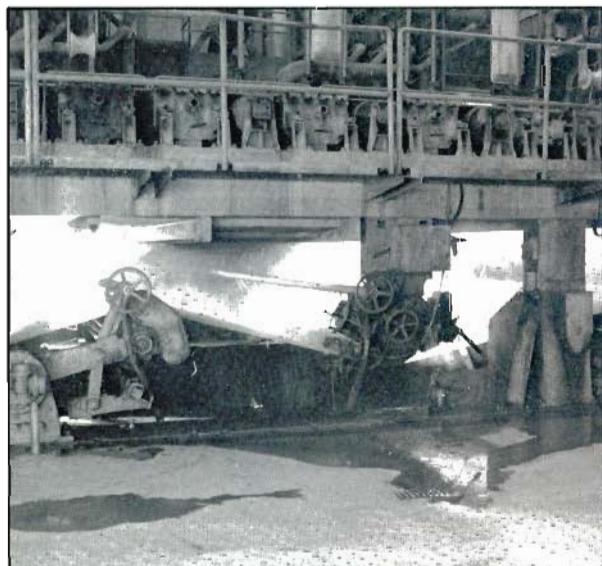
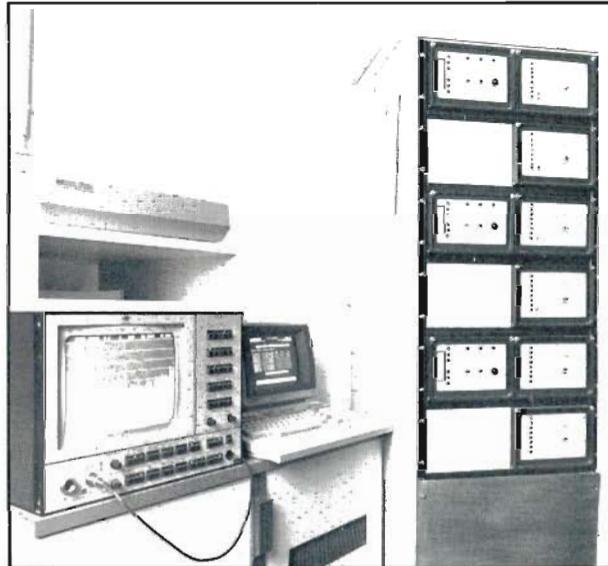


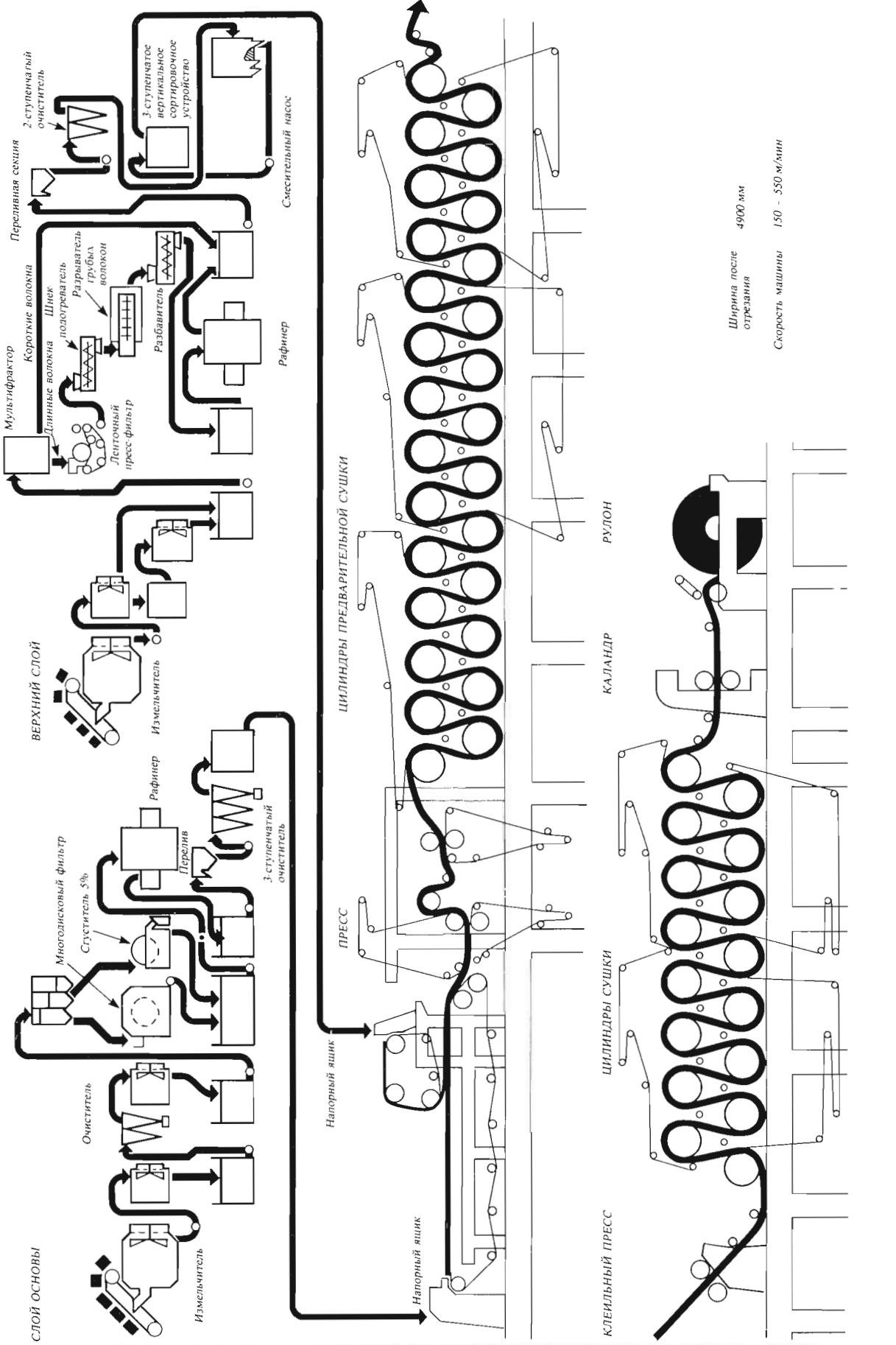
Примеры применения

Мониторизация состояния машинного оборудования путем анализа механических колебаний

