

Опасно или безопасно?

Айке Дреус и Йост А. Андерхуб, представители компании PROGNOST Systems GmbH, Германия, разъясняют, каким образом использование современных специализированных систем мониторинга может благотворно повлиять на деятельность эксплуатирующих компаний.

Аварии всегда случаются неожиданно и в самое неподходящее время. Например, на одном из НПЗ внезапный отказ поршневого компрессора вследствие значительных повреждений движущихся частей произошел именно в разгар капитального ремонта резервного компрессора. Вследствие отказа пришлось снизить производительность установки компримирования водорода в рамках процесса десульфуризации на 50% в течение нескольких дней. Таким образом, помимо высоких затрат на ремонт НПЗ понес существенные убытки вследствие производственных потерь.

Аварийный останов критического производственного машинного оборудования всегда создает неудобства и влечет за собой бесчисленные часы сверхурочного времени обслуживающего персонала, а во многих случаях приводит к перерасходу бюджета техобслуживания вследствие высоких затрат на ремонт, не говоря уже о том, какие убытки может вызвать производственные потери в случае недостаточных резервных мощностей.

Где? Что? Почему?

Одной из причин длительного простоя стал большой объем работ по поиску и устранению неисправностей. Например, аварийный останов был инициирован сигналом с датчика вибрации на корпусе машины. Так где же, то есть в каком из четырех цилиндров скрывалась исходная причина повреждений? Что именно было повреждено? Можно ли доверять сигналу тревоги, или тревога была ложной? В типичном случае с использованием одиночного датчика для контроля вибрации не представлялось возможным получить ответы на эти вопросы, следовательно, невозможно было принять какие-либо обоснованные решения. Когда сломанный шток поршня был наконец найден через пять часов после останова, возник самый главный вопрос: почему произошло повреждение? Каким образом можно избежать таких повреждений и связанных с ними простоев в будущем?

Возможно ли было предотвратить повреждение или, по крайней мере, свести к минимуму его масштабы, что позволило бы избежать останова машинного оборудования? Чтобы найти решение, эксплуатирующая компания немедленно приступила к анализу систем защиты и оперативного мониторинга машинного оборудования, которые обеспечивали бы своевременное выявление повреждений и эффективную защиту, тем самым сводя к минимуму масштабы повреждений, а также осуществляли бы непрерывный мониторинг состояния и защищали компрессорное оборудование. В идеальном случае данные системы должны также обеспечивать регистрацию диагностической информации в целях прогнозирования и предотвращения повреждений данного типа в будущем благодаря принятию соответствующих мер.

К концу первого десятилетия XXI века уже существует ряд систем защиты машинного оборудования, которые отвечают возросшим требованиям, и пользователи могут предоставить сведения о реальном опыте эксплуатации такого оборудования. Хотя системы защиты машинного оборудования в последнее время стали применяться для центробежных машин, они сравнительно редко используются для машин возвратно-поступательного действия, к которым относятся поршневые компрессоры и плунжерные насосы. Для машин данного типа применимые международные стандарты содержат лишь ограниченную информацию для эксплуатирующих компаний, призванную помочь при принятии решений. Поскольку поршневые компрессоры являются основной статьей расходов в бюджете техобслуживания, что обусловлено высокими затратами на их ремонт, данному машинному оборудованию уделяется особое внимание.

До настоящего времени простые вибровыключатели применялись в равной степени для защиты вибрирующего и вращающегося оборудования. Опыт эксплуатации поршневых компрессоров показывает, что данные устройства не могут служить эффективным средством для выявления поломок штоков поршней и сопутствующих вторичных повреждений. Состояния «работа» и «останов» больше не могут служить основой для безопасной и эффективной эксплуатации машинного оборудования. Это в первую очередь применимо к машинному оборудованию, имеющему критическое значение в рамках производственного процесса. Численность такого оборудования значительно возросла за последние годы в результате реализации программ оптимизации производства и использования резервных машин в текущем производственном процессе.

