

УДК 53.083

**ИЗМЕРЕНИЯ БИЕНИЙ ВАЛОВ. МЕТОДЫ, СРЕДСТВА,  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ****Гаврина Олеся Владимировна**

аспирант

Пензенский государственный университет, Пенза  
*olesya-gavrina@rambler.ru*

**Аннотация.** В статье рассмотрены методы, средства и эффективность измерений биений валов. Приведены и обоснованы преимущества информационно-измерительной системы на основе датчика биений вала с бегущим магнитным полем.

**Ключевые слова:** биения вала; датчик; бегущее магнитное поле; электромагнитная система; информационно-измерительная система.

---

**THE MEASUREMENT OF SHAFTS BEATING. THE METHODS.  
THE EFFECTIVENESS****Gavrina Olesya Vladimirovna**postgraduate student  
Penza State University, Penza

**Abstract.** The method, the effectiveness and the measurement of shafts beating are described in this article. The benefits of information-measuring system based on shafts beating sensor with a moved magnetic field are shown and proved.

**Key words:** shafts beating; sensor; moved magnetic field; electromagnetic system; information-measuring system.

## **Введение**

Примерно 50 % всех поломок машин, и в первую очередь подшипников, вызваны перекосами валов. В процессе изготовления деталей вращения согласно технологическому процессу их изготовление связано с определённым количеством операций, которые предусматривают их переустановку. В ходе смены позиций валов из-за погрешности закрепляющих механизмов и других факторов, возникают биения данных валов.

Это может привести и приводит к повышенным нагрузкам на опоры и износу подшипников; износу уплотнений; повышенному потреблению энергии; увеличению уровня вибрации и шума; снижению работоспособности и надёжности машин.

## **Сравнительный анализ методов измерения биений вала**

Определить наличие биения вала можно: прямым измерением; косвенно по повышению температуры подшипниковых узлов; вибродиагностическими методами. Казалось бы, самым простым и надёжным является прямое измерение, но на практике традиционные методы (индикаторы, микрометры, щупы) часто не дают результата. Например, в механизме, на котором с помощью индикаторов была произведена центровка с точностью 0,01 мм при допуске 0,04 мм, при контроле технического состояния по вибрации прослеживались явные признаки осевого биения вала. Выверка лазерным центровщиком показала, что при выходе на эксплуатационный режим неравномерный нагрев корпуса механизма по длине и разница между температурой механизма и электродвигателя приводят к перекоосу и смещению осей на 0,4 мм, что недопустимо.

Опыт показывает, что самыми достоверными являются вибродиагностический метод и прямое измерение лазерным центровщиком, позволяющим точно и, самое главное, быстро произвести измерения на прогретом механизме и определить реальное биение вала при его экс-

плуатации. В технической документации на механизм допуски в большинстве случаев назначаются исходя из возможностей соединительных муфт компенсировать указанные отклонения и являются предельно-допустимыми значениями. Следует помнить, что оптимальным для механизмов является отклонение, равное нулю. При увеличении осевого биения вала на 20 % долговечность подшипников снижается на 40-50 %.

Известны следующие методы центровки: штангенциркулем или щупами – измерение радиальных и торцевых зазоров на полумуфтах, приспособлениями с индикаторами часового типа, приборами с бесконтактными датчиками биения вала, оптическими приборами, лазерными приборами. Погрешность многих из перечисленных методов измерений близка к предельно-допустимым значениям осевого биения вала, т.е. этими методами мы вынуждены были пользоваться из-за отсутствия более точных средств. Данные независимых экспертов о том, что около 70 % дефектов механизмов вызвано производством работ по их обслуживанию, заставляют особое внимание уделить вопросам оснащения ремонтных бригад приборами и инструментом, способными обеспечить высокое качество выполненных работ.

Из известных методов центровки, несомненно, самым точным является лазерный метод. Однако приборы, основанные на нем, долгое время отпугивали потребителей в основном из-за своей сложности. Эти приборы исключительно просты и надежны в эксплуатации. Они не требуют специального обучения персонала: техник-механик, привыкший к традиционным методам центровки, может самостоятельно овладеть навыками работы с приборами в течение часа.

