

УДК 621.8

## ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИХСЯ ПОДШИПНИКОВ ДЛЯ ГОРНЫХ МАШИН

Сюрсина Е.Е., Воробьева О.И., Кулачек З.Д.

Студенты группы МАБ-231.2

Научный руководитель: Кузин Е.Г., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,  
филиал в г. Прокопьевске

**Аннотация.** В работе приводятся сведения о направлениях повышения ресурса компонентов горных машин, основными из которых являются: совершенствование технического сервиса и совершенствование самих компонентов. Дается обзор истории развития и особенности функционирования самоцентрирующихся двухрядных подшипников применительно к различным машинам в горной промышленности.

**Ключевые слова:** Самоцентрирующийся подшипник, надежность, долговечность, горные машины, спектры вибрации, расцентровка, дисбаланс.

**Abstract.** The paper provides information on the ways to increase the resource of mining machinery components, the main of which are: improvement of technical service and improvement of the components themselves. An overview of the history of the development and features of the functioning of self-centering double-row bearings in relation to various machines in the mining industry is given.

**Keywords:** Self-centering bearing, reliability, durability, mining machines, vibration spectra, misalignment, imbalance.

Актуальность вопросов повышения эксплуатационной надежности горных машин доказывается исследованиями российских и зарубежных авторов. Так в работах [1 - 4] показывается, что обнаружение дефектов подшипников и зубчатых передач редукторов горных машин является одной из наиболее исследуемых задач. Направления повышения ресурса и долговечности компонентов технических систем, особенно на опасных производственных объектах, включает совершенствование систем мониторинга состояния и применение новых технических решений.

Так, стандартные подшипники качения, такие как подшипники с шариковыми канавками или роликоподшипники, прекрасно справляются со своей задачей обеспечения устойчивой опоры только на строго отцентрированном вращающемся валу.

Однако, многие механизмы, особенно в тяжелом машиностроении и горной промышленности, характеризуются сильными ударными нагрузками, вибрациями и неизбежными нарушениями работы соосности валов из-за динамической расцентровки, термической деформации или возникающих де-

фектов конструкции. В таких случаях обычные подшипники, требующие идеального расположения вала, быстро выходят из строя, что приводит к значительному увеличению времени простоя и дополнительных затрат на настройку (центровка и балансировка) [5, 6].

Проблема стала особенно серьезной в начале 20-го века, когда активно развивалось машиностроение, а требования к надежности оборудования неуклонно повышались. В 1907 году шведский инженер Свен Вингквист, работавший на лесопилке, лично занялся решением проблемы. Он отметил, что подшипники производственного оборудования, несмотря на использование высококачественных материалов и тщательный контроль центровки валов, выходили из строя почти ежедневно.

Попытки повысить точность изготовления и использования износоустойчивых инструментов не привели к каким-либо заметным последствиям. Компания Svenska Kullagerfabriken (SKF), созданная Вингквистом провела тщательный анализ механических характеристик и пришла к выводу, что причиной преждевременного износа подшипников является не качество материала, а неизбежные неточности в креплении и работе балок, приводящие к значительным радиальным и осевым нагрузкам на подшипники. Обычные однорядные шариковые и роликовые подшипники, способные выдерживать радиальные нагрузки только при идеальной центровке вала, не справлялись с такими условиями [7].

В обычных подшипниках, даже при незначительном смещении оси вращения, возникает большая нагрузка, что приводит к быстрому разрушению дорожек качения и шариков или роликов. В поисках решения компания SKF разработала специальную конструкцию – двухрядный самоустанавливающийся шарикоподшипник. Основным преимуществом было использование сферического наружного сепаратора. Такая закругленная поверхность позволяет подшипнику автоматически компенсировать небольшое угловое отклонение вала (до 2 - 3 градусов).

Вместо того чтобы требовать полной центровки, подшипник «корректирует» минимальное смещение, равномерно распределяя нагрузку по периметру и предотвращая концентрацию напряжений в определенных областях. Двухрядная конструкция, в свою очередь, обеспечивает повышенную несущую способность и стабильную работу по сравнению с однорядными подшипниками. Это был настоящий прорыв в области машиностроения, который значительно повысил надежность и долговечность многих машин и процессов, работающих в сложных условиях [7].

