

Проблемы создания стереоскопических объективов для видеоэндоскопов

© А.С. Мачихин¹, В.И. Батшев²

¹Лаборатория акустооптической спектроскопии Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН, Москва, 117342, Россия;

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Исследована проблема проведения стереоскопических измерений в видеоэндоскопии. Проанализированы проблемы, возникающие при синтезе оптической системы сменной насадки. Проведен расчет такой насадки для объектива стандартного видеоэндоскопа, позволяющий обеспечивать наблюдение объекта на фиксированном расстоянии 80 мм. Предложены методы совершенствования оптической системы для увеличения поля зрения и глубины резко изображаемого пространства.

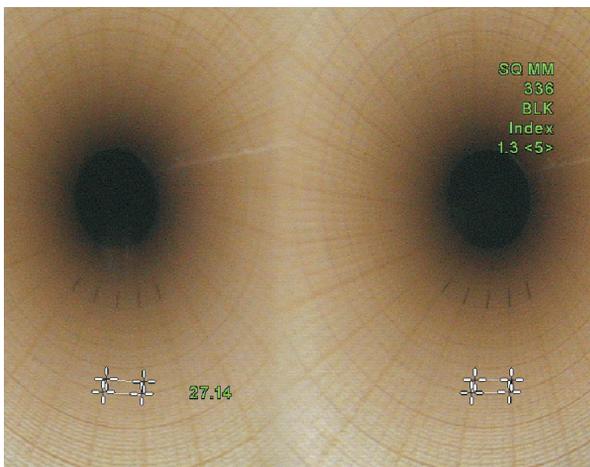
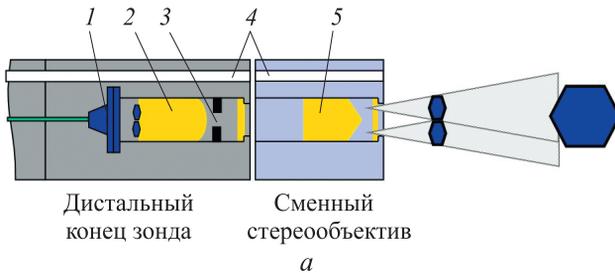
Ключевые слова: эндоскопия, трехмерные измерения, стереоскопическая система, бипризма.

В настоящее время визуально-измерительный контроль (ВИК) является обязательной процедурой при производстве, сборке и испытаниях двигателей, трубопроводов, баллонов и многих других промышленных изделий. Основными целями ВИК являются оценка состояния поверхности, выявление, классификация и оценка размеров имеющихся дефектов: забоин, коррозии, отложений и др. При контроле состояния труднодоступных внутренних полостей неразборных или не подлежащих разборке объектов основными инструментами ВИК являются технические видеоэндоскопы [1]. Данные приборы, которые пришли на смену широко используемым ранее жестким линзовым и гибким оптоволоконным эндоскопам [2], позволяют не только визуализировать, но также регистрировать и обрабатывать изображение исследуемого объекта.

Особым классом задач, решаемых при видеоэндоскопических исследованиях, является снятие трехмерных геометрических параметров (расстояний, площадей и пр.) выявляемых дефектов. К настоящему времени разработано несколько методов подобных измерений, аппаратно и программно реализованных в некоторых современных видеоэндоскопах: стереоскопический, теневой [3, 4], многоточечный [5] и фазовый [6]. Основу всех этих методов составляет триангуляционный принцип измерения трехмерных координат точки [7].

Наибольшее распространение в видеоэндоскопии получил стереоскопический метод измерений, заключающийся в регистрации

изображения объекта с двух ракурсов и последующем вычислении трехмерных координат точек этого объекта по их известным координатам на данных изображениях [3–6, 8]. Практически данный метод реализуется с помощью специальных сменных стереоскопических насадок, используемых совместно с основной несменной оптической системой (ОС). Эти насадки позволяют регистрировать два изображения на один приемник излучения (ПИ) — ПЗС-матрицу (рис. 1). В настоящее время метод применяется для зондов диаметром 3,9 мм и более [2].



б

Рис. 1. Схематичное изображение дистального конца измерительного видеоэндоскопа (а) и пример изображения, зарегистрированного с помощью такого прибора (б):

1 — ПЗС-матрица; 2 — встроенный объектив; 3 — апертурная диафрагма; 4 — световод; 5 — объектив

Миниатюрность оптических и механических деталей, необходимость разработки специализированных процедур калибровки стереоскопической ОС и алгоритмов корреляционной обработки изображений и восстановления трехмерных координат и другие факторы привели к тому, что в России до сих пор не производятся измерительные видеоэндоскопы и повсеместно используются зарубежные приборы [8]. Очевидно, что проектирование оптической схемы такого прибора

также сопряжено с определенными сложностями. Данная работа посвящена выявлению проблем разработки сменной стереоскопической насадки для использования ее с серийно выпускаемыми отечественными видеоэндоскопами.