В приборах на базе лазерной и микропроцессорной техники реализован метод «обратных индикаторов», обеспечивающий быстрое и качественное выполнение работ, почти полностью исключается влияние «человеческого фактора». Используемые при этом лазерные лучи не отклоняются от прямолинейности, что позволяет при разрешении детектора 0,001

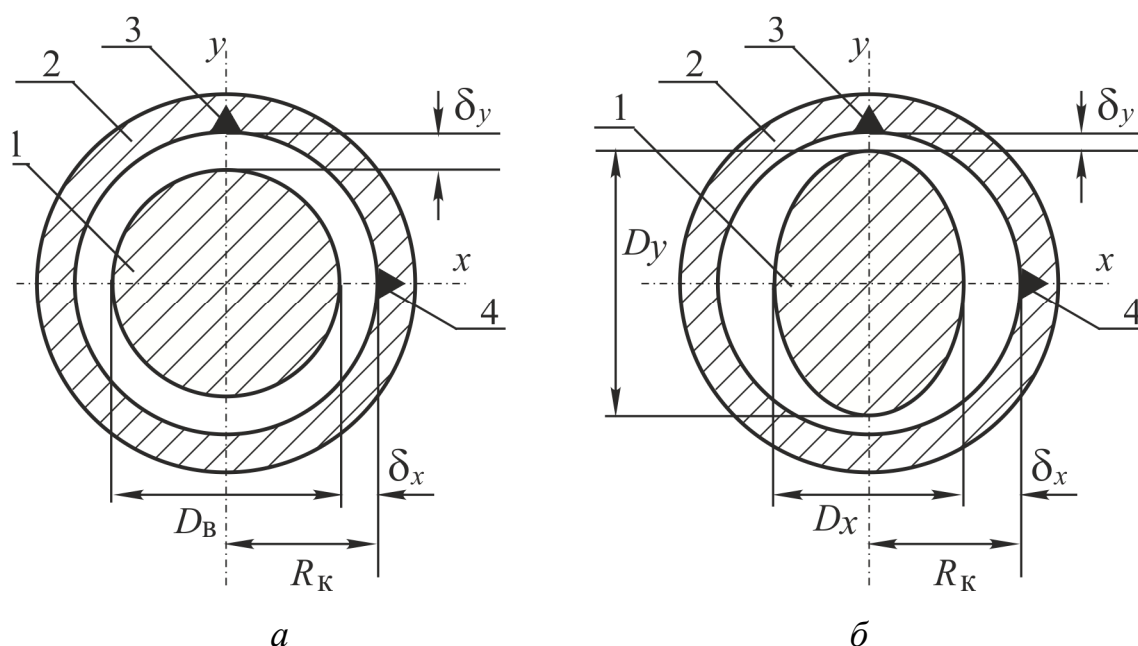
мм обеспечить высокую точность. Данные в процессе центровки выводятся на экран в режиме реального времени. Таким образом, результаты перемещений агрегата, установки подкладок или затяжки болтов крепления можно видеть в тот самый момент, когда они производятся.

Программное обеспечение приборов дает возможность учитывать и компенсировать влияние тепловых деформаций и смещений от натяжения трубопроводов при выходе механизма на эксплуатационный режим.

Статистика показывает, что для эффективного решения проблемы биений валов ежегодные затраты (стоимость приборов, подготовка и обучение персонала) должны составлять не менее 1 % от стоимости основного оборудования.

### **Информационно-измерительная система датчика биений вала с бегущим магнитным полем**

Существующие информационно-измерительные системы (ИИС) биений вала базируются на установке двух датчиков измерения расстояния до поверхности вала, измеряющих перемещение вала по двум перпендикулярным направлениям (рис. 1).



**Рисунок 1. ИИС биений вала**

На рис. 1 представлены: 1 – вал, положение которого определяется относительно корпуса 2; 2 – корпус; 3 – датчик вертикального смещения вала; 4 – датчик горизонтального смещения вала.

При отсутствии биений вала и эллипсности поверхности (рис. 1а) на выходе датчиков, с помощью которых измеряются длины зазоров  $\delta_x$  и  $\delta_y$  при  $\delta_x = \delta_y = \delta$ , будем иметь равные по величине напряжения  $U_0$ . Смещение оси вала относительно оси кольца корпуса на величину  $\Delta\delta$  по направлению 45 град. относительно горизонтальной оси вызовет уменьшение зазора  $\delta_x$  на величину  $\Delta\delta_x = \Delta\delta \cdot \cos 45^0$  и зазора  $\delta_y$  на ту же величину  $\Delta\delta_y = \Delta\delta \cdot \sin 45^0$ . Напряжение на выходе датчика горизонтального смещения станет равным:

$$U_x = U_0 + \Delta U_x = U_0 + k \cdot \Delta\delta \cdot \sin 45^0,$$

где  $k$  – коэффициент преобразования датчика.

