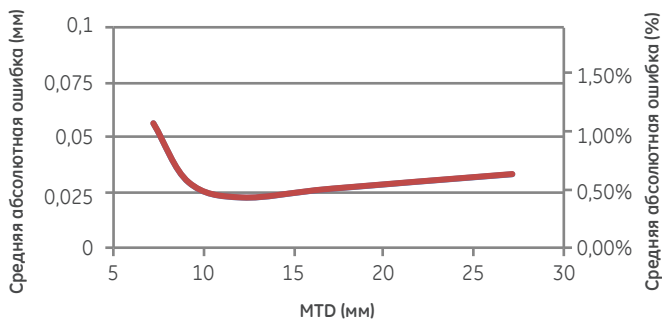
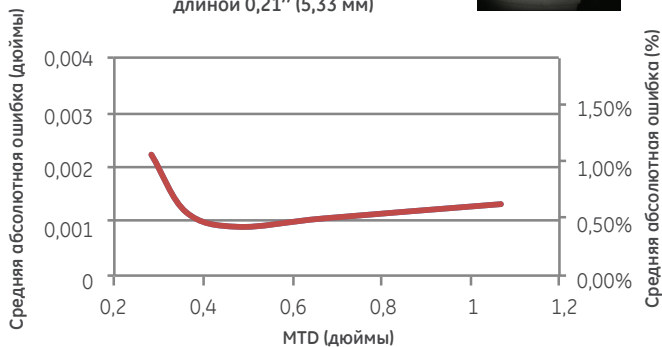
- При отсутствии 3D данных по кромке лопасти или в случае их зашумленности использовать тип измерений «Плоскость измерения» с типом измерений «Глубина» либо выполнить вытягивание вниз и назад в направлении кожуха, как показано на нижнем правом изображении.
 - Поместить объектив зонда ниже к кожуху, чтобы был обзор пространства под лопастью. Левый снимок, показанный ниже, выполнен слишком высоко над кожухом, что показывает значение EVA 46°.
- Поместить Плоскость измерения на лицевую сторону лопасти рядом с требуемой точкой измерения. При слишком большом расстоянии между курсорами у кромки лопасти может возрасти ошибка вследствие кривизны кромки.
 - Расположить первые три курсора для типа измерения «Глубина» на кожухе.
 - Четвертый курсор типа измерения «Глубина» расположить на кромке лопасти на двухмерном изображении. Этот курсор проецируется на Плоскость измерения, поэтому он может немного отстоять от кромки в облаке точек из-за отсутствия 3D данных на кромке или их зашумленности.



ДААННЫЕ О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

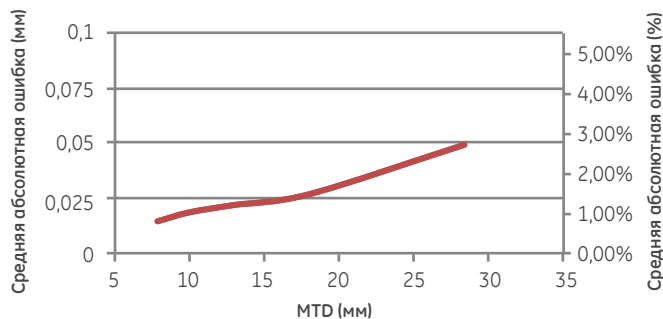
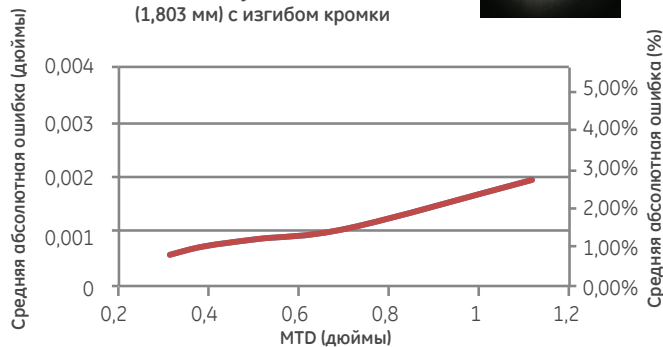
Кривые точности измерений, приведенные на стр. 18-19, созданы на основе подготовленных результатов испытаний, выполненных независимой организацией с использованием 3DPM с аппаратом Mentor Visual IQ в контролируемых условиях на испытательном блоке с матовой поверхностью. Их следует интерпретировать как возможности системы в идеальных условиях. Фактические результаты зависят от области применения, состояния поверхности и оборудования, а также от опыта пользователя.

