

Калининченко Николай Петрович, канд. техн. наук, доцент, специалист III уровня по: визуальному и измерительному методу, методу контроля проникающими веществами (капиллярный контроль, течеискание) кафедры физических методов и приборов контроля качества Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: nikol_k112@mail.ru
Область научных интересов: аттестация персонала, лабораторий, метрологическое обеспечение по указанным методам НК.

Гаврила Анна Федоровна, магистрант кафедры физических методов и приборов контроля качества Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: nikol_k112@mail.ru
Область научных интересов: исследование метрологических характеристик видеоэндоскопов.

УДК 681.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИДЕОЭНДОСКОПА EVEREST XLG3^m

Н.П. Калининченко, А.Ф. Гаврила

Томский политехнический университет

E-mail: nikol_k112@mail.ru

Проверка оборудования, используемого для проведения визуального контроля, включает в себя многие технические аспекты. Из них чувствительность системы и разрешающая способность являются наиболее значимыми техническими параметрами. Рассмотрены возможности определения разрешающей способности видеоэндоскопа Everest XLG3^m с помощью стандартных образцов и предложенных образцов-имитаторов.

Ключевые слова:

Видеоэндоскоп, стандартные образцы, разрешающая способность, имитаторы дефектов.

Технический видеоэндоскоп Everest XLG3^m (рис. 1) на сегодняшний день является одним из самых революционных и доступных инструментов для дистанционного визуального контроля в промышленности. Перечень возможностей нового прибора включает новые технологические решения, а именно, быструю смену зондов различного диаметра и длины, передачу изображений в реальном времени для ведения длительных осмотров, встроенную систему записи информации на DVD, полученные на основе 22-х летнего опыта создания подобных систем.



Рис. 1. Видеоэндоскоп Everest XLG3^m

Предложенный широкий спектр особенностей упрощает процедуру осмотра, система видеозонда Everest XLG3 – гибкая, портативная и универсальная, что позволяет уменьшить время, затраченное на инспекционные осмотры.

С улучшенными линзами, цифровой обработкой сигнала и ярким, с высокой разрешающей способностью (VGA), широкоэкранным ЖКИ дисплеем система Everest XLG3^m предоставляет изображения наиболее высокого качества по сравнению с другими коммерческими приборами такого типа. Яркие, отчетливые инспекционные изображения ускоряют процесс идентификации дефектов и принятия решений.

Артикуляция зонда ALL-Way и высокоинтенсивное освещение могут обеспечить достаточный уровень освещения в самых темных углах и щелях и позволяют получать при этом яркие, четкие изображения. Сложная система управления изображением включает возможность регуляции яркости лампы. Автоматическая или ручная экспозиция обеспечивает полную управляемость в любой инспекционной области. Высокая светоотдача 75Вт лампы выдает световой поток в два раза больше, чем другие видеозонды, при этом срок службы лампы составляет до 1000 часов.

Система Everest XLG3^m применяется в таких областях промышленности как авиационная, космическая, перерабатывающая, автомобильная, электроэнергетика.

В Everest XLG3^m реализованы три типа измерений: теневой, стереоскопический и метод сравнения для измерения размеров дефектов, однако в руководстве по эксплуатации не указаны предельные возможности данного прибора по пространственной разрешающей способности.

В соответствии с ГОСТ 23479-79 [1] основными характеристиками аппаратуры оптического вида контроля должны быть:

- диапазон рабочих температур;
- разрешающая способность;
- поле зрения;
- увеличение;
- предел допускаемой основной погрешности.

Величины погрешности аппаратуры должны определяться по стандартам и техническим условиям на конкретные типы аппаратуры, а виды нормируемых характеристик средств измерения должны соответствовать ГОСТ 8.009-84 [2].

Аппаратура оптического вида контроля должна обеспечивать качество изображения дефектов (яркость, цвет, контраст, размер, время анализа), необходимое для обеспечения оптимальных условий их наблюдения.

Для настройки и периодической проверки работоспособности и расшифровки показаний аппаратуры должны использоваться стандартные образцы, разрабатываемые и изготавливаемые по технической документации разработчика аппаратуры или по отраслевым и межведомственным техническим документам.

При приемо-сдаточных, периодических и типовых испытаниях аппаратуры должны использоваться стандартные образцы, разработанные предприятием – разработчиком аппаратуры и изготовленные предприятием – изготовителем аппаратуры.

