

ВИБРАЦИОННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ СУШИЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Сиваков В.П.¹, Микушина В.Н.¹, Степанова Е.Н.¹

¹ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, Россия (620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37), e-mail: rector@usfeu.ru

Рассмотрены причины и негативные последствия вибрации узлов объектов, аргументировано значение вибрационной диагностики для поддержания технических объектов в работоспособном состоянии. Произведены измерения вибрационных сигналов подшипников сушильных цилиндров бумагоделательных машин при установившейся рабочей скорости и регламентированном технологическом режиме выпуска продукции. На основе рассчитанных статистических параметров вибрации и вычислении критерия Кохрена по двенадцати сериям параллельных измерений выполнена оценка воспроизводимости проведённого эксперимента. Построена схема контурного графика виброскорости массива однотипных подшипниковых узлов сушильных цилиндров с нанесением уровней оценок вибрации и делением на участки соответствующих режимов технического состояния оборудования. На основе экспериментальных данных произведено сравнение уровней вибрации дефектного подшипника сушильного цилиндра с допустимыми значениями вибрации для контролируемого массива. Авторами предложен метод оценки технического состояния подшипников сушильных цилиндров по изменению вибрации за период подконтрольной эксплуатации.

Ключевые слова: сушильные цилиндры, подшипниковые узлы, техническое состояние, вибрация, измерения, расчёт.

VIBRATING DIAGNOSING OF A TECHNICAL CONDITION OF THE BEARING OF THE DRYING CYLINDER OF A PAPER MACHINE

Sivakov V.P.¹, Mikushina V.N.¹, Stepanova E.N.¹

¹ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia (620100, Yekaterinburg, street Sibirsky tract, 37) e-mail: rector@usfeu.ru.

The causes and negative effects of vibration nodes objects, argued the value of vibration diagnostics for the maintenance of technical objects in working condition. Measured the vibration signals bearings drying cylinders in paper machines at a steady operating speed and regulated by the technological mode of output. Based on the calculated statistical parameters of vibration and calculating the Cochran's Q test for twelve series of parallel measurements estimated reproducibility of the experiment conducted. A scheme of vibration velocity contour plot of the array of the same type of bearing assemblies drying cylinders with the application of rating levels of vibration and dividing by the portions of the respective modes of the technical condition of the equipment. The experimental data are compared vibration levels of the defective bearing of the drying cylinder with valid values for vibration controlled array. The authors proposed a method for assessing the technical condition of the bearings drying cylinders to change the vibration of the controlled period of operation.

Keywords: drying cylinders, bearing units, technical condition, vibration, measurements, calculation.

С увеличением сложности технических объектов непрерывно возрастает роль методов и средств поддержания их в работоспособном состоянии в процессе эксплуатации. Сложность объектов при прочих равных условиях снижает надежность, качество и эффективность выполнения заданных функций, причем это компенсируется не только повышением надежности отдельных элементов, но и рациональным техническим обслуживанием в процессе эксплуатации. Применение автоматизированных методов и средств технического диагностирования представляет значительный резерв повышения качества, надежности и производительности технических объектов. Техническое

диагностирование позволяет изучать и устанавливать признаки неисправности (работоспособности) оборудования, устанавливать методы и средства, при помощи которых дается заключение о наличии (отсутствии) дефектов. Техническая диагностика решает вопросы прогнозирования остаточного ресурса и безотказной работы оборудования в течение определенного промежутка времени. В соответствии с общей тенденцией развития машин увеличиваются рабочие параметры и единичные мощности агрегатов с одновременным снижением их удельной металлоемкости, что приводит к возрастанию их виброактивности [5].