Непрерывная мониторизация на австрийской
бумажной фабрике



РМ4



800622

Рис. 1. Схема бумагоделательной машины «Фойт», используемой на фирме Гамбургер АГ. Контролируемые подшипники находятся в секции сушики (ЦИЛИНДРЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СУШКИ и ЦИЛИНДРЫ ДОСУШКИ), показанной в нижней части рисунка

Введение

Для любого непрерывного производственного процесса исключительное значение имеет проведение эффективного технического обслуживания. Производственные потери, вызванные вынужденными простоями всего оборудования или даже части этого оборудования, могут оказывать значительное влияние на рентабельность производства. Эффективные, экономически целесообразные и практические системы мониторизации необходимы как никогда раньше для целлюлозно-бумажной промышленности с присущими ей высокими эксплуатационными расходами и небольшими прибылями от производственной деятельности.

Методы технического обслуживания

Традиционные методы технического обслуживания базируются на принципе эксплуатации до выхода из строя, после чего проводится остановка производственного оборудования и устранение неисправности. Этот метод не является экономичным, так как убытки при поломке одного подшипника бумагоделательной машины на фабрике, которой посвящена данная брошюра, могут превышать 35 000 австрийских шиллингов (около 3000 долларов США) в час.

В настоящее время широко применяются методы, базирующиеся на *периодическом профилактическом техническом обслуживании*, с проведением через определенные интервалы времени запланированных остановок производственного процесса для замены критических компонентов оборудования. Хотя эти методы являются улучшением упомянутого выше метода, запланированные производственные остановки все еще приводят к экономическим потерям вследствие производственных потерь и вследствие того, что критические компоненты заменяются независимо от оставшегося срока их службы. Кроме того, проведение регулярного запланированного технического обслуживания не может устраниить риска возникновения серьезных неисправностей оборудования между проверками.

Третий метод технического обслуживания заключается в проведении регулярной мониторизации состояния машинного оборудования, когда оно находится в рабочем состоянии, в использовании более передовых методов технического обслуживания при ухудшении состояния и в использовании собранных данных для оценки того момента времени, когда оборудование будет находиться на грани выхода из строя. Этот метод получил название *технического обслуживания на основе мониторизации состояния машинного оборудования*.

Техническое обслуживание на основе

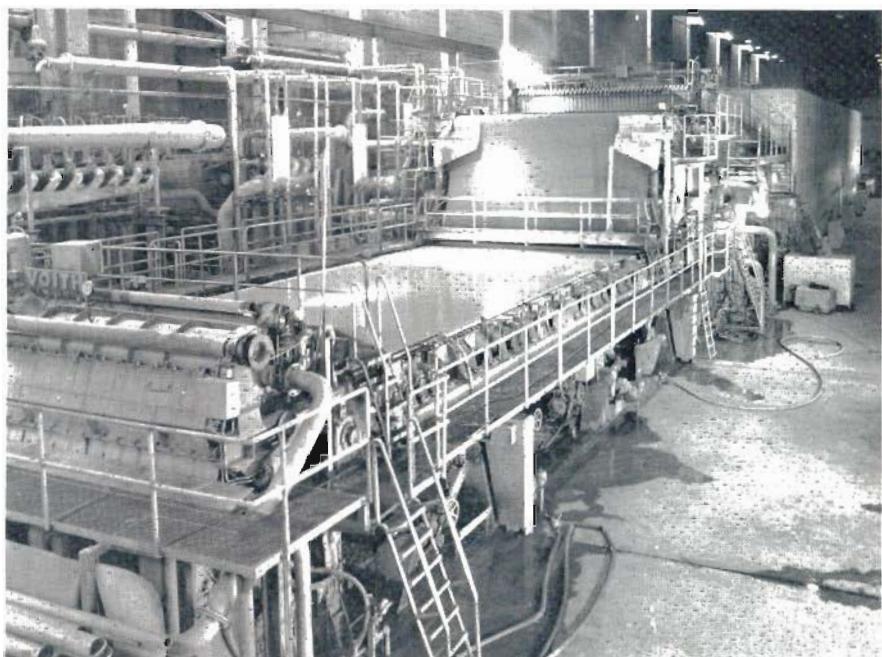


Рис. 2. Бумагоделательная машина «Фойт», используемая на фирме Гамбургер АГ, Питтен, Австрия

состояния машинного оборудования может точно выявить зарождающуюся неисправность узлов и блоков с вращающимися элементами до того, как их состояние становится угрожающим, что позволяет руководителям производства и специалистам по техническому обслуживанию вынести решение о том, когда они хотели бы провести замену изношенной детали или оценить необходимость остановки машины для поиска неисправности.

Техническое обслуживание на базе мониторизации состояния машинного оборудования на фирме Гамбургер АГ

Система мониторизации состояния машинного оборудования, описанная в данной брошюре, предназначена для контроля состояния подшипников качения, работающих в тяжелых условиях, характерных для целлюлозно-бумажной промышленности. Необходимость внедрения данной системы объяснялась необычно частыми поломками подшипников на участке сушки бумагоделательной машины «Фойт» бумажной фабрики фирмы Гамбургер АГ. С 1980 по 1988 гг. эти внезапные поломки обошлись фирме в сумму 21 млн. австрийских шиллингов (около 1,75 млн. долларов США) только за счет производственных потерь. Добавление потерь вследствие оплаты сверхурочного времени работы персонала по техническому обслуживанию, выхода из строя других деталей в связи с внезапной поломкой подшипников и убытков вследствие невозможности поставки продукции по графику могут значительно увеличить приведенную выше оценку потерь.

