



УДК 53.082.53:531.7:681.786

О.П. Белоусова<sup>1</sup>, П.П. Белоусов<sup>2</sup>, П.Я. Белоусов<sup>1,3</sup>.

<sup>1</sup>Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН,  
г. Новосибирск

<sup>2</sup>Объединённый институт высок температур РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: Pyabelousov @ ngs. Ru.

## ИЗМЕРЕНИЕ ФОРМЫ ЦИЛИНДРА ЛАЗЕРНЫМ ДОПЛЕРОВСКИМ МЕТОДОМ

*Описан оптический метод измерения формы нормальной направляющей цилиндра (направляющая лежит в плоскости, ортогональной образующим). Метод основан на измерении линейной скорости цилиндра, катящегося по ровным направляющим опорам. Измерена зависимость радиуса цилиндра от полярного угла. Показана возможность измерения малых (порядка нескольких мкм) отклонений формы направляющей от круглой. Достоверность полученных результатов подтверждена микрометрическими измерениями диаметра. Измерена форма направляющей сплошного цилиндра, входящего в комплект подшипника ЗГП 3 (2Н 102605). Показано, что форма его направляющей, отсчитанная от центра масс, близка к синусоидальной и не может быть выявлена простым измерением диаметра цилиндра. Метод может быть использован для диагностики формы круглых объектов в механике.*

### ФОРМА ЦИЛИНДРА, ЛАЗЕРНЫЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ МЕТОД

#### ВВЕДЕНИЕ

Применение методов лазерной доплеровской анемометрии в механике позволяет с высокой точностью измерять скорость и длину шероховатых светорассеивающих объектов. Измерение длины осуществляется путём интегрирования измеренного значения скорости по времени. В металлургической промышленности это позволяет измерять длину шероховатых объектов с относительной погрешностью меньше, чем 0,1 % [1]. В механике часто стоит задача измерять диаметр и форму аксиально-симметричных объектов (цилиндров, шаров, колёс и т.д.). Если измерение диаметра круглого объекта рутинная задача, которую успешно решают на практике сотни лет, то измерение формы является более трудной задачей. Простое измерение диаметра цилиндра при разных углах поворота не даёт возможность определить его форму. Действительно, если радиус  $R$  цилиндра зависит от полярного угла  $\varphi$ , например, по закону

$$R(\varphi) = \frac{D_0}{2} + \sum_{n=0}^{\infty} [a_n \sin(2n+1)\varphi + b_n \cos(2n+1)\varphi], \quad (1)$$

где  $a_n$  и  $b_n$  – постоянные коэффициенты, а  $n$  – целое число, то диаметр цилиндра  $D$  вычисляется по формуле

$$D(\varphi) = R(\varphi) + R(\varphi + \pi). \quad (2)$$



применения этой методики для определения углового профиля радиуса цилиндра. Известный метод колец (полос, в случае цилиндра) Ньютона, который используется для определения радиуса кривизны сферической и цилиндрической поверхности, также требует использования значительных участков поверхности для получения большого числа колец (полос). К тому же относительная погрешность измерения этого метода оценивается величиной 0,4 % [2]. При радиусе 10 мм ошибка измерения составит 40 мкм. Такая погрешность представляется совершенно неприемлемой при контроле качества цилиндров на производстве.

В свете вышесказанного, очевидно, что единственно правильной процедурой при диагностике формы цилиндров является измерение его радиуса, отсчитываемого от центра масс. Для определения формы цилиндра необходимо вращать его вокруг оси и определять координаты элементов боковой поверхности цилиндра для требуемого количества точек  $R(\varphi_i, z_i)$ . Поскольку центр масс и ось цилиндра при повороте остаются неподвижными, то для определения текущего радиуса цилиндра  $R(\varphi_i, z_i)$ , где  $i$  – номер очередного измерения, необходимо знать точные координаты центра масс и направление оси вращения. В этом случае есть возможность с необходимой точностью определить как форму направляющей цилиндра для любого нормального сечения  $z_i$ , так и форму образующих для любого угла поворота  $\varphi_i$ . Если использовать современные лазерные измерители перемещений, то координаты точек вдоль выбранного направления могут быть определены с абсолютной погрешностью  $0,1 \text{ мкм} \div 0,01 \text{ мкм}$  (разрешение  $0,01 \text{ мкм}$ ) [4]. При этом относительная погрешность измерения радиуса может составлять, для  $R = 10 \text{ мм}$ , величину  $10^{-3} \%$ . Излишне обсуждать проблемы, связанные с поворотным и измерительным оборудованием, необходимым для решения прецизионных измерений с такой погрешностью. Очевидно, что если на практике форму круглых цилиндров определять путём поворота их вокруг оси на заданный угол с использованием поворотных систем и определять смещения координаты точек на боковой поверхности вдоль выбранного направления, то несовершенство систем поворота (биения в подшипниках, люфты) вносят свои погрешности при определении пространственного положения оси симметрии цилиндров. В то же время, при качении цилиндра по гладкой поверхности его поступательная скорость не будет постоянной, а будет зависеть от формы его боковой поверхности. Это связано с тем, что при наличии выпуклых дефектов центр тяжести цилиндра будет смещаться вверх.

