



**Ключевые слова:**  
мониторинг, техни-  
ческая диагностика  
оборудования,  
вибродиагностика,  
остаточный ресурс  
оборудования

# ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Сергей ЧУРАНОВ, Анатолий ТУМАНОВ, Анна КАТКОВА**

Рассмотрена методология контроля технического состояния узлов технологического оборудования на базе системы мониторинга промышленного оборудования «Диспетчер». Описаны основные методы обследования технического состояния механических узлов и деталей, анализа информации. Приведены примеры формируемых отчетов.

Есть ли способы предотвратить внезапные сбои и отказы в работе узлов, механизмов, систем управления промышленного оборудования? Можно ли заблаговременно узнать о нарушении точностных характеристик технологического оборудования?

Для позитивного и конструктивного ответа на эти и подобные вопросы необходимо проведение технической диагностики оборудования, накопление ее результатов и оперативный их анализ, позволяющий принять меры по предотвращению нежелательных инцидентов и явлений.

В системе мониторинга промышленного оборудования «Диспетчер» в рамках модуля «Управление простоями» разрабатывается подсистема **«Контроль технического состояния узлов технологического оборудования»**, в которой комплексно решаются задачи технической диагностики. В подсистеме анализ трендов изменения постоянно измеряемых диагностических параметров сочетается с применением интеллектуальных устройств контроля и прогнозированием нежелательных событий. Это позволяет предоставить заинтересованным пользователям результаты технической диагностики в форме аналитических отчетов, содержащих прогноз надежности и остаточного ресурса оборудования. В свою очередь, полученные сведения помогают сформировать план проведения работ по ТОиР

по фактическому состоянию оборудования. При этом промышленное предприятие получает реально ощутимый эффект за счет предупреждения аварий, увеличения межремонтного периода оборудования, снижения эксплуатационных затрат и потерь за счет исключения неэффективных внеплановых и планово-предупредительных ремонтов.

Рассмотрим подробнее этапы применения упомянутой подсистемы контроля.

## ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП — ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ДЕФЕКТОВ

Чтобы определить, какие дефекты представляют наибольшую опасность для функционирования конкретного оборудования, необходимо:

- четко классифицировать оборудование, эксплуатируемое на предприятии, включая его узлы, входящие в них блоки и детали;
- вести учет всех выходов оборудования из строя с указанием дефектных узлов и входящих в них блоков и деталей.

В АИС «Диспетчер» для классификации используются:

- **справочник типовых узлов оборудования**, содержащий все механические узлы, электронные устройства управления, электроприводы и т.п.;

- **справочник технологических параметров** – определяет необходимые геометрические параметры, характеризующие точность оборудования (например, станка с ЧПУ): именно контроль геометрических параметров с использованием современных средств измерения позволяет производить оперативную оценку точности перемещения формообразующих узлов и диагностировать параметрические отказы оборудования;
- **справочник групп оборудования** – содержит сопоставление наборов технологических параметров разным группам оборудования;
- **справочник оборудования**, где в карточке каждой единицы оборудования приведены:
  - ✓ на вкладке «Технические данные» – перечень блоков и деталей, которые входят в состав каждого из узлов станка;
  - ✓ на вкладке «Технологические данные» – технологические и геометрические параметры данного оборудования.

Учет всех выходов оборудования из строя в процессе эксплуатации осуществляется в АИС «Диспетчер» в «Журнале заявок» на вкладке «Ремонтный случай» (рис. 1), где подробно описывается неисправность или дефект, вызвавшие остановку и ремонт станка.

При описании ремонтного случая указываются вышедшая из строя деталь и типовой узел станка, в который она входит. Указывается также другая информация, подробно описывающая неисправность и ее устранение.

Рис. 1. Описание дефекта оборудования

## ВТОРОЙ ЭТАП – ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ДИАГНОСТИКИ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, СООТВЕТСТВУЮЩИХ ДЕФЕКТАМ ОБОРУДОВАНИЯ

Анализ имеющихся на предприятии сведений о выявленных дефектах оборудования позволяет определить состав контролируемых средствами технической диагностики объектов. В качестве объектов диагностики технического состояния выступают конкретные узлы, блоки или детали.

Например, для станка с ЧПУ (рис. 2) это могут быть подшипники, шпиндель, валы редукторов и коробки скоростей, муфты, зубчатые передачи, ременные передачи, электродвигатели, шариковые винтовые передачи, направляющие и т.п.