Несмотря на широкое распространение, стереоскопический метод имеет много недостатков, существенно ограничивающих области его применения. Среди них отмечают как принципиальные недостатки, свойственные данному методу (зависимость точности измерений от освещенности и расстоянии до объекта, чувствительность к характеру текстуры его поверхности и пр.), так и те, которые вызваны применением конкретной схемы и конкретной стереоскопической насадки. К последним относятся недостаточные для решения многих задач поля зрения каналов ($\leq 60^\circ$) и границы резко изображаемого пространства (2...80 мм). Это приводит к отсутствию возможности измерения относительно крупных дефектов (десятки миллиметров) и невозможности работы при относительно больших расстояниях до объекта (сотни миллиметров).

В отличие от классической стереоскопической системы, состоящей из двух независимых приемных каналов, ОС стереообъектива видеоэндоскопа объединяет в себе два канала регистрации и имеет два входных зрачка, которые расположены так, что поля зрения двух каналов частично перекрываются. Благодаря этому реализуется пространственное разделение стереоизображений на одном ПИ.

Стереонасадка состоит из бипризмы 2 и дополнительного компонента 3, о котором подробнее будет сказано далее (рис. 2). Бипризма формирует два изображения 5 предмета 1, наблюдаемого с двух различных ракурсов. Объектив видеоэндоскопа 4 фокусирует пучки лучей, разделенные призмой, в плоскости ПИ 5.

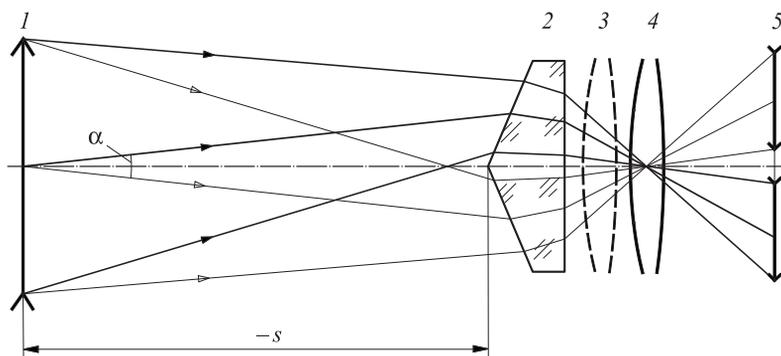


Рис. 2. Схема формирования стереоскопического изображения:

1 — объект; 2 — бипризма; 3 — дополнительный компонент; 4 — объектив видеоэндоскопа; 5 — стереоизображения

Очевидно, что объединение двух приемных каналов в одном зонде приводит к существенному уменьшению светосилы каждого канала. При малом удалении предмета световые диаметры пучков, поступающих на каждую грань призмы из каждой точки предмета, различаются. Кроме того, существенно различаются углы падения лучей, идущих из разных точек предмета, на призму. Это приводит к неравномерности освещенности в каждом изображении предмета. Так, в правом изображении сильнее освещена его правая часть, а в левом — левая.

Для обеспечения соответствующей разрешающей силы по глубине необходимо иметь достаточную базу и высокое разрешение в пространстве предметов для каждого канала, т. е. малые остаточные аберрации оптической системы. Размер базы ограничен световым диаметром объектива эндоскопа, который, например, для зондов диаметром 8 мм не превышает 3...4 мм. Поэтому высокое разрешение по глубине можно обеспечить лишь для близко расположенных предметов. Для того чтобы приблизить предметную плоскость к объективу видеоэндоскопа, в стереонасадке необходимо использовать дополнительный компонент 3 (см. рис. 2) с положительной оптической силой. Коррекцию аберраций ОС стереонасадки следует проводить не для фиксированного положения предмета $-s$, а для некоторого диапазона значений этого параметра.

Основным оптическим элементом стереонасадки является бипризма, которая ввиду дисперсии стекла вносит хроматические аберрации в изображение. Один из способов устранения этого недостатка заключается в использовании ахроматической призмы — призмы, склеенной из стекол с различными показателями преломления и дисперсиями. Однако такой способ сложен в реализации из-за малого светового диаметра. Поэтому для уменьшения влияния хроматизма призмы ее следует изготавливать из стекла с минимальной дисперсией.