Если качение происходит в поле тяжести без трения, то смещение центра масс цилиндра вдоль силы тяжести приводит к изменению его кинетической энергии и, соответственно, поступательной скорости движения. Эта скорость может быть измерена, а изменение скорости пересчитано в изменение вертикального положения центра масс. Таким способом была измерена некруглость цилиндров, катящихся по направляющим опорам и по гладкой ровной поверхности [3]. В этой работе показано, что метод позволяет выявлять малые ( $\sim 1 \text{ мкм}$ ) локальные дефекты и некруглость цилиндров. Если дефекты образующих цилиндра много меньше некруглости направляющей, то динамика изменения скорости при качении цилиндра по гладкой поверхности однозначно определит угловой профиль замкнутой выпуклой направляющей цилиндра, т.е. зависимость радиуса цилиндра от угла поворота. Достоинство такого метода заключается в том, что в нём отсутствуют механизмы поворота, вносящие свои погрешностями. Источником погрешностей здесь являются дефекты поверхности, по которой катится цилиндр. Очевидный недостаток такого метода заключается в том, что форма нормальной направляющей цилиндра должны удовлетворять условию «выпуклости», то есть, касательная к любой точке направляющей цилиндра, лежащая в плоскости направляющей, не должна пересекать эту направляющую. Все измерения в данном методе привязаны к пространственному положению центра масс цилиндра. Форма направляющей кривой будет измерена относительно центра масс исследуемого цилиндра. Это условие самодостаточно, поскольку центр масс идеально круглого цилиндра лежит на оси симметрии и логично определять пространственное положение элементов боковой поверхности относительно этой точки.

Целью работы является проверка принципиальной возможности измерять форму направляющей цилиндров методом ЛДА и оценка потенциальной точности измерения.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальная установка для измерения отклонения формы нормальной направляющей цилиндра от идеально круглой приведена на рис. 2. В эксперименте зондирующий лазерный пучок лазерного измерителя скорости (ЛДА) [5] направлялся на боковую поверхность круглого цилиндра, который свободно катился по двум параллельным цилиндрическим опорам, оси которых направлены вдоль направления движения цилиндра. Длина цилиндра составляла 205 мм, а диаметр 10 мм. Катящийся цилиндр касался цилиндрических опор в двух точках, расположенных на расстоянии 50 мм от концов цилиндра. Электрический сигнал с выхода ЛДА подавался на вход персонального компьютера, где производилась его запись и обработка.

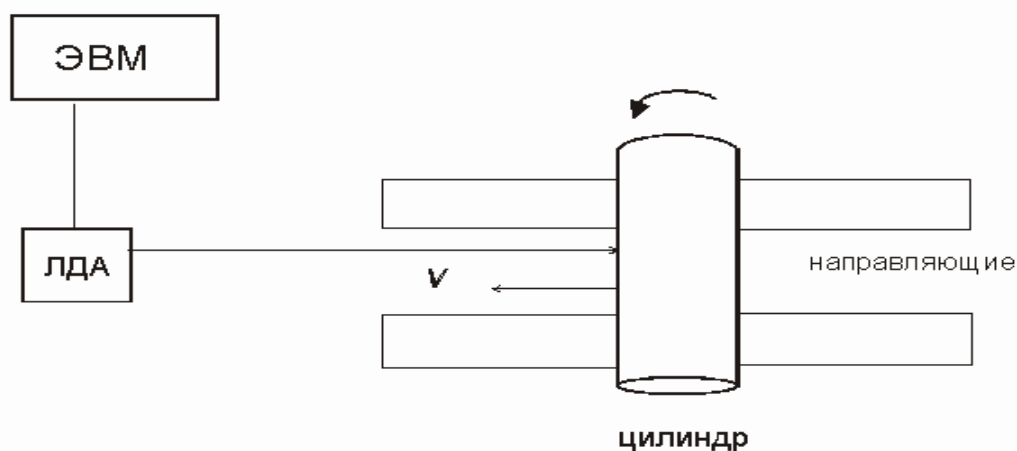


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

На рис. 3 приведён пример сигнала, обработанного на ЭВМ. По вертикальной оси отложено значение скорости, а по горизонтальной оси – время в секундах. Для получения информации о вертикальной координате центра масс катящегося цилиндра в зависимости от времени, измеренное значение скорости возводилось в квадрат и умножалось на пересчётный коэффициент, который для цилиндра равен  $k = \frac{3}{4} g$  [3]. Тогда текущая вертикальная координата центра масс, зависящая от положения опорной точки цилиндра, может быть записана в виде

$$h = h_0 - 3 V^2 / 4g, \quad (4)$$

здесь  $h_0$  – начальный уровень отсчёта координаты,  $V$  – скорость поступательного движения цилиндра,  $g$  – ускорение свободного падения. Здесь  $h$  уменьшается с ростом скорости, поэтому моменту полной остановки цилиндра соответствует  $h = h_0$ .