Ошибка измерения при использовании типа измерений «Длина» в сравнении со значением MTD, усредненным для углов съемки 0°-50°, на участке длиной 0,21" (5,33 мм)



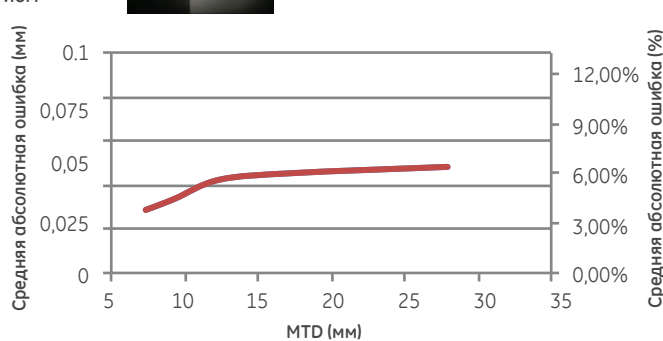
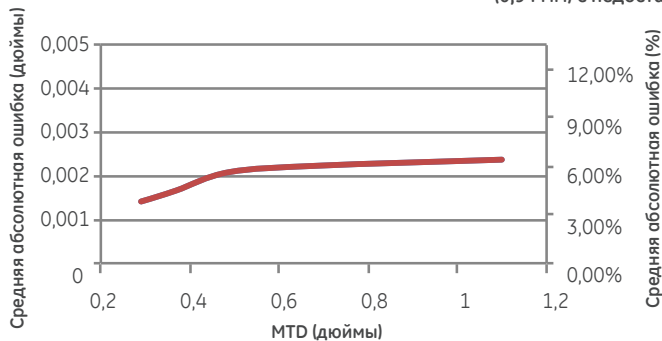
Кривая точности измерения длины трещины

Ошибка измерения при использовании типа измерений «Точка-линия» в сравнении со значением MTD, усредненным для углов съемки 0°-50°, на участке длиной 0,071" (1,803 мм) с изгибом кромки



Кривая точности для типа измерений «Точка-линия» при изгибе кромки

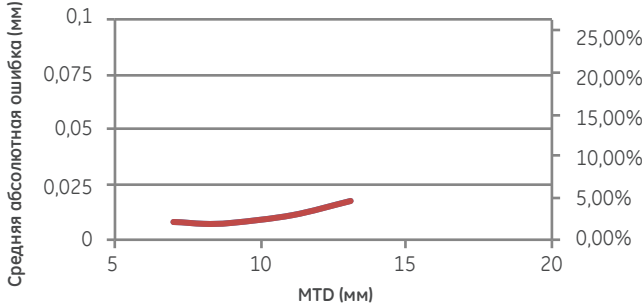
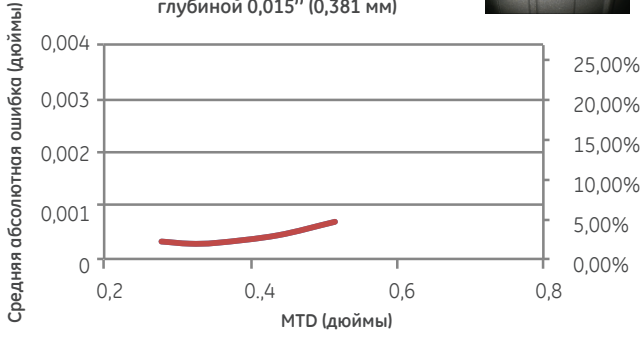
Ошибка измерения при использовании типа измерений «Точка-линия» в сравнении со значением MTD, усредненным для углов съемки 0°-50°, на участке длиной 0,037" (0,94 мм) с недостающим углом