Одной из основных целей создания нового, а также модернизации и эксплуатации существующего оборудования бумажной и лесоперерабатывающей промышленности является создание условий для обеспечения его средствами технической диагностики. В современных задачах диагностики электромеханического и механического оборудования совершающего вращательные движения, множество диагностических задач решается методами вибрационной диагностики и мониторинга, и именно они в основной своей части составляют любые системы технического диагностирования. При разработке нового ответственного оборудования большинство производителей уже на протяжении нескольких лет комплектуют его системами диагностики и мониторинга, в большинстве случаев объединяя их функционально с автоматическими системами управления. Но на оборудовании находящемся в режиме эксплуатации в России все еще работа по введению систем диагностики, даже без функционального объединения их с автоматическими системами, ведется на крайне низком уровне. И это несмотря на то, что использование нового поколения систем вибрационной диагностики не требует серьезных капитальных вложений и окупается в два-три месяца [1].

Вибрация – это один из наиболее информативных параметров, который может быть применен для оценки текущего технического состояния (ТС) оборудования. Обследование производится на работающем оборудовании, без нарушения производственного цикла, т.к. останов, визуальный осмотр и ревизия оборудования не всегда возможны и целесообразны. При этом значительно снижается вероятность возникновения аварийной ситуации, а ремонт проводится только тогда и там, где это действительно необходимо. При интенсивной вибрации увеличиваются динамические нагрузки, интенсифицируется износ и повреждения деталей машин, снижаются качественные показатели продукции, например качество бумаги, вырабатываемой на бумагоделательных машинах. Одним из путей совершенствования технического обслуживания и ремонта оборудования с целью сокращения затрат на поддержание его в работоспособном состоянии является разработка и внедрение вибродиагностики. Вибрация является интегральным показателем качества и ТС машины.

Вибрационное диагностирование концептуально рассматривается как составная часть технического обслуживания оборудования производства целлюлозы.

Процесс сушки полотна является наиболее важной технологической стадией производства бумаги на бумагоделательной машине. Качественное регулирование процесса сушки важно в связи с тем, что по многим видам эксплуатационных затрат это наиболее затратная часть, она во многом определяет качество бумажного полотна. Так, на долю сушильной части приходится окончательное формирование бумажного полотна и образование тех или иных дефектов, связанных с влажностью и пересушкой и перегревом полотна, равномерностью влажности по поперечному и продольному сечению полотна.

Сушильные части состоят из значительного количества однотипных по конструкции сушильных цилиндров (СЦ). Подшипниковые опоры СЦ имеют одинаковые подшипники качения. При вращении СЦ от нагрузок режима работы в подшипниках генерируется вибрация. Поскольку СЦ имеют одинаковую скорость вращения и незначительно отличающиеся в режиме работы нагрузки, вибрация исправных подшипников СЦ происходит в одном частотном диапазоне и имеет незначительные статистически достоверные отклонения уровней (виброперемещения, виброскорости и др.). По измерениям вибрационных сигналов от подшипников и сравнению их уровней с допустимыми в настоящее время достаточно объективно определяют их ТС.

Цель исследования: разработка методики определения дефектных подшипников СЦ бумагоделательных машин с целью прогнозирования их ТС для предупреждения аварийных отказов.

Материал и методы исследования. Для обнаружения дефектных подшипников СЦ предлагается контроль их вибрации. Измерения вибрационных сигналов производились при установившейся рабочей скорости и регламентированном технологическом режиме выпуска продукции. Для определения значений вибрации подшипников СЦ применялся датчик вибрации Metrix ST6917 с диапазоном частот: от 3 до 1000 Гц. Измерения вибрации пятидесяти подшипников СЦ совершались с лицевой стороны СЦ в однотипных точках на протяжении двадцати месяцев.

Для сушильной части, удовлетворяющей условиям работоспособного состояния, при расчётах допустимых параметров вибрации подшипников СЦ целесообразно использовать однотипность узлов и нагрузок режима работы. При измерении всех подшипниковых узлов принимаем, что в работоспособной сушильной части СЦ и их подшипники также удовлетворяют условию работоспособности.

Измеренную выборку значений вибрации однотипных подшипниковых узлов проверяем на наличие грубых ошибок по критерию Стьюдента [3]. Грубые ошибки

исключаем из дальнейших расчётов и обработки данных. Определяем среднее арифметическое значение выборки значений вибрации \bar{v} и среднее квадратическое отклонение S^2 (табл.1).

