



**Ключевые слова:**  
вибромониторинг,  
мониторинг состоя-  
ния станка, спек-  
тральная вибро-  
диагностика,  
«Индустрия 4.0»,  
адаптивный мони-  
торинг

# ПЕРЕДОВЫЕ МЕТОДЫ ВИБРОМОНИТОРИНГА СТАНКОВ

**Александр НАЗАРЕНКО**

Предложена система диагностического вибромониторинга, как наиболее эффективного способа контроля механической целостности и состояния машины. Рассмотрена возможность использования данных вибромониторинга в комплексе с данными технологического процесса, систем диспетчеризации, истории техобслуживания и статистики отказов для прогнозирования остаточного ресурса станка.

## ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационная готовность и загруженность станочного парка являются ключевыми факторами экономической эффективности производственной компании.

При проектировании конструкции станка используются решения и расчеты, которые должны обеспечить максимальную жесткость компонентов станка, способную противостоять любым силам и нагрузкам, возникающим при металлообработке.

Однако, ввиду универсальности современных многофункциональных многоосевых обрабатывающих центров с дополнительным количеством степеней свободы, можно наблюдать тенденцию к снижению жесткости их конструкции. Это повышает вероятность отказов компонентов станка, а также снижает надежность работы и показатели его технической готовности. При этом основная задача производства остается прежней – станок должен выполнять работу быстро и точно, без внеплановых остановов.

## РОЛЬ ВИБРОДИАГНОСТИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Для обеспечения необходимой производительности станка и качества металлообработки современные ЧПУ используют сотни различных параметров для управления рабочими процессами. Однако возникают вопросы: в какой степени эти параметры характеризуют состояние самого станка и можно ли создать модель диагностики состояния при помощи этих параметров?

В настоящее время мониторинг показателей вибрации является единственным способом кон-

троля механической целостности компонентов станков. На опорах ротора любой машины при выполнении производственных операций естественным образом возникает вибрация. Соответственно, любой процесс механической обработки заготовок на станке сопровождается вибрацией – важным рабочим параметром, требующим контроля. Даже если шпиндель работает без видимых или слышимых отклонений от нормальных показателей, повышенная вибрация может приводить к снижению точности обработки и выходу размеров детали за заданные допустимые пределы. Вибрация также оказывает негативное влияние на качество финишной обработки, приводит к износу подшипников и расцентровке.

Результатом высокой вибрации является шум, низкое качество обработки, уменьшение срока службы инструмента и преждевременный износ узлов станка. Мониторинг параметров вибрации – не только самое эффективное, но и, пожалуй, самое экономичное средство контроля механической целостности и состояния машины.

Суммируя вышеизложенное, можно отметить, что диагностическая система мониторинга состояния станка на основе параметров вибрации решает две взаимосвязанные задачи:

- предотвращение преждевременного выхода оборудования из строя из-за разрушения подшипника, то есть предотвращение длительного простоя оборудования вследствие аварии или необходимости его восстановления – в результате обеспечивается экономия средств на тяжелый ремонт или замену комплектующих;
- контроль вибрации станка (шпинделя): своевременная сигнализация о выходе вибрации

за допустимые пределы, когда из-за вибрации и/или торцевого биения шпинделя возникает риск брака обрабатываемой детали, то есть риск выхода за пределы допуска по точности; снижение брака позволяет сократить расходы на материалы и нивелирует риски неисполнения производственного задания.

Также, неотъемлемой функцией современной системы вибромониторинга является функция защиты от удара. Наличие этой функции обеспечивает сохранение инструмента и заготовки, а также предотвращает выход из строя и негативное ударное воздействие на компоненты станка.

### КОМПЕТЕНЦИИ SKF В ОБЛАСТИ РЕМОНТА ШПИНДЕЛЕЙ

Параметры вибрации, измеренные на опорах шпинделя, наиболее полно характеризуют фактическое состояние подшипников, наличие дисбаланса, отклонение положения шпинделя в станке от нормального (несоосность/перекос, ослабление крепежа/фиксации), состояние электропривода и трансмиссии и т. д.

