

## РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ КИНЕМАТИКОЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВИБРОРЕЗОНАНСНЫХ ПРИВОДОВ

Минченя В.Т., Савченко А.Л., Минченя Н.Т.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Беларусь, E-mail: andrewk@tut.by

Традиционно подшипники качения классифицируют в соответствии с различными конструктивными параметрами. Так по форме тел качения выделяют шариковые и роликовые подшипники, и те и другие по направлению воспринимаемой нагрузки могут быть радиальными, упорными, радиально-упорными и упорно-радиальными, и так далее. В 90-х годах XX века такая классификация дополнилась так называемыми мехатронными подшипниками, имеющими в конструкции электронные датчики различных параметров. В 1997 году фирма SNR Roulements выпустила подшипник под названием Sensor Line Encoder®, который имел в составе датчик скорости вращения и углового положения [1]. Эта технология была названа ASB® (Active Sensor Bearing), к настоящему моменту выпущено уже четыре поколения таких подшипников [2].

Описанные подшипники ориентированы в первую очередь на использование в автомобильной промышленности.

На сегодняшний день мехатронные подшипники позволяют только контролировать параметры подшипниковых узлов. Для активного воздействия на них требуются дополнительные элементы, являющиеся внешними по отношению к подшипнику. Авторы предлагают расширить классификацию мехатронных подшипников за счет узлов с управляемой кинематикой.

Движение шарика в подшипнике качения определяется геометрией контактирующих поверхностей. В общем случае в сферическом движении шарика можно выделить три составляющих:

$$\omega = \omega_k + \omega_b + \omega_{kr},$$

где  $\omega_k$  – угловая скорость качения, вектор которой направлен перпендикулярно плоскости контакта;  $\omega_b$  – угловая скорость вращения, вектор которой находится в плоскости контакта;  $\omega_{kr}$  – угловая скорость кручения, вектор которой также находится в плоскости контакта [3].

Для радиально-упорного подшипника, работающего с предварительным осевым натягом, соотношение угловых скоростей шарика  $\omega_k : \omega_b : \omega_{kr} = 1 : 0,18 : 0$ , что приводит к его неравномерному износу [4]. Ранее было доказано, что при  $\omega_{kr} \neq 0$  можно обеспечить равномерный износ шарика, что было использовано при восстановлении точностных параметров изношенного подшипника методом обкатки [5]. Значение  $\omega_{kr} \neq 0$  обеспечивалось приложением к одному из колец подшипника осевых ультразвуковых колебаний. Управляя параметрами колебаний, можно получить различные значения  $\omega_{kr}$ .

Тот же принцип управления скоростью кручения шарика  $\omega_{kr}$  может быть использован для доработки новых подшипников [6] и для повышения точностной долговечности подшипника при работе в узле машины или прибора.

Также перспективным является управление угловой скоростью качения  $\omega_k$ . В этом случае поворот шарика на угол  $\varphi_k$  можно использовать для принудительного поворота внутреннего кольца подшипника вместе с ротором на угол  $\varphi_k$  для его точного позиционирования, как показано на рисунке 1 [7].

Поворот шарика на угол  $\varphi_k$  может быть осуществлен с помощью ультразвуковых колебаний, приложенных к сепаратору. Соответствующий угол поворота внутреннего кольца

$$\varphi_b = \varphi_k \frac{D_w}{d_b}.$$

Такой способ позиционирования представляется наиболее эффективным в сочетании с датчиками угла поворота, например в узлах с мехатронными подшипниками, имеющими встроенные датчики.

Вариант конструкции подшипника с управляемой кинематикой показан на рисунке 2 [8, 9, 10, 11, 12].

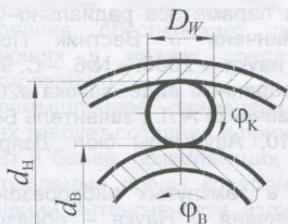


Рисунок 1 – Позиционирование ротора вращением шариков

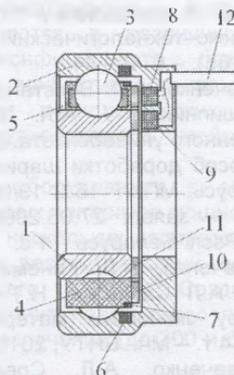


Рисунок 2 – Конструкция подшипника с управляемой кинематикой

Подшипник включает внутреннее кольцо 1 и наружное кольцо 2, между которыми расположены шарики 3, разделенные сепаратором 4. В сепаратор встроены виброрезонансные приводы 5, энергия к которым подводится за счет трансформаторной связи между катушками 6 и 7. В наружное кольцо встроены датчики 8 и 9 для измерения скоростей вращения сепаратора и внутреннего кольца. Якоря датчиков 10 и 11 установлены соответственно на сепаратор и внутреннее кольцо. Для подключения подшипника к системе имеется кабель 12.

