

УДК 681.32 : 681.17.18 : 658.562

О. И. Битюцкий, В. В. Вертопрахов, В. И. Ладыгин, А. И. Пастушенко,
С. В. Плотников, Ю. В. Чугуй, С. П. Юношев

(Новосибирск)

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРОВ

Разработана оптико-электронная система бесконтактного контроля наружного и внутреннего диаметров, длины, а также отклонения от прямолинейности образующей детали типа полых цилиндров. В основу измерения наружного диаметра и длины детали положен теневой метод, а внутреннего диаметра — триангуляционный. В результате предварительных испытаний установлено, что погрешность измерения диаметров образцовых деталей не превышает 14 мкм, а длины — 40 мкм. При измерении 48 геометрических параметров детали время контроля составило 30 с.

Известно, что оптические средства контроля геометрических параметров промышленных изделий благодаря бесконтактности измерения, отсутствию износа измерительного датчика, высокому разрешению и быстрдействию, имеют неоспоримые преимущества по сравнению с контактными средствами [1]. Более того, при работе с деталями из эластичного или мягкого материала, при контроле труднодоступных частей объекта, в случаях высоких относительных скоростей измерительного датчика и изделия им фактически нет альтернативы [2]. В машиностроении часто возникает необходимость комплексного измерения геометрических параметров деталей сложной формы, которые при дальнейшей сборке сопрягаются с несколькими другими. Выпускаемые в России и за рубежом серийные оптические измерительные приборы (исключая универсальные координатно-измерительные машины) не позволяют контролировать одновременно несколько различных геометрических параметров. Поэтому при массовом производстве изделий, к которым предъявляются высокие требования по геометрии, возникает необходимость в разработке специализированных систем комплексного размерного контроля. Такая оптико-электронная система комплексного контроля геометрических параметров полых цилиндров впервые в отечественной практике разработана и изготовлена в Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения СО РАН. Ее назначение — бесконтактное измерение и допусковый контроль в продольных и поперечных сечениях следующих параметров деталей: наружного и внутреннего диаметров, длины и отклонения от прямолинейности образующей.

Принцип измерения наружных и внутренних размеров полых цилиндров иллюстрируется схемой, приведенной на рис. 1. В основу измерения наружного диаметра и длины детали положен теневой метод, а внутреннего диаметра — триангуляционный [1]. Суть теневого метода состоит в следующем. При контроле внешнего диаметра D цилиндр 1 освещается в заданном сечении параллельным пучком света. Теневые изображения верхнего и нижнего краев детали, сформированные в плоскости многоэлементных фотоприемников 2 и 3 , сканируются электронным способом.

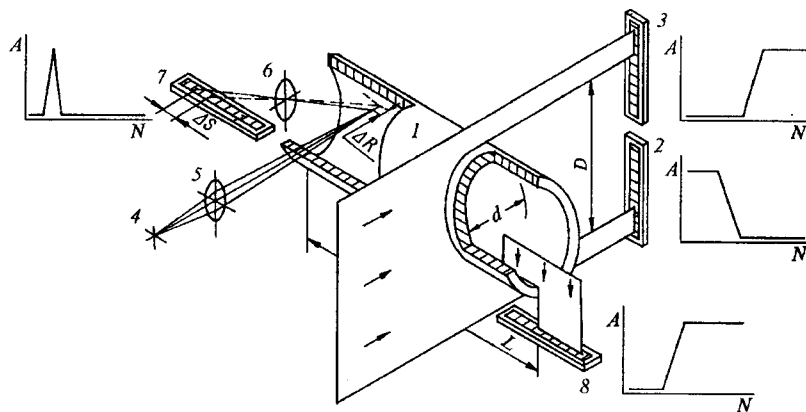


Рис. 1. Структурная схема измерительной части системы:

1 – контролируемая деталь; 2, 3, 7, 8 – многоэлементный фотоприемник и видеосигнал с него (A – амплитуда, N – номер фотоэлемента); 4 – источник излучения; 5, 6 – объективы; L – длина; D – наружный диаметр; d – внутренний диаметр детали

Искомое значение наружного диаметра определяется исходя из положения изображений краев на фотоприемниках и расстояния между фотоприемниками. Аналогично измеряется длина L , с той лишь разницей, что продольная ось детали лежит в плоскости проецирующего пучка.

Суть триангуляционного метода заключается в следующем. Излучение осветителя 4 фокусируется объективом 5 на внутренней поверхности детали в пятно малого размера. Часть диффузно рассеянного излучения собирается объективом 6, который формирует изображение пятна на многоэлементном фотоприемнике 7. Перемещение внутренней поверхности на величину ΔR в направлении освещающего пучка вызывает перемещение изображения светящейся точки на фотоприемнике на величину ΔS , которая известным соотношением связана с ΔR . Координата поверхности определяется по результатам обработки сигнала с фотоприемника.