Наряду с функциональной надежностью станочное оборудование должно обеспечивать параметрическую надежность. По этой причине для таких объектов диагностики, как формообразующие узлы, следует контролировать точностные характеристики: точность вращения шпинделя, прямолинейность перемещения вдоль осей, взаимная перпендикулярность осей, точность линейного позиционирования осей, точность углового позиционирования поворотных осей и т.д.

Для каждого объекта диагностики определяют диагностические параметры или диагностические признаки, которые могут быть измерены для определения технического состояния объекта. При выборе параметров предпочтение отдается тем, которые в значительной степени зависят от дефектов и в меньшей степени от режимов и условий работы, а также позволяют обнаруживать дефекты на стадии их зарождения. Если объекту диагностики соответствует несколько параметров, то результат определяется по одному из диагностических параметров, значения которого вышли за заданные уровни контроля.

## УРОВНИ КОНТРОЛЯ

Для практического применения методов технической диагностики значения диагностических параметров выражаются положительными числовыми значениями. Чем больше значение параметра, тем менее надежным следует считать соответствующий объект диагностики.

При таких условиях каждому параметру объекта диагностики сопоставляется набор пороговых значений или уровней контроля:

- **«Норма значения»** – максимальное значение, при котором объект диагностики находится в рабочем состоянии;

- **«Уровень предупреждения»** – максимальное значение, при котором объект диагностики может работать ограниченное время до ближайшего возможного ремонта;
- **«Уровень аварии»** – минимальное значение, соответствующее аварийному состоянию объекта диагностики. При таком или большем значении диагностического параметра оборудование в любой момент может выйти из строя.

### ТРЕТИЙ ЭТАП – РЕГУЛЯРНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА УЗЛОВ ОБОРУДОВАНИЯ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Объекты диагностики в составе оборудования могут относиться к разным типам узлов: механическим, электронным, электромеханическим и др. В общем случае, для получения диагностических параметров могут использоваться различные методы.

Для обследования технического состояния механических узлов и деталей наиболее распространен метод вибрационной диагностики. Он используется в первую очередь для диагностики элементов привода главного движения и других механизмов, совершающих вращательное движение.

Для этих целей в АИС «Диспетчер» имеется раздел «Вибродиагностика», в котором предусмотрена возможность подключения к системе стационарно установленных на станках приборов различных российских и зарубежных производителей: SKF (Швеция), IFM (Германия), «Вибробокс» (Беларусь), «ВАСТ» (Санкт-Петербург), «Диамех» (Москва), «Висом» (Смоленск).

Другие методы получения диагностических параметров металлорежущих станков:

- измерение температуры, токов, напряжений, шумовых характеристик, измерение усилия зажи-

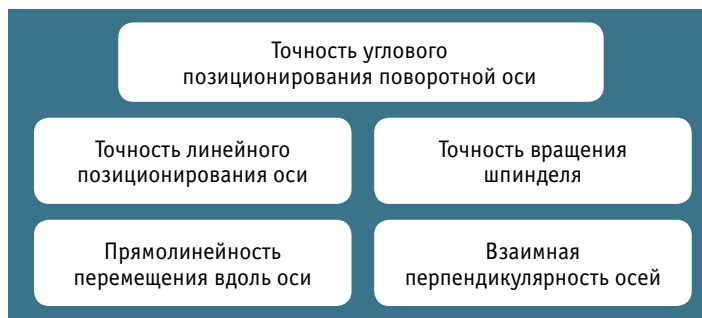
ма инструментальных оправок в шпинделях станков и других параметров;

- диагностика по параметрам точности и постоянства обработки круговой траектории с использованием систем Renishaw ballbar QC10, QC20W;
- контроль геометрических параметров и точности позиционирования, например, при помощи лазерных интерферометров и др.

