

УДК 681.5.011; 621.9.048.4

DOI: 10.22213/2410-9304-2017-1-74-77

А. А. Имангулова, аспирант  
 Р. А. Рудин, магистрант  
 К. А. Горбунова, магистрант  
 ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР

Статья посвящена проблеме расширения функциональных возможностей стенда для проведения ускоренных испытаний подшипниковых опор. В данной работе описывается функциональная схема стенда, изготовленного на кафедре «Мехатронные системы». Были предложены двигатель, передача, которые используются на стенде. Рассмотрены задачи, которые необходимо решить с помощью изготовленного стенда. Основной задачей является автоматизация процесса испытания и упрощение накопления и обработки экспериментальных данных. В стенде для визуализации результатов экспериментального исследования применяется жидкокристаллический индикатор ЖКИ, но информации об эксплуатационном цикле подшипника ЖКИ явно недостаточно. Для решения этого вопроса предложено в функциональную схему стенда включить три системы: информационную (блок сенсорных устройств, тепловизор и ИДНС), энергоэлектронную (силовые полупроводниковые преобразователи) и электромеханическую (содержит электромеханические преобразователи). Предложенная информационная подсистема позволяет расширить функциональные возможности стенда. Каждая система подробно описана. Данная схема системы представлена в статье. Для определения количества циклов нагружений, вибраций, для измерения величины радиальной составляющей вибрации наружного кольца подшипника, температуры, в зависимости от диапазона рабочей температуры, предложено выбрать датчики, удовлетворяющие нашим требованиям. Стенд может имитировать циклы нагружения методом ускоренных испытаний. Оценка влияния выбранных факторов на долговечность подшипникового узла проводится на основе результатов, полученных в соответствии с планом эксперимента. В данной статье рассмотрен один из методов, это метод Локати. Рассмотрены причины погрешностей данного метода. При использовании метода Локати получают несколько завышенные результаты, но наиболее близкие к действительным значениям.

**Ключевые слова:** функциональная схема управления стендом, анализ экспериментальных данных, вибрационный анализ подшипников, ускоренные испытания подшипников, метод Локати.

Продолжительность работы подшипников и подшипниковых опор является актуальной проблемой. Чтобы увеличить срок действия подшипников, необходимо проводить испытания. Существует много установок для испытания подшипников [1], каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. На кафедре «Мехатронные системы» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова разработан стенд, предназначенный для анализа технического состояния подшипников

и оценки влияния неравножесткого корпуса на работоспособность опоры. Конструкция стенда была разработана с учетом существующих технических и промышленных решений. Все элементы стенда размещаются на сварной раме размером 600 × 143 × 240, состоящей из швеллера № 10 и 14. Для испытаний был выбран асинхронный двигатель из-за его простоты конструкции, надежности и небольшой стоимости. Технические характеристики двигателя представлены в таблице.

### Технические характеристики электродвигателя АИР 80В2

Мощность	Частота вращения	Ток при 380В	КПД	Масса
2,2 кВт	2880 об/мин	4,6 А	83 %	15 кг

Испытания проводятся при частоте вращения подшипника 6000 об./мин, поэтому используется ременная передача с передаточным отношением  $U = 2$ . По техническим характеристикам выбрали ременную передачу ВАЗ 2108.

К основным задачам, решаемым с помощью стенда, можно отнести: имитацию циклов эксплуатации подшипника; измерение значений и запоминание вибропараметров в режиме реального времени; температуры подшипника; количество циклов нагружения, а также определение направления и величины реакции в подшипниковой опоре, которая может отклониться на некоторый угол в зависимости от скорости вращения или технического состояния подшипника. Для сокращения времени испытаний, в соответствии с методом Локати, в конструкции стенда предусмотрена возможность автоматического ступенчатого изменения нагрузки по требуемому закону.

В стенде для визуализации результатов экспериментального исследования применяется жид-

кокристаллический индикатор ЖКИ. Однако, на наш взгляд, для получения полной информации об эксплуатационном цикле подшипника ЖКИ явно не достаточно. Мониторинг всех измеряемых параметров в режиме реального времени с помощью возможностей ЖКИ является трудоемкой задачей, такой способ не позволяет осуществлять накопление и наглядную визуализацию данных, т. е. строить графики, карту нагрева (при помощи тепловизора) и отображать направление реакции опоры подшипника.