На рис. 2 приведена блок-схема системы комплексного контроля геометрических параметров полых цилиндров. В ее состав входят следующие блоки: измеритель наружного диаметра (D -измеритель), измеритель внутреннего диаметра (d -измеритель), измеритель длины (L -измеритель), механизм перемещения контролируемой детали, электронный блок и управляющий компьютер типа IBM PC. Система работает следующим образом. Контролируемая деталь подается на загрузочное устройство механизма перемещения манипулятором (в автоматическом режиме) или оператором (в ручном режиме). Устройство помещает деталь на подвижную каретку механизма перемещения. Далее происходит измерение геометрических параметров детали. При этом каретка последовательно проходит положения, в которых заданные сечения детали совпадают с осью D - и d -измерителей. Стратегия контроля (количество и положение продольных и поперечных сечений, в которых измеряются параметры, допуски на размеры) задается программно.

Остановимся более подробно на работе отдельных блоков системы. Принципиальная оптическая схема D -измерителя приведена на рис. 3. В качестве источника света используется светодиод 2, излучение которого объективом 3 преобразуется в квазипараллельный пучок, расщепляемый далее блоком зеркал 4 на два пучка для освещения краев детали 1. Блок зеркал 5, проецирующие объективы 6, 8 и диафрагма 7 формируют изображения краев детали на многоэлементном фотоприемнике 9. Координаты краев определяются путем нахождения точек пересечения отрезков, линейно интерполирующих отсчеты сигнала фотоприемника, и порога, значение которого зависит от параметров сигнала [3]. Далее определяется значение наружного диаметра D . Отклонение от прямолинейности образующей цилиндра вычисляется для каж-