Для проверки аппаратуры непосредственно перед проведением контроля объектов, а также для контроля методом сравнения с объектом могут быть использованы образцы, специально изготовленные потребителем аппаратуры, с внесением определенного вида дефектов; также допускается использование имитаторов.

Подготовка аппаратуры и объекта контроля должна производиться в соответствии с технической документацией на контроль и включать:

- подготовку объекта контроля к операциям контроля;
- проверку работоспособности аппаратуры;
- выбор условий контроля.

Выбор условий контроля сводится к обеспечению нормальных условий освещенности контролируемого объекта, установлению требуемого режима работы и взаимного расположения объекта контроля и аппаратуры.

Контроль объектов должен осуществляться в соответствии с методикой контроля на конкретные типы аппаратуры и объекта и включать в себя следующие операции:

- установку объекта контроля и аппаратуры в требуемое положение;
- введение объекта в режим контроля (освещение, устранение смещения или вибрации и т. п.);

- наблюдение и (или) измерение контролируемого параметра;
- контроль качества объекта посредством его сравнения со стандартным образцом;
- обработку результатов.

В настоящее время на российском рынке представлен широкий спектр приборов и средств неразрушающего контроля, в том числе и средства визуально-оптического контроля. Однако не все производители предоставляют в комплекте стандартные образцы для настройки и проверки работоспособности приборов.

Стандартные образцы являются рабочими эталонами при проведении испытаний средств неразрушающего контроля, а также при периодическом контроле нормируемых параметров (характеристик) данных средств в процессе их эксплуатации [2].

Стандартные образцы предназначены для применения в системе обеспечения единства измерений для:

- поверки, калибровки, градуировки средств измерений, а также контроля метрологических характеристик при проведении их испытаний, в том числе с целью утверждения типа;
- метрологической аттестации методик выполнения измерений;
- контроля погрешностей методик выполнения измерений в процессе их применения в соответствии с установленными в них алгоритмами, а также для других видов метрологического контроля.

По уровню признания и области применения стандартные образцы подразделяют на следующие категории:

- межгосударственные;
- государственные;
- отраслевые;
- стандартные образцы организаций (предприятий) – юридических лиц.

Межгосударственный стандартный образец – стандартный образец, созданный в порядке сотрудничества в рамках СНГ, признанный в соответствии с правилами, установленными Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации, и применяемый в межгосударственных отношениях и во всех областях народного хозяйства стран, присоединившихся к его признанию.

Государственный стандартный образец – стандартный образец, признанный национальным органом по стандартизации, метрологии и сертификации, применяемый во всех областях народного хозяйства страны, включая сферы распространения государственного метрологического контроля и надзора.

Отраслевой стандартный образец – это стандартный образец, утвержденный органом, наделенным соответствующими полномочиями от Государственного органа управления или от объединения юридических лиц, применяемый на предприятиях и в организациях отрасли или объединения юридических лиц, утвердивших стандартный образец.

Стандартный образец предприятия (организации) – это стандартный образец, утвержденный руководителем предприятия (организации) и применяемый в соответствии с требованиями нормативных документов предприятия (организации), утвердившего стандартный образец.

Виды образцов

Рассматривая вопрос об определении разрешающей способности оборудования, следует учитывать разрешающую способность глаза. Определение остроты зрения включает в себя четыре вида восприятия в соответствии с рис. 2.

Видимый минимум (способность обнаружения), в соответствии с рис. 2, *а* – это минимальный объект в поле зрения, который может быть различен.

Сепарабельный минимум – это способность различать отдельные части, находящиеся в одной сложной системе, в соответствии с рис. 2, *б*.

Острота зрения по Верньеру основана на способности глаза уверенно устанавливать совпадение двух штрихов, когда один из них является продолжением другого, и концы их совпадают, как показано на рис. 2, *в*.

Читаемый минимум – это способность распознавать группу букв, цифр или других символов (рис. 2, г).