Преломляющий угол бипризмы определяется на стадии габаритного расчета стереонасадки из условия, что изображения предмета не должны перекрываться на ПИ. Следует отметить, что выполнение этого условия часто возможно лишь при ограничении углового поля объектива, т. е. при уменьшенном размере наблюдаемого предмета.

При расчете стереонасадки следует также учитывать аберрации объектива, с которым ее будут использовать. Однако изготовление насадки специально под конкретный объектив нецелесообразно, поэтому при расчете оптической системы универсальной стереонасадки, пригодной для применения с разными видеоэндоскопами, следует считать, что аберрации объектива исправлены.

Для расчета и моделирования стереонасадки для объектива видеоэндоскопа в качестве исходных данных использованы его типичные параметры: диаметр зонда 8 мм; угловое поле 40° ; положение предмета $-s = 80 \dots 500$ мм; ПИ – ПЗС $1/6''$ ($1,7 \times 2,4$ мм², 752×576 пикселей).

Моделирование ОС стереонасадки выполнено в программе ZEMAX. В результате оптимизации ОС на минимум aberrаций получена оптическая схема, показанная на рис. 3. Преломляющий угол призмы составляет 35° . Компонент 3 выполнен в виде трехлинзовой склейки. При этом максимальный диаметр aberrационного пятна рассеяния составляет 0,048 мм.

На данном этапе авторам работы удалось получить приемлемое качество изображения лишь для фиксированного положения предмета $-s = 80$ мм. Удаление предмета до 110 мм приводит к увеличению aberrационного кружка рассеяния до 0,06 мм.

Анализ оптического метода создания стереоскопического объектива видеоэндоскопа позволил выявить следующие проблемы, связанные с его расчетом и применением: 1) уменьшенная светосила каждого канала; 2) неравномерность освещенности изображения; 2) хроматические aberrации, вносимые бипризмой; 4) необходимость коррекции aberrаций для различных положений предмета.

Выполнен расчет стереоскопической насадки для объектива видеоэндоскопа, позволяющей обеспечить наблюдение объекта на фиксированном расстоянии 80 мм. Требуется провести исследования для усовершенствования оптической системы с целью увеличения глубины резко изображаемого пространства.

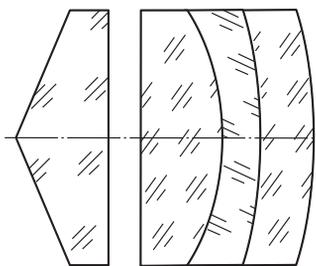


Рис. 3. Синтезированная оптическая система стереонасадки

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В. *Неразрушающий контроль и техническая диагностика. Справочник*. Москва, Машиностроение, 2003, 656 с.
- [2] Чигорко А.Б., Чигорко А.А. *Узлы и системы волоконно-оптических эндоскопов*. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2007, 134 с.
- [3] URL: http://www.ge-mcs.com/download/RVI/XLG3/GEIT-65015EN_measurement.pdf (дата обращения 17.06.2013)
- [4] Мачихин А.С. Измерительные возможности современных видеоэндоскопов. *Двигатель*, 2009, № 3, с. 8–9.
- [5] URL: https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/SID-0B34423D-0EE1026E/karlstorz-en/3217790_3217790_3217790_2.pdf (дата обращения 03.05.2013)
- [6] URL: <http://www.ge-mcs.com/download/RVI/XLG3/tech-paper-3d-measurement.pdf> (дата обращения 23.08.2013)

- [7] Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. *Цифровая обработка изображений в информационных системах*. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2002, 352 с.
- [8] Калиниченко Н.П., Гаврила А.Ф. Определение разрешающей способности видеозондоскопа EVEREST XLG3. *Вестник науки Сибири*, 2012, № 4 (5), с. 72–82.

Статья поступила в редакцию 24.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Мачихин А.С., Батшев В.И. Проблемы создания стереоскопических объектов для видеозондоскопов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 7.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/832.html>

Мачихин Александр Сергеевич родился в 1984 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2007 г. Канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник Лаборатории акустооптической спектроскопии Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН. Специализируется в области акустооптики, тепловидения, технического зрения, цифровой обработки изображений. Автор 30 научных работ. e-mail: aalexanderr@mail.ru

Батшев Владислав Игоревич родился в 1984 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2007 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Оптико-электронные приборы научных исследований» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специализируется в области оптических измерений, астрономической оптики. Автор 7 научных работ. e-mail: batshev.vlad@gmail.com