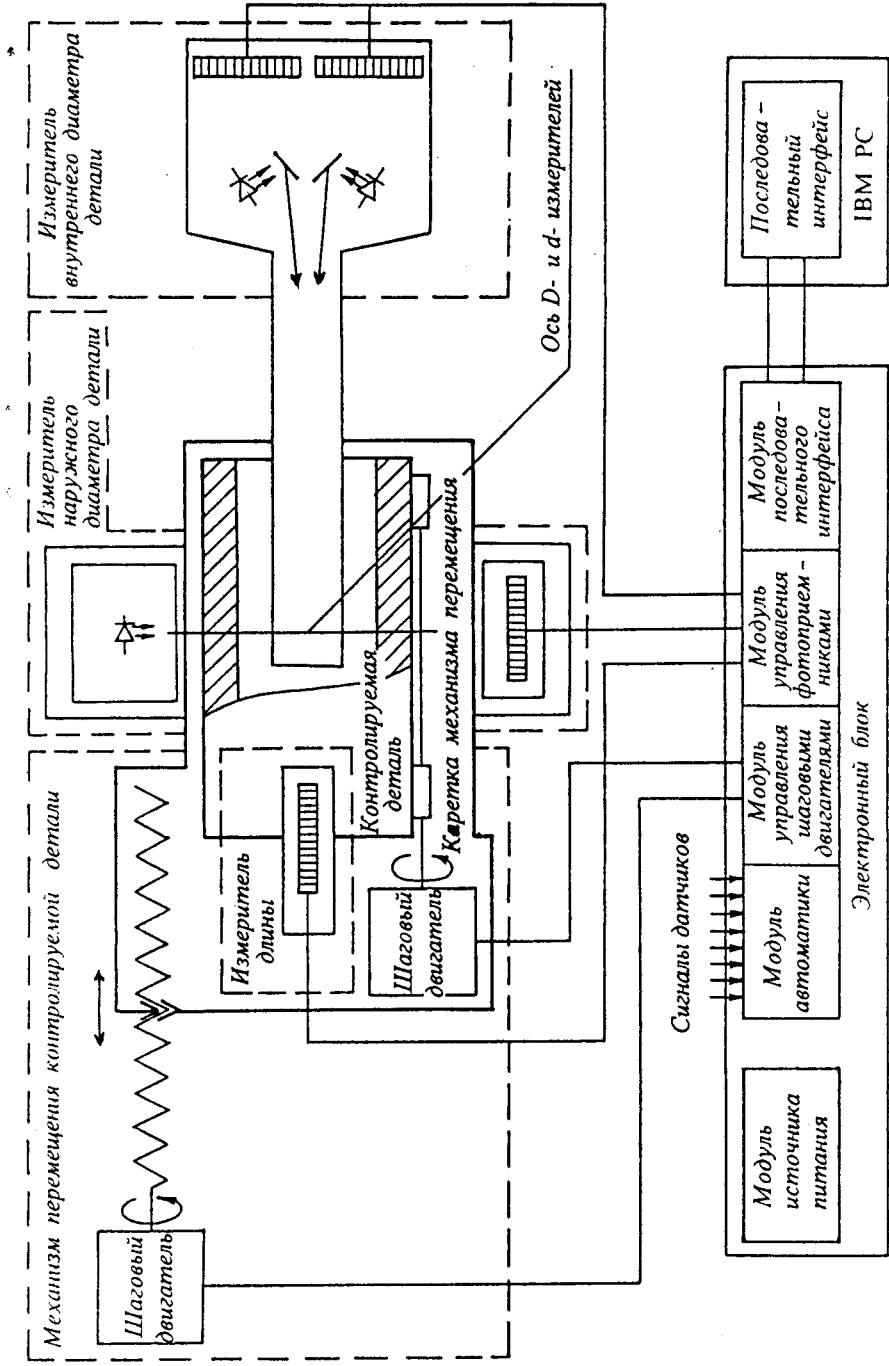


Рис. 2. Структурная схема оптической системы бесконтактного комплексного контроля геометрических параметров полых цилиндров

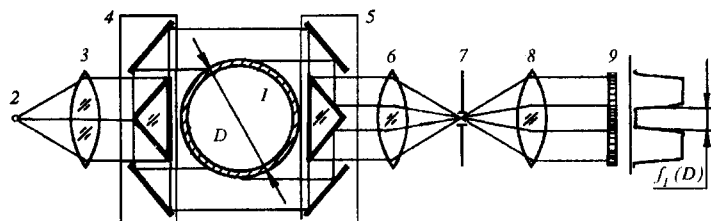


Рис. 3. Оптическая схема D -измерителя:

1 — контролируемая деталь, 2 — светодиод, 3, 6, 8 — объективы, 4, 5 — блоки зеркал, 7 — диафрагма, 9 — многоэлементный фотоприемник

дого продольного сечения после измерения координат краев детали во всех поперечных сечениях.

Принципиальная оптическая схема d -измерителя приведена на рис. 4. Она содержит два идентичных канала. Световой пучок осветителя 2 (состоящего из полупроводникового лазера и объектива) отклоняется зеркалами 3, 4 и фокусируется на контролируемой поверхности детали 1 в световое пятно 5 диаметром 40 мкм. Призма 6 и объектив 7 собирают часть диффузно рассеянного поверхностью детали излучения и формируют изображение пятна на многоэлементном фотоприемнике 8. Текущая координата поверхности определяется после обработки оцифрованного сигнала фотоприемника медианным алгоритмом [4]. При изменении рассеивающих свойств поверхности детали автоматически осуществляется раздельная регулировка уровней сигналов на фотоприемниках путем изменения длительности импульсов тока накачки лазеров измерительных каналов.

Оптическая схема L -измерителя приведена на рис. 5. Излучение светодиода 2 падает на торец детали 1, теневое изображение которого формируется на многоэлементном фотоприемнике 3. Координата торца детали определяется по сигналу фотоприемника как пересечение некоторого порога с прямой, аппроксимирующей распределение интенсивности в изображении края.

Линейное перемещение и вращение контролируемой детали при изменении ее параметров осуществляется механизмом перемещения. Он состоит из основания с направляющими и каретки. Каретка приводится в движение винтовой парой. Деталь фиксируется на каретке с помощью роликов, один из которых является ведущим (обеспечивает вращение детали). Вращение ходового винта (винтовой пары) и ведущего валика производится шаговыми двигателями. Дискретность линейного перемещения 120 мкм, углового — 30'. Механизм перемещения имеет датчики для контроля правильности установки, перемещения и вращения детали.

Электронный блок конструктивно выполнен в стандарте «Евромеханика» и включает в себя следующие модули: управления фотоприемниками, управ-

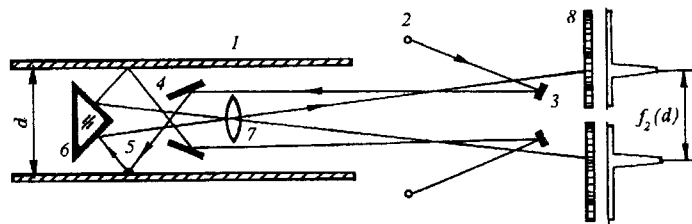
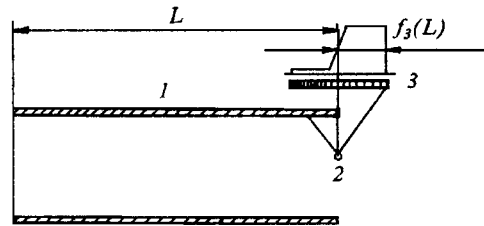


Рис. 4. Оптическая схема d -измерителя:

1 — контролируемая деталь, 2 — полупроводниковый лазер с объективом, 3, 4 — зеркала, 5 — световое пятно, 6 — призма, 7 — объектив, 8 — многоэлементный фотоприемник

Рис. 5. Оптическая схема L -измерителя:

1 — контролируемая деталь, 2 — светодиод, 3 — многоэлементный фотоприемник



ления шаговыми двигателями, последовательного интерфейса, автоматики и источника питания.