В последующих разделах данной брошюры приведено описание созда-

ния упомянутой системы, ее применения и полученных с ее помощью результатов. Наиболее важным критерием оценки успешной работы системы является исключение внезапных поломок подшипников и связанных с этим производственных потерь. В случае использования системы мониторизации на бумажной фабрике фирмы Гамбургер АГ с момента ее установки в 1986 г. на этом предприятии не было производственных потерь вследствие внезапной поломки подшипников той секции оборудования, которая подвергалась мониторизации. Несмотря на то, что довольно затруднительно провести точную оценку экономии фабрики вследствие увеличения производства, самая осторожная оценка приводит к сумме порядка 2 млн. австрийских шиллингов (около 170 000 долларов США).

Фирма Гамбургер АГ

Фирма Гамбургер АГ, расположенная в Питтене, Австрия, была основана Вильгельмом Гамбургером в 1853 г. Она является одним из самых важных членов концерна, в состав которого входят предприятия Мосбургер АГ, Бригл унд Бергермайстер АГ и Гамбургер АГ. Бумажная фабрика фирмы Гамбургер АГ перерабатывает макулатуру в гофрированную упаковочную бумагу. На ней эксплуатируются одна бумагоделательная машина «Фойт» и одна бумагоделательная машина «Ервела», работающие на полной мощности 24 часа в сутки. Фабрика, на которой работают 250 человек, выпускает 150 000 тонн гофрированной упаковочной бумаги в год. На рис. 1 показана схема бумагоделательной машины «Фойт» фирмы Гамбургер АГ, на которой производилась мониторизация.

Разработка системы мониторизации

Машина

Затраты на бумагоделательную машину «Фойт», состояние которой подвергалось мониторизации, в 1978 г. составили, включая затраты на установку, более 500 млн. австрийских шиллингов (прибл. 41 млн. долларов США). Бумагоделательная машина содержит более 1500 подшипников, из которых 400 с самого начала считались критическими, так как поломка любого из них может привести к немедленному выходу из строя всей машины. Система мониторизации, используемая вначале, обслуживалась 3 – 4 специалистами, которые регулярно прослушивали критические подшипники с помощью стетоскопа. Среднее время простоя машины составляло около 5% в год, а число специалистов по техническому обслуживанию, занятых ремонтом, составляло 6 человек.

Через некоторое время стало ясно, что основные трудности при мониторизации подшипников вызываются нагреваемыми цилиндрами в секции сушилки. Эти 43 цилиндра, имеющие диаметр 1,5 м и длину 6 м, врашаются со скоростью 100 об/мин. Пар при температуре 150°C подается в цилиндры с одной стороны машины, проходит по всей длине цилиндров и снова выходит на той же стороне машины. Бумага проходит через цилиндры и высушивается.

Проблема

С 1980 по 1985 гг. подшипники упомянутых выше цилиндров имели очень высокий коэффициент выхода из строя. Все эти подшипники располагаются на горячей стороне машины, т.е. на стороне, на которой пар подается и выходит из цилиндров. Среднее время простоя вследствие выхода из строя подшипников соответствующей секции машины составляло 30 часов (из-за трудности доступа к этим подшипникам) с потерями на сумму 35 000 австрийских шиллингов (прибл. 3000 долларов США) в час за счет снижения выпуска продукции.

Анализ проблемы

Фирма Гамбургер АГ связалась с фирмой Брюль и Кьер, которая провела регистрацию сигналов механических колебаний каждого критического подшипника с помощью портативного измерительного магнитофона 7005. Записанные на магнитной ленте данные были отправлены в Данию для проведения анализа с помощью метода, получившего название метода выявления и анализа огибающей (его описание приведено ниже в данной брошюре). Фирма Гамбургер АГ потребовала, чтобы анализ был за кончен до проведения остановки на техническое обслуживание в августе 1984 г. для того, чтобы иметь возмож-

ность проверить справедливость полученных результатов при демонтаже подшипников.

Результаты

На основе результатов анализа было сделано заключение, что у двух подшипников (TS 11 и TS 17) повреждены ролики, и хотя их состояние не было критическим, их нужно было заменить при первой же возможности. Остальные подшипники не имели признаков контактного износа.

Во время остановки на техническое обслуживание в августе 1984 г. все подшипники сушильной секции бумагоделательной машины были демонтированы и проверены специалистами по техническому обслуживанию фирмы Гамбургер АГ. Хотя целый ряд подшипников бумагоделательной машины имел признаки износа, степень износа только двух подшипников сушильной секции была признана требующей их замены. Это были подшипники, несущие номера TS 11 и TS 17. После этого фирма Гамбургер АГ сделала заказ фирме Брюль и Кьер на разработку и установку системы постоянной мониторизации.

Требования к системе

Следующие 3 абзаца, позаимствованные из технической спецификации на разработку системы мониторизации, содержат краткое описание конструкции и принципа действия системы.

1. Постоянная мониторизация с помощью универсальных контрольных устройств 2505 и переключателей каналов 2514 должна дать возможность контроля общего уровня механических колебаний подшипников. Ожидается, что общий уровень механиче-

ских колебаний будет резко увеличиваться в последние несколько минут службы подшипника. Поэтому система постоянной мониторизации может использоваться для остановки машины перед аварийным выходом ее из строя.