Следовательно, становится актуальной разработка микропроцессорной системы, позволяющей автоматизировать процесс испытания и упрощающей накопление и обработку экспериментальных данных. Программное обеспечение должно устранить все недостатки вывода данных эксперимента, связанные с применением малоинформативного ЖКИ.

На сегодняшний день существует большое разнообразие микропроцессорных систем. Наиболее широ-

кое применение нашли микропроцессорные системы на программируемых контроллерах. Выбор контроллера обуславливается множеством факторов: качеством и областью применения устройства, его функциональным назначением, ценой на разработку, производство и эксплуатацию изделия, квалификацией проектировщика изделия [2]. Предлагаемая функциональная схема микропроцессорного устройства управления и анализа экспериментальных данных отображена на рисунке.

Функциональная схема включает три системы: информационную, энергоэлектронную и электромеханическую.

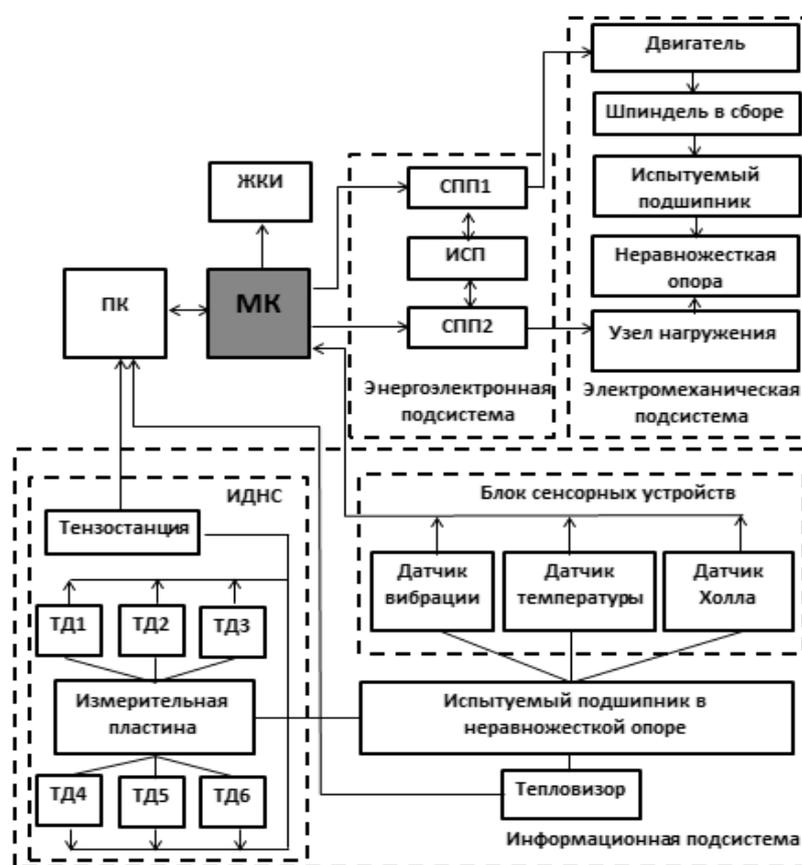
Электромеханическая подсистема содержит электромеханические преобразователи, такие как двигатель для вращения подшипника и узел нагружения для приложения радиальной нагрузки.

Энергоэлектронная подсистема включает силовые полупроводниковые преобразователи (СПП1 для

двигателя, СПП2 для узла нагружения) и источник силового питания (ИСП).

Информационная подсистема содержит блок сенсорных устройств, тепловизор и ИДНС (интегральный датчик направления силы), описанный в работе [3]. Он представляет собой металлическую пластину с тензодатчиками (ТД1...ТД6). Деформация пластины, измеряемая при помощи тензодатчиков и тензостанции, определяет угол отклонения силы реакции опоры от вертикали.

Ядром микропроцессорного устройства является микроконтроллер (МК), имеющий в своем составе USB-драйвер для передачи экспериментальных данных на компьютер (ПК), 10-разрядный аналогово-цифровой преобразователь для обработки аналоговых сигналов с датчиков вибрации и температуры. В качестве микропроцессорного устройства применяется ArduinoUno [4].