Модуль управления фотоприемниками формирует сигналы управления всех четырех многоэлементных фотоприемников, оцифровывает их видеосигналы, аппаратно выравнивает неравномерность чувствительности, задает длительности импульсов засветки светодиодов D - и L -измерителей и лазеров d -измерителя. Формирование управляющих фаз, аппаратный разгон и торможение двигателей осуществляет модуль управления шаговыми двигателями. Модуль автоматики обрабатывает сигналы датчиков состояния системы, в аварийных ситуациях блокирует движение каретки механизма перемещения. Модуль последовательного интерфейса принимает по последовательному каналу команды от управляющего компьютера и преобразует их в сигналы управления магистралью электронного блока, по последовательному каналу данных передает в компьютер информацию с многоэлементных фотоприемников.

Управляющим элементом системы является компьютер типа IBM PC. Его связь с электронным блоком осуществляется через специализированный скоростной последовательный интерфейс. Программное обеспечение осуществляет управление модулями электронного блока, обработку измерительной информации и взаимодействие системы с оператором через дружественный графический интерфейс. Программное обеспечение реализовано на языках C, C++ и Assembler фирмы "Borland" и включает в себя следующие программы: калибровка, проверка, настройка, метрологическая аттестация, отображение статистических данных и непосредственно контроль деталей.

Программа калибровки позволяет получить калибровочные коэффициенты измерителей системы с использованием образцовых деталей. При проверке выполняется тестирование всех блоков системы. Программа настройки дает возможность оператору производить измерения в ручном режиме, например, при выяснении причины брака. Протокол метрологической аттестации подтверждает соответствие системы техническим требованиям. Отображение статистических данных позволяет оценить качество технологического процесса изготовления деталей и своевременно выявить в нем нежелательные тенденции (износ инструмента, расстройка оборудования).

Система создана для бесконтактного контроля деталей атомных реакторов — полых цилиндров из мягкого сплава — взамен существующих контактных средств. Необходимость такой замены вызвана следующими обстоятельствами. В процессе контроля твердые рубиновые шарики контактных измерительных головок, как правило, оставляют царапины на поверхности деталей. Иногда эти же шарики так «увязают» в мягком материале, что при перемещении детали щупы измерительных головок выходят из строя. Очевидно, что применение разработанной системы позволит избежать указанных проблем, типичных в практике контактного размерного контроля.

Предварительные испытания системы проводились на образцовых деталях из стали. Полученные результаты свидетельствуют, что при измерениях наружных и внутренних диаметров соответственно в диапазонах 49—51 и 42,4—43,4 мм погрешность их измерения (с вероятностью 0,95) не превышала 14 мкм. При этом погрешность измерения длины в диапазоне 149,5—152,5 мм составила 40 мкм, а неточность определения отклонения от прямолинейности образующей в диапазоне $\pm 0,3$ мм — не более 21 мкм.

При измерении 48 параметров детали (в семи поперечных и трех продольных сечениях) время контроля составило 30 с.

Таким образом, система позволяет получить бесконтактным способом достаточно полную информацию о форме деталей типа полых цилиндров, что важно при отладке технологии их изготовления, а также в процессе производства. В отличие от известных она позволяет измерять бесконтактно не только наружные размеры (диаметр, длину), но и, что крайне важно, внутренние размеры. Полученный при разработке системы опыт позволяет существенно расширить круг потенциально решаемых оптическими методами контрольно-измерительных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Feutlinske K., Gast Th. Berührungslose optisch-elektrische Prufung von Lagen und Dimensionen // Qualität und Zuverlässigkeit. 1985. 30. Н. 7.
2. Богомолов Е. Н., Василенко Ю. Г., Василец Н. В., Вертопрахов В. В., Спектор Б. И., Чугуй Ю. В., Шульженко С. Ф., Щербаченко А. М., Юношев В. П. Высокопроизводительный оптический измеритель размеров «Контур-2» // Автометрия. 1987. № 3.
3. Богомолов Е. Н., Василец Н. В., Кривенков Б. Е., Чугуй Ю. В., Шульженко Л. М., Юношев В. П., Ярославцев И. В. Фотодиодный оптико-электронный измеритель размеров «Сенсор» // Автометрия. 1989. № 5.
4. Плотников С. В. Сравнение методов обработки сигналов в триангуляционных системах // Автометрия. 1995. № 6.

Поступила в редакцию 16 октября 1995 г.