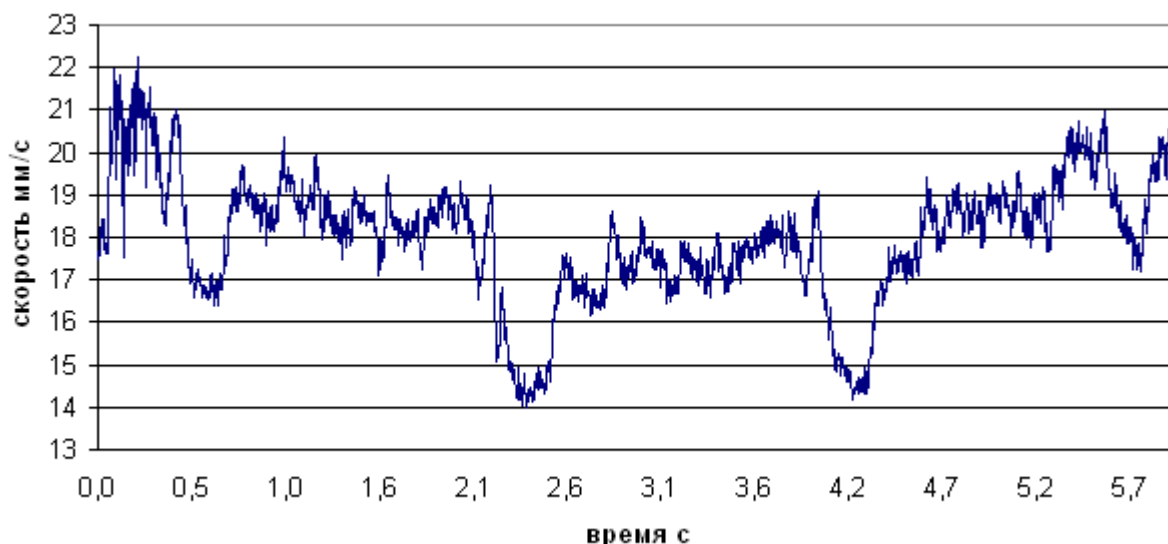


Рис. 3. Зависимость горизонтальной компоненты скорости цилиндра от времени

На рис. 4 представлены диаграммы изменения радиуса цилиндра в зависимости от угла поворота вокруг оси. Угол поворота вычислялся интегрированием скорости центра масс цилиндра по времени и делением на радиус. На диаграмме приведены одновременно три реализации, соответствующие углам, отличающимся целым числом полного оборота цилиндра вокруг оси. Рисунок получен усреднением диаграммы на интервале  $0 \div 360^\circ$ , вычитанием усреднённой диаграммы и сдвигом экстремальных значений отклонения радиуса цилиндра по оси ординат на угол, кратный  $2\pi$  до совпадения с предыдущей реализацией. Реализации значений, приведенных к углу, кратному  $2\pi$ , усреднялись, и вычислялось стандартное отклонение от среднего значения для каждого угла, для которого было проведено измерение.

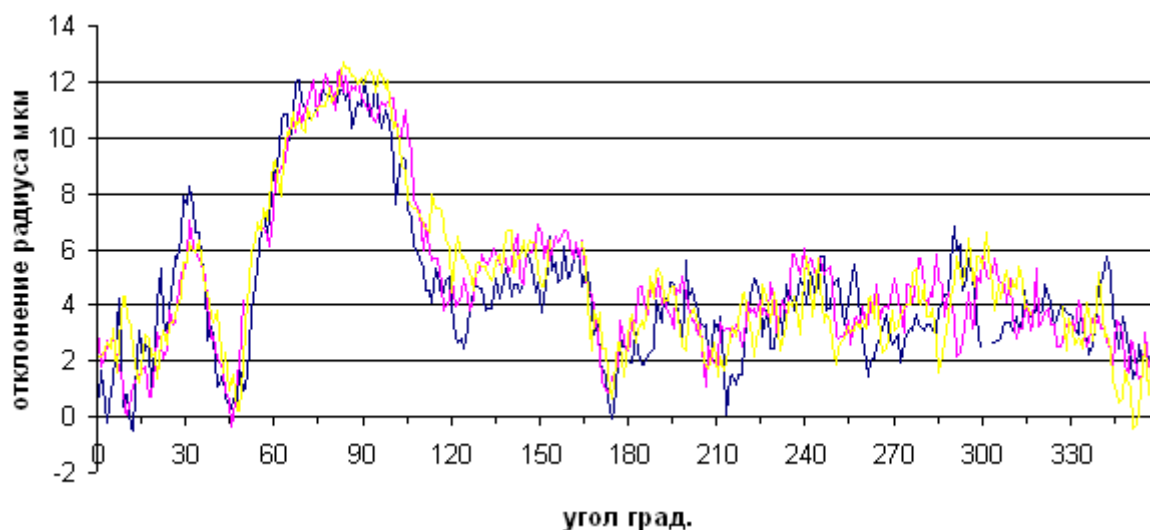


Рис. 4. Зависимость изменения радиуса направляющей цилиндра от угла

На рис. 5 приведена диаграмма зависимости среднего изменения значения радиуса от угла. Вариации радиуса цилиндра, достигающие 10 мкм происходят в интервале углов порядка 170 градусов ( $\sim \pi$  рад). На остальном угловом интервале ( $\pi \div 2\pi$ ) вариации радиуса незначительны. Диаграмма показывает, что цилиндр имеет асимметричную (грушевидную) форму.