Функциональная схема стенда

Блок сенсорных устройств включает датчик для слежения за количеством испытанных циклов нагружения, температурный датчик и датчик для слежения за вибрацией. При резком повышении температуры или уровня вибрации, предшествующие разрушению подшипника, МК останавливает двигатель и узел нагружения.

Для определения числа циклов нагружения применяем датчик «Холла» модели SS461A [5]. Время переключения составляет 1,5 мкс, что позволяет использовать его для подсчета числа цик-

лов нагружения при планируемой скорости вращения шпинделя.

Датчик вибрации, или вибропреобразователь, измеряет величину радиальной составляющей вибрации наружного кольца подшипника путем преобразования механических колебаний в электрический сигнал. Для обеспечения требуемого качества получаемых данных и работоспособности стенда, в том числе и при значительных вибрациях, необходимо провести анализ основных типов вибропреобразователей, выдающих сигналы, номинально пропорцио-

нальные виброперемещение, виброскорости или виброускорению.

Согласно ГОСТ Р (ИСО 15242-1:2004) [6] вибрация наружного кольца является сложной суперпозицией смещений различных амплитуд при различных частотах. Хотя отдельные высокие амплитуды могут иметь место даже при высоких частотах (особенно для поврежденных подшипников), но в основном амплитуды уменьшаются с увеличением частоты и снижаются до нанометровой величины при нескольких килогерцах. Системам, измеряющим виброперемещение, необходимо иметь очень широкий динамический диапазон, что усложняет выдачу надежных результатов в диапазоне высоких частот. Вибропреобразователи ускорения, которые тоже должны иметь широкий динамический диапазон, достаточно легко его достигают. Недостатком вибропреобразователей ускорения является сравнительно большая подвижная масса. Поставленные в исследовании задачи можно решить с помощью вибропреобразователя скорости, измеряющего параметры относительно неподвижных координат. В качестве вибропреобразователя скорости решено использовать ADXL335 – аналоговый акселерометр [7].

Температурный датчик выбирается в зависимости от диапазона рабочей температуры. Предполагается, что температура подшипника не будет превышать 150 °С, поэтому выбирается аналоговый линейный датчик температуры DFR0023 [8], который обеспечивает измерение температур в диапазоне –40 ... +150 градусов.

Открытая архитектура микроконтроллера позволила запрограммировать работу стенда на разные режимы работы. Например, стенд может имитировать циклы нагружения методом ускоренных испытаний. Ускоренные испытания имеют большое значение, так как на предприятиях и в проектных организациях чаще всего нет возможности проводить длительные и дорогостоящие испытания на усталость как образцов материалов, так и готовых изделий. Тем не менее развитие современной науки и техники в области авиации, машиностроения, атомной энергетики и других отраслей требует расширения круга вопросов, подлежащих исследованию в области усталости материалов.

Одним из методов ускоренных испытаний является метод Локати [9]. Метод основан на линейной гипотезе суммирования повреждений [10], он предлагает определение предела выносливости по результатам испытания одного образца при ступенчатом увеличении нагрузки. Методом Локати получают несколько завышенные результаты, но наиболее близкие к действительным значениям. Погрешность метода составляет 3–25 %, усреднение испытаний – в 15–20 раз. Погрешности метода Локати могут объясняться отклонениями от гипотезы линейного суммирования повреждений, вызванных упрочнением материала при низких напряжениях (эффект тренировки), а также ошибками в выборе условных кривых усталости. Точность метода Локати во многом зависит от средней ско-

рости роста напряжения, так как при изменении последней меняется сумма относительных долговечностей [11].

Несмотря на то, что метод Локати применяется, главным образом, для деталей с определенной кривой выносливости [12], на наш взгляд, при научно обоснованных режимах нагружения и параметрах условных кривых выносливости его можно применить для сравнительной оценки долговечности сборочных узлов, таких как подшипники качения.

Обработка результата натурного эксперимента проводится в соответствии с рекомендациями для данного метода. Все испытания проводятся в соответствии с теорией планирования научного эксперимента.

