

## Разработка приборов активного контроля с адаптивным управлением

А. Е. ЮДИН\*, Д. В. КОСИНСКИЙ\*, М. Г. КОВАЛЬСКИЙ\*\*,  
И. Б. КАРПОВИЧ\*\*, М. И. ЭТИНГОВ\*\*

\* Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия,  
e-mail: bjudge@mail.ru

\*\* ОАО «НИИИзмерения», Москва, Россия

Представлены результаты разработки ряда прецизионных приборов для активного контроля точности изготовления изделий в процессе обработки. Описаны принципы работы и приведены характеристики таких приборов для контроля обработки валов и отверстий.

**Ключевые слова:** адаптивные измерения, прецизионные машиностроение и шлифование, обработка валов и отверстий.

The results of development of a set of precise instruments for active control of accuracy of products manufacturing processing are presented. The operation principles of shafts and holes processing control instruments are described and characteristics are presented.

**Key words:** active control device, inductive transducer, digital readouts, microprocessor unit, bracket.

Необходимость в приборах для контроля размеров деталей в процессе их обработки на шлифовальных станках, так называемых приборов активного контроля (ПАК), возникла в начале 1940-х гг. в связи с увеличением серийности изготовления точных деталей автомобилей и подшипников качения. На многочисленных полуавтоматических станках, автоматических участках и линиях шлифовальных станков различного назначения (кругло-, внутри-, бесцентрово- и плоскошлифовальных и др.) устанавливали ПАК. Сначала они были механическими, потом электроконтактными, пневматическими и, наконец, появились индуктивные, которые при-

меняют и в настоящее время. Однако постепенно изменялись технология изготовления деталей в машиностроении и конструкция станков. Вместо автоматических станков и линий, предназначенных для изготовления одной детали, теперь преобладают станки с числовым программным управлением (ЧПУ), легко перестраиваемые для обработки различных деталей. Конструкция станков стала более жесткой, они стали точнее, появилось много новых компонентов, например шариковые и роликовые направляющие, регулируемые электроприводы. Изменение технологии обработки деталей машин и технический прогресс привели к изменению конструкции ПАК и их роли в машиностроении [1—5].

ОАО «НИИИзмерения» совместно с МГТУ «СТАНКИН» разработали новый ряд ПАК с адаптивным управлением универсального назначения, главным образом, для контроля валов и отверстий. Эти приборы состоят из ограниченного числа измерительной оснастки, пригодной для разных целей и станков, и одного унифицированного микропроцессорного блока, имеющего много функциональных возможностей для управления станками с ЧПУ. Приборы соответствуют требованиям отечественной нормативной документации [6, 7]. В разработанных ПАК использован индуктивный дифференциальный преобразователь. Измерительная оснастка состоит из малогабаритной двухконтактной скобы (рис. 1) для контроля валов диаметром до 40 мм и одноконтактной головки, которую можно использовать как устройство осевой ориентации. Также можно собрать скобу из двух головок для контроля валов и отверстий.