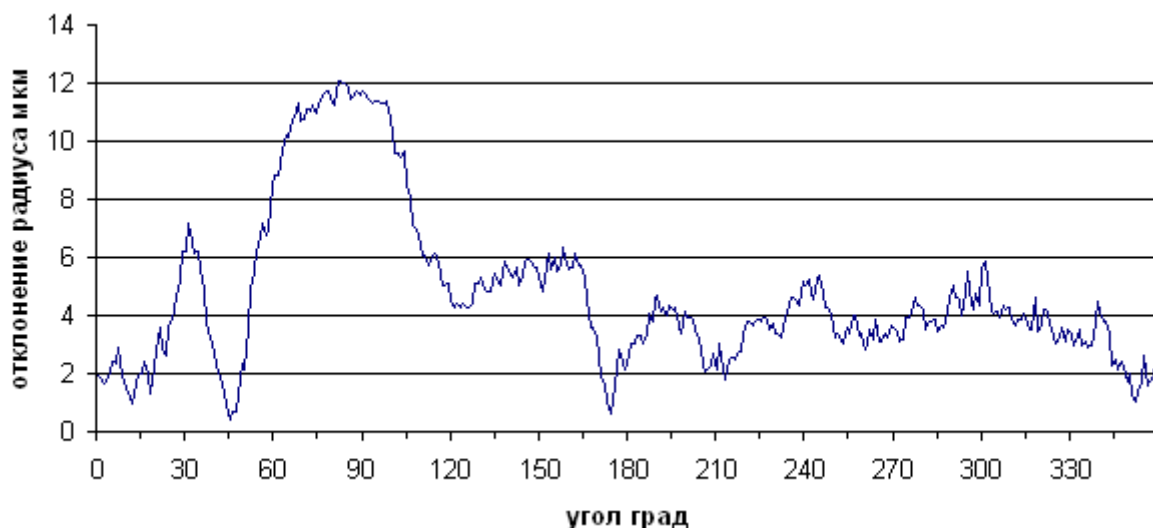


Рис. 5. Зависимость среднего значения изменения радиуса направляющей цилиндра от угла

На рис. 6 приведена зависимость ошибки измерения радиуса направляющей цилиндра от угла поворота цилиндра вокруг оси. Отклонение вычислено по трём измерениям, представленным на рисунке 4. Из диаграммы видно, что стандартное отклонение не превышает величины 1 мкм. Ошибка измерения угловых вариаций радиуса связана как с ошибкой измерения скорости, так и с влиянием неровностей поверхности опорных направляющих, по которым катится цилиндр. Эти ошибки могут быть уменьшены как использованием опорных направляющих с более качественной поверхностью, так и увеличением числа измерений. Среднее значение стандартного отклонения (усреднение ошибки отклонения радиуса цилиндра от среднего значения для всех углов) не превышает 0,6 мкм.

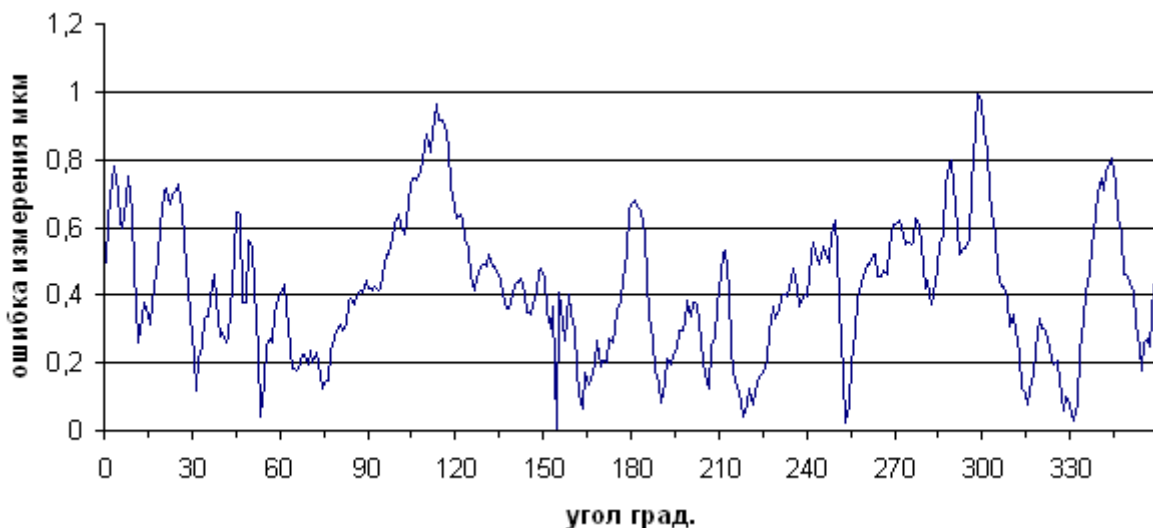


Рис. 6. Зависимость ошибки измерения радиуса цилиндра от угла поворота вокруг оси

Для проверки достоверности полученной формы направляющей цилиндра, зависимость радиуса направляющей цилиндра от угла была преобразована в зависимость диаметра цилиндра от угла. Для этого, значение отклонения для каждого угла  $\varphi$  складывалось со значением отклонения для угла  $\varphi + \pi$ . Угловая зависимость отклонения диаметра цилиндра от среднего значения в диапазоне  $0^\circ \div 180^\circ$  представлена на рис. 7.

