

УДК 62-233.27

А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор

А. А. Пушкарева, аспирант

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР

*В данной статье проведен анализ факторов, влияющих на работоспособность подшипников. Рассмотрены методы их расчета. Проведен анализ конструкций подшипниковых опор. Изучен метод получения полной физической картины процесса деформирования и разрушения элементов подшипника во время эксплуатации. Определены направления исследования. Предложена новая конструкция стэнда для испытания подшипниковых опор с неравножестким корпусом.*

**Ключевые слова:** подшипники, стэнды для испытания подшипников, метод расчета, новая конструкция.

Подшипниковые опоры – это один из самых распространенных узлов машин различного типа и принципа действия. Огромную группу, содержащую значительное число опор, представляют поточные технологические машины и оборудование. К техническому оборудованию можно отнести, например, бумаго- и картоноделательные машины, прокатные станы, линейные и формовочные машины, кузнечно-прессовое оборудование. Также подшипники используются и в транспорте. Машины, самолеты, поезда. Большое число подшипников содержится в железнодорожном транспорте. Для всех этих видов средств передвижения и оборудования важную роль играет правильный и обоснованный подбор типа подшипника и сопряженных с ним деталей. Качество деталей узла и обеспечение требований монтажа подшипника в корпус оказывает существенное влияние на долговечность опоры.

Подшипник – это техническое устройство, которое является частью опоры, поддерживает ось, вал или какую-нибудь другую конструкцию, обеспечивает возможность вращения и/или перемещения (линейное) с минимальным сопротивлением, принимает нагрузку и передает ее на другие части изделия.

Известно множество подшипников различных видов и размеров. Применяются все новые технологии для изготовления более качественных, имеющих большую долговечность подшипников. Создают тела качения и кольца подшипников из различных материалов все также для повышения надежности подшипника. Подшипники выбираются исходя из его способности воспринимать тот или иной вид нагруз-

ки, а также требуемой частоты вращения. Каждый тип подшипника предназначен для конкретных условий работы механизма. Неправильно подобранный подшипник быстро выйдет из строя. Подшипники испытывают радиальные, осевые нагрузки. Для уменьшения влияния вибраций, снижения потерь на трение необходимо рационально распределить эти нагрузки.

Большую роль в перераспределении нагрузки между подвижными элементами подшипника играет и сама опора. Конструкция подшипниковых опор [1] зависит от назначения механизма, условий его монтажа и эксплуатации, величины и направления действующих нагрузок, требуемой долговечности, частоты вращения, состояния внешней среды и температурных условий, а также от общей компоновки механизма и технологических возможностей изготовления. Корпуса механизмов оказывают существенное влияние на подшипники. Если корпус будет неравножесткий, то его воздействие на подшипник достаточно сложно определить. Многие конструкторы при разработке новых корпусов учитывают существующие рекомендации по расчету и технологии сборки подшипниковых опор. Как результат, в некоторых случаях подшипники служат маленький срок, что приводит к остановке работы механизма на период демонтажа-монтажа подшипника.

Анализ условий эксплуатации подшипниковых узлов показал, что для расчета нагрузочной способности и долговечности, исключая гибкие подшипники, необходимо учитывать большое число различных по природе факторов (рис. 1).

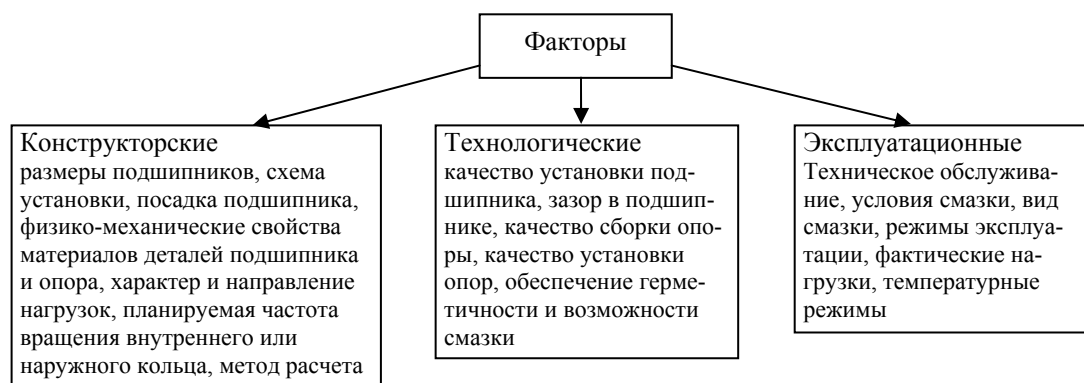


Рис. 1. Факторы, влияющие на долговечность подшипников

При реализации конструкторского подхода широко применяются различные методы расчета и математического моделирования работы подшипникового узла.