Напряжение на выходе датчика вертикального смещения станет равным:

$$U_y = U_0 + \Delta U_y = U_0 + k \cdot \Delta\delta \cdot \cos 45^0.$$

Величина смещения определится выражением:

$$\Delta\delta = \frac{1}{k} \sqrt{\Delta U_x^2 + \Delta U_y^2} = \Delta\delta \sqrt{\sin^2(45^0) + \cos^2(45^0)} = \Delta\delta$$

Направление смещения вала определится углом, величина которого будет получена из выражения:

$$\varphi = \arctg \frac{\Delta U_x}{\Delta U_y} = \arctg \frac{k \cdot \Delta\delta \cdot \sin 45^0}{k \cdot \Delta\delta \cdot \cos 45^0} = 45^0.$$

Таким образом, при отсутствии эллипсности вала измерительная система без учета других факторов может измерить величину и направление смещения вала с высокой точностью.

Рассмотрим работу измерительной системы биений, при неидеальной обработке вала (рис. 1б). Степень «эллипсности» определяется со-

отношением длин  $D_x$  и  $D_y$ . Обозначим величину, определяющую «эллипсность»  $d = \frac{D_x - D_y}{2}$ . В том случае, когда большая ось эллипса совпадает с осью  $y$ , эффективный зазор датчика горизонтального смещения будет равен величине  $\delta_x = \delta + d$  и эффективный зазор будет равен величине  $\delta_y = \delta - d$ .

При таких зазорах напряжение на выходе датчика горизонтального смещения станет равным:

$$U_x = U_0 + \Delta U_x = U_0 + k \cdot \delta_x = U_0 + k \cdot d,$$

где  $k$  – коэффициент преобразования датчика.

Напряжение на выходе датчика вертикального смещения станет равным:

$$U_y = U_0 + \Delta U_y = U_0 - k \cdot d.$$

Измерительная система в этом случае, реагируя на изменение выходных напряжений датчиков, выдаст информацию о смещении оси вала относительно оси кольца корпуса на величину  $\Delta\delta = \sqrt{2}d$ . На выходе измерительной системы появится информация о направлении смещения под углом:

$$\varphi = \arctg \frac{\Delta U_x}{\Delta U_y} = \arctg \frac{d}{-d} = 315^\circ.$$

При повороте вала на 45 град. измерительная система покажет нулевое смещение, так как приращения напряжений будут равны нулю.

Смещение оси неидеального вала относительно оси кольца корпуса на величину  $\Delta\delta$  по направлению 45 град. относительно горизонтальной оси зазор горизонтального смещения станет равным:

$$\Delta\delta_x = d - \Delta\delta \cdot \cos 45^\circ$$

и зазор вертикального смещения станет равным:

$$\Delta\delta_y = d + \Delta\delta \cdot \sin 45^\circ.$$

Измерительная система покажет смещение вала на величину:

$$\Delta\delta' = \sqrt{(d - \Delta\delta \cdot \cos 45^\circ)^2 + (d + \Delta\delta \cdot \sin 45^\circ)^2},$$

Измерительная система покажет направление смещения, равное углу:

$$\varphi = \arctg \frac{d + \Delta\delta \cdot \sin 45^\circ}{d - \Delta\delta \cdot \cos 45^\circ}.$$

Не вдаваясь в более детальный анализ полученных уравнений можно сделать вывод о том, что в зависимости от соотношения величин  $d$  и  $\Delta\delta$  погрешность измерений может быть весьма значительной.

Таким образом, использование двух датчиков усложняет измерительную систему и снижает точность измерений.

Измерительная система на основе датчика биений вала с бегущим магнитным полем [1-2] лишена указанных недостатков и позволяет измерять абсолютное значение и направление биения вала.