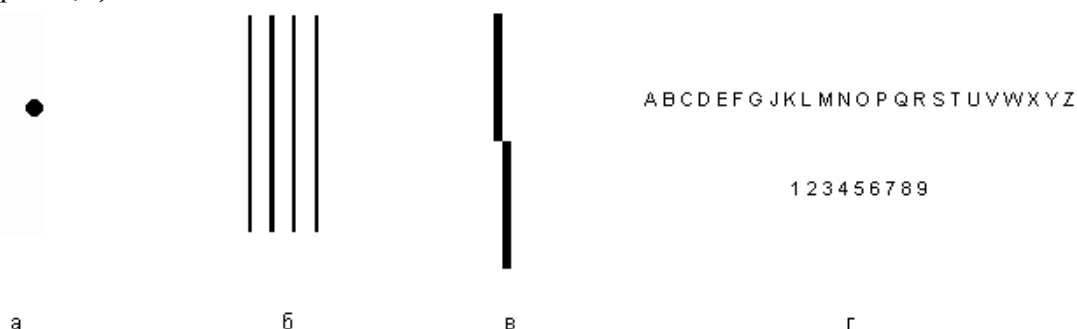


Рис. 2. Виды восприятия: а) видимый минимум; б) сепарабельный минимум; в) острота зрения по Верньер; г) читаемый минимум

Компаратор

Компаратор состоит из предложений, напечатанных размером Егер 1 и Егер 2, в соответствии с рис. 3.

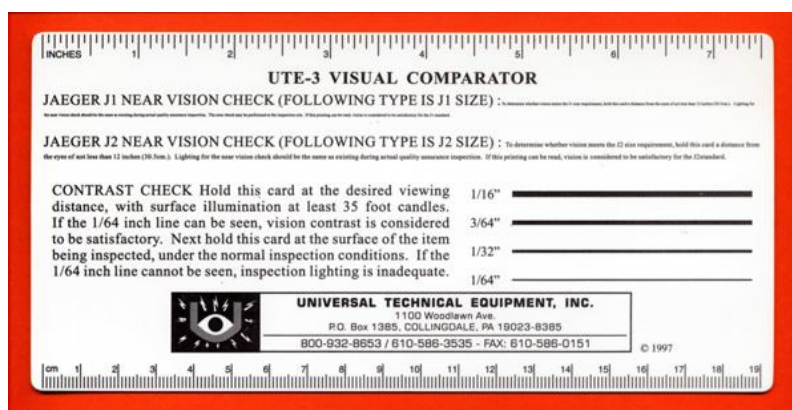


Рис. 3. Визуальный компаратор

Способность оператора прочесть соответствующие предложения определяет возможности проведения контроля при данных условиях освещенности.

Миры

Мира – испытательная пластинка с нанесённым на неё стандартным рисунком в виде полос или секторов.

Рисунки для миры могут иметь разные конфигурации и характеризоваться различной контрастностью образующих их элементов. Часто такими элементами служат тёмные штрихи на светлом фоне или чередующиеся тёмные и светлые сектора. Густота штрихов на различных участках этой миры неодинакова (возрастает сверху вниз и слева направо). Наблюдая изображение миры, создаваемое оптическим прибором, определяют, на каком элементе изображения отдельные штрихи перестают различаться (сливаются), что непосредственно даёт предельное разрешение прибора в числе штрихов на мм.

Различают следующие виды мир:

- штриховая – рисунок образован чередующимися тёмными и светлыми прямоугольными полосками с закономерно изменяющейся частотой. Пример штриховой миры изображен на рис. 4;
- радиальная – рисунок образован тёмными и светлыми секторами круга;

- кольцевая – рисунок образован тёмными и светлыми кольцами, типа мишень;
- синусоидальная – плотность изображения плавно изменяется по синусоидальному закону.

Для снятия частотно-контрастных характеристик объективов используют штриховые миры. Формально более точные результаты в этом случае получаются при использовании синусоидальных мир. Однако сложность их изготовления привела к тому, что применяются только миры с прямоугольным профилем.