2. Автоматическое сравнение спектров отдельных сигналов механических колебаний с соответствующими опорными спектрами должно проводиться каждые 3 – 4 часа. Систематическая мониторизация роста уровня механических колебаний при одной из резонансных частот подшипника будет давать за несколько недель предупреждение о приближающемся выходе подшипника из строя. Проводимый оператором анализ тенденций будет оказывать помощь при оценке времени, оставшегося до выхода из строя.

3. При выявлении изменений в спектре или в любое другое время в точке, подозреваемой на наличие неисправности, будет проводиться анализ огибающей. После этого может быть проведено сравнение выявленных частот повторения неисправностей с расчетными частотами повторения неисправностей для различных типов повреждения подшипника, например, для повреждения внутренней или наружной обоймы и т. п.

Установка системы

Система мониторизации была установлена летом 1985 г. Монтаж акселерометров и прокладка кабелей была выполнена специалистами по техническому обслуживания фирмы Гамбургер АГ во время остановки для проведения периодического технического обслуживания для сведения до

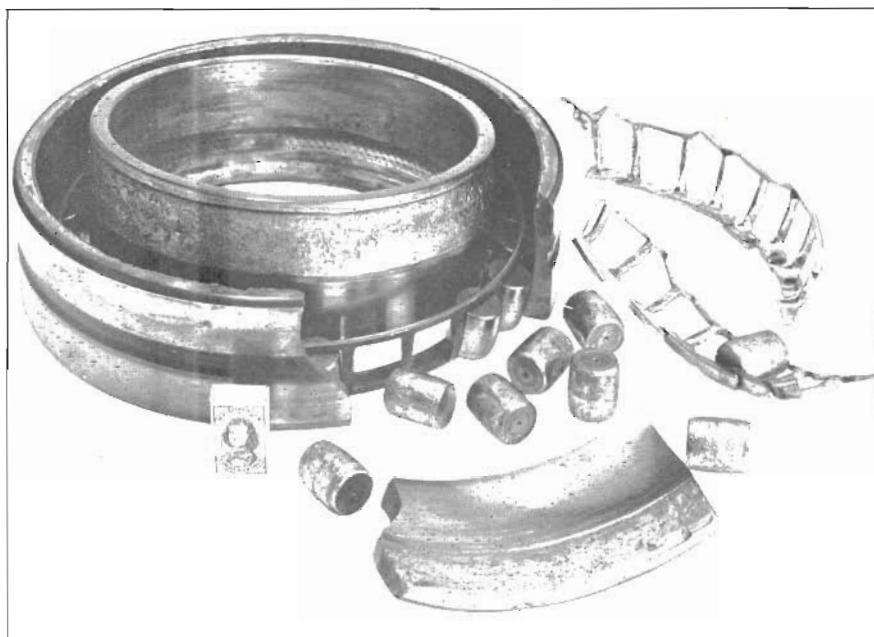


Рис. 3. Неожиданный выход из строя подшипника качения может оказаться очень дорогостоящим. Непрерывная мониторизация механических колебаний подшипников могла бы предотвратить эту поломку

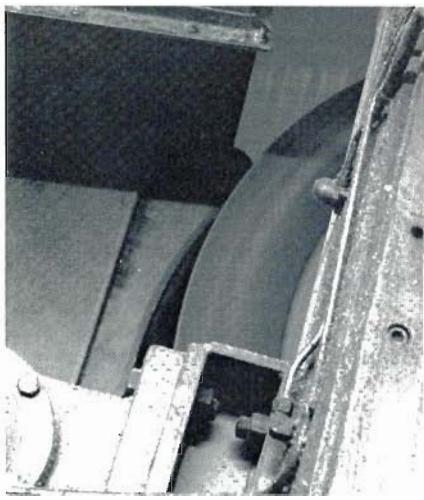


Рис. 4. Акселерометр фирмы Брюль и Къер, установленный на корпусе подшипника одного из сушильных цилиндров бумагоделательной машины

минимума помех производству. Когда эти работы были закончены, специалисты по обслуживанию фирмы Брюль и Къер провели заключительные работы по установке в течение 40 часов. Во время всего периода установки на производственный процесс не оказывалось никакого влияния. Система мониторизации была полностью готова к работе в августе 1985 г. На рис. 5 показана схема установленной системы мониторизации.

Работоспособность системы

С тех пор, как система была установлена, на фирме Гамбургер АГ не было отмечено ни одной незапланированной остановки производственного процесса вследствие выхода из строя подшипников контролируемой секции бумагоделательной машины. Естественно, износ подшипников продолжал происходить. С момента установки системы с ее помощью

были выявлены три неисправности подшипников, которые были устранены во время остановки на проведение запланированного технического обслуживания.

Использование системы

В настоящее время на фирме Гамбургер АГ действует принцип проведения остановки производства только тогда, когда система мониторизации фирмы Брюль и Къер указывает на наличие серьезной неисправности подшипника. При этом используется очень простая таблица, см. рис. 6, для расчета частот подшипника. При сравнении этих расчетных значений частот с обнаруженными при помощи системы мониторизации частотами повторения неисправностей создаются предпосылки для вынесения решения о серьезности неисправности подшипника.