Например, широко применяется метод расчета параметров опоры, в котором рассматривают работу подшипника в комплекте с конструкцией вала и корпуса, имеющего название ПВК [2]. Метод ПВК с использованием ЭВМ позволяет более точно определять нагрузки на опоры с учетом жесткости и погрешностей изготовления сопряженных с подшипниками деталей, оценивать влияние перекосов колец на расчетный ресурс и т. д. В данном методе определяются минимальные осевые нагрузки на подшипники, осевые реакции опор, эквивалентные динамические радиальные нагрузки. Но в этом расчете не учитывается направление нагрузки, что особенно важно для тяжело нагруженных и гибких подшипников, которые применяются в волновых редукторах.

При работе подшипниковых опор на разных скоростях, на наш взгляд, реакция изменяет направление, вызывая тем самым перераспределение нагрузки на тела качения, сепаратор и кольца, следовательно, изменяется НДС и нагрузочная способность, что не учтено в проводимых ранее работах [3].

Исследованиями процесса разрушения подшипников и моделированием развития трещины с помощью метода конечных элементов эффективно занимаются в Российской академии наук под руководством Ю. Г. Матвиенко, М. А. Бубнова. Анализ исследований [4] показал, что применение численных методов расчета и моделирование процессов разрушения составных элементов подшипника позволяет проследить эволюцию зарождения и развития трещины, разрушения подшипника с учетом динамических эффектов. Авторами установлено [5], что картина НДС при пиковом нагружении от цикла к циклу качественно не изменяется.

Достоинством данного метода является получение полной физической картины процесса с учетом динамических эффектов, возможность применения различных моделей деформирования и разрушения материалов. В статье рассмотрена плоская задача контакта ролика и вала, что не позволяет учитывать влияние осевых эффектов на динамические поля напряжений и деформаций. Увеличение числа контактирующих тел в сочетании с неравножесткими опорами и изменяемыми условиями контактного взаимодействия значительно усложнит решение объемной задачи. Особую роль в этом случае будут играть правильно заданные граничные условия, величина и вид конечных элементов, обоснованность принятых допущений и качество математических моделей, разрабатываемых на кафедре «Мехатронные системы» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова.

С целью проверки адекватности математических моделей и результатов моделирования применяются экспериментальные методы проверки в комбинации с методами планирования научного эксперимента.

Испытания новых подшипников выполняют для контроля качества, оценки эффективности и соответ-

ствия установленным параметрам. Подшипники исследуют на долговечность, на износостойкость и многое другое. Для этого применяются стенды.

Проведенный анализ существующих конструкций для испытаний подшипников показал, что существуют стенды для испытания, в которых подшипники нагружаются центробежными силами грузов, эксцентрично закрепленных на вращающемся валу [6]. Стенды инерционного типа, не обеспечивающие условий нагружения испытуемых подшипников, близких к эксплуатационным, стенд для испытания подшипников, воспринимающих осевое усилие [7, 8], и многие другие. Но все стенды уже устарели, не обеспечивают высокую точность испытаний. Стенд, разработанный В. Н. Прокопьевым и Б. Н. Шустерманом [9], позволяет проводить испытания подшипников в условиях нагружения, близких к эксплуатационным, и тем самым повышается точность испытания и сокращаются сроки испытания и доводки конструкции подшипниковых узлов (рис. 2).

Также появились более современные стенды. Модернизированный стенд СМТ 1 [10] предназначен для испытаний на трение, износ материалов по схеме вал – втулка, диск – диск и др. Установка имеет узел для испытаний осевых подшипников УЭЦН (I) и узел для испытания радиальных подшипников УЭЦН (II). Стенд снабжен картером для проведения испытаний в различных средах (масло, вода). Применение системы самоустановки образцов позволяет получать достоверные результаты. Но сколько бы ни проводилось испытаний на подшипники, результаты оставляют желать лучшего. Для оценки влияния конструкции корпуса опоры подшипника на его долговечность необходимо провести дополнительные исследования.