Кривая точности для типа измерений «Точка-линия» для недостающего угла

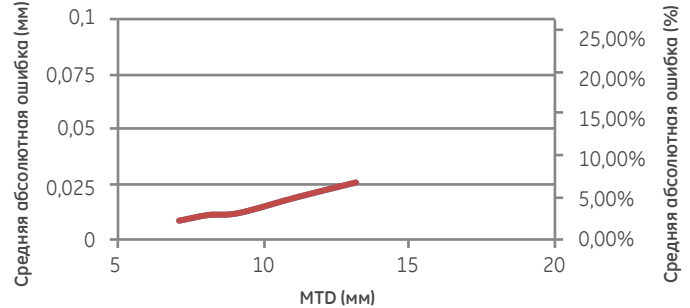
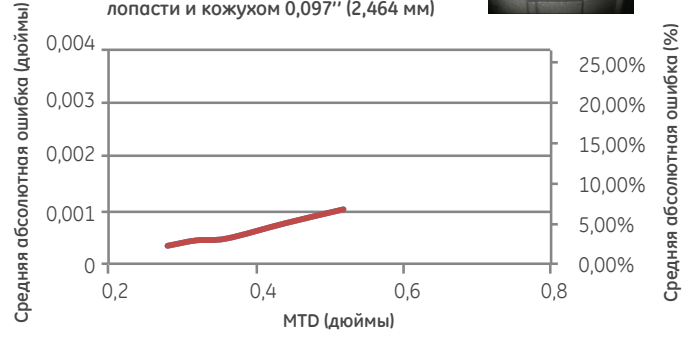
Примечание. Плоскости измерения в данном испытании не использовались, но, вероятно, улучшили бы результаты для некоторых участков.

Ошибка измерения при использовании типа измерений «Глубина» в сравнении со значением MTD, усредненным для углов съемки 0°-50°, на участке глубиной 0,015" (0,381 мм)



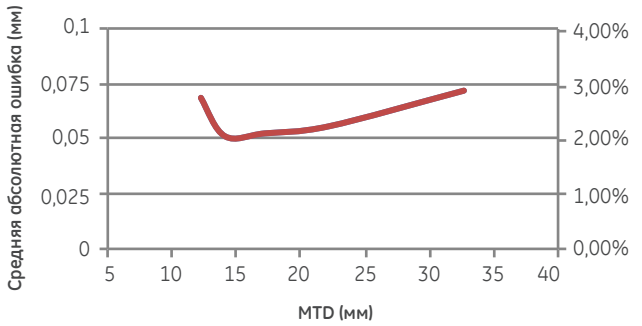
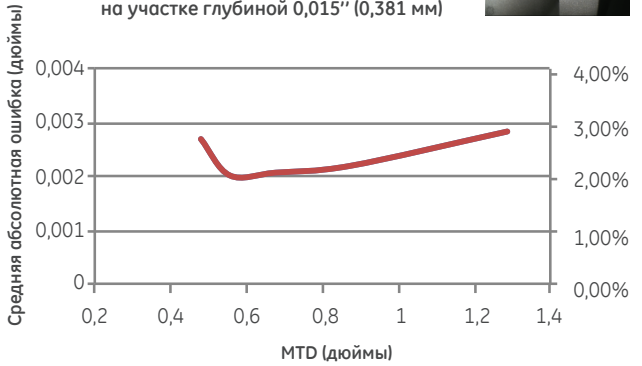
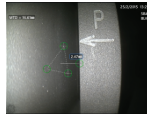
Кривая точности для типа измерений «Глубина» для язвины или вмятины

Ошибка измерения при использовании типа измерений «Глубина» в сравнении со значением MTD, усредненным для всех углов съемки, на зазоре между торцом лопасти и кожухом 0,097" (2,464 мм)



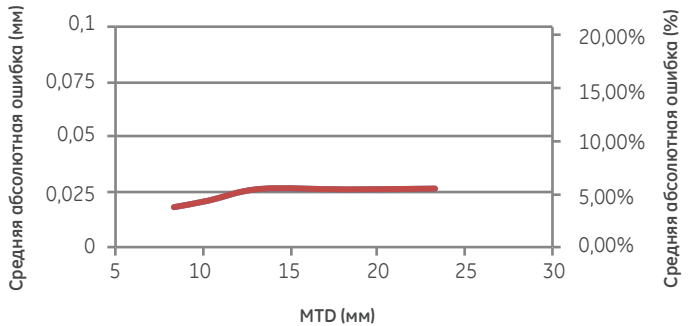
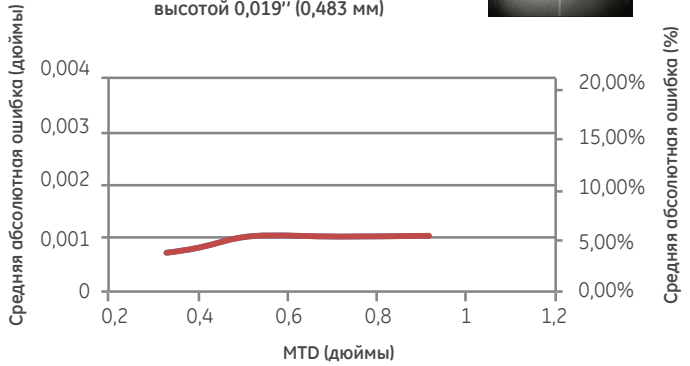
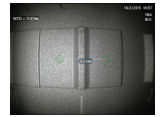
Кривая точности для типа измерений «Глубина» для расстояния между торцом лопасти и кожухом

Ошибка измерения при использовании типа измерений «Профиль глубины» в сравнении со значением MTD, усредненным для углов съемки 0°-50°, на участке глубиной 0,015" (0,381 мм)



Кривая точности для типа измерений «Профиль глубины» для язвины или вмятины

Ошибка измерения при использовании типа измерений «Профиль глубины» в сравнении со значением MTD, усредненным для углов съемки 0°-50°, на участке сварного шва высотой 0,019" (0,483 мм)



Кривая точности для типа измерений «Профиль глубины» для высоты сварного шва

СПЕЦИФИКАЦИИ

Спецификации и номера деталей оптических объективов видеозондов для видеэндоскопа Mentor Visual iQ

Оптические объективы видеозонда 4,0 мм для видеэндоскопа Mentor Visual iQ

Оптические объективы для 3D стереоскопических измерений и стереоскопических измерений

№ детали	Цвет	Поле обзора (град.)	Глубина резкости (мм)	(дюймы)
TM405555FG	Черный	55/55-ВПЕРЕД	5-бескон	(0,20-бескон)
TM405555SG	Синий	55/55-ВБОК	4-бескон	(0,16-бескон)

Оптические объективы для видеозонда 6,1 мм для видеэндоскопа Mentor Visual iQ

Оптические объективы для 3D фазовых измерений

XL4TM61105FG (прямого обзора)	Черный	105	8-250	(0,31-9,84)
XL4TM61105SG (бокового обзора)	Синий	105	7-250	(0,27-9,84)
XL4TM61105FN-8651	Оранжевый	105	3-120	(0,12-4,72)

Оптические объективы для 3D стереоскопических измерений и стереоскопических измерений

XLG3TM616060FG	Черный	60/60-ВПЕРЕД	4-80	(0,16-3,15)
XLG3TM615050SG	Синий	50/50-ВБОК	2-50	(0,8-1,97)

Оптические объективы для видеозонда 8,4 мм для видеэндоскопа Mentor Visual iQ

Оптические объективы для 3D стереоскопических измерений и стереоскопических измерений

XLG3TM846060FG	Черный	60/60-ВПЕРЕД	4-50	(0,16-1,97)
XLG3TM846060SG	Синий	60/60-ВБОК	4-50	(0,16-1,97)

Каталожные номера программного обеспечения

3D стереоскопические измерения MVIQ-3DPM

3D фазовые измерения MVIQ-3DST

Стереоскопические измерения MVIQ-ST

Измерения по проецируемой плоскости MVIQ-PPM

Профиль глубины участка MVIQ-ADP

Глоссарий

3D Перспективные линии. Пунктирные синие линии, показывающие четыре угла поля обзора объектива в облаке точек полного изображения для облегчения понимания пользователем и улучшения ориентации объектива относительно поверхности. Эти линии можно отобразить или скрыть с помощью меню настроек.

3D фазовые измерения. Технология измерения, в которой применяется проекция линий с определенной конфигурацией на объект с помощью нескольких светодиодов. Измеряемые величины рассчитываются с использованием концепции анализа сдвига фаз в сочетании с запатентованной технологией обработки.

Трехмерное облако точек. 3D графическое представление исследуемой поверхности с помощью линий и сфер, используемых для отображения измерений, выполняемых на данной поверхности. Трехмерное облако точек можно поворачивать и просматривать с разных углов и точек зрения. Оно позволяет эндоскописту проверять выполненные им настройки измерений и точки размещения курсоров.

Направляющая диапозона 3DPM. Визуальное вспомогательное средство, отображаемое при просмотре видео в режиме реального времени с помощью установленного объектива 3DPM для индикации возможности обеспечения системой достаточной яркости с помощью светодиодов объектива для получения высококачественных сканов. При увеличении количества полос путем приближения к объекту повышается качество 3D данных и точность измерений.

3D стереоскопические измерения. Используются те же оптические принципы, что и в стерео измерениях, в сочетании с возможностью создавать представление данных измерений в виде трехмерного облака точек, совершать манипуляции с ним и анализировать его.

Активный курсор. Текущий курсор, с которым в данный момент совершаются манипуляции, обозначенный синим кружком.

Сообщение-подсказка. «Для получения наилучших результатов эталонные курсоры должны находиться на одной плоскости». При измерении профиля глубины указывает, что эталонные курсоры не находятся на одной плоскости.

Сообщение-подсказка. «Приблизьте объектив к объекту или переместите курсоры, чтобы получить лучший результат» — Указывает, что измеряемая величина слишком мала для обеспечения достоверности при текущем расстоянии между объективом и объектом. Устраняется путем приближения объектива к признаку дефекта или выбора большей области измерения.

CSV. Данные, разделенные запятыми; используются для экспорта файлов данных облаков точек. Можно открыть в пакете программного обеспечения САПР.

Вспомогательная функция измерения глубины. Функция, с помощью которой система выполняет поиск данных о поверхности в области первых трех курсоров при использовании типа измерений «Глубина» и автоматически помещает четвертый курсор в самой глубокой точке, самой высокой точке или точке на торце лопасти, позволяя пользователю экономить время на их поиске вручную.

Карта глубины. Режим просмотра трехмерного облака точек, в котором расстояние от объектива до объекта (полное изображение) или длина перпендикуляра от эталонной плоскости измерения (изображение, по которому проводятся измерения) маркируются цветом для более понятного отображения уровней шума 3D данных и контуров поверхности.

Вид профиля глубины. Альтернативный двумерный вид профиля глубины вдоль выбранной линии профиля глубины.

Угол обзора края (EVA). Отображается рядом с MTD, чтобы помочь пользователю определить пригодность перспективы обзора при выполнении измерений «Точка-линия», «Глубина» или «Площадь» у края поверхности с использованием типа измерений «Плоскость измерения».

Линия угла обзора края (Линия EVA). Линия, показанная в облаке точек, указывающая положение EVA. EVA равен 0°, когда Линия EVA перпендикулярна плоскости измерения.

FOD. Повреждение посторонними предметами.

Облако точек полного изображения. Показывает все измерения и данные о поверхности. Карта глубины показывает расстояние от измерительного объектива до поверхности.

Направляющие линии. Линии, отображаемые в окне обзора облака точек при использовании типа измерения «Плоскость измерения» с типами измерений «Длина», «Точка-линия», «Многоотрезочное измерение» или «Площадь», чтобы облегчить пользователю установку курсоров для выравнивания относительно точек, расположенных вне плоскости поверхности.

InspectionWorks Connect. Средство совместной дистанционной работы, позволяющее в режиме реального времени просматривать изображение видеоконтроля, обмениваться сообщениями и делать аннотации. Включается непосредственно с переносного ручного блока Mentor iQ.

Неактивный курсор. Курсор, не выбранный в данный момент, обозначенный зеленым кружком.

Inspection Manager. Инструмент на базе ПК для повторных измерений для визуального контроля изображений.

Облако точек изображения, по которому проводятся измерения. Отображаются активные данные измерений и поверхности вблизи облака точек. Карта глубины показывает расстояние вдоль перпендикуляра от точек поверхности до эталонной плоскости измерения.

Недостающий угол. Угол лопатки турбины, как правило, отломившийся в результате повреждения посторонним предметом, прошедшим через турбину.

MTD. Максимальное расстояние до объекта. Определяет расстояние от наиболее удаленной точки курсора от объектива зонда при измерении.

Шум в облаке точек. Артефакты в 3D данных, не отражающие истинную геометрию поверхности. Шум, как правило, можно снизить путем перемещения объектива ближе к исследуемой поверхности или изменения угла съемки для уменьшения отражений.

Оранжевая обводка вокруг результатов измерений и значения MTD. Указывает, что измеряемая величина слишком мала для обеспечения достоверности при текущем расстоянии между объективом и объектом. Устраняется путем приближения объектива к объекту измерений или выбора большей области измерения.

Срезы профиля. Линии вдоль поверхности между эталонными линиями профиля при использовании типа измерений «Профиль глубины участка», которые показывают расстояние вдоль перпендикуляра между точками поверхности и эталонной плоскостью.

Измерения по проецируемой плоскости. Использование типа измерений «Плоскость измерений» в сочетании с другим типом измерений для математического проецирования плоскости поверхности на все изображение и выполнения измерений на этой плоскости.

Красная заливка курсоров на Профиле глубины. Указывает, что курсоры находятся не на плоской поверхности или не на одной плоскости. Курсор необходимо переместить, чтобы обеспечить точное измерение.

Красная маска на изображении. Указывает, что данные о поверхности в соответствующей области недоступны для измерения. Путем приближения или корректировки ориентации съемки можно уменьшить область красной маски.

Эталонная линия. При использовании типа измерений «Точка-линия» первые два курсора, размещенные на не подвергшихся изменениям точках поверхности, определяют прямую эталонную линию в 3D пространстве, от которой измеряется расстояние до точки третьего курсора.

Эталонная плоскость. Плоскость, определяемая тремя или более точками на эталонной поверхности, от которой вычисляется расстояние вдоль перпендикуляра до точек других поверхностей. Синий квадрат указывает положение эталонной плоскости в обзоре трехмерного облака точек на изображении, по которому проводятся измерения.

Примечание. Эталонная плоскость вычисляется как плоская, даже если поверхность, на которой лежит эта плоскость, не плоская. Данная особенность является потенциальным источником ошибки.

Эталонная линия профиля. Линии Профиля глубины участка, заданные измерительными курсорами, повторяющие контуры поверхности и используемые для определения участка и эталонных плоскостей для срезов профиля.

Эталонная поверхность. Не подвергшаяся изменениям поверхность детали, используемая в качестве эталонной для различных измерений.

Результирующий срез. Срез Профиля глубины участка, включающий в себя самую высокую или самую низкую точку и отображаемый на изображении и в облаке точек.

Маска поверхности. Отображает зеленым цветом точки поверхности, расположенные очень близко к эталонной плоскости измерения, чтобы помочь пользователю точно определить эталонные плоскости при использовании типов измерений «Плоскость измерения», «Глубина», «Профиль глубины» и «Профиль глубины участка».

Желтая маска на изображении. При использовании типа измерений «3D фазовые измерения» показывает данные о поверхности, которые могут иметь качество, недостаточное для измерений. При этом точность измерений может оказаться низкой, особенно при измерении глубины или небольших величин. Участки с желтой маской часто возникают в связи с отражениями между поверхностями. Улучшить качество данных и уменьшить или устранить участки с желтой маской может изменение ориентации зонда для уменьшения отражений от объектива зонда.



GE Inspection Technologies

721 Visions Drive
Skaneateles, NY 13152
315-554-2000
www.gemeasurement.com

* обозначает товарный знак компании General Electric.
Все прочие товарные знаки являются собственностью
соответствующих владельцев.

© 2016 General Electric Company. Все права защищены.

GEA31907A

02.2016