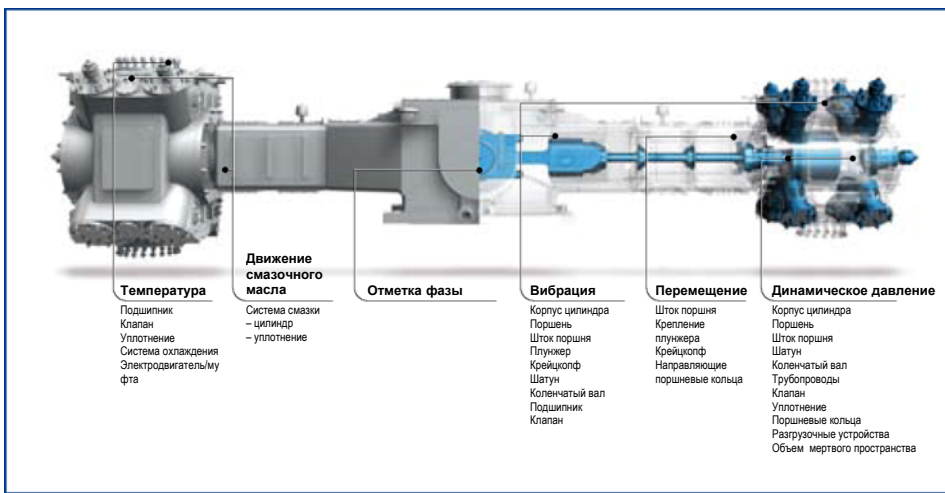


Рис. 1. Контроль компонентов

Нормативные требования

Все компании, эксплуатирующие критическое технологическое машинное оборудование, обязаны выполнять оценку рисков, связанных с работой такого оборудования. Существуют различные законодательные акты и нормативные документы (например, международный стандарт МЭК 61511 «Системы обеспечения функциональной безопасности для перерабатывающих отраслей промышленности»), а также руководящие указания страховых компаний и внутренние технологические стандарты предприятий, требованиями которых должны руководствоваться эксплуатирующие компании при оценке и управлении рисками, связанными с работой машинного оборудования.

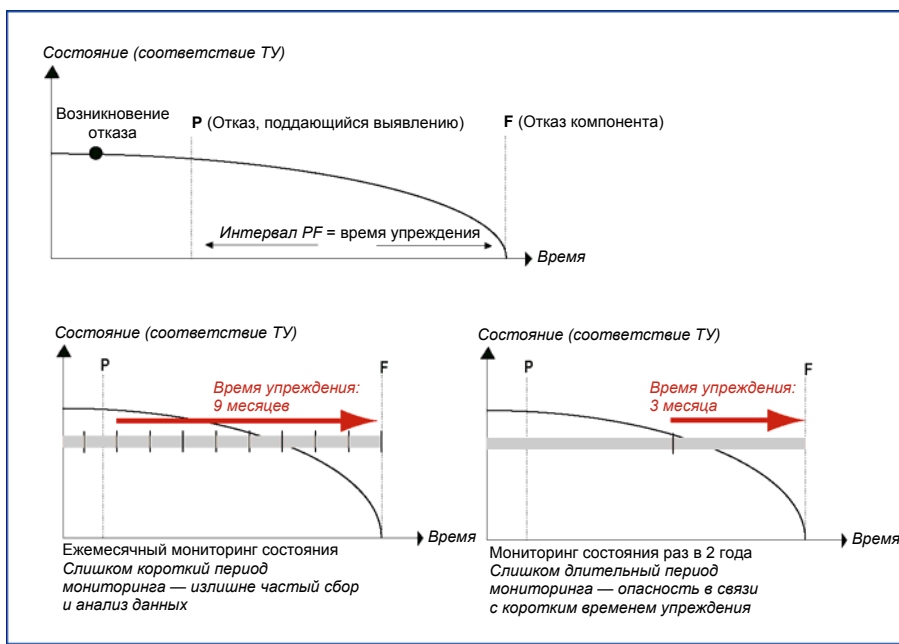


Рис. 2. Интервал PF определяет период упреждения до возникновения повреждений. Чем больше время упреждения, тем выше эффективность действий по предотвращению зарождающихся повреждений.

Функциональная безопасность и классификация SIL

При расширении спектра имеющихся средств обеспечения безопасности одним из важнейших критериев является эксплуатационная готовность (и/или функциональная безопасность). Функциональная безопасность, то есть соответствие требованию в отношении полной работоспособности технологии мониторинга при необходимости ее применения, может быть сертифицирована различными агентствами, например, TUV (Германия). В ходе сертификации на основании положений стандарта МЭК 61508 «Функциональная безопасность» производится тщательная проверка конфигурации системы, а в процессе ее разработки активное участие принимают эксперты TUV. По итогам проверки выдается сертификат, действительный по всему миру и являющийся документальным подтверждением соответствия системы мониторинга требованиям безопасности с отнесением ее к определенному классу SIL (класс безопасности эксплуатации оборудования). Выделяются классы SIL от 0 до 4, при этом классу «0» соответствует самый низкий уровень эксплуатационной готовности.

Эксплуатирующие компании используют данную классификацию SIL в качестве ключевого критерия в процессе оценки средств обеспечения безопасности. В связи с этим класс SIL защитного оборудования должен также, как минимум, соответствовать требуемому уровню, установленному в ходе анализа рисков (например, анализа источников опасности и пригодности к эксплуатации). В связи с этим область применения данного сертификата

заслуживает более пристального рассмотрения со стороны пользователя. Классифицируются ли в этом сертификате все параметры мониторинга, необходимые для эффективной защиты машинного оборудования? Класс SIL, присвоенный системе защиты от превышения установленного числа оборотов турбинным оборудованием, совершенно бесполезен с точки зрения обеспечения безопасности машинного оборудования с деталями, совершающими возвратно-поступательные движения. В данном случае важными факторами являются, например, непрерывный мониторинг и анализ вибрации направляющей крейцкопфа и динамического положения штоков поршней. Например, в компрессорах высокого давления, используемых в производстве полиэтилена низкой плотности и предназначенных для повышения давления этилена до более чем 3000 бар, измерение положения плунжера является критически важным для обеспечения безопасности параметром, которому эксплуатирующие компании также присваивают более высокий класс SIL.

Для эксплуатирующих компаний расширение спектра средств обеспечения безопасности машинного оборудования может быть приемлемым только в случае предоставления гарантии того, что это позволит избежать увеличения количества необоснованных остановов данного оборудования. Например, для предотвращения дорогостоящих ложных тревог могут применяться проверки достоверности сигналов измеряемых параметров. Одна или несколько проверок результатов анализа до подачи сигнала тревоги позволят избежать случаев, когда кабели с плохим контактом, неисправные (сигнальные) линии или небрежность приводят к ложным срабатываниям аварийной сигнализации или инициированию аварийного останова. Эти качественные характеристики имеют ключевое значение для продолжительного и успешного применения современного оборудования для обеспечения безопасности.

Обнаружение повреждений

В то время как для большинства машинного оборудования безопасность является одним из важнейших аспектов эксплуатации, системы мониторинга, в дополнение к жестким и широкомасштабным требованиям к функциональной безопасности и сертификации SIL, должны обеспечивать более широкие характеристики. Для эксплуатирующих компаний первостепенное значение имеет обнаружение и четкое определение места повреждения. Это прежде всего касается поршневых компрессоров, в состав которых входит большое количество движущихся частей, постоянно подверженных воздействию циклических нагрузок. Для решения данной задачи применяются системы мониторинга состояния с функциями автоматической диагностики. Вместе с тем, не следует забывать о том, что автоматическая диагностика имеет ограничения, особенно в сочетании с аварийным остановом, выполняемым за короткое время. Очень короткий период принятия решений обусловлен необходимостью защиты от быстроразвивающихся повреждений, которые во многих случаях не оставляют времени для долгосрочной диагностики, требуемой для выявления возможных причин отказа до аварийного останова. В связи с этим после аварийного останова должен проводиться анализ истинных причин отказа. На основании анализа более чем 400 случаев повреждений можно сделать вывод о том, что примерно 30% всех случаев катастрофических повреждений (например, поломки штока поршня), повлекших за собой аварийный останов, развились в течение 120 секунд из нормального рабочего состояния. В прошлом машину приходилось запускать снова, чтобы на слух определить повреждение и при его наличии локализовать его. При этом вторичные повреждения обычно в несколько раз превосходили по своим масштабам исходный фактор, приведший к повреждению.

Однако возникает вопрос: как можно определить характер повреждения машины, автоматический аварийный останов которой произошел, например, в 5 утра в воскресенье? Каким образом можно быстро установить, является ли данный останов ошибочным (о чем часто ведутся дискуссии)? Наиболее эффективное решение было позаимствовано из авиационной промышленности, известной своими высокими стандартами безопасности. В ней на протяжении десятков лет применяются устройства для регистрации параметров полета. С помощью «магнитофона», интегрированного в концепцию обеспечения безопасности машинного оборудования, техник может воспроизвести всю последовательность событий, предшествовавших останову, как будто он сам присутствовал при данном инциденте. Вследствие очень быстрого развития некоторых повреждений непрерывная регистрация как можно большего количества параметров является ключевым условием для успешного послеаварийного анализа и позволяет зафиксировать все важные аспекты развития ситуации, необходимые для понимания событий и недопущения возникновения подобной ситуации в будущем. Для поршневых компрессоров обычный анализ временного сигнала обеспечивает более точную диагностику по сравнению с анализом частотного спектра, который применяется для центробежных машин. Это предполагает в идеальном случае непрерывную регистрацию всех сигналов в ходе мониторинга для каждого оборота коленчатого вала до, во время и после события, с которым связано повреждение.

Раннее обнаружение неисправностей

Специализированные системы с проработанной стратегией мониторинга позволяют выявить скрытые повреждения на ранней стадии. В связи с этим важно тщательно отобрать параметры для мониторинга и обеспечить правильное размещение датчиков на машинном оборудовании. До внедрения системы мониторинга состояния необходимо составить перечень компонентов машинного оборудования, требующих мониторинга (спецификация на основе требований к техобслуживанию), и обсудить необходимую конфигурацию полевых датчиков с опытным поставщиком услуг. При выборе мест установки датчиков следует учитывать конструктивные особенности машинного оборудования для обеспечения наилучшего качества сигнала в целях ранней диагностики. Принятие неправильных решений на этом фундаментальном этапе может привести к тому, что соответствующие неполадки не будут выявлены или будут обнаружены слишком поздно.

Обнаружение повреждений на раннем этапе их развития является одним из главных аргументов в пользу непрерывного мониторинга состояния машинного оборудования. Для инженеров по техническому обслуживанию особый интерес представляет интервал между первоначальным обнаружением неисправности и возникновением повреждения. Это связано с тем, что данный промежуток времени можно считать периодом предупреждения или временем упреждения до возникновения повреждения. При повседневной эксплуатации промышленного оборудования непрерывный мониторинг развития неисправностей и своевременный останов машин сразу же после возникновения повреждения позволяет избежать многочасовых простоев.

Данный важный период предупреждения часто графически изображается в виде так называемого интервала P-F. Здесь «P» обозначает потенциальную неисправность (первоначальное обнаружение неисправности), а «F» обозначает функциональную неисправность (момент времени, в который произошло повреждение). В том случае если задача состоит в определении возможностей продления рабочего цикла компонентов до максимума, необходимо обеспечить

непрерывную, точную и надежную регистрацию всех релевантных результатов измерений. Это позволит установить продолжительность периода от точки «Р» до точки «F».

Помимо определения периода предупреждения точное раннее выявление неисправностей позволяет избежать развития дорогостоящих вторичных повреждений, которые могут возникнуть, если точка «F» будет пройдена без принятия каких-либо корректирующих мер. Например, при раннем выявлении трещины в штоке поршня (первичное повреждение) и своевременном останове и ремонте машины эксплуатирующая компания может избежать значительно более сложных и серьезных вторичных повреждений (разрушение штока поршня с вероятным потенциальным повреждением движущихся частей машины).

Что же должно входить в состав системы, чтобы она могла обеспечить эффективное раннее обнаружение неисправностей? Для машин с возвратно-поступательным движением были разработаны специализированные системы, основанные на принципах анализа, принципиально отличных от тех, которые применяются, например, для центробежного оборудования. Одно из важнейших отличий состоит в использовании временного анализа амплитуды сигналов вместо частотного анализа (областей частот), применяемого для турбин. Причина таких отличий в подходе связана с циклическим характером работы поршневых компрессоров, в которых такты всасывания, сжатия, нагнетания и расширения выполняются последовательно в каждом цилиндре, а не непрерывно в процессе вращения вала, как у турбинного оборудования.

Таблица 1. Рекомендуемые датчики для оптимизации раннего обнаружения неисправностей	
	Датчик-триггер для опорной фазы
Повреждение пальца крейцкопфа	Акселерометр для измерения вибрации
	Бесконтактный/индукционный датчик для измерения перемещений
Ослабленное соединение между поршнем и штоком поршня	Акселерометр для измерения вибрации
	Бесконтактный/индукционный датчик для измерения перемещений
Ослабленное соединение между штоком поршня и крейцкопфом	Акселерометр для измерения вибрации
Увеличенный зазор в подшипниках малой и большой головок шатуна	Акселерометр для измерения вибрации
Ослабленная гайка поршня	Акселерометр для измерения вибрации
Трещина и/или смещение поршня или штока поршня	Акселерометр для измерения вибрации
	Бесконтактный/индукционный датчик для измерения перемещений
	Акселерометр для измерения вибрации
Биеение клапана	Датчик давления или кольцевой тензометрический датчик для диаграммы p-V
	Акселерометр для измерения вибрации
Блокирование тарелки клапана вследствие чрезмерной смазки	Датчик температуры уплотнительного газа и газа утечки
	Акселерометр для измерения вибрации
Засорение/блокирование клапана	Датчик температуры уплотнительного газа и газа утечки
	Акселерометр для измерения вибрации
Повреждение пружины/тарелки клапана	Датчик температуры уплотнительного газа и газа утечки
	Акселерометр для измерения вибрации
Повреждение тарелки клапана	Датчик температуры уплотнительного газа и газа утечки
	Акселерометр для измерения вибрации
Утечки в клапанах на всасывании и нагнетании	Датчик температуры уплотнительного газа и газа утечки
	Датчик температуры для измерения температуры клапана
	Акселерометр для измерения вибрации
Выход подшипников из строя	Акселерометр для измерения вибрации
Недостаточная/избыточная смазка	Датчик расхода для мониторинга смазки
Утечка и разрыв линии смазочного масла	Датчик расхода для мониторинга смазки
Уплотнительные поршневые кольца	Датчик давления или кольцевой тензометрический датчик для диаграммы p-V
Утечки в уплотнении	Датчик давления или кольцевой тензометрический датчик для диаграммы p-V
	Датчик температуры уплотнительного газа и газа утечки
Повышенная температура всех контролируемых компонентов	Датчик температуры
Избыточная нагрузка на шток поршня	Датчик давления или кольцевой тензометрический датчик для диаграммы p-V
Гильза цилиндра	Акселерометр для измерения вибрации
Жидкость в цилиндре	Акселерометр для измерения вибрации
	Бесконтактный/индукционный датчик для измерения перемещений

Износ направляющих поршневых колец	Бесконтактный/индукционный датчик для измерения перемещений
Поломка поршневого направляющего кольца	Бесконтактный/индукционный датчик для измерения перемещений
	Датчик давления или кольцевой тензометрический датчик для диаграммы p-V

Анализ для раннего обнаружения неисправностей доказал свою эффективность при предотвращении ложных случаев обнаружения. Их доля значительно возрастает по сравнению с несколькими процентами в случае возникновения повреждений. Одним из примеров является сегментированный анализ сигналов в рабочих циклах, используемый для мониторинга состояния критически важных компонентов машинного оборудования. При этом важно обеспечить, чтобы заданные сегменты не были слишком малы, в противном случае обычные флуктуации параметров могут стать причиной ложных тревог.

Регулирование производительности

Часто изменяющиеся рабочие условия в процессе мониторинга и диагностики состояния поршневых компрессоров затрудняют точное и раннее обнаружение неисправностей. За последнее десятилетие резко возросла доля поршневых машин с регулируемой производительностью. В некоторых случаях регулирование производительности может привести к неэффективности традиционно применяемых базовых правил выявления неисправностей, например, обнаружения утечек через клапаны. При использовании контроллеров обратного потока для корректировки расхода, температура клапанов меняется, вследствие чего она не может служить надежным параметром для ранней диагностики. Поэтому перед тем, как применить новые средства управления работой машинного оборудования, необходимо проанализировать, каким образом они повлияют на работу системы мониторинга. Во многих случаях эта взаимозависимость не учитывается, что приводит к ошибочной диагностике.

Само по себе эффективное раннее обнаружение неисправностей машинного оборудования с регулируемой производительностью может быть обеспечено лишь в том случае, если системы мониторинга будут дополнены средствами автоматической регистрации изменений в режимах работы. Это достигается путем применения различных уставок мониторинга для разных рабочих параметров, а также средств обмена данными между системой мониторинга и контроллерами производительности. Это сложный процесс, в котором важно учитывать только те рабочие параметры, которые реально влияют на поведение машинного оборудования в ходе эксплуатации. Данный процесс требует применения средств комплексного математического анализа, позволяющих быстро и без затруднений задать все уставки мониторинга для раннего обнаружения неисправностей.

Независимая диагностическая поддержка

Сложные системы мониторинга требуют применения экспертных знаний. Для полной реализации всех возможностей данной технологии пользователь должен обладать определенным минимальным объемом знаний. Прохождение учебных курсов всеми категориями пользователей (от начинающих до продвинутых) и регулярное использование системы позволяют выработать навыки, необходимые для правильного задания уставок параметров и эффективной работы данных средств. При появлении сообщения об ошибке и аварийного сигнала остановка перед многими операторами встает вопрос: «Каким образом можно быстро проверить информацию от средств автоматизации?». До того, как машина стоимостью несколько миллионов евро будет остановлена, и будет инициирована дорогостоящая процедура техобслуживания, должно быть принято обоснованное решение. При выборе поставщика эксплуатирующие компании должны убедиться в том, что предлагаемый пакет полностью отвечает их требованиям, и что консультационные услуги, связанные с устранением и предотвращением повреждений, не противоречат коммерческим интересам, связанным с ремонтными работами (продажа запасных частей, техническое и сервисное обслуживание).

Заключение

В прошлом обеспечению безопасности машинного оборудования и раннему обнаружению неисправностей поршневых компрессоров часто уделялось недостаточно внимания. В результате в настоящее время многие эксплуатирующие компании несут серьезные убытки, которые можно предотвратить с помощью современных систем обеспечения безопасности. Кроме того, во многих случаях не соблюдаются нормативные требования. Высоких затрат на ремонт и производственных потерь можно избежать, если при выборе системы мониторинга принимать во внимание особенности поршневого машинного оборудования, чтобы, например, обеспечить возможность осуществления раздельного мониторинга изменяющихся рабочих условий.

Эксплуатирующие компании, которые несут высокие затраты, связанные с небольшим парком поршневого машинного оборудования, должны сделать шаг в XXI век посредством внедрения целенаправленных программ модернизации, чтобы снять с себя обвинения в отсталости. В настоящее время несоответствие требованиям стандартов МЭК и неэффективная работа машинного оборудования совершенно неприемлемы. Современные технологии могут применяться любыми компаниями, эксплуатирующими критическое с точки зрения безопасности и технологического процесса вращающееся оборудование, чтобы извлечь максимальную выгоду из своих активов без ущерба для безопасности, инвестиций и процесса эксплуатации.