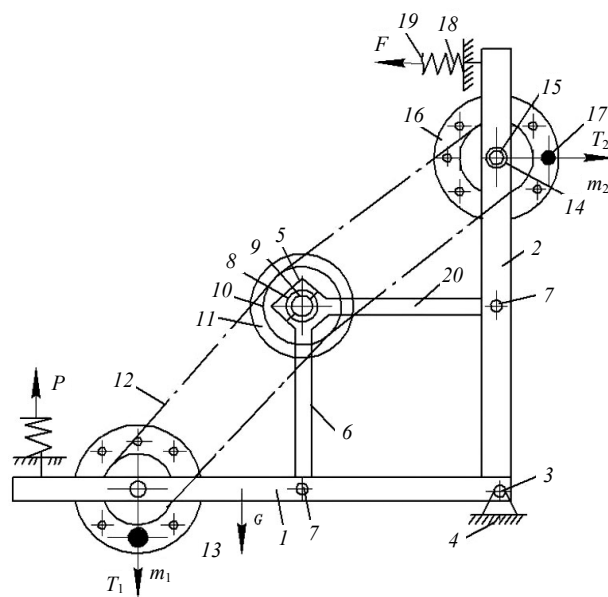


Рис. 2. Стенд для испытания подшипников (В. Н. Прокопьев, Б. Н. Шустерман)

Для оценки угловой величины смещения реакции в опоре на кафедре «Мехатронные системы» ИжГТУ

имени М. Т. Калашникова разработан стенд (рис. 3), состоящий из электродвигателя 1, муфты 2, подшипникового узла 3, цангового патрона 4, подшипниковой опоры с испытуемым подшипником 5, узла радиального нагружения 6, виброопор 7, качающейся опоры 8 и ИДНС 9.

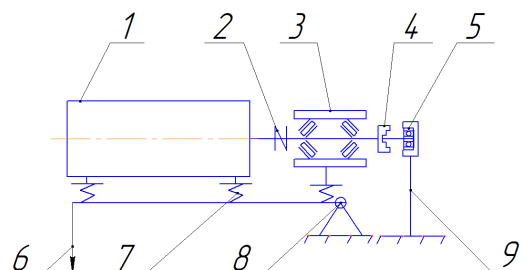


Рис. 3. Кинематическая схема разрабатываемого стенда

Предложенная конструкция позволяет изменять жесткость опор, типы подшипников, скорость вращения, направление внешней нагрузки при одновременном обеспечении высокой точности измерений. По результатам исследований предложить новую конструкцию подшипниковых опор.

Целью нашей работы является повышение нагрузочной способности и долговечности подшипниковых опор на основе совершенствования методов расчета и проектирования корпусов, имеющих переменную жесткость. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ методов расчета подшипниковых опор.
2. Изучить нормативно-техническую базу, особенности эксплуатации подшипниковых опор.

3. Разработать и изготовить автоматизированный стенд для испытания неравножестких подшипниковых опор.

4. Разработать математическую модель подшипниковой опоры.

5. Установить зависимости НДС и долговечности подшипника от геометрических параметров неравножестких корпусов.

6. Разработать инженерную методику проектирования корпусов опор.

7. Предложить новую конструкцию подшипниковых опор.

#### Библиографические ссылки

1. Перель Л. Я., Филатов А. А. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор : справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 606 с. : ил.

2. URL: <http://www.reductory.ru/literatura/detali-mashin-gjakhovskii/razrobotan-metod-rascheta-opor-poluchivshii-nazvanie-pvk-podshipnik-val-korpus.html>.

3. Матвиенко Ю. Г., Бубнова М. А. Контактное взаимодействие и разрушение поверхностного слоя в условиях трения качения и заклинивания. – М. : Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2009. – № 4. – 43–49 с.

4. Там же.

5. Там же.

6. Стенд для испытания подшипников : пат. 690356 / Прокопьев В. Н., Шустерман Б. Н.

7. А. с. 179069 СССР Р, кл. С 01 И 1304, 10. 11. 196. Установка для исследования подшипников качения / К. В. Подмастерьев, В. В. Мишин. – (патент RU 2110055).

8. Пат. 2213337 / Козлов М. Т., Жеребцов Е. П., Калачев И. Ф., Котин А. П., Тухватуллин Р. Р.

9. Стенд для испытания подшипников : пат. 690356 / Прокопьев В. Н., Шустерман Б. Н.

10. URL: <http://www.imresurs.ru/pages/ispitaniya.html>.

\*\*\*

A.V. Shchenyatskiy, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

A. A. Pushkareva, Post-graduate, Kalashnikov ISTU

#### Analysis of calculation methods and experimental tests of the load capacity of bearings.

The analysis of factors having influence on functionality of bearings is carried out in the article. The computing methods of these factors are considered. The analysis of structures of bearing supports is carried out. The method of obtaining a complete physical picture of deformation process and failure of bearing elements during operation is examined. The new design of test bench is suggested. The research guidelines are defined.

**Keywords:** bearings, stands for bearing tests, calculation method, new construction.

Поступило: 11.02.15