Пожалуй, любой опытный специалист в области вибродиагностики согласится, что наиболее эффективным средством диагностики состояния являет-



Рис. 1. Диагностика шпинделя с помощью портативного прибора

ся сравнение текущих показателей вибрации с показателями новой или только что отремонтированной машины. Именно на этих принципах строится работа в Инжиниринговом центре SKF Solution Factory на участке ремонта шпинделей. Поступивший для ремонта шпиндель запускается на обкаточном стенде, если его состояние позволяет это сделать. Спектральная вибродиагностика с помощью прибора SKF для мониторинга состояния оборудования позволяет определить дефекты поврежденного шпинделя (рис. 1).



Рис. 2. Стенд обкатки шпинделей в Инжиниринговом центре SKF Solution Factory

Процедура ремонта SKF, включающая технические стандарты с соответствующими критериями допустимости всех параметров шпинделя, разработана и проверена длительным опытом. Процесс ремонта шпинделей, выполняемый SKF, охватывает все необходимые этапы: от общего визуального осмотра и входного контроля до обкатки шпинделя, а также проверки дисбаланса и уровня вибрации при выходном контроле (рис. 2).

Регистрация параметров вибрации при выходном контроле сохраняется как «вибрационная подпись» отремонтированного шпинделя.

Таким образом, при дальнейшем гарантийном обслуживании, у инженеров ООО «СКФ» всегда есть возможность сравнения текущих параметров вибрации шпинделя на станке клиента с «вибрационной подписью», снятой при выпуске шпинделя из ремонта.

### АДАПТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Модель автоматической диагностики состояния шпиндельного узла может использоваться для своевременного оповещения оператора станка в режиме реального времени об отклонениях от показателей нормальной работы, которые могут привести к отказам/авариям или получению брака обрабатываемой детали.

Интеграция системы мониторинга состояния в станочное оборудование позволяет в режиме реального времени не только обеспечивать раннее предупреждение о возникновении отклонений от нормального состояния шпинделя, но и активировать управляющие воздействия для предотвращения дальнейшей деградации и поломки, например, временно приостановить работу станка или изменить параметры резания.

Помимо мониторинга состояния непосредственно узлов станка (шпиндели, ШВП, приводы и т. д.),

параметры вибрации, измеренные на опорах шпинделя, также характеризуют правильность выбранных режимов металлообработки и состояние режущего инструмента. Это открывает возможности для реализации «адаптивного мониторинга», т. е. управления режимами обработки по параметрам вибрации.

В многочисленных публикациях, посвящённых концепции «Индустрии 4.0», зачастую забывают, что для наполнения хранилищ данных (Data Lake) нужны сами данные. Только при наличии данных можно применить к ним интеллектуальный анализ (Data Mining), модели искусственного интеллекта и методы машинного обучения.

Параметры вибрации, получаемые благодаря системам мониторинга и диагностики, должны анализироваться совместно с данными по нагрузке с приводных двигателей (по току), данными технологического процесса с ЧПУ или АСУ ТП (тип операции, скорость подачи, глубина резания и др.), с данными систем диспетчеризации MES и PI (Plant Information) по наработке станка, с данными по истории техобслуживания и данными статистики отказов из систем CMMS или EAM.

Только в таком хранилище данных с помощью методов Data Mining и других методов Data Science можно определить повторяющиеся наборы комплексных данных, анализ которых с помощью искусственного интеллекта значительно повысит качество диагностики состояния и прогнозирования остаточного ресурса станка с максимально возможной вероятностью.

Сбор, накопление и анализ данных по всему парку станков предприятия обеспечит постоянное повышение сходимости этой математической модели и повышение достоверности прогнозирования остаточного ресурса.

Выходные данные из описанной системы мониторинга фактического состояния подаются в качестве входных параметров в системы EAM, MES и ERP, обеспечивая, таким образом, цикличность работы процессов цифровизации производства.

В заключение хотелось бы отметить, что для перехода предприятия на техобслуживание по фактическому состоянию необходимы средства для достоверной оценки такого «фактического состояния». В связи с этим, системы вибромониторинга станочного оборудования должны стать неотъемлемой составляющей станка, а также обязательным звеном в системах управления станками как производственными активами.

ООО «СКФ»

тел.: +7 (495) 510-18-20, e-mail: SKF.Moscow@skf.com