

# Первый в России комплекс предиктивной аналитики для энергетического и промышленного оборудования

**Максим Липатов**

Главный специалист по эксплуатации СУМиП  
Управления мониторинга и диагностики  
M.Lipatov@zaorotec.ru

АО «РОТЕК», Химки, Россия

**Ключевые слова**

удаленный мониторинг, прогностика, предиктивная аналитика, энергетическое оборудование, промышленное оборудование

**Нарушение штатного режима работы энергетического объекта зачастую вызвано аварийными ситуациями, связанными с отказом оборудования. Современным решением для прогнозирования и оптимизации технологических процессов, а также для предотвращения возникновения проблем в будущем, является интеграция системы удаленного мониторинга и прогностики. Это позволит повысить безотказность работы энергетических установок и обеспечить значительную экономическую выгоду за счет сокращения внеплановых простоев предприятия.**

За рубежом для мониторинга состояния оборудования электростанций, прежде всего атомных, где проблема надежности ранней диагностики отказа оборудования имеет максимальный приоритет, разработана система, в основу которой положен метод подобия, сравнивающий текущее состояние оборудования с предыдущим, принятым за эталон. По отчетной информации, переход на систему предиктивной аналитики позволил зарубежным генерирующим предприятиям:

- значительно снизить стоимость обслуживания оборудования (более чем на 4,5 млн. долл.);
- избежать 90% внеплановых остановов и, соответственно, потерь выработки энергии;
- снизить удельный расход условного топлива за счет оптимизации режимов работы оборудования (на 0,5%);
- уменьшить размер страховой премии на 40%.

В настоящее время все газовые турбины большой мощности, поставленные в РФ зарубежными изготовителями, сопровождаются долгосрочным сервисным контрактом, в составе которого предусмотрена система удаленного мониторинга (СУМ) технического состояния. Держателем такого контракта чаще всего выступает фирма-производитель или иная зарубежная сервисная фирма. Сигналы в СУМ забираются от датчиков газотурбинной установки в закрытом режиме и направляются по интернету на сервер Экспертного центра, расположенного за рубежом.

**Отечественное решение**

Для поддержания стабильной работы энергетических установок компанией «РОТЕК» создан первый в РФ Центр удаленного мониторинга и прогностики (г. Химки) с собственным программным обеспечением и алгоритмами контроля. Программно-технический комплекс предиктивной аналитики «ПРАНА» осуществляет непрерывную диагностику, оценку ресурса узлов и деталей, анализ и прогнозирование изменения технического состояния объекта. Объектом мониторинга может быть любой промышленный агрегат — паровая или газовая турбина, котел, насос, нагнетатель, трансформатор или их совокупность — энергоблок, электростанция,

строительные конструкции — здания, мосты, эстакады, плотины, оснащенные необходимыми датчиками для контроля параметров состояния.

Для объекта мониторинга, оснащаемого системой, создается эмпирическая модель, которая строится с помощью специального статистического алгоритма по выборке векторов значений технологических параметров (векторов состояния) за период работы объекта, принимаемый за базовый период, с которым будет производиться сравнение поведения объекта для обнаружения отклонений технического состояния. Построенную модель можно представить в виде многомерной поверхности в пространстве технологических параметров, в окрестности которой могут располагаться векторы, соответствующие с достаточно высоким уровнем достоверности использованной для построения модели выборке. Параметры этой поверхности и ее окрестности определяются с помощью статистического алгоритма.

Изменение технического состояния, автоматически определяемое системой, вызывается зарождением и развитием дефекта деталей, узлов и систем объекта мониторинга из существующего множества (рис. 1). Система весьма чувствительна. Она обнаруживает отклонение на самых ранних стадиях

изменения технического состояния и при этом указывает также на ранжированный вклад каждого технологического параметра в наблюдаемые изменения технического состояния, что позволяет выбрать направление поиска источников возникающих проблем. При накоплении некоторой статистики обработки данных событий система позволяет создавать правила для автоматического определения проблемных узлов и деталей объекта мониторинга.

**Архитектура системы**

1. ПТК «ПРАНА» интегрируется в штатную АСУ ТП и не требует каких-либо изменений в конфигурации оборудования (рис. 2). Количество подключаемых энергоблоков не ограничено.
2. Сигналы данных с микроконтроллеров турбины поступают на сервер нижнего уровня, расположенный на территории ТЭС.
3. Данные транслируются на сервер верхнего уровня по защищенному каналу связи в Центр обработки данных АО «РОТЕК» (ЦОД). Этот сервер предназначен для обработки и хранения полученных данных в течение длительного периода времени.
4. Далее информация передается на мнемосхемы экспертно-аналитического отдела ЦОД для обработки.

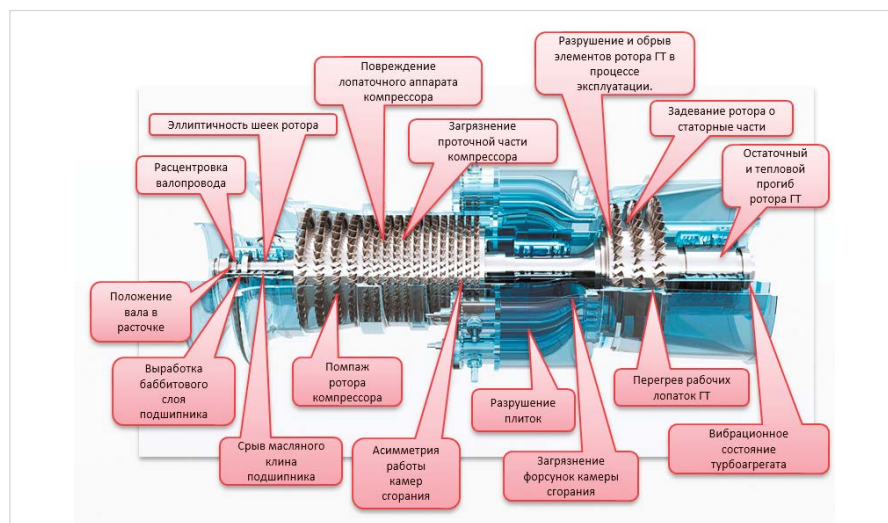


Рис. 1 — Дефекты турбин, определяемые системой «ПРАНА»

5. Экспертно-аналитический отдел формирует и передает рекомендации по устранению возникшего дефекта.
6. Рекомендации направляются на ТЭС представителю эксплуатирующей организации.

#### Функции системы

- Построение эталонных математических моделей различных режимов работы оборудования с учетом его индивидуальных особенностей.
- Автоматическая индикация и оповещение (sms, e-mail) о выходе значений параметров, характеризующих работу оборудования, за границу, заданную эталонными моделями режимов его работы.
- Автоматизированное аналитическое определение причин выхода значений параметров, характеризующих работу оборудования, за установленные пределы при помощи «матрицы дефектов».
- Прогнозирование вероятного срока безотказной работы оборудования.
- Сравнительный анализ различных режимов работы оборудования для однотипных объектов.
- Выделение опасных режимов работы оборудования.
- Прогноз ресурса узлов и деталей.
- Резервное хранение архивных данных.
- Безопасный удаленный доступ к данным о работе оборудования в реальном времени.

#### Превентивная диагностика

Раннее обнаружение возникающих дефектов и отказов в работе позволяет диагностировать проблемы до того, как они превратятся в аварии (рис. 3). Например, если отклонение зафиксировано за 3 месяца до выхода параметра на уровень предупредительной сигнализации, есть возможность оперативно локализовать дефект, осуществить логистику запчастей и провести плановый останов и ремонт.

Остаточный ресурс узлов и деталей рассчитывается по принципу «безопасной эксплуатации по техническому состоянию» на основе определяющих параметров, изменение которых приводит объект в неработоспособное или предельное состояние. Комплекс позволяет в любой момент оценить остаточный ресурс, причем у специалистов есть возможность оценить как краткосрочный (на ближайшие минуты-часы), так и долгосрочный прогноз (от 1 года до 5–7 лет).

Система автоматически в режиме онлайн определяет изменение технического состояния и сигнализирует об этом в журнале событий. Данные о работе оборудования хранятся в течение жизненного цикла. Имеется возможность определения изменения технического состояния при его анализе по архивным данным в режиме офлайн.

#### Опыт применения в России

К настоящему времени программно-техническим комплексом оснащены

четыре газотурбинные установки типа ГТЭ-160 (V94.2) мощностью 160 МВт на электростанциях ПАО «Т Плюс»:

- Пермская ТЭЦ-9 – с мая 2015 г.
- Кировская ТЭЦ-3 – с сентября 2015 г.
- Владимирская ТЭЦ-2 – с октября 2015 г.
- Ижевская ТЭЦ-1 – с февраля 2016 г.

#### Эффект от внедрения

- Снижение риска наступления аварийного случая, путем перевода большинства отказов из категории внезапных в разряд прогнозируемых.
- Увеличение межремонтного периода оборудования за счет раннего обнаружения и устранения неисправностей во время запланированных остановов.
- Сокращение продолжительности вынужденных простоев оборудования и сведение их к нулю.
- Снижение затрат (до 30%) на сервисное обслуживание оборудования. На основе информации о фактическом состоянии оборудования осуществляется переход к планированию ремонтов, оптимизируется логистика запчастей и сокращается время unplanned простоев и неготовности.
- Получение достоверной статистической информации о работе оборудования позволяет прогнозировать остаточный ресурс деталей и узлов (время наработки до наступления неработоспособного или предельного состояния).

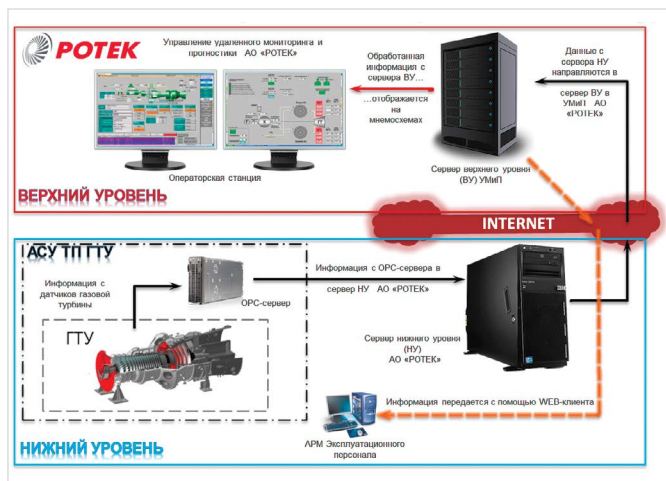


Рис. 2 — Архитектура системы

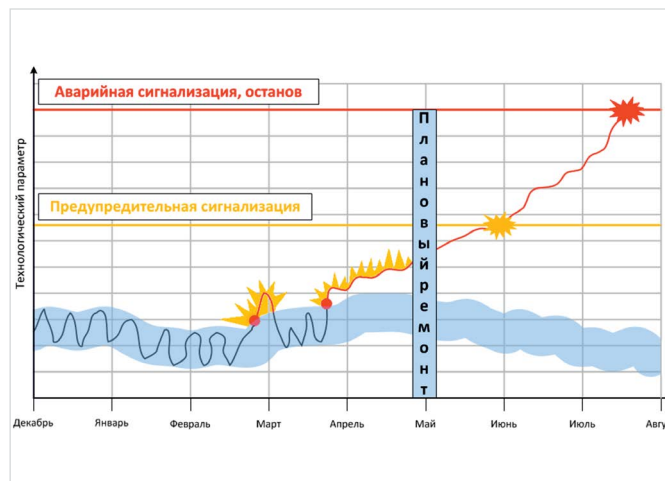


Рис. 3 — Преимущество раннего обнаружения отклонений

<b>Выявление неполадок</b>	Время выявления изменения контролируемой величины относительно модельного значения составляет не более 1 сек. Количество контролируемых величин для блока ПГУ мощностью 240 МВт (на базе ГТЭ-160) - порядка 500.
<b>Прогноз аварий и поломок</b>	Прогнозирование с математически рассчитанной вероятностью 85% поведения систем, оценка степени деградации узлов по изменению контролируемых величин.
<b>Определение причины</b>	Диагностирование причины изменения измеряемой величины за 30÷80 секунд с момента выхода измеряемой величины из границ модели.
<b>Расчет ресурса</b>	Определение в любой момент времени остаточного ресурса узлов и деталей оборудования.
<b>Планирование ремонтов</b>	Формирование на любой момент времени номенклатуры заменяемых, ремонтируемых деталей и оптимального срока проведения ремонта с учётом состояния оборудования, диспетчерского графика его работы и логистики склада.
<b>Онлайн/Офлайн режим</b>	Онлайн режим обрабатывает данные с КИПиА в режиме реального времени. Офлайн режим позволяет обрабатывать архивные данные за выбранный промежуток времени.
<b>Локальное развертывание</b>	Возможность создания локальной системы

Таб. 1 — Возможности комплекса предиктивной аналитики «ПРАНА»