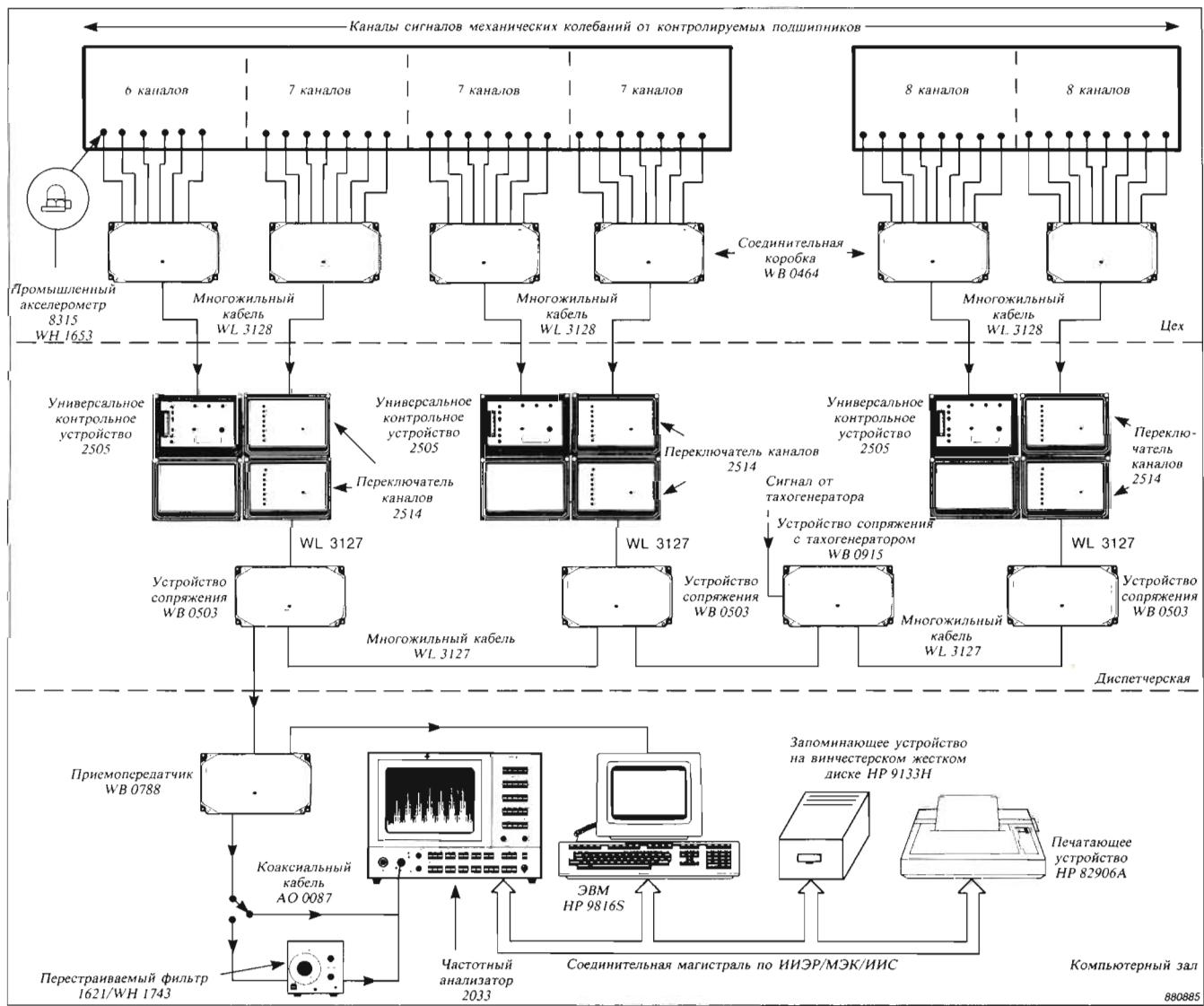


Рис. 5. Система мониторизации, используемая на фирме Гамбургер АГ

Система мониторизации состояния машинного оборудования

Система мониторизации, установленная на фирме Гамбургер АГ, основывается на использовании пакета программ WT 9118. Этот пакет предна-

значен для полностью автоматической, многоканальной мониторизации состояния машинного оборудования. Программное обеспечение рабо-

тает с настольной ЭВМ серии 200 фирмы Хьюлетт-Пакард с использованием для хранения винчестерского жесткого диска. Обрабатываемые с

помощью упомянутого программного обеспечения данные (сигналы механических колебаний 43 критических подшипников) поступают из стационарно установленной широкополосной системы мониторизации, работающей параллельно с программным обеспечением. ЭВМ с пакетом программ WT 9118 проводит анализ сигналов механических колебаний с помощью частотного анализатора 2033, отличающегося высокой разрешающей способностью*.

Широкополосная система

Широкополосная система периодически определяет общие уровни механических колебаний всех критических подшипников, обеспечивая тем самым надежность непрерывной мониторизации. Широкополосные контрольные устройства с высокой скоростью подключаются последовательно к каждому каналу (каждый канал системы соединен с акселерометром, установленным на критическом подшипнике), определяют соответствующие общие уровни механических колебаний и сравнивают присущие отдельным каналам общие уровни с предварительно заданными предельными значениями. Любое превышение заданного предельного уровня механических колебаний приводит к срабатыванию реле, включающего тревожную сигнализацию, что позволяет оператору остановить бумагоделательную машину до того, как неисправность станет критической.

Система автоматического сравнения спектров

Система с анализатором 2033, ЭВМ и пакетом программ WT 9118 работает

параллельно с широкополосной системой. Для каждого канала определяются частотные спектры механических колебаний соответствующего подшипника для сравнения их с соответствующим спектром, полученным в хорошем рабочем состоянии бумагоделательной машины. Как только неисправность начинает развиваться, происходят изменения формы частотных спектров. Эти изменения выявляются при сравнении спектров. Спектры создаются путем преобразования сигналов механических колебаний в их частотные составляющие, соединенные составляющими в полосы с постоянной относительной шириной и индикации результатов в логарифмическом масштабе.

Первый спектр механических колебаний каждого подшипника хранится как опорный спектр. После этого опорный спектр используется для создания опорной спектральной маски. Эта маска строится путем расширения полос опорного спектра (для учета небольших изменений рабочей скорости машины) и добавления допусков к результату.