Изобретение Вингквиста получило широкое применение во всех отраслях промышленности, от автомобилестроения до горнодобывающей промышленности, и продолжает использоваться и развиваться по сей день. Развитие самоустанавливающихся подшипников продолжилось созданием подшипников с различными роликами (сферическими, цилиндрическими, коническими), а также усовершенствованными материалами и технологией изго-

товления, что позволило расширить область их применения и еще больше повысить их надежность и долговечность.

Современные самоустанавливающиеся подшипники успешно используются в сложных условиях работы горных машин и оборудования, характеризующихся высокими температурами, агрессивными рабочими средами и атмосферой и ударными нагрузками, и обеспечивают стабильные механические характеристики.



Рисунок 1 - Самоустанавливающейся двухрядный подшипник

Самоустанавливающиеся подшипники являются важными компонентами многих типов механических систем, где требуется компенсация несоосности и расцентровки, вибронегруженных машин (грохотов, мельниц, центрифуг), при изменении температуры эксплуатации (экскаваторы и карьерный транспорт) при значительном осевом смещении нагрузки (подъемные машины, вентиляторы, насосы).

Каждый подшипник установлен на своей раме, что позволяет устранить потенциальное смещение между рамой и другими блоками. Принцип действия самоустанавливающихся подшипников: основой работы является наличие сферического наружного кольца (роликовой дорожки) и внутреннего кольца, которое может свободно вращаться внутри него. Это позволяет подшипнику адаптироваться к угловому отклонению отверстия. Внутреннее кольцо, вставленное в полость, вращается вместе с ним. Внешнее кольцо, установленное в корпусе, остается неподвижным. Для обеспечения плавного вращения между внутренним и внешним кольцами имеются ролики (или шарики) и разделительный сепаратор (рисунок 1).

Условия эксплуатации при высоких перепадах температур, какие возникают например при работе горных машин на открытых работах, вызывают тепловое расширение (сокращение) материалов, что может привести к изменению геометрии валов и посадочного места подшипника. Самоустанавливающиеся подшипники способны компенсировать эти изменения, сохраняя работоспособность нагруженного узла в широком диапазоне температур [8].

Важно отметить, что при выборе рабочей среды для работы при высоких температурах следует учитывать допустимый температурный диапазон конкретной горной машины и использовать специальные смазочные материалы, способные выдерживать высокие температуры.

Низкая точность изготовления вала и опорных узлов: в условиях ограниченных финансов или массового производства, когда достижение высокой точности изготовления требует больших затрат, использование самоустанавливающихся подшипников становится рациональным эффективным решением. Они устраняют незначительные дефекты формы посадочных поверхностей и корпусных деталей, устраняя необходимость в дорогостоящей доработке, шлифовке и подгонке.

Когда вал отклоняется, ролики перераспределяют нагрузку, компенсируя смещение. В некоторых конструкциях для облегчения установки используется конический внутренний диаметр. Установка и техническое обслуживание: установка самоустанавливающихся подшипников проста, при этом для протяженных и ответственных конструкций целесообразно использовать переходные втулки с правильными допусками и посадками.

На рисунке 2 показан спектр вибрации корпуса подшипника разбалансированной машины, имеющей недопустимый уровень вибрации на оборотной частоте ротора 13,2 мм/с. При этом данный уровень вибрации не был вызван дефектами подшипника а только технологией работы машины. Для таких горных машин применение двухрядного самоцентрирующегося подшипника является необходимым условием.