Прибор БВ-4319 (рис. 2) для контроля валов с гладкой и прерывистой поверхно-

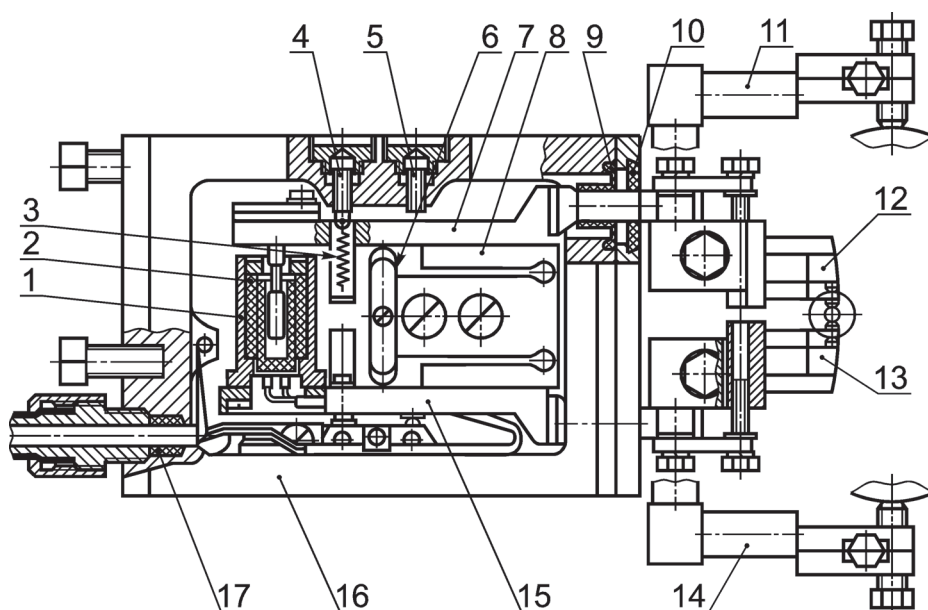


Рис. 1. Скоба двухконтактная для контроля валов:

1 — дифференциальный индуктивный преобразователь; 2 — якорь; 3 — пружины; 4 — винты; 5, 6 — упоры регулируемые и жесткие; 7, 15 — измерительные рычаги; 8 — шарнир; 9, 10, 17 — уплотнители; 11—14 — измерительные ножки сменные; 16 — корпус

стями предназначен для оснащения круглошлифовальных станков с ЧПУ при серийном производстве прецизионных деталей. Он обеспечивает адаптивный цикл управления процессом шлифования.

Основные технические характеристики прибора БВ-4319

|                                                            |                                      |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Характер контролируемой поверхности . . .                  | гладкая; прерывистая                 |
| Способ измерения . . . . .                                 | контактный, индуктивный              |
| Диапазон настройки (переналадки):                          |                                      |
| гладкая поверхность . . . . .                              | 2,5—200 мм                           |
| прерывистая поверхность . . . . .                          | 10—80 мм                             |
| Диапазон измерений, не менее . . . . .                     | 600 мкм                              |
| Основная погрешность измерения:                            |                                      |
| припуска и отклонений формы . . . . .                      | $\pm(0,2 + X/100)$ мкм               |
| скорости съема припуска . . . . .                          | $\pm(0,5 + X/20)$ мкм/с              |
| постоянной времени резания . . . . .                       | $\pm(0,5 + X/10)$ с                  |
| (X — измеряемый размер, мм)                                |                                      |
| Размах срабатывания, не более:                             |                                      |
| предварительной команды . . . . .                          | 0,5 мкм                              |
| окончательной команды . . . . .                            | 0,2 мкм                              |
| Основная погрешность настройки                             |                                      |
| окончательной команды, не более . . . . .                  | 0,2 мкм                              |
| Смещение настройки окончательной команды после             |                                      |
| 1500 циклов контроля (но не более 4 ч непрерывной работы), |                                      |
| не более . . . . .                                         | 0,5 мкм                              |
| Интерфейсы передачи данных в систему                       |                                      |
| ЧПУ станка . . . . .                                       | релейный, аналоговый, CANbus, RS-232 |

Исполнены ПАК в шести вариантах, отличающихся диапазоном настройки на требуемый размер детали. В состав ПАК входят: электронный микропроцессорный блок управления; скобы двухконтактные или два устройства одноконтактных (в зависимости от модификации); подводный гидродиллинд. Скоба двухконтактная (см. рис. 1) предназначена для измерения валов диаметром 2,5—40 мм в процессе шлифования и передачи сигнала от индуктивного преобразователя в блок управления. К герметичному корпусу 16 крепится шарнир 8, выполненный в виде цельной металлической пластины с двумя упругими перемычками. К шарниру 8 подвешены двухплечие измерительные рычаги 7, 15. Оси поворота рычагов проходят через середины перемычек шарнира, имеющих минимальную толщину. На верхнем измерительном рычаге установлен якорь 2, взаимодействующий с магнитной системой дифференциального индуктивного преобразователя 1, прикрепленного к нижнему рычагу. Сменные измерительные ножи 11, 14 служат для настройки скобы на диапазон диаметров валов 10—80 мм, а для диапазона 2,5—10 мм скоба оснащена комплектом ножек 12, 13. Контактные наконечники выполнены из поликристаллов синтетических алмазов со сферической формой контактной поверхности. Контактное усилие, создаваемое пружинами 3, регулируется винтами 4. Регулируемые упоры 5, ограничивающие поворот измерительных рычагов, служат в качестве баз при настройке скобы. Для предохранения от повреждений индуктивного преобразователя и упругих шарниров предусмотрены жесткие упоры 6. Герметизация скобы обеспечена резиновыми уплотнителями 9, 10, 17.