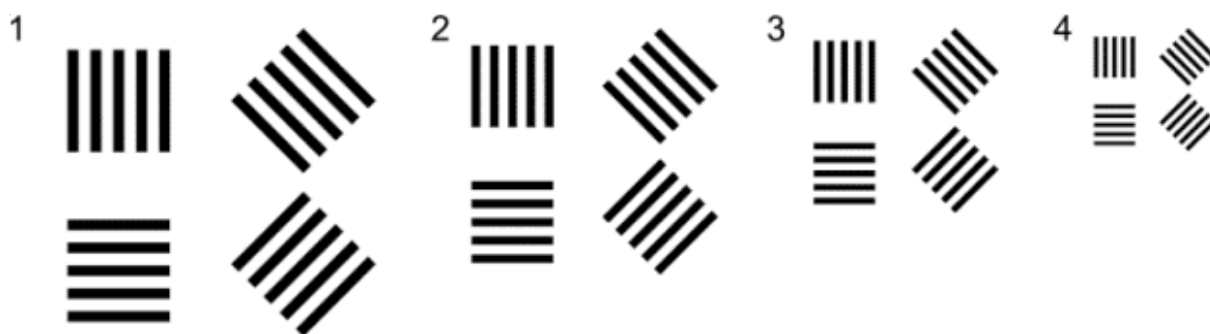


Рис. 4. Штриховая мира

Принцип измерения предела разрешения прибора состоит в визуальном определении наибольшего числа штрихов в одном миллиметре изображения штриховой миры, помещенной в фокальной плоскости объектива коллиматора, которые еще видны в окуляр прибора отдельно по четырем направлениям при оптимальной для наблюдателя яркости изображения. Функциональная схема установки для измерения предела разрешения приведена на рис. 5.

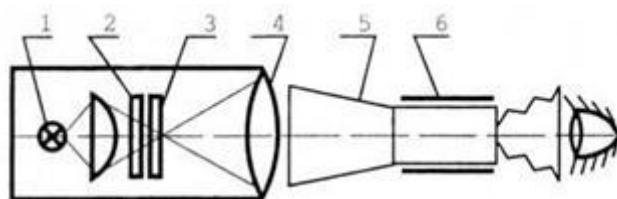


Рис. 5. Схема установки для измерения предела разрешения прибора: 1 – источник света; 2 – светофильтр; 3 – штриховая мира; 4 – объектив коллиматора; 5 – испытуемый прибор; 6 – держатель прибора

Осветитель должен обеспечивать возможность плавного изменения яркости светлого поля миры. Допускается применение светофильтров, ограничивающих спектральный состав излучения осветителя. Характеристики светофильтров указываются в документации на испытуемый прибор. Штриховая мира должна соответствовать требованиям ГОСТ 15114-78 [3]. На одной подложке может располагаться один или несколько элементов миры. Миры должны иметь хорошо видимые в испытуемый прибор номера, возрастающие с увеличением частоты штрихов миры. Кроме того, они должны иметь абсолютный контраст (положительный или отрицательный). К измерениям могут быть допущены лица, имеющие нормальное зрение и опыт наблюдения в приборы ночного видения (не менее трех часов).

Испытуемый прибор устанавливают в держателе соосно с объективом коллиматора, после чего включают прибор, а миру устанавливают в плоскость, соответствующую плоскости наводки испытуемого прибора. Яркость светлых частей поля миры устанавливают оптимальной для наблюдателя. Производят необходимые подфокусировки объектива и окуляра испытуемого прибора до получения максимальной четкости изображения миры.

Наблюдатели рассматривают изображения элементов миры, выводя каждый элемент в центр поля зрения, после чего находят элемент миры с наибольшим порядковым номером, изображение штрихов которого во всех четырех направлениях еще видно отдельно.

Предел разрешения определяют по формуле 1:

$$N = \frac{f'_k}{2\alpha f'}, \quad (1)$$

где N – предел разрешения испытуемого прибора, штр/мм; f'_k – фокусное расстояние объектива коллиматора, известное с точностью до 0,1 %; f' – фокусное расстояние объектива испытуемого прибора известное с точностью 0,5 %; α – ширина светлого (или темного) штриха миры в миллиметрах, известная с точностью до 0,002 мм.

За предел разрешения принимают среднее арифметическое из всех пределов разрешений, полученных наблюдателями.

Погрешность измерения предела разрешения по настоящей методике не превышает 10 % при доверительной вероятности 0,95.

Ширина штрихов определяется согласно ГОСТ 15114-78 [3].

Elcometer 143

Прибор Elcometer 143 был специально разработан с целью предоставить инспекторам экономичную альтернативу градуированному микроскопу для расчета ширины трещины в бетоне или других материалах (рис. 6). Прозрачная линейка размером с кредитную карту проградуирована рядом линий. Каждая линия обозначает определенную толщину. Прибор устанавливают на трещины: при этом значение линии, которая соответствует ширине трещины, и будет шириной трещины. Диапазон ширины лежит в пределах от 0,1 до 2,5 мм.