Виброрезонансные приводы также могут встраиваться не в сепаратор, а в корпус подшипникового узла, что упрощает конструкцию подшипника и позволяет управлять кинематикой тел качения в обычных подшипниках.

Также виброрезонансные приводы могут быть использованы для активного гашения вибраций в подшипнике [13].

В составе подшипника имеются датчик вибраций или датчик, измеряющий колебания скорости вращения сепаратора. В последнем случае выделение диагностического показателя и его использование представляются более удобным. Сигнал датчика обрабатывается специальной электронной схемой, позволяющей выделить из спектра вибраций доминирующие гармоники. Встречные вибрации для гашения колебаний создаются с помощью встроенных в подшипник или корпус опоры пьезоэлектрических виброрезонансных приводов. Энергия для работы приводов подводится в соответствии с алгоритмом гашения вибраций, вырабатываемом схемой на основе анализа их спектра. Так как приводы работают в резонансном режиме, расход энергии для их работы относительно невысок.

Используя различные методы управления кинематикой подшипников качения, можно решать различные задачи, связанные с их изготовлением, эффективной эксплуатацией и ремонтом.

#### Список литературы:

1. Мехатронные подшипники промышленного применения [Электронный ресурс] – М., [200–]. – Режим доступа [http://www.snr.com.ru/e/mechatron\\_sle.htm](http://www.snr.com.ru/e/mechatron_sle.htm). – Загл. с экрана. – Дата доступа 15.11.2015.

2. Д.А. Карпов, Е.И. Громаков, А.А. Ильченко. Мехатронные решения в подшипниковых узлах [Электронный ресурс] – М., [200–]. – Режим доступа <http://www.snr.com.ru/e/mechatron.htm> – Загл. с экрана. – Дата доступа 15.11.2015.

3. Филонов, И. П. Механика процессов обкатки / И. П. Филонов; под ред. П. И. Ящерицына. – Минск : Наука и техника, 1985. – 328 с.

4. Бочков, В. С. Исследование кинематики радиально–упорного подшипника / В. С. Бочков, Б. Л. Каневский // Сб. науч. тр. / Всесоюзный научно–исследовательский конструкторско–технологический институт подшипниковой промышленности. – М., 1971. – №1(65). – С. 3 – 34.

5. Савченко, А.Л. Восстановление точностных параметров радиально–упорных шарикоподшипников / А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2005. – №6. – С. 93 – 97.

6. Способ доработки шарикоподшипников в собранном виде: заявка а20080859 Респ. Беларусь, МПК F 16 C 19/00 / Минченя Н.Т., Савченко А.Л.; заявитель Бел. нац. техн. ун–т. – заявл. 27.06.2008; опубл. 28.02.2010, Афіцыйны бюл. Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь – 1 с.

7. Савченко, А.Л. Кинематика тел качения в замкнутых виброрезонансных системах / А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя, В.Т. Минченя // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9–й научно–технической конференции, Минск, май 2011: в 4 т. – Мн.: БНТУ, 2011. – Т.2. – С. 197.

8. Савченко, А.Л. Средства диагностики и управления кинематикой, интегрированные в подшипник качения / А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя, В.Т. Минченя, Р.М. Асимов // Приборы и методы измерений. – 2012.– №1(4). – С. 99 – 103.

9. Маньшин, Г.Г. Мехатронные подшипники для машино– и приборостроения / Г.Г. Маньшин, А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя, В.Т. Минченя, Р.М. Асимов // Проблемы создания информационных технологий: сб.научных трудов. / Под ред. Маньшина Г.Г. – М.: ООО «Техполиграфцентр», 2013. – Вып.22. – С.50–55.

10. Савченко, А.Л. Мехатронные подшипники с управляемой кинематикой / А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя, В.Т. Минченя // Приборостроение–2012: материалы междунар. научн.–техн. конф., Минск, 21 – 23 ноября 2012 г. – Мн.: БНТУ, 2012. – С.362 – 364.

11. Подшипник качения: пат. 7389 Респ. Беларусь: МПК F 16 C 13/02 / Савченко А.Л., Минченя Н.Т., Минченя В.Т.; заявитель и патентообладатель Бел. нац. техн. ун–т. – №а20101035; заявл. 14.12.2010; опубл. 30.06.2011, Афіцыйны бюл. Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь – 4 с.

12. Подшипник качения: пат. 17059 Респ. Беларусь: МПК F 16 C 13/02, G 01 P 3/44 / Савченко А.Л., Минченя Н.Т., Минченя В.Т.; заявитель и патентообладатель Бел. нац. техн. ун–т. – №а20101764; заявл. 12.07.; опубл. 30.04.2013, Афіцыйны бюл. Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь – 4 с.

13. Савченко, А.Л. Опора качения с повышенной вибрационной стойкостью / А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя, В.Т. Минченя // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 10–й научно–технической конференции, Минск, май 2012: в 4 т. – Мн.: БНТУ, 2012. – Т.2. – С. 196.