Программное обеспечение для мониторизации способствует непрерывному сканированию всех каналов и созданию присущих отдельным каналам новых спектров для сравнения с соответствующими опорными масками. Превышения опорной маски сравниваемым спектром регистрируются с помощью печатающего устройства, соединенного с ЭВМ. Спектр превышений и параметры системы в соответствующее время помещаются на хранение, см. рис. 7.

Диапазоны скорости и компенсация изменений скорости

Бумагоделательная машина работает при различных фиксированных скоростях для производства бумаги различного сорта и/или толщины. Подшипник, мониторизация которого проводится при одной скорости, имеет другой спектр механических колебаний при другой рабочей скорости машины. Сравнение соответствующих двум скоростям спектров может привести к неправильным результатам. Для предотвращения этого проводится классификация зарегистрированных спектров по 6 диапазонам скоростей, ограниченным фиксированными предельными значениями рабочей скорости машины. Для каждого диапазона скорости предусмотрена независимый опорный спектр, с которым сравниваются все спектры, определяемые при попадающих в данный диапазон скоростях. Так как диапазоны скоростей имеют верхние и нижние пределы, в этих диапазонах также происходят небольшие изменения рабочей скорости. Программное обеспечение WT 9118 осуществляет автоматическую компенсацию этих небольших изменений путем приведения всех спектров к фиксированной рабочей скорости внутри определенного диапазона скоростей. В соответствующем процессе проводится сдвиг спектров таким образом, что обеспечено совпадение соответствующих друг другу частотных составляющих и, следовательно, сохранена возможность сравнения полученных при разных скоростях спектров механических колебаний.

Анализ тенденций

Рост со временем определенного превышения может быть исследован путем анализа тенденций с построением соответствующего графика. С помощью графика тенденций оценивается время, оставшееся до достижения уровнем превышения «опасного» предела. Эта оценка основывается на кривой тенденций прошлых превышений опорной маски в одной или нескольких частотных полосах. Также осуществляется индикация коэффициента корреляции для построенного графика тенденций. Этот коэффициент отображает степень точности подбора кривой, образующей график тенденций. Чем ближе он к единице, тем более надежной является оценка. Любые точки графика могут быть удалены с кривой и построена новая кривая. Это позволяет получить более точную оценку в случае, когда скорость ухудшения состояния контролируемой машины значительно изменяется.

РАСЧЕТНАЯ ТАБЛИЦА	
ЦИЛИНДР	
A ₁	НАСТРОЙКА ФИЛЬТРА
B ₁	НАСТРОЙКА АНАЛИЗАТОРА
ПРИМЕЧАНИЯ	
$f = \frac{\omega}{2\pi}$ $V = d\pi n$ $f = \frac{v}{30 \cdot d}$ $f = \frac{v}{282,743}$	
ТРЕВОЖНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ	
СКОРОСТЬ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ	
ВНЕШНЯЯ ОБОЙМА $11,161 \times f =$	
ВНУТРЕННЯЯ ОБОЙМА $13,84 \times f =$	
РОЛИК ИЛИ ШАРИК $13,84 \times f =$	
A ₁	ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ-ВАЛА
	$f = V_{PM}/282,743$
	$f =$

TO1827SU0

Рис. 6. Таблица, используемая на фирме Гамбургер АГ для расчета резонансных частот подшипника. Коэффициенты получены из соответствующих уравнений, приведенных в тексте данной работы. Перед подстановкой в формулу выраженная в метрах в минуту скорость бумагоделательной машины преобразовывается в Гц

* Для получения более подробной информации о системе мониторизации, приведенной в публикации BU 0085, следует обратиться к местному представителю фирмы Брюль и Клер.

Анализ огибающей

Местные неисправности подшипников приводят к возникновению серий механических ударов, которые периодически повторяются с частотой, зависящей от геометрических характеристик подшипника. Различная частота повторения говорит о наличии неисправностей различных деталей подшипника. Имеются следующие частоты повторения или частоты подшипников: частота прохода шарика по внешней обойме BPFO, указывающая на неисправность внешней обоймы, частота прохода шарика по внутренней обойме BPFI, указывающая на неисправность внутренней обоймы, частота вращения шарика BSF, указывающая на неисправность вращающегося элемента, основная частота FTF, указывающая на повреждение сепаратора подшипника. Расчет этих частот проводится следующим образом:

$$BPFO = n \times \frac{f}{2} \left[1 - \frac{d}{D} \cos \phi \right]$$

$$BPFI = n \times \frac{f}{2} \left[1 + \frac{d}{D} \cos \phi \right]$$

$$BSF = D \times \frac{f}{2d} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \cos \phi \right)^2 \right]$$

$$FTF = \frac{f}{2} \left[1 - \frac{d}{D} \cos \phi \right]$$

где n = число шариков или роликов

f = скорость вращения вала (т.е. скорость внешней обоймы по отношению к внутренней)

d = диаметр шариков или роликов

D = диаметр делительной окружности шариков или роликов

ϕ = угол контакта, отсчитываемый от радиального направления.

Первым признаком неисправности подшипника, который может быть замечен в частотном спектре, является общее увеличение уровня механических колебаний в полосе от 2 кГц до 20 кГц. Это связано с тем, что каждый раз, когда шарик проходит место дефекта, результирующий удар возбуждает резонансы конструкции, которые появляются в данной части спектра. Удары приводят к модуляции временного сигнала, а частота модуляции непосредственно связана с вызвавшей ее неисправностью. Модуляция временного сигнала

диагностирующий сигнал создает огибающую отображающего механические колебания временного сигнала. Огибающая выявляется при помощи детектора огибающей.

Для выявления и последующего анализа огибающей необходимо прежде всего определить полосу общего увеличения уровня механических колебаний по приведенному выше описанию. После этого нужно настроить полосовой фильтр детектора огибающей на среднюю частоту определенной упомянутым способом полосы частот. Детектор сглаживает и выпрямляет временной сигнал и отдает сигнал, подлежащий анализу. Сигнал, обрабатываемый анализатором, содержит основные частоты и гармоники всех составляющих, связанных с неисправностью. После анализа огибающей может быть проведено сравнение упомянутых частотных составляющих с расчетными частотами для определения типа неисправности подшипника.