В АИС «Диспетчер» предусмотрена возможность использования приборов разных производителей для измерения диагностических параметров с разными способами их получения:

- от станков, подключенных к системе мониторинга: как при прямом подключении к УЧПУ, так и при аппаратном, с дополнительно установленных на станке датчиков;
- от стационарных приборов, дополнительно установленных на оборудовании (приборы могут быть подключены к системе по различным интерфейсам: Ethernet, RS-232, RS485, USB и др., при этом могут использоваться стандартные протоколы передачи данных или специальный протокол АИС «Диспетчер»);

Объекты диагностики: параметры точности



Станок с ЧПУ



Объекты диагностики: узлы и детали

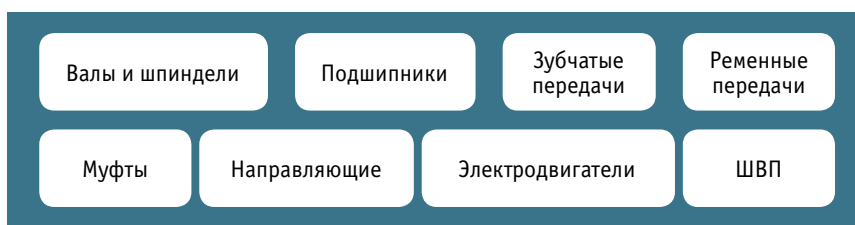


Рис. 2. Объекты диагностики станка с ЧПУ

→ с переносных диагностических приборов – измеренные параметры могут вводиться в систему различными способами: ручной ввод, загрузка файла с результатами измерений и др.

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИЗМЕРЕНИЙ

В АИС «Диспетчер» существуют два метода измерения параметров для заданных объектов технической диагностики, прогнозирования надежности и остаточного ресурса деталей и узлов: мониторинговый и диагностический.

Метод мониторинга в настоящее время является основным. Контролируемые параметры для каждого объекта диагностики передаются на сервер. В системе создаются тренды изменения параметров, формируется прогноз их изменения, и на базе этого определяется время достижения диагностическими параметрами порогов «Уровень предупреждения» и «Уровень аварии». Прогноз выдается в машинных часах работы станка и может изменяться в зависимости от анализа

Таблица 1. Способ получения данных, метод и параметры анализа

	Наименование	Описание	Примечание
1	Способ получения данных	Вибромониторинг; измеряемый параметр; переносной прибор	
3	Метод измерения	Мониторинговый; диагностический	
2	Пороговые значения диагностического параметра	Норма; предупреждение; авария	Мониторинговый метод
4	Дата начала расчета тренда	Задается дата и время момента расчета линии тренда изменения параметра	Мониторинговый метод

результатов измерений. Пересчет тренда выполняется с заданной периодичностью: например, один раз в сутки.

При диагностическом методе необходимо использовать интеллектуальные устройства, которые самостоятельно выполняют анализ измеряемых параметров. Если значения параметров превышают для объекта диагностики порог «Норма», такие устройства определяют время достижения порогов «Уровень предупреждения» или «Уровень аварии» в машинных часах и передают эти данные на сервер.

В «Справочнике оборудования» АИС «Диспетчер» для каждого станка на вкладках «Технические данные» и «Технологические данные» указываются соответственно блоки или детали и геометрические параметры, которые требуется контролировать.

Для каждого объекта диагностики задается один или несколько диагностических параметров. Для каждого диагностического параметра задается способ получения данных, метод и параметры анализа (см. рис. 3 и табл. 1).

Порог «Норма значения» указывается в абсолютных значениях, а «Уровень предупреждения» и «Уровень аварии» задаются в процентах от «Нормы значения». Первоначально пороговые значения берутся из справочных материалов (справочники, ГОСТы) или определяются экспериментально. В дальнейшем они могут корректироваться пользователем.

Объекты диагностики – точностные характеристики формообразующих узлов станка – задаются в «Справочнике оборудования» на вкладке «Технологические данные». Для каждого объекта задаются диагностические параметры,

Рис. 3. Задание объекта технической диагностики и его параметров

которые могут быть получены различными методами, в том числе с помощью переносных приборов.

Используемые в АИС «Диспетчер» переносные приборы регистрируются в «Справочнике переносных диагностических приборов». Для каждого прибора перечисляется список контролируемых параметров. Ввод данных, получаемых от прибора, может выполняться в ручном режиме и путем загрузки файла с перечнем данных.

Информация о техническом состоянии оборудования (соответствие порогам «Норма значения», «Уровень предупреждения», «Уровень аварии»), прогноз надежности и остаточного ресурса предоставляется пользователям в различных аналитических отчетах. Используя данные об остаточном ресурсе оборудования, формируется план проведения технического обслуживания по фактическому состоянию. Ниже приводятся примеры отчетов.