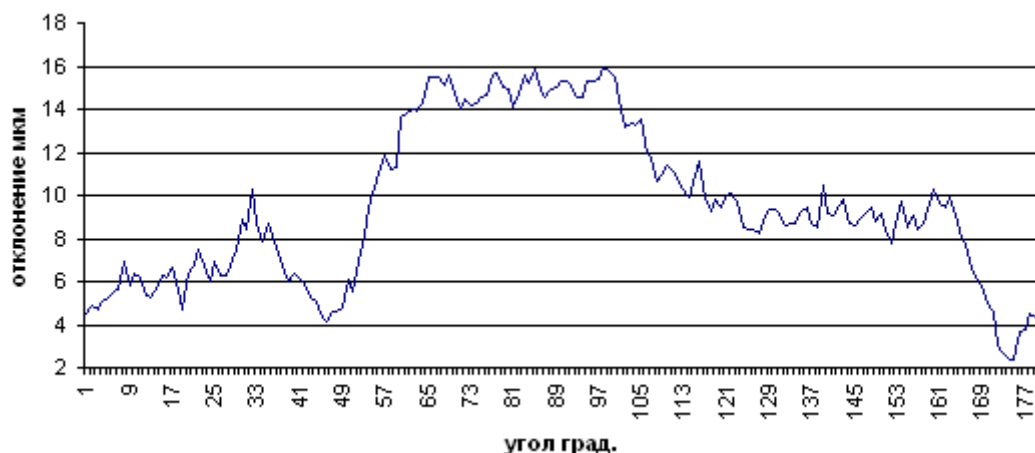


Рис. 7. Зависимость диаметра цилиндра от угла поворота

Полученная зависимость изменения диаметра цилиндра от угла сравнивалась с аналогичной зависимостью, полученной при измерении вариаций диаметра цилиндра от угла поворота с помощью микрометра. Измерения микрометром проводились на угловом интервале  $0^\circ \div 180^\circ$ . Проведено две серии микрометрических измерений вариаций диаметра цилиндра от угла поворота с шагом  $11^\circ$  и  $25^\circ$ . Результаты измерения усреднялись. Результаты сравнения измеренных диаметров для соответствующих углов приведены на рис. 8.

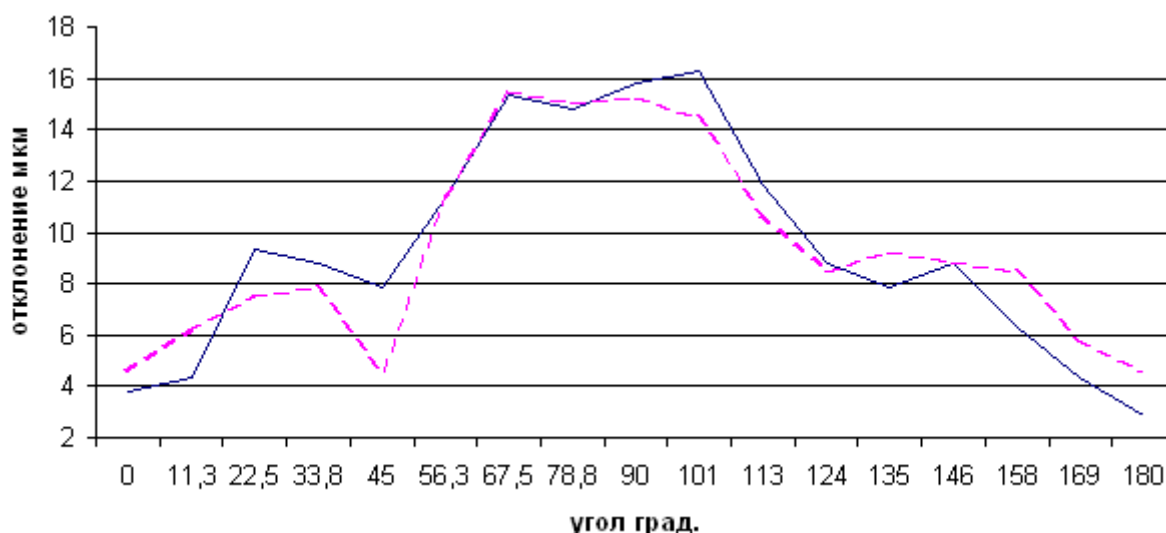


Рис. 8. Сравнение изменений диаметра цилиндра от угла поворота, измеренных методом ЛДА и микрометром. Сплошная кривая – измерения выполнены микрометром, пунктирная кривая – измерения выполнены методом ЛДА

В таблице 1 и на рис. 9 приведена разность отклонений диаметров, измеренных разными способами. Из представленных данных видно, что разность достигает 3 мкм. Такая разность вполне объясняется тем, что при вычислении значения диаметра цилиндра из значений радиусов  $D = R(\varphi) + R(\varphi + \pi)$ , погрешность увеличивается. При определении формы пунктирной кривой рис. 8 дисперсия суммы двух независимых случайных величин складывается. При наличии систематических ошибок складываются погрешности. Поэтому стандартное отклонение вариаций диаметра, измеренного методом ЛДА, увеличится до  $\sqrt{2}\sigma_R \div 2\sigma_R$ . Погрешность измерения микрометром (сплошная кривая на рис. 8) составляет величину  $\sigma_M = 1$  мкм. Процедура вычитания пунктирной кривой из сплошной кривой (рис.8) также приводит к увеличению погрешности измерения.

Таблица 1. Разность отклонений диаметров

Угол град.	0°	11,25°	22,5°	33,75°	45°	56,25°	67,5°
Разность мкм	0,719407	1,894526	-1,79915	-0,92959	-3,27317	0,028622	0,169183
Угол град.	78,75°	90°	101,25°	112,5°	123,75°	135°	146,25°
Разность мкм	0,220774	-0,56319	-1,81451	-1,1234	-0,35119	1,436078	0,034873
Угол град.	157,5°	168,75°	180°				
Разность мкм	2,132371	1,514192	1,755053				

Для случая, когда кроме случайной ошибки существенно влияние систематической ошибки, следует складывать погрешности, а не дисперсии. Принимая, согласно рис. 5, максимальную погрешность  $\sigma_R = 1$  мкм, приходим к выводу, что первоначальная ошибка измерения радиуса (1 мкм) в лучшем случае удвоится ( $\sigma_{cp} = \sqrt{3}\sigma_R$ ), а в худшем случае утроится,  $\sigma_{cp} = 3\sigma_R$ . Здесь  $\sigma_{cp}$  – ошибка, которая возникает из-за процедуры сравнения двух величин с погрешностями. Результат вычитания, представленный на рис. 9, даёт основание сделать заключение, что рис. 6 отражает действительную погрешность измерения радиуса, представленную рис. 5. Она не превышает 1 мкм.