Таблица 1

Экспериментальные данные для оценки воспроизводимости эксперимента

№ серии опыта	Результаты измерений параллельных опытов	Среднее арифметическое значение функции отклика \bar{v}_j	Дисперсия выборки S_j^2
1	1,2; 0,64; ...1,5	1,38	0,50
2	0,9; 0,65; ...2,3	1,27	0,35
3	0,64; 0,9; ...1,7	1,55	0,35
4	1,5; 0,7; ...1,8	1,61	0,40
5	0,6; 0,66; ...1,7	1,31	0,30
6	0,5; 0,8; ...1,5	1,41	0,37
7	0,6; 0,8; ...1,8	1,41	0,33
8	0,53; 0,8; ...2,2	1,53	0,31
9	0,63; 0,6; ...2,2	1,37	0,21
10	1,0; 0,8; ...1,2	1,34	0,27
11	0,8; 0,9; ...1,6	1,29	0,27
12	1,3; 0,8; ...1,6	1,47	0,30

Для оценки изменчивости вибрации i -тых подшипников как случайных величин определяем вариационный коэффициент (табл. 2):

$$V = 100S/\bar{v} (\%) \quad (1)$$

Расчётное число параллельных измерений вибрации для оценки воспроизводимости эксперимента вычисляем по формуле:

$$n = Vt/q, \quad (2)$$

где t – табличный критерий Стьюдента, $t=1,64$ при вероятности $P=0,9$,

q – уровень значимости; для производственного эксперимента принимаем равным 10.

Таблица 2

Расчётные данные для оценки воспроизводимости эксперимента

№ серии опыта	Вариационный коэффициент V , %	Число параллельных измерений вибрации n
1	50,89	8,35
2	46,77	7,67

3	38,02	6,23
4	39,19	6,43
5	42,11	6,91
6	43,25	7,09
7	40,62	6,66
8	36,24	5,94
9	33,49	5,49
10	38,68	6,34
11	40,14	6,58
12	37,34	6,12

Для оценки воспроизводимости эксперимента производим 12 серий параллельных измерений значений вибрации подшипниковых узлов при одних и тех же условиях работы сушильной части. По найденным значениям дисперсии выборки рассчитываем критерий Кохрена:

$$G_p = (S_j^2)_{max} / \sum_{j=1}^n S_j^2, \quad (3)$$

где $(S_j^2)_{max}$ – максимальное значение из рассчитанных дисперсий в сериях измерений вибрации, $(S_j^2)_{max}=0,5$,

n – количество серий опытов, n=12.

Из сравнения $G_p = 0,125$ с табличным $G = 0,25$ делаем вывод, что эксперимент воспроизводим, а оценки дисперсий однородны.

Каждой сушильной части характерны специфические закономерности изменения параметров ТС её конструкционных элементов (подшипниковых узлов). Закономерности изменения параметров ТС подшипников СЦ подразделяются на следующие виды: 1– от наработки, 2 – от случайных процессов, 3 – от процессов восстановления.

Вибрация, как структурный параметр ТС, изменяется наряду с изменением ТС подшипникового узла [2]. По изменению вибрации за период подконтрольной эксплуатации производят оценку ТС узла. Схема характерного контурного графика изменения вибрации подшипниковых узлов СЦ за длительный период наработки приведена на рисунке 1.

