



РОСЭНЕРГОАТОМ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ДИВИЗИОН РОСАТОМА

Предиктивная аналитика оборудования АЭС

Мухортов Алексей Викторович

Москва | 19 ноября 2019 года

Сведения о турбогенераторах АЭС