Рис. 6. Elcometer 143

Серая карта

Попадающие в кадр объекты имеют различную яркость из-за различной отражательной способности падающего на них света. Кроме того, объекты занимают различную площадь кадра, поэтому усреднение общего значения яркости может привести к тому, что важные участки изображения окажутся экспонированными.

Для определения правильной экспозиции операторы иногда применяют стандартное серое поле 18 % отражения («серой картой», «серой шкалой»). Использование такой шкалы позволяет свести к минимуму допуски и неопределенности при работе с изображением и добиться более качественной цветопередачи.

В США серая карта используется для определения уровня освещенности. Карту располагают на поверхности контроля в наихудшем для осмотра положении. Специалист должен различить линию шириной 1/32 дюйма (0,8 мм) или меньше, в этом случае условия считаются удовлетворительными для проведения контроля [4].

Однако существуют более высокие требования. Согласно документу BWRVIP-03 [5], при проверке корпусов ядерных реакторов минимальная граница чувствительности составляет

12 мкм. В этом случае вместо линий используют 2 провода с диаметром заданной величины, (см. рис. 7), которые располагают перпендикулярно друг другу на серой карте. Если система имеет достаточное разрешение и освещение, то процедура проведения контроля может продолжаться [6].

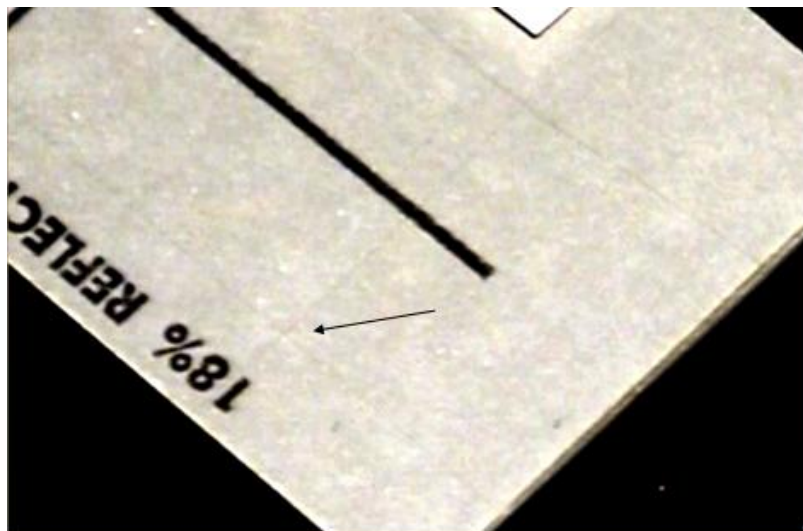


Рис. 7. Демонстрация двух скрещенных проводов, расположенных на серой карте

Определение предельных возможностей видеоэндоскопа Everest XLG3^m

Для определения и измерения минимального размера дефектов с допустимой погрешностью в 5 % с помощью видеоэндоскопа Everest XLG3^m были проведены исследования с использованием нескольких видов стандартных образцов (штриховые меры; Elcometer 143; тонкие медные провода, размещенные на серой карте) теньевым методом.

Перед измерениями с помощью видеоэндоскопа Everest XLG3^m был использован блок, содержащий оптические измерительные цели, точность которых проверяется с помощью образцовых средств измерений с размером единицы, полученным от эталонов Национального института стандартов и технологии (NIST). Каждый блок имеет четыре камеры: теньевую бокового обзора, теньевую переднего обзора, боковую стереоскопическую и стереоскопическую переднего обзора. Каждая камера содержит две откалиброванные цели: 0,1 дюйма и 1 мм. На рис. 8, *а* изображен калибровочный блок, а на рис. 8, *б* – поверочные цели, находящиеся внутри блока [7].