Для контроля валов диаметром до 200 мм прибор комплектуют скобами, состоящими из двух одноконтактных головок, собранных в скобу. Каждая головка содержит индуктивный преобразователь, сигналы от которого суммируются в

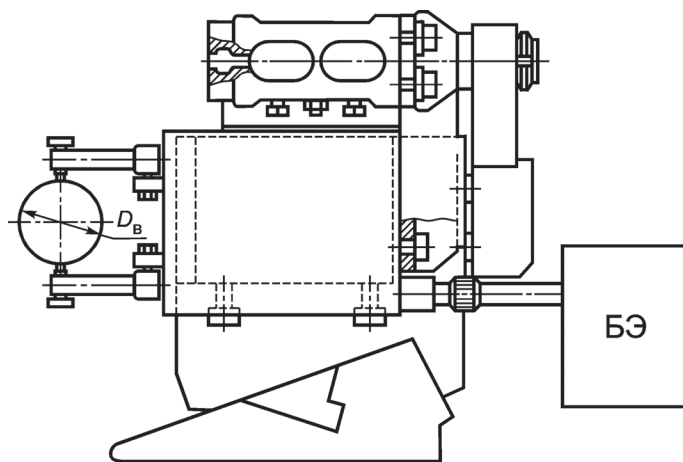


Рис. 2. Прибор БВ-4319 для контроля валов в процессе обработки: БЭ — блок электронный микропроцессорный;  $D_v$  — диаметр вала

электронном блоке с учетом их знака. В случае относительного смещения оси обрабатываемого вала и скобы на величину до  $\pm 150$  мкм погрешность алгебраического суммирования сигналов не превышает 1 %.

При контроле прерывистой поверхности внутреннюю полость скобы или устройства одноконтактного заполняют демпфирующей полиметилсилоксановой жидкостью ПМС2500, препятствующей отрыву наконечников от обрабатываемой поверхности.

Прибор БВ-4320 (рис. 3) для контроля диаметров отверстий с гладкой или прерывистой поверхностью предназначен для оснащения внутришлифовальных станков с ЧПУ. Прибор обеспечивает адаптивный цикл управления процессом шлифования. Основные его технические характеристики сходны с характеристиками БВ-4319. Ряд приборов БВ-4320 имеет четыре исполнения, отличающиеся диапазоном измерений, и состоит из блока управления, двух головок одноконтактных, собранных в скобу. Конструкция измерительных головок аналогична конструкции одноконтактных устройств в БВ-4319.

Оснащены ПАК унифицированными микропроцессорными электронными блоками для питания измерительных преобразователей, расположенных в измерительной оснастке, преобразования их сигналов, индикации результатов измерений на шкале и цифровом дисплее, сигнализации режима обработки, выдачи управляющих команд и выходного аналогового или кодового сигнала. В микропроцессорных

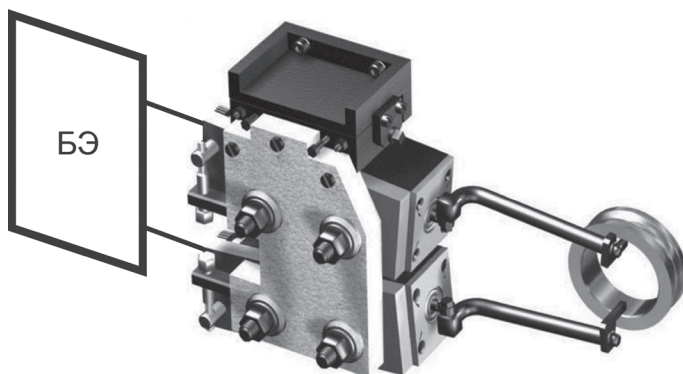


Рис. 3. Прибор БВ-4320 для внутришлифовального станка: БЭ — блок электронный микропроцессорный