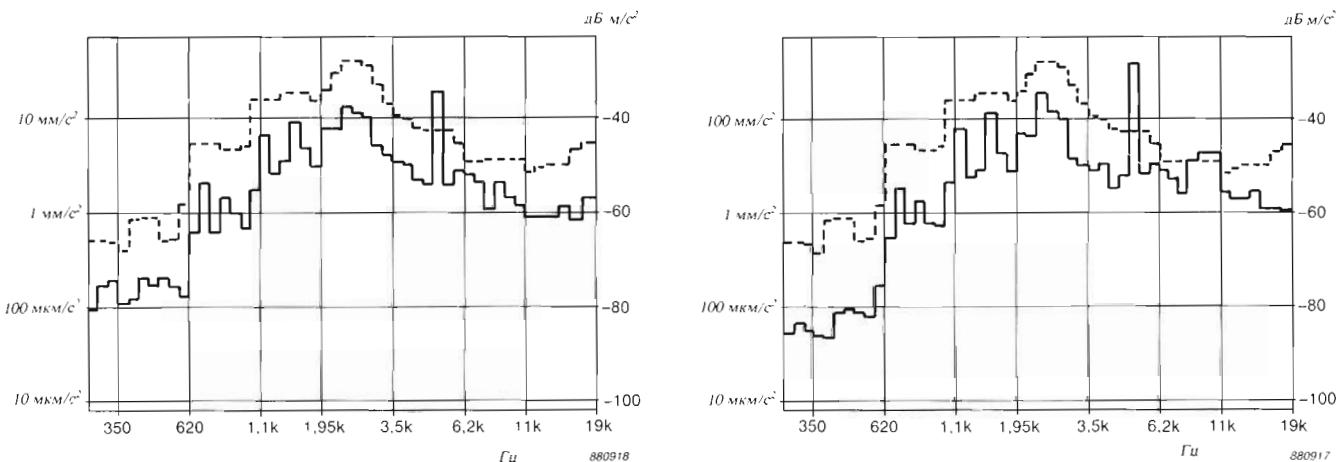


Рис. 7. Спектры превышений, полученные при мониторизации механических колебаний обозначенного TS 20 подшипника. Увеличение общего уровня механических колебаний наблюдается в диапазоне высоких частот справа от пика, который превышает опорный спектр (пунктирные линии). Спектр справа был зарегистрирован через 1 неделю после регистрации спектра слева

Пример применения системы мониторизации

Ниже приводится пример использования системы мониторизации для выявления и устранения неисправности, возникшей в декабре 1986 г. Дефект находился на внутренней обойме подшипника, обозначенного TS 20. Метод, использовавшийся для выявления этой неисправности, был аналогичен методу, использовавшемуся для определения двух других неисправностей, которые возникли после установки системы мониторизации.

Первым признаком возникновения проблемы с подшипником TS 20 было выданное печатающим устройством предупреждение о увеличении уровня составляющих с частотами в диапазоне от 2 кГц до 20 кГц. На рис. 7 показаны два отдельных спектра

превышений, которые были созданы в этом периоде. Когда уровень превышений достиг 10 дБ, инженер по техническому обслуживанию решил провести анализ огибающей. С помощью описанного выше метода был проведен расчет рабочих частот контролируемого подшипника.

Для данного типа подшипника, используемого в этой секции бумагоделательной машины, соответствующие параметры имели следующие значения:

$$\begin{aligned} n &= 25, & d &= 36 \text{ мм}, \\ D &= 326 \text{ мм}, & \phi &= 15^\circ, \\ f &= 1,35 \text{ Гц}. \end{aligned}$$

Это приводит к следующим значениям частот:

$$\begin{aligned} BPFO &= 15,1 \text{ Гц}, & BPFI &= 18,7 \text{ Гц}, \\ BSF &= 6,0 \text{ Гц}, & FTF &= 0,6 \text{ Гц}. \end{aligned}$$

Как можно видеть из графика спектра огибающей, показанного на рис. 8, неисправность была связана с дефектом внутренней обоймы подшипника. После этого был проведен анализ тенденций для получения оценки оставшегося срока службы подшипника (см. рис. 9). Имея в своем распоряжении эту информацию, фирма Гамбургер АГ запланировала замену подшипника TS 20 на декабрь 1986 г. при проведении очередной остановки на техническое обслуживание. После демонтажа упомянутого подшипника, бригада технического обслуживания убедилась в наличии дефекта внутренней обоймы.

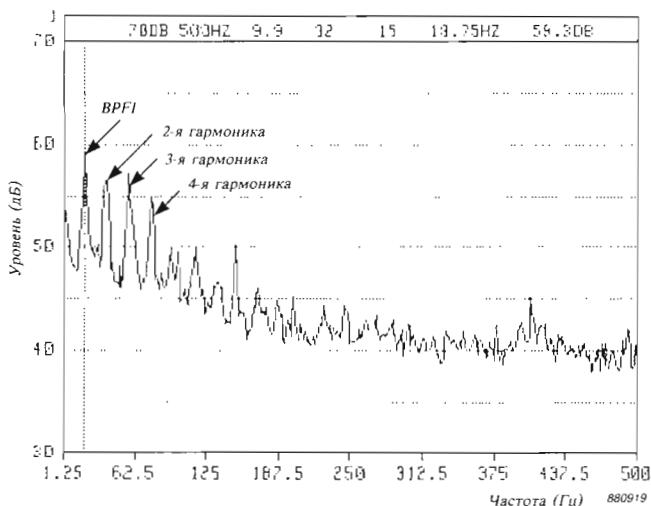


Рис. 8. Спектр огибающей для обозначенного TS 20 подшипника. Указатель (линия из точек) установлен на пике (18,75 Гц), который ясно указывает на дефект внутренней обоймы

Профилактическое техническое обслуживание – целесообразность капиталовложений

Для оценки целесообразности и экономической эффективности капиталовложений в систему мониторизации может быть использовано большое число методов. Одним из таких методов является метод расчета срока окупаемости, который дает информацию о том, когда можно ожидать окупаемости начальных капиталовложений в систему в течение предполагаемого периода эксплуатации системы. Капиталовложения считаются целесообразными лишь в том случае, если срок окупаемости меньше предполагаемого срока службы системы.