### ОТЧЕТЫ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Эскиз отчета, наглядно отображающего техническое состояние станков, представляет собой таблицу (рис. 4), в которой приведены данные о техническом состоянии оборудования и обнаруженные дефекты.

В таблице названия станков и клетки на пересечении «Станок – Объект диагностики» закрашиваются следующими цветами:

- желтый – превышен уровень «Норма значения»;
- коричневый – превышен «Уровень предупреждения»;
- красный – превышен «Уровень аварии».

Объекты диагностики	Параметры точности				Узлы и детали					
	1	2	3		10	11	12	.....	25	
Цех 1										
Станок 1	1.02	3.02	+5	0	-1	+8	+21	+1	-6	
Станок 2	+5	+7	31.01	0	-1	+8	+21	+1	-6	
Станок 3	0	-1	+8	+21	+1	28.01			2.02	
Станок 4	+5	-3	0	-1	+8	+21	+1	-6	0	
Станок 5	1.02	+5	-3	28.01						
Станок 6	+5	-3	0	-1	+8	+21	+1	-6	0	
Цех 2										
Станок 10					1.02		7.02			
Станок 11	+11	28.01	+5	-3	0	7.02	+5	-3	0	
Станок 12	+5	-3	0	-1	+8	+21	+1	-6	0	
Станок 13	+5	-3	0	-1	+8	+21	+1	-6	0	
Станок 14	+5	-3	28.01				1.02		6.02	