### Заключение

Разработана функциональная схема автоматизированного стенда для испытаний подшипников и оценки влияния опоры на долговечность работы подшипника. Стенд состоит из трех подсистем: информационной, энергоэлектронной и электромеханической. Описан состав информационной подсистемы, которая запоминает и выдает данные о техническом состоянии подшипника при помощи блока сенсорных устройств и интегрального датчика направления силы (ИДНС). Предложенная информационная подсистема позволяет расширить функциональные возможности стенда. Для снижения сроков проведения испытаний предложено применять ускоренный метод Локати, который основан на ступенчатом увеличении нагрузки по определенной программе, что позволяет уменьшить время испытаний в 15–20 раз при сравнительно невысокой погрешности, составляющей 3–25 %. Оценка влияния выбранных факторов на долговечность подшипникового узла проводится на основе результатов, полученных в соответствии с планом эксперимента.

### Библиографические ссылки

1. Щенятский А. В., Рудин Р. А., Горбунова К. А., Имангулова А. А. Совершенствование стендов для испытания подшипниковых опор // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 2. – С. 80–84.
2. Микропроцессорные системы в учебном процессе / П. Г. Андреев, И. Ю. Наумова, Н. К. Юрков, Н. В. Горячев, И. Д. Граб, А. В. Лысенко // НиКа. – 2009.
3. Там же.
4. ArduinoUno. – URL: [Электронный ресурс] URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno> (Дата обращения 10.07.2015).
5. Датчик Холла SS461A DATASHEET. – URL: <http://kazus.ru/datasheets/pdf-data/4383587/HONEYWELL/SS461A.html> (дата обращения: 10.07.2015).
6. Подшипники качения. Методы измерения вибрации. – Ч. 1. Основные положения ГОСТ Р (ИСО 15242-1:2004).
7. ADXL335 – аналоговый акселерометр. – URL: <http://research.andbas.com/2012/07/adxl335.html> (дата обращения: 10.07.2015).
8. DFR0023 Аналоговый линейный датчик температуры на базе LM35. – URL: <http://www.hobbylab.ru/catalog/comps/temp/dfir0023/> (дата обращения: 10.07.2015).

9. Оценка предела выносливости методом Локати. – URL: [http://mysopromat.ru/uchebnye\\_kursy/ustalost/metody\\_uskorenykh\\_ispytaniy\\_na\\_ustalost/metod\\_lokati/](http://mysopromat.ru/uchebnye_kursy/ustalost/metody_uskorenykh_ispytaniy_na_ustalost/metod_lokati/) (дата обращения: 07.05.2015).

10. Там же.

11. Там же.

12. Ромашов П. В. Обоснование выбора ускоренных методов определения предела выносливости материалов // Всероссийская научно-методическая конференция. – Оренбург, 2014.

\* \* \*

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

R. A. Rudin, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU

K. A. Gorbunova, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU

#### Widening the Functional Scope of the Stand for Accelerated Tests of Bearing Supports

*The paper is devoted to the problem of widening the functional scope of the stand for carrying out the accelerated tests of bearing supports. The functional scheme of the stand produced at the "Mechatronic systems" department is described. A certain engine and gear are proposed to be used in the stand. Problems to be solved by means of the produced stand are considered. The main problem is the automatization of the testing process and simplifying the accumulation and processing of experimental data. To visualize the results of experimental research, the stand includes the liquid crystal display (LCD), but there is insufficient information on the operational cycle of the LCD bearing. To solve this problem, it is proposed to include three systems into the functional scheme of the stand: information (block of sensor devices, thermal imaging device and IDNS), energy electronic (power semi-conductor transducers) and electric mechanic (containing electric mechanic transducers). The proposed information subsystem allows for widening the functional scope of the stand. Each system is described in details. In order to determine the number of loading cycles, vibrations, to measure the value of the radial component of vibration for the outer bearing ring, the temperature depending on the range of operating temperatures, it is proposed to choose the sensors that meet our requirements. The stand can imitate the loading cycles by the method of accelerated tests. Assessment of the influence of the chosen factors on durability of the bearing unit is carried out based on the results obtained in accordance with the plan of experiments. The paper considers one of the methods – the Locati method. Causes of errors for this method are considered. When applying the Locati method, a little uprated results are obtained, but they are the closest to the actual values.*

**Keywords:** functional scheme, stand control, analysis of experimental data, vibration analysis of bearings, accelerated tests of bearings, Locati method.

Получено: 01.03.17