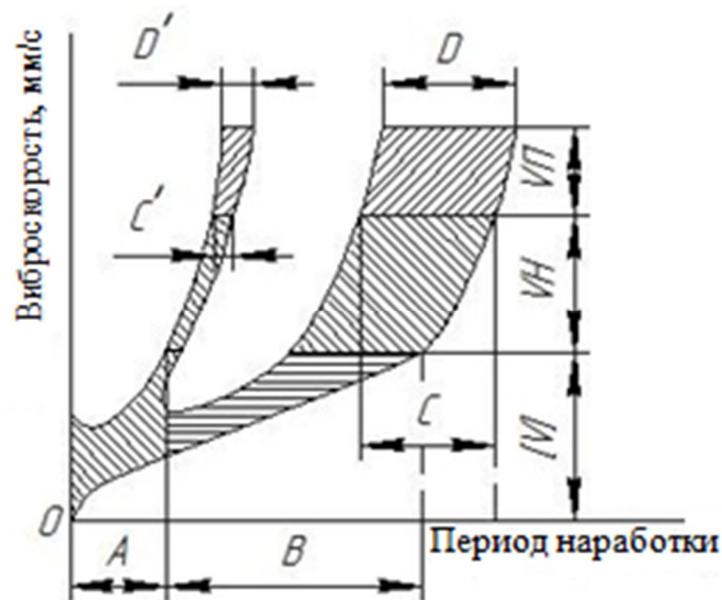


Рис. 1. Схема контурного графика виброскорости массива однотипных подшипниковых узлов СЦ: А – режим приработки; В – установившийся режим работы; С, С' – образование дефектов; Д, Д' – развитие дефектов; [V], VH, VI – уровни оценок вибрации «допустимо», «неудовлетворительно» и «предотказно» соответственно [4].

В зоне А в период приработки новых подшипников вибрация незначительна. В конце периода приработки контурный график разделяется на два участка. Незначительная часть новых подшипников ускоренно разрушается из-за дефектов изготовления и монтажа. Ускоренное развитие дефектов подшипников сопровождается интенсивным увеличением вибрации за короткий период наработки (С', Д').

Наработка основного массива контролируемых подшипниковых узлов происходит по второму участку контурного графика (зоны В, С, Д). С позиции трибологии на втором участке контурного графика продолжается эксплуатация подшипников в следующих периодах: зона В – период установившегося изнашивания; зона С – период изнашивания с увеличенной скоростью; зона Д – период интенсивного (предельного) изнашивания. Наиболее длительное время подшипники эксплуатируются в зоне В. Вибрация подшипниковых узлов в этой зоне возрастает незначительно. Направление изменения вибрации колеблется около постоянного значения.

Эксплуатация подшипниковых узлов в зоне С длится месяцами или неделями. Вибрация подшипниковых узлов значительно увеличивается. Период эксплуатации подшипниковых узлов в зоне Д составляет недели, дни, а иногда считанные часы. Вибрация подшипниковых узлов резко возрастает. Зона А контурного графика применяется для контроля ТС новых подшипниковых узлов при вводе в эксплуатацию или при модернизации действующих сушильных частей. При организации вибрационного контроля длительно эксплуатирующихся сушильных частей зоны А, В объединяют в одну (А-В), так как замена

подшипников СЦ производится редко. Вновь установленные подшипники, как правило, в период наработки контролируются индивидуально. Оценочные критерии подуровней вибрации [V], VH, VP (рис. 1) рекомендуется принимать по границам участков наработки А-В, С, Д.

На основе проведённых измерений вибрационных сигналов и статистической обработки данных можно провести сравнительный анализ для выявления дефектного подшипника СЦ бумагоделательной машины с целью предупреждения аварийного останова технического объекта. Измерение виброскорости подшипника, замена которого была произведена после пятнадцати месяцев эксплуатации в связи с образованием раковины, было проведено с лицевой стороны СЦ по октавным полосам частот от 16 до 1000 Гц. Изменение ТС подшипникового узла при зарождении и развитии дефекта (рис. 2) сопровождается нарастанием уровней вибрации.