Срок окупаемости (t_p) может быть рассчитан с помощью приведенной ниже формулы. Она принимает во внимание скорость возврата капиталовложений.

$$t_p = \frac{\log a - \log (a - i \cdot G)}{\log (1 + i)}$$

Фирма Гамбургер АГ вложила в оборудование для системы мониторизации 2 млн. австрийских шиллингов (около 170 000 долларов США). Включая затраты на установку системы мониторизации (в данном случае – 5% от полной стоимости), начальные капиталовложения составили 2,1 млн. австрийских шиллингов. Устранение неисправности одного подшипника описанной выше секции бумагоделательной машины занимает 30 часов, если происходит внезапная остановка машины. Каждый час простоя машины обходится фирме Гамбургер АГ в 35 000 австрийских шиллингов (около 3 000 долларов США) за счет снижения производства. За два года, прошедшие с момента

установки системы, было выявлено три неисправности подшипников до того, как они стали критическими. Экономия за счет сохранения выпуска продукции составила 3,15 млн. австрийских шиллингов (около 263 000 долларов США). Это дает 1,575 млн. австрийских шиллингов (около 130 000 долларов США) в год. Следовательно,

a – годовая ожидаемая экономия 1,575 млн. австрийских шиллингов

i – ссудные проценты, например, 14% = 0,14

G – начальные капиталовложения 2,1 млн. австрийских шиллингов

Подстановка этих значений в приведенную выше формулу приводит к сроку окупаемости 1,57 года при установке системы фирмы Брюль и Кьер на предприятии Гамбургер АГ. Это означает, что система уже окупилась. Предполагая, что минимальный срок службы системы составляет 5 лет, легко убедиться в высокой экономической эффективности капиталовложений.

Относительная прибыль фирмы Гамбургер АГ при капиталовложениях в данную систему (по сравнению с ситуацией, когда эти капиталовложения не делаются) может быть получена непосредственно путем расчета разницы между текущими значениями по этим двум ситуациям (при капиталовложениях и без них). Если А соответствует капиталовложениям в систему, а В – отсутствию таковых,

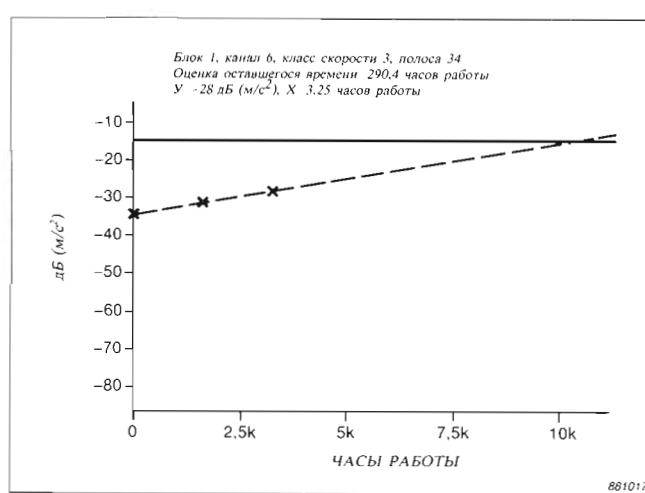


Рис. 9. График тенденций, созданный на основе спектров превышений обозначенного TS 20 подшипника. Оценка времени до выхода из строя составляет 290,4 часов работы

то А лучше В, если текущее значение А больше текущего значения В ($PV_{A-B} > 0$).

После этого разница PV_{A-B} может быть рассчитана следующим образом:

$$(G_A - G_B) + (a_A - a_B) \frac{(1 + i)^n - 1}{(1 + i)^n \cdot i}$$

Используя значения капиталовложений, экономии, ожидаемого срока службы (n) и ссудных процентов для фирмы Гамбургер АГ, получим:

$$(-2.1 - 0) + (1.57 - 0) \frac{(1 + 0,14)^5 - 1}{(1 + 0,14)^5 \cdot 0,14}$$

В результате получается значение PV_{A-B} в 3,298 млн. австрийских шиллингов, что доказывает высокую экономическую эффективность капиталовложений при текущем значении, которое на 3,3 млн. австрийских шиллингов (около 280 000 долларов США) больше, чем в случае, когда капиталовложения не проводятся.

Авторы хотели бы выразить свою благодарность директору бумажной фабрики фирмы Гамбургер АГ, инженеру Гриллю, за разрешение посетить фабрику и составить отчет. Так же мы хотели бы выразить особую признательность господину Шраммелю, руководителю отдела технического обслуживания фабрики, за его неоценительную помощь.

Брюль и Кьер

Нэрум, Дания

Импортер: **В/О МАШПРИБОРНТОРГ**
Овчинниковская наб., 18/1 · 113 324, Москва
Тел.: 928-98-73 · Телекс: 411235, 411236



Запросы на каталоги, проспекты и инструкции по эксплуатации на русском языке просим направлять по адресу:
Москва, К-31, Кузнецкий мост 12, Отдел промышленных каталогов ГПНТБ СССР, тел. 220-78-51