блоках предусмотрены возможности линеаризации функций преобразования индуктивных преобразователей в процессе калибровки и расширения управляющих программ с целью получения дополнительной информации, результатом которых является повышение точности изготовления деталей.

Рассмотренные приборы могут легко перенастраиваться на различные типоразмеры изготавливаемых деталей. Все это открывает широкие перспективы в применении разработанного ряда приборов на шлифовальных станках с ЧПУ.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Национальная технологическая база» (государственный контракт № 11411.1003704.05.003 от 20.09.2011 г.).

#### Л и т е р а т у р а

1. Григорьев С. Н., Телешевский В. И. Проблемы измерений в технологических процессах формообразования // Измерительная техника. 2011. № 7. С. 3—7; Grigoriev S. N., Teleshevskii V. I. Measurement problems in technological shaping processes // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N. 7. P. 744—749.

2. Григорьев С. Н. и др. Современное состояние и перспективы развития метрологического обеспечения машиностроительного производства // Измерительная техника. 2012. № 11. С. 56—59; Grigoriev S. N. et al. Contemporary state and outlook for development of metrological assurance in the machine-building industry // Measurement Techniques. 2013. V. 55. N. 11. P. 1311—1315.

3. Волосов С. С., Шлейфер М. Л., Рюмкин В. Я. Активный контроль размеров. М.: Машиностроение, 1984.

4. Высоцкий А. В. и др. Приборы автоматического управления обработкой на металлорежущих станках. М.: Машиностроение, 1995.

5. Соболев М. П., Этингер М. И. Автоматический размерный контроль на металлорежущих станках. Смоленск: Изд-во «Ойкумена», 2005.

6. ГОСТ 8517—90. Приборы управляющие при шлифовании. Общие технические условия.

7. ГОСТ Р 8.671—2009. ГСИ. Приборы активного контроля линейных размеров. Методика поверки.

Дата принятия 20.02.2014 г.

## ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

620.1.08

# Идентификация и компенсация статических погрешностей фазовых координат элементов оптического энкодера

Е. В. КАПЛЯ

Национальный исследовательский университет «МЭИ» (филиал)  
Волжский, Россия, e-mail: ev-kaple@yandex.ru

Предложена методика экспериментально-теоретической идентификации и компенсации статических погрешностей фазовых координат элементов оптического энкодера. Разработанная методика применена для компенсации систематических погрешностей угловых измерений, выполненных с помощью современного оптического энкодера.

**Ключевые слова:** энкодер, датчик угла поворота, угловая скорость.

The technique experimental-theoretical identifications and compensations of static errors of phase coordinates of the elements optical encoder is offered. The developed technique is applied for a compensation of systematic errors of angular measurements which are carried out with the help of modern optical encoder.

**Key words:** encoder, rotation angle sensor, angular velocity.

Энкодер — современный датчик угла поворота [1], формирующий на своем выходе информационный сигнал в виде кодов Грея. Оптический энкодер содержит несколько элементов: излучатели, фотоприемники, диски и экран с отверстиями [2]. Экран с отверстиями разделяет плоскости излучателей и приемников и формирует плоскопараллельные пучки излучения источников, расположенных за ним. Опти-

ческие оси излучателей и фотоприемников попарно совпадают. Диск с отверстиями или штрихами вращается совместно с валом энкодера. Отверстия в диске или штрихи на поверхности диска инкрементального оптического энкодера, как правило, расположены с постоянным угловым шагом по окружности. Нарушения равенства угловых размеров отверстий (штрихов) и постоянства углового периода вызывают