Рис. 9. Разность отклонений диаметра, измеренных методом ЛДА и микрометром

Рассмотрим результаты сравнения измерений, выполненных различными методами, с другой стороны. На графике рис.9 представлено 17 результатов вычитания диаметров. Стандартное отклонение результатов сравнения составляет  $\sigma_{cp} = 1,5$  мкм. Распределение нормальное, т.к.  $Sk = -0,2$  и

$$|Sk| < 3\sqrt{\frac{6}{n}}, \quad (5)$$

где  $n$  – число измерений, а  $E = -0,44$  и

$$|E| < 3\sqrt{\frac{24}{n}}. \quad (6)$$



Если результаты измерения являются случайными величинами, то

$$\sigma_{cp} \approx \sqrt{2\sigma_R^2 + \sigma_M^2}. \quad (7)$$

Тогда, подставляя значения  $\sigma_{cp}$  и  $\sigma_M$ , получим  $\sigma_R \approx 0,79$  мкм. Если присутствуют нерегулярные систематические погрешности, то складываются ошибки измерения. Тогда  $\sigma_{cp} = 2\sigma_R + \sigma_M$ . Отсюда  $\sigma_R = 0,25$  мкм. Это не противоречит ранее сделанному выводу относительно погрешности измерения радиуса, сделанному на основании данных рис. 6.

Представленный метод может быть использован для измерения формы направляющей цилиндрических роликов в роликовых подшипниках. Для подтверждения этого была измерена форма направляющей сплошного цилиндра, извлечённого из роликового подшипника ЗГП 3 (2Н 102605). Диаметр цилиндра 9 мм а высота 14 мм. Цилиндр прокатывался по плоской поверхности стеклянной интерференционной пластины ПИ-120, имеющей диаметр 120 мм и отклонение от плоскостности 0,4 интерференционной полосы. Скорость цилиндра на высоте 4,5 мм от опоры измерялась ЛДА. Значения скорости пересчитывались в вертикальные смещения центра масс цилиндра. Эти смещения соответствуют изменениям радиуса цилиндра.

На рис. 10 представлена зависимость изменения радиуса ролика подшипника от угла поворота. Из рисунка видно, что радиус изменяется периодически с периодом  $T \sim 2\pi$  и амплитудой  $A_0 \sim 1,5$  мкм. Таким образом,  $r \approx R_0 + A_0 \cos \varphi$ . Такая форма направляющей цилиндра, согласно формуле (1), имеет свойство, характеризующееся постоянством диаметра цилиндра при его повороте вокруг оси. Действительно, сдвигая результаты измерения угловых вариаций радиуса цилиндра на  $\pi$  (рис.11), и складывая их, мы получим вариации диаметра цилиндра от угла поворота. Вариации диаметра цилиндра от угла поворота приведены на рис. 12. Кривая получена осреднением результатов измерения по двум реализациям. Из рисунка видно, что максимальные отклонения диаметра от среднего значения составляют величину  $\sim \pm 0,6$  мкм. Это в три раза меньше, чем отклонение радиуса от среднего значения. Достоверно измерить такие вариации диаметра микрометрическими устройствами затруднительно, ввиду большого влияния инструментальной погрешности ( $\sim 1$  мкм).



Рис.10. Изменение радиуса цилиндра от угла поворота

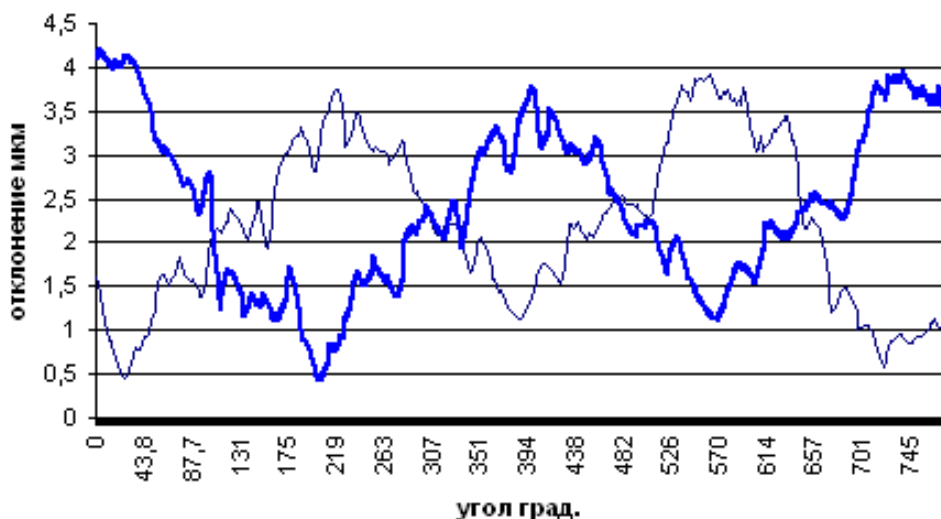


Рис.11. Определение угловой зависимости диаметра цилиндра. Кривые, определяющие зависимость радиуса от угла, сдвинуты на угол  $\pi$