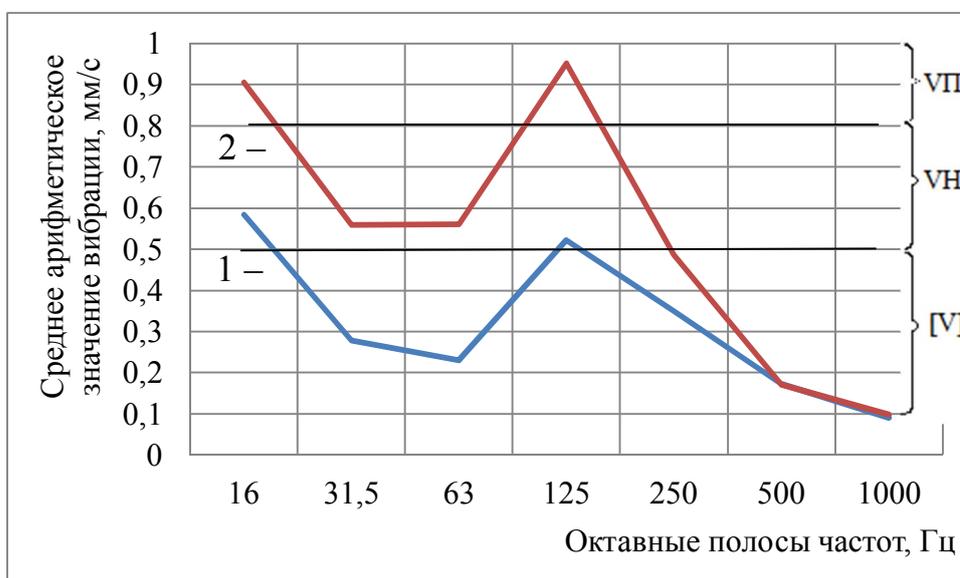


Рис. 2. График сравнения уровней вибрации неисправного подшипника сушильного цилиндра с допустимыми значениями вибрации для контролируемого массива: 1 – кривая допустимых значений вибрации, 2 – кривая значений вибрации дефектного подшипника; [V], VH, VP – уровни оценок вибрации «допустимо», «неудовлетворительно» и «предотказно» соответственно.

Анализ значений вибрации подшипников СЦ показывает, что дефектный подшипник имеет среднее арифметическое значение вибрации на 0,2...0,4 мм/с выше допустимых значений вибрации для контролируемого массива подшипниковых узлов. Это свидетельствует об отклонениях в техническом состоянии подшипникового узла.

Заключение

Вибрационное диагностирование решает вопросы прогнозирования остаточного ресурса подшипникового узла СЦ бумагоделательной. Последовательные ряды измеренных

значений вибрации позволяют определять начальную стадию зарождения дефекта. Применение вибрационного диагностирования подшипниковых узлов СЦ в процессе эксплуатации способствует выявлению изменения ТС объекта и своевременному техническому обслуживанию.

Установлено, что для производственных экспериментов, удовлетворяющих условиям воспроизводимости, можно произвести дифференциацию массива измеренных значений вибрационного сигнала по подуровням оценочных критериев.

Список литературы

1. Азовцев Ю.А. Диагностика и прогноз технического состояния оборудования целлюлозно-бумажной промышленности в рыночных условиях / Ю.А. Азовцев, Н.А. Баркова, В.А. Доронин // Бумага, картон, целлюлоза. – 1999. – №5. – С.102-105.
2. Сиваков В.П., Микушина В.Н. Диагностирование технического состояния сушильных цилиндров бумагоделательных машин по температуре // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/118-13989> (дата обращения: 19.07.2014).
3. Сиваков В.П., Музыкантова В.И. Модель и метод факторного эксперимента. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. – 23 с.
4. Сиваков В.П. Обоснование технического обслуживания оборудования целлюлозно-бумажного производства диагностированием. / В.П. Сиваков, В.И. Музыкантова, С.Н. Вихарев, С.А. Мишин// Лесн. журн. – 2009. – № 3. – С. 118–125. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: справочник. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 320 с.

Рецензенты:

Черемных Н.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой начертательной геометрии и машиностроительного черчения ФГБОУ ВПО «Уральского государственного лесотехнического университета», г. Екатеринбург;

Вураско А.В., д.т.н., профессор, директор института химической переработки растительного сырья и промышленной экологии ФГБОУ ВПО «Уральского государственного лесотехнического университета», г. Екатеринбург.