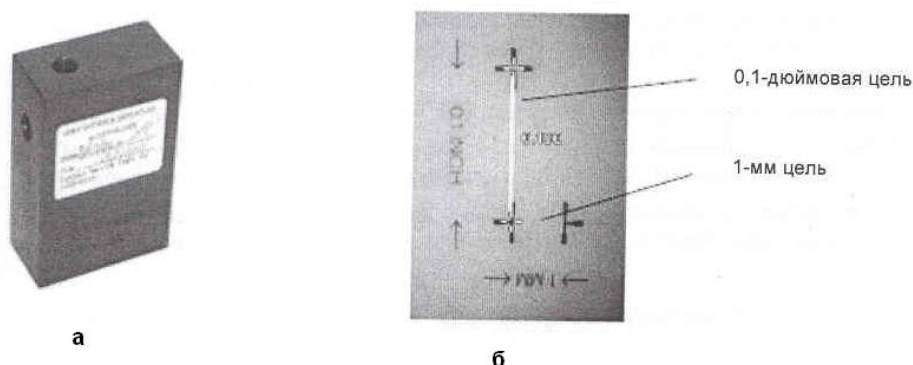


Рис. 8. Калибровочный блок и поверочные цели

В техническом описании прибора приведена допустимая погрешность измеряемой величины в 1 мм, которая составляет 5 %, однако не указаны допустимые погрешности при измерении величин менее 1 мм.

При использовании штриховой миры и прибора Elcometer 143 имитировать измеряемую величину менее 0,1 мм не удалось. Измерения проводили в диапазоне от 0,1 до 2,5 мм. Результаты представлены в табл. 1 и на рис. 9.

Таблица 1. Измеренные значения размеров искусственных дефектов

Истинное, мм	Измеренное, мкм										Относительная погрешность, %
0,1	0,11	0,1	0,1	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,00
0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	1,33
0,2	0,2	0,2	0,21	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,21	1,00
0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,25	0,25	0,26	0,25	0,25	0,80
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,31	0,3	0,3	0,31	0,3	0,3	0,67
0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,35	0,35	0,36	0,35	0,57
0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,41	0,41	0,4	0,4	0,4	0,4	0,50
0,5	0,5	0,5	0,51	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,51	0,40
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,61	0,6	0,6	0,61	0,6	0,6	0,33
0,8	0,8	0,81	0,8	0,8	0,8	0,8	0,81	0,8	0,8	0,8	0,25
1	1	1	1,01	1	1	1	1,01	1	1	1	0,20
1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,51	1,5	1,5	1,51	1,5	1,5	0,13
2	2	2	2,01	2	2	2,01	2	2	2	2	0,10
2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	2,5	2,5	0,04