На рис.13 приведены результаты микрометрических измерений диаметра ролика подшипника ЗГП 3 (2Н 102605). Фиксировалось изменение диаметра от угла поворота ролика вокруг оси. Измерены отклонения диаметра ролика от фиксированного значения при 5 полных оборотах цилиндра вокруг оси с шагом  $22,5^\circ$ . Из рисунка видно, что диаметр цилиндра изменяется незначительно. Изменения составляют величину  $\sim 0,7$  мкм на интервале углов  $0 \div 180^\circ$ . Результаты измерения для каждого угла усреднялись по 10 измерениям. Сравнение вариаций диаметра ролика на интервале изменения полярного угла от  $0$  до  $180^\circ$ , выполненных различными методами, показывает небольшое расхождение  $\sim \pm 0,25$  мкм. Эту разницу можно объяснить погрешностями измерений. Оба метода показывают, что вариации диаметра находятся в пределах одного микрона.

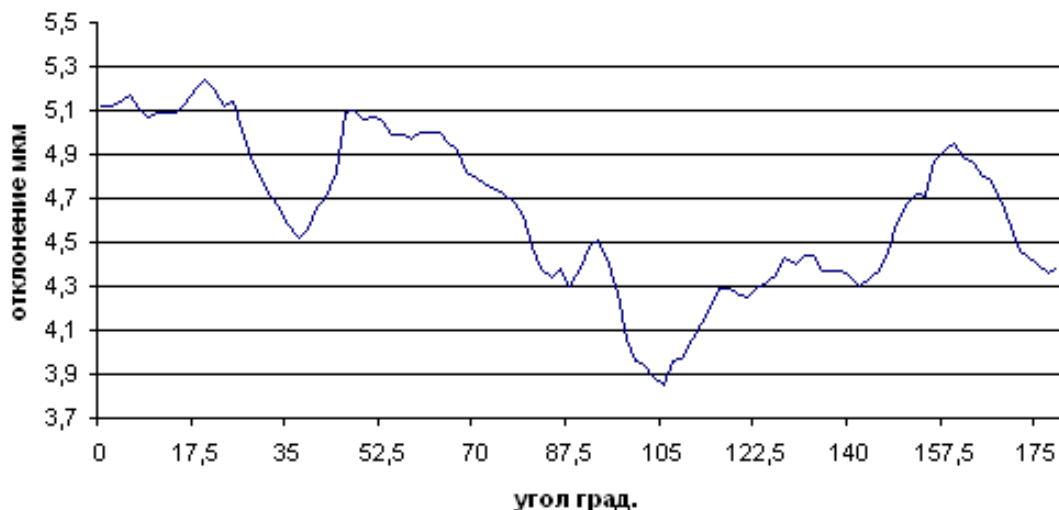


Рис.12. Изменение диаметра цилиндра от угла поворота (ЛДА измерения)

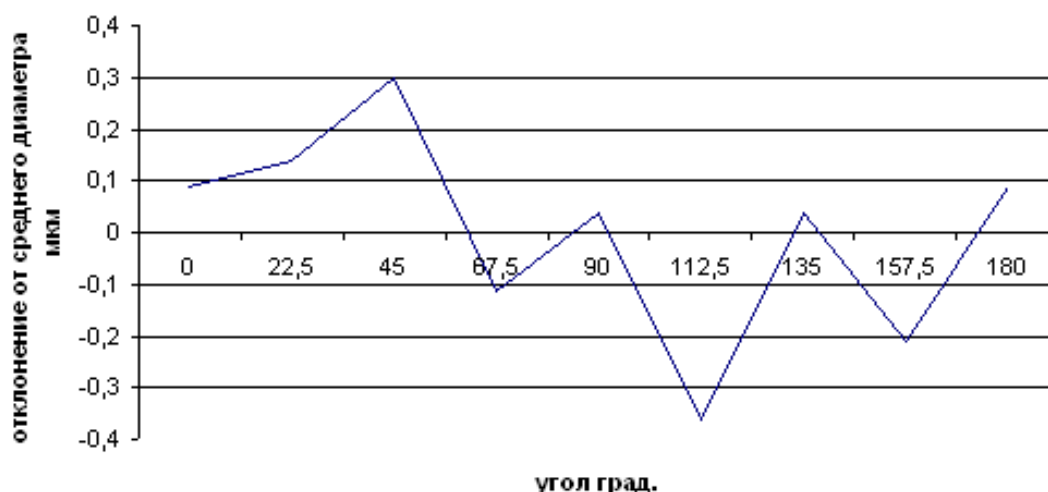


Рис. 13. Изменение диаметра ролика от угла поворота (измерения микрометром)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана принципиальная возможность измерения углового профиля направляющей цилиндра с помощью лазерного доплеровского анемометра. Без использования дорогостоящих (выполненных с высокой точностью) направляющих проведено косвенное измерение профиля направляющей цилиндра, вариации радиуса которого составляли  $0 \div 10$  мкм. Средняя ошибка по трём измерениям формы направляющей цилиндра составила величину порядка 0,6 мкм. Максимальная ошибка измерения не превышала 1 мкм. Это подтвердили результаты сравнения диаметров цилиндра, измеренных лазерным доплеровским методом и микрометром при различной угловой ориентации цилиндра. Результаты сравнения позволили оценить погрешность измерения радиуса цилиндра методом ЛДА. Показано, что она не превышает 1 мкм.