Рис. 4. Отчет о техническом состоянии оборудования

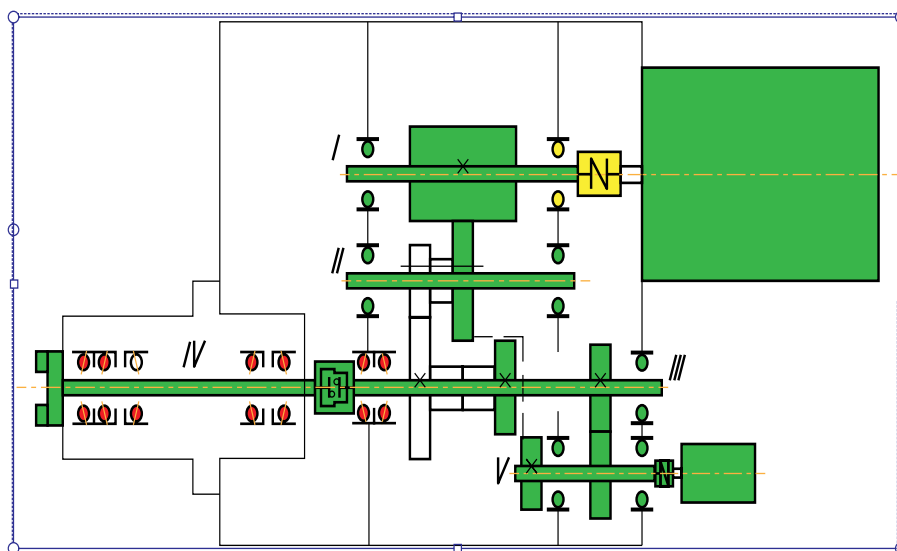


Рис. 5. Кинематическая схема привода главного движения

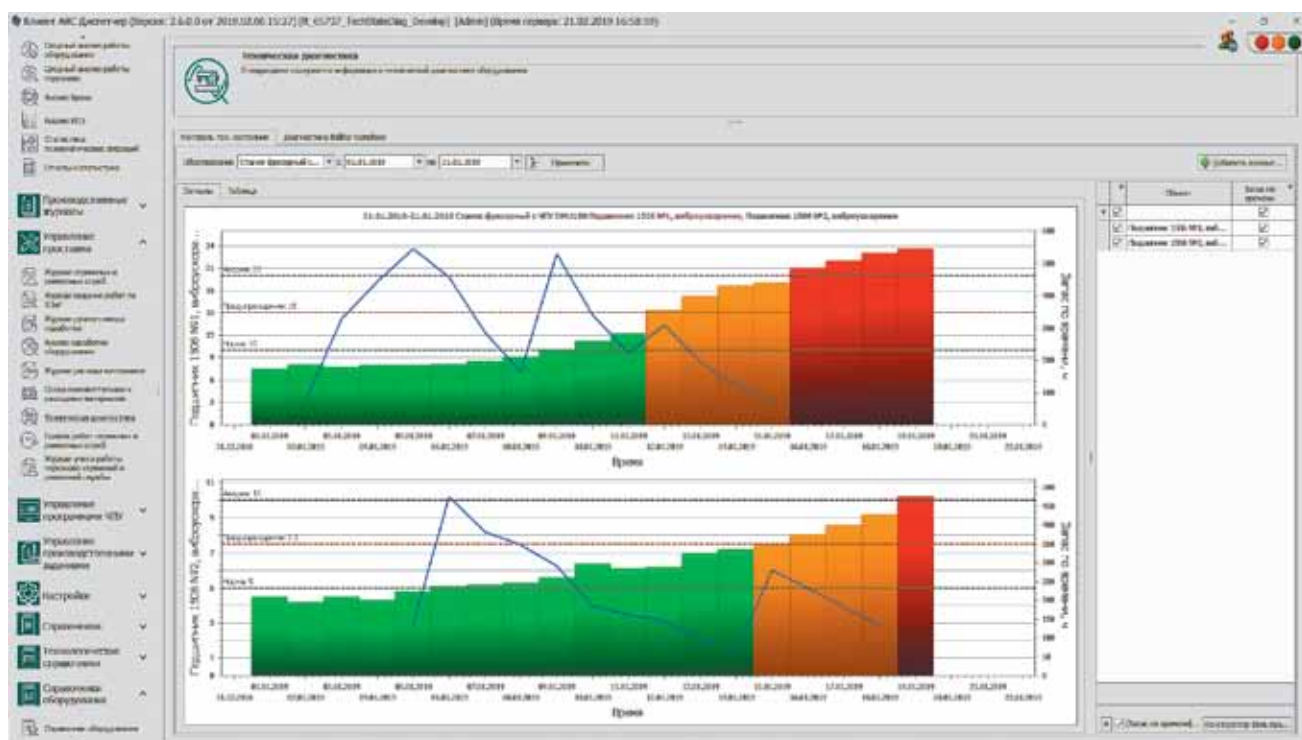


Рис. 6. Отчет о техническом состоянии подшипников шпинделя станка DMU100

Внутри клетки указывается дата, когда было зафиксировано ПЕРВОЕ превышение уровня.

Если параметры объекта диагностики находятся в норме, то в клетке выводится процент изменения параметра по отношению к его начальному значению (увеличение со знаком плюс или уменьшение со знаком минус).

На примере отчета видно, что станки 1, 2, 5, 10 нуждаются в плановом ремонте, а станки 11 и 14 требуют аварийного ремонта.

В этом и подобных отчетах предусмотрены средства контекстно-чувствительной динамики:

- при клике на название станка должен происходить автоматический переход к отображению кинематической схемы данного станка или узла станка, на которой указаны имеющиеся дефекты (рис. 5);
- при клике на клетку, соответствующую объекту диагностики, выполняется автоматический переход к отображению графика изменений данного параметра.

Аналогичные отчеты могут формироваться по остаточному ресурсу работы оборудования и его узлов. При этом в клетках таблицы указывается остаточный ресурс работы в часах для каждого объекта диагностики станка.

Пример реализации отчета по динамике изменения технического состояния подшипников шпинделя приведен на рис. 6.

**Предприятия, постепенно расширяющие спектр практического использования функциональных модулей и опций системы «Диспетчер», проявляют большой интерес к подсистеме «Контроль технического состояния узлов технологического оборудования», и взаимодействие с такими заказчиками часто помогает усовершенствовать возможности создаваемой подсистемы еще на стадии разработки. Эксперты и разработчики ИЦ «Станкосервис» и ГК «Цифра» приглашают к подобному сотрудничеству и обмену мнениями всех, кто интересуется проблематикой автоматизации контроля технического состояния оборудования.**

**ЧУРАНОВ Сергей Александрович** –  
технический директор  
ИЦ «Станкосервис»,  
ГК «Цифра»

**ТУМАНОВ Анатолий Александрович** –  
ведущий аналитик ИЦ «Станкосервис»,  
ГК «Цифра»

**КАТКОВА Анна Александровна** –  
инженер-программист ИЦ «Станкосервис»,  
ГК «Цифра»