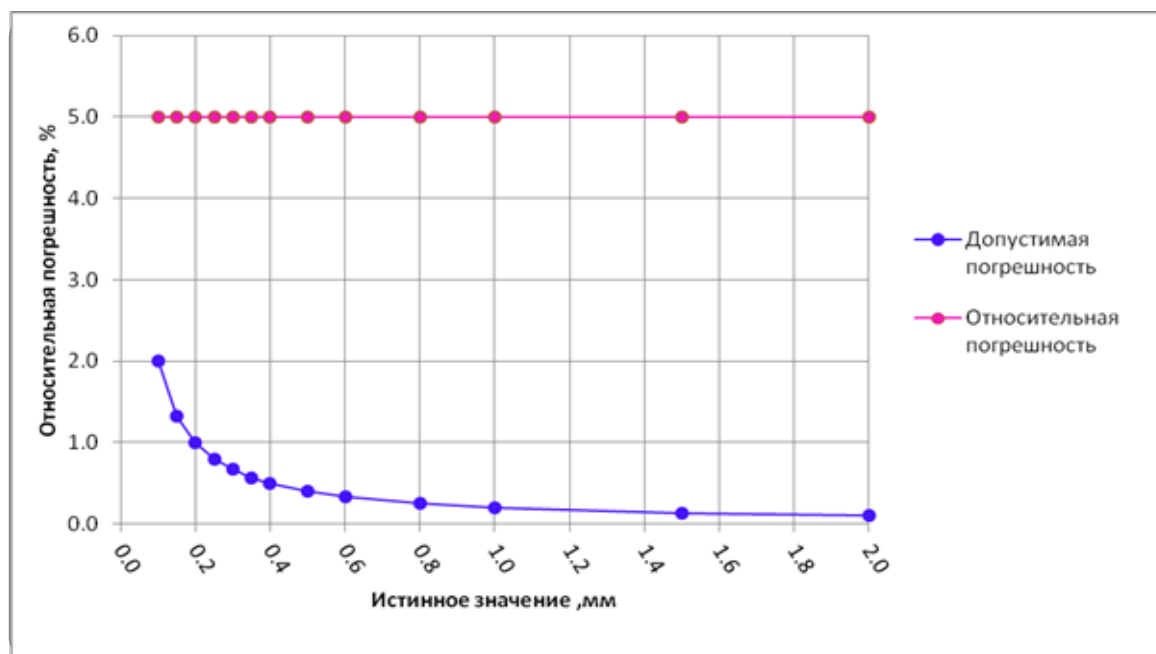


Рис. 9. Зависимость погрешности измерений от размера дефекта (получено с использованием прибора Elcometer 143)

При проведении измерений с использованием серой карты были выявлены два недостатка.

Во-первых, из-за небольшого контраста, светлые провода малого диаметра могут быть неразличимы на карте.

Во-вторых, свет, отраженный от круглой поверхности провода, отбрасывает большую тень на поверхность карты, в отличие от поверхностных трещин, как показано на рис. 10. В

этом случае погрешность измерения намного превышает допустимую. На рис. 11 изображен провод диаметром 0,07 мм, расположенный на поверхности серой карты. Погрешность измерения составила 28,5 %.

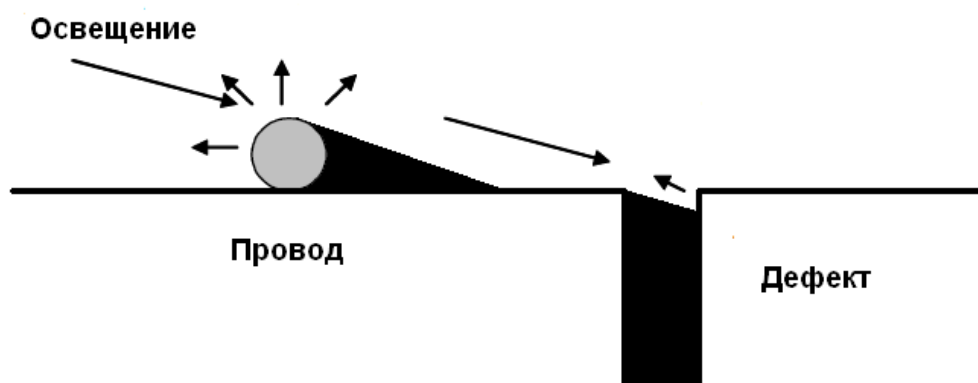


Рис. 10. Отличие размеров проводов и дефектов при боковом освещении



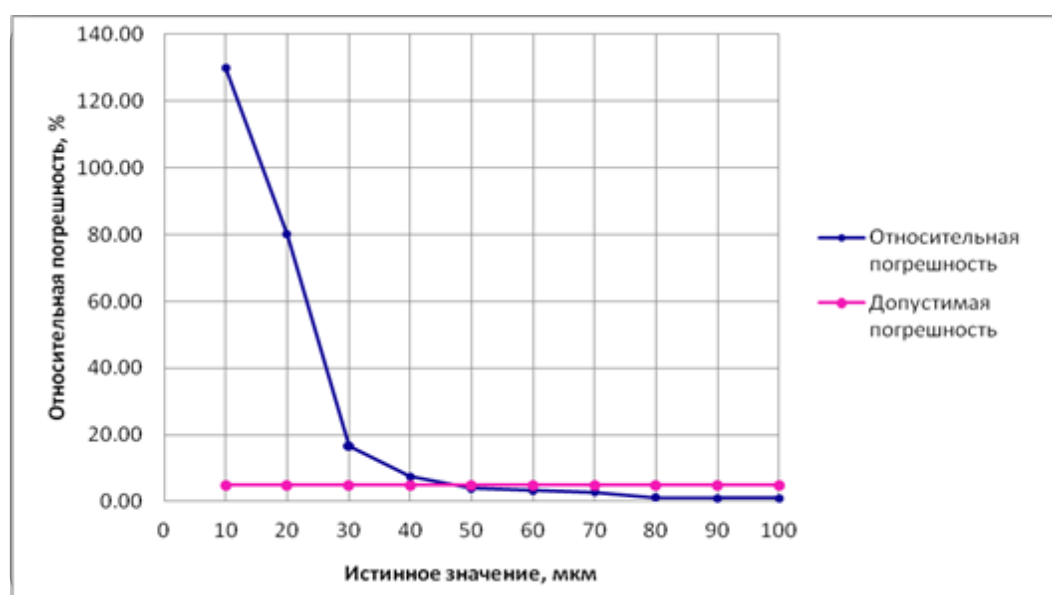
Рис. 11. Измерение толщины провода ПЭЛ диаметром 0,07 мм

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что для определения разрешающей способности видеозондоскопа применение вышерассмотренных методов и средств недостаточно.