Измерение формы направляющей цилиндра, входящего в комплект роликового подшипника ЗГП 3 (2Н 102605), выявило периодические вариации радиуса цилиндра с периодом  $T \sim 2\pi$  и амплитудой  $A_0 \sim 1,5$  мкм. Эти вариации могут быть связаны как со смещением центра масс цилиндра относительно его оси симметрии из-за разности плотности материала внутри сплошного цилиндра, так и с отклонением формы цилиндра от круглой. В случае неоднородного материала цилиндра, приводящего к смещению центра масс, представленный метод покажет периодические изменения радиуса цилиндра с периодом  $2\pi$ , согласно формуле (1) при  $n = 0$ . Поскольку мы не можем знать реальное положение центра масс внутри цилиндра, то вариации радиуса цилиндра по типу

$$R(\varphi) = \frac{D_0}{2} + a_0 \sin \varphi + b_0 \cos \varphi \quad (8)$$

могут быть истолкованы двояко; либо как смещение центра масс от оси симметрии на величину  $\sqrt{a_0^2 + b_0^2}$ , либо реальное отклонение формы цилиндра от идеально круглой. Сам принцип измерения формы цилиндра привязан к положению его центра масс. Однородность материала цилиндра и положение центра масс должно определяться другим, независимым способом. В связи с этим, результаты наших измерений показывают, что ролики подшипника ЗГП 3 (2Н 102605) изготовлены из однородного материала. Существующая неоднородность материала и геометрические отклонения от стандартной формы при его изготовлении приводят к смещению центра масс относительно оси симметрии на величину, не превышающую 1,6 мкм. Цилиндры, изготовленные по таким же технологиям, очевидно, имеют такие же характеристики и их некруглость может быть измерена с погрешностью, не превышающей 1,6 мкм. Таким образом, предлагаемый нами метод может быть использован для выявления бракованных изделий как по форме, так и по однородности материала.

Применение этого метода на производстве позволит улучшить качество роликовых подшипников.

## СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

$R$  – радиус цилиндра;

$D$  – диаметр цилиндра;

$\varphi$  – полярный угол;

$n$  – число натурального ряда  $n = (0, 1, 2, \dots)$ ;

$a_i, b_i$  – численные коэффициенты;

$\Delta S$  – длина доли нормальной направляющей цилиндра;

$Z_i$  – координата  $i$  точки на оси цилиндра;

$k$  – пересчётный коэффициент;

$g$  – ускорение свободного падения;

$h$  – текущая вертикальная координата центра масс;

$h_0$  – начальный уровень отсчёта координаты;

$V$  – скорость поступательного движения цилиндра

$Sk$  – скос эмпирической функции плотности вероятности распределения измеряемой величины;

$E$  – эксцесс эмпирической функции плотности вероятности распределения измеряемой величины;

$\sigma_{cp}$  – стандартное отклонение результата сравнения;

$\sigma_M$  – стандартное отклонение результатов измерения, выполненных микрометром;

$\sigma_R$  – стандартное отклонение измеренного значения радиуса цилиндра;

ЛДА – лазерный доплеровский анемометр.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазерный доплеровский измеритель скорости горячего проката./ **Артамонов В.Ф., Белоусов П.Я., Дубнищев Ю.Н. и др.** // Журнал «Сталь». 1986. № 8. С. 65-68.
2. **Афанасьев В.А.** Оптические измерения. Москва. Высшая школа. 1981. С. 52-63.
3. **Белоусов П.П., Белоусов П.Я., Белоусова О.П.** Измерение некруглости цилиндров, свободно катящихся по направляющим опорам либо гладкой ровной поверхности Автометрия. 2010. Т. 46, № 5. С. 113-123.
4. **Коронкевич В.П., Ханов В.А.** Современные лазерные интерферометры. Изд-во НАУКА. Сибирское отделение. 1985.
5. **Дубнищев Ю.Н., Ринкевичюс Б.С.** Методы лазерной доплеровской анемометрии. Москва. Наука. 1982.

O.P. Belousova<sup>1</sup>, P.Ya. Belousov<sup>2</sup>, P.P. Belousov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering (TDI SIE) of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SB RAS)  
41, Russkaya str., Novosibirsk, 630058,  
E-mail: olga\_b@gorodok.net*

<sup>2</sup>*Institute of thermophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Russia  
630090, Novosibirsk, pr. Ak. Lavrentyeva, 1*

<sup>3</sup>*Yoid Institute for high temperatures of RAS, Russia, 125412, Moscow, Izhorskaya st.13, st. 2,  
E-mail: ppbelousov@mail.ru.*

## **MEASUREMENT OF THE CYLINDER FORM BY LASER DOPLER METHOD**

*An optical method for form measurement of cylinder guide bearing is presented. We studied case when all points of guide rolling lay in one plane and generatrix is orthogonal this plane. The method is based on measurement of the cylinder linear speed rolling on the plane guide. Dependence of the cylinder radius on a rotation angle is measured. Possibility of small deviations measurement (an order of several microns) of the guide bearing form from round is shown. A profile of the cylinder with the maximum deviation from a circle ~ 10 microns is obtained. The form of cylinder from roller bearing 3ГП 3 (2H 102605) was measured. It was shown, that its guide bearing form, measured from mass center, approximately sinusoidal. In can not be found by simply cylinder diameter measuring. The method can be used for diagnostics of the round objects form in the mechanics (wheels, bearings etc.).*

CYLINDER FORM MEASUREMENT, LASER DOPLER METHOD