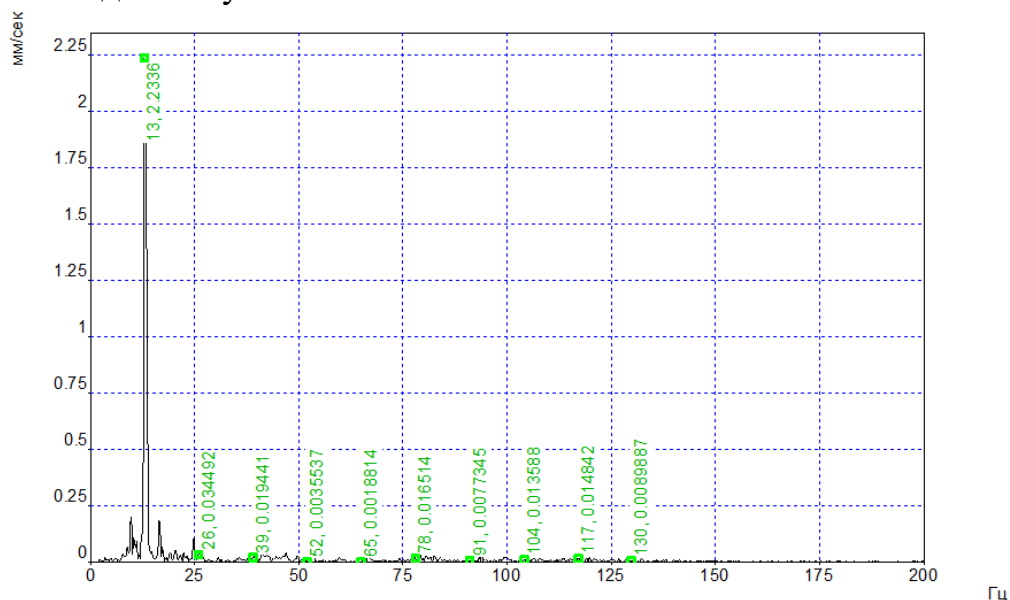


Рисунок 2 – Спектр вибрации динамически разбалансированной машины

Следует отметить, что долговечность работы подшипников в конкретных условиях эксплуатации требует применения соответствующего типа смазочных материалов, как жидких, так и пластичных. Многие узлы с установленными самоцентрирующимися подшипниками целесообразно оснащать датчи-

ками вибрации и температуры для оценки их технического состояния и прогнозирования его изменения.

Таким образом, обеспечение требуемых показателей надежности достигается применением современных технических решений, качественных материалов для пар трения и смазки, оснащение узлов системами мониторинга параметров состояния и проведение требуемого объема технического сервиса на основе оценки данных параметров.

#### Список литературы

1. Rahmani, F.; Makki, E.; Giri, J. Influence of Bearing Wear on the Stability and Modal Characteristics of a Flexible Rotor Supported on Powder-Lubricated Journal Bearings. *Lubricants* 2023, 11, 355. <https://doi.org/10.3390/lubricants11090355>.

2. Кузин, Е. Г. Диагностика приводов ленточных конвейеров по совокупности методов неразрушающего контроля / Е. Г. Кузин // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении (ТЭК-2017) : сборник трудов Международной научно-практической конференции, Кемерово, 18–21 апреля 2017 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 259-266. – EDN YIWWEJ.

3. Распознавание дефектов подшипников качения в редукторах горных машин по параметрам вибрационного сигнала / Б. Л. Герике, Ю. В. Дрозденко, П. Б. Герике [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2017. – № 5(132). – С. 43-48. – EDN ZDMVIZ.

4. Diagnostics of Technical Condition of Gear Units of Belt Conveyors for the Aggregate of Methods of Nondestructive Testing / E. G. Kuzin, M. G. Lupiy, N. V. Grigoryeva [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kemerovo, 18–21 апреля 2017 года. – Kemerovo, 2017. – P. 012013. – DOI 10.1088/1757-899X/253/1/012013. – EDN ZRMDVV.

5. Diagnostics of Technical Condition of Gear Units of Belt Conveyors for the Aggregate of Methods of Nondestructive Testing / E. G. Kuzin, M. G. Lupiy, N. V. Grigoryeva [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kemerovo, 18–21 апреля 2017 года. – Kemerovo, 2017. – P. 012013. – DOI 10.1088/1757-899X/253/1/012013. – EDN ZRMDVV.

6. Кузин, Е. Г. Диагностика технического состояния редукторов шахтных ленточных конвейеров / Е. Г. Кузин, Б. Л. Герике // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 8. – С. 47-55. – DOI 10.25018/0236-1493-2017-8-0-47-55. – EDN ZEGENC.

7 SKF компания по производству подшипников. <https://www.modernmachinery.ru/home/brendy/brend-skf.html#>.

8. Подшипниковые узлы современных машин и приборов: Энциклопедический справочник / Под общей ред. В.Б. Носова. – М.: Машиностроение, 2019. – 640 с.