Конструктивно датчик биений вала с бегущим магнитным полем представляет собой статор в форме полого цилиндра, в пазах которого распложены синусная, косинусная и выходная обмотки. Внутри статора расположен сплошной цилиндр из магнитного материала, имеющий диаметр, меньший внутреннего диаметра статора

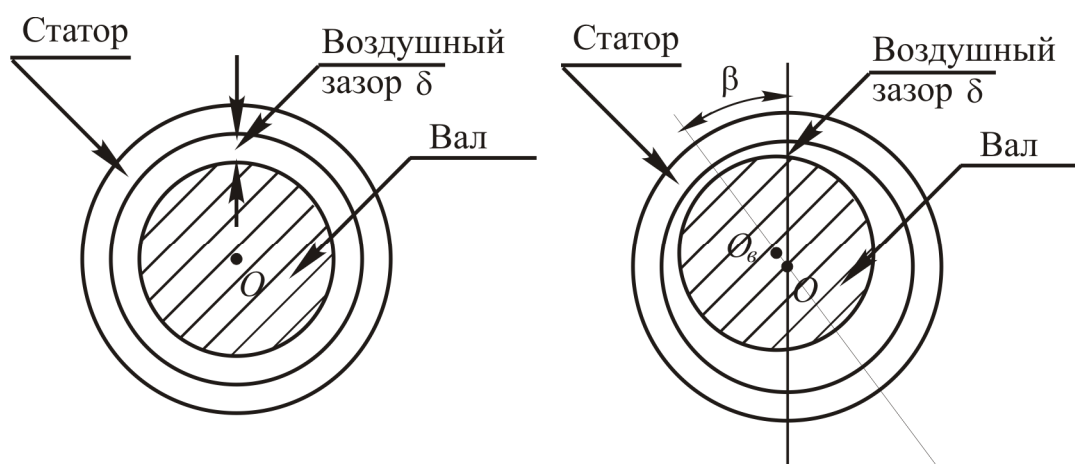


Рисунок 2. Поперечное сечение магнитной системы датчика

При однородном магнитопроводе статора и соосном расположении внутреннего цилиндра, выходное напряжение такого датчика будет равно нулю. Поперечное сечение магнитной системы датчика изображено на рис. 2.

Предположим, что ось внутреннего цилиндра сместилась относительно оси датчика на величину  $\Delta O$  в направлении, составляющем с вертикальной осью угол  $\beta$ . Смещение ротора приведет к перераспределению удельного магнитного потока в зазоре магнитной системы датчика. Удельный магнитный поток будет иметь максимальное значение в месте минимального зазора. С противоположной стороны магнитопровода магнитный поток уменьшится.

Это приведет к появлению выходного напряжения датчика. При малых смещениях подвижной части датчика амплитуда этого напряжения будет пропорциональна смещению  $\Delta O$ , а начальная фаза этого напряжения, а вернее сказать, фазовый сдвиг этого напряжения относительно опорного, покажет направление перемещения, причем фазовый сдвиг может иметь значение от 0 до  $2\pi$  рад. Величина перемещений, при которых сохраняется линейная зависимость «перемещение – напряжение», зависит от величины зазора при соосном расположении внутреннего цилиндра относительно статора датчика. Амплитуда выходного напряжения будет пропорциональна смещению осей. Начальная фаза выходного напряжения покажет направление смещения.

## **Выводы**

Изучение существующих ИИС для измерения биений валов показало, что ИИС для измерения биений вала с электромагнитными датчиками обладают самой высокой надежностью и наиболее стабильными характеристиками в сравнении с ИИС, построенными на базе других датчиков.



Из всех типов электромагнитных систем, применяющихся в ИИС для измерения биений вала, наибольшей разрешающей способностью обладают ЭМС, а фаза выходного сигнала является наиболее стабильным информационным признаком.

Таким образом описанная в предыдущем разделе электромагнитная система позволила создать датчик биений вала на основе бегущего магнитного поля. Данный датчик биений вала позволяет упростить измерительную систему биений вала и улучшить ее метрологические характеристики.

### **Список использованных источников**

1. Гаврина О.В., Шатова Ю.А. Анализ двухфазного режима работы информационно-измерительной системы на основе датчика биений вала с бегущим магнитным полем // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2.

2. Горячев В.Я., Гаврина О.В., Чапчиков Ю.К., Шатова Ю.А. Анализ систематической погрешности информационно-измерительной системы на основе датчика биений вала с бегущим магнитным полем // Изв. высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2013. № 1. С. 46-57.