Для определения разрешающей способности видеозондоскопа Everest XLG3^m было найдено оригинальное решение – использовать в качестве образца-имитатора электронный гладкий микрометр Griff МК-75, с помощью которого можно устанавливать необходимые значения размеров (щелей) в диапазоне от 0,01 до 0,10 мм с шагом 0,01 мм. Результаты измерений и график зависимости погрешности от измеряемой величины представлены в табл. 2 и на рис. 12. В технических характеристиках видеозондоскопа Everest XLG3^m указана погрешность 5 % при измерении размера 1 мм. Из полученных данных видно, что при измерении размера менее чем 0,05 мм погрешность значительно возрастает. При измерении величин в пределах от 0,05 до 1 мм опытный оператор при хороших условиях проведения контроля может добиться удовлетворительных результатов.

Таблица 2. Результаты измерений

Истинное значение, мкм	Полученные данные, мкм										Относительная погрешность, %
10	30	30	30	20	20	20	20	20	20	20	130,00
20	40	30	40	30	40	20	40	40	40	40	80,00
30	30	40	30	30	40	40	40	40	30	30	16,67
40	40	50	40	40	50	40	40	40	50	40	7,50
50	50	50	60	50	60	50	50	50	50	50	4,00
60	60	60	60	60	60	70	60	60	60	60	3,33
70	70	70	60	60	70	70	70	70	70	70	2,86
80	80	80	80	80	90	80	80	80	80	80	1,25
90	90	90	90	90	90	90	90	80	90	90	1,11
100	100	100	100	100	100	110	100	100	100	100	1,00

**Рис. 12.** Зависимость погрешности измерений от размера дефекта (щели) при измерении с использованием имитатора – микрометра Griff МК-75

Заключение

В работе рассмотрены различные виды отечественных и зарубежных стандартных образцов. Выполнены исследования разрешающей способности видеоэндоскопа Everest XLG3^m при измерении теньевым методом с использованием нескольких видов стандартных образцов.

При проведении измерений в диапазоне от 0,1 до 2,5 мм с помощью Elcometer 143 погрешность, которая соответствует пределу допустимых значений для видеоэндоскопа Everest XLG3^m, составила не более 5 %

При использовании в качестве имитатора дефектов микрометра Griff МК-25 в диапазоне от 0,01 до 0,1 мм были определены предельные характеристики видеоэндоскопа Everest XLG3^m. При измерении размеров менее 0,05 мм погрешность измерения превышает установленное пороговое значение 5 %.

Полученные результаты позволяют специалистам при измерении линейных размеров дефектов в вышеуказанном диапазоне получать более достоверную информацию об измеряемых величинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 23479-79. Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования. – М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 13 с.
2. ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. Москва, Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 28 .
3. ГОСТ 15114-78. Системы телескопические для оптических приборов. Визуальный метод определения предела разрешения. – М: ИПК Издательство стандартов, 1978. – 9 с.
4. Hellier C. Handbook of Nondestructive Evaluation. – New York: McGraw-Hill, 2001. – 201 p.
5. Alto P. BWRVIP-03. Reactor Pressure Vessel and Internals Examinations Guidelines. – California: Electric Power Research Institute, 1995. – 155 p.
6. Cumblidge S.E., Anderson M.T., Doctor S.R. An Assessment of Visual Testing. – Washington: Pacific Northwest National Laboratory. U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research Washington, 2004. – 55 p.
7. De Petris C., Macro C. Verification of the Resolution Capability for Equipment Used for Visual Testing // Proceedings of the XVth World Congress on Non-destructive Testing. – Italy, Brescia: Italian Society for Non-destructive Testing and Monitoring Diagnostics, 2000.

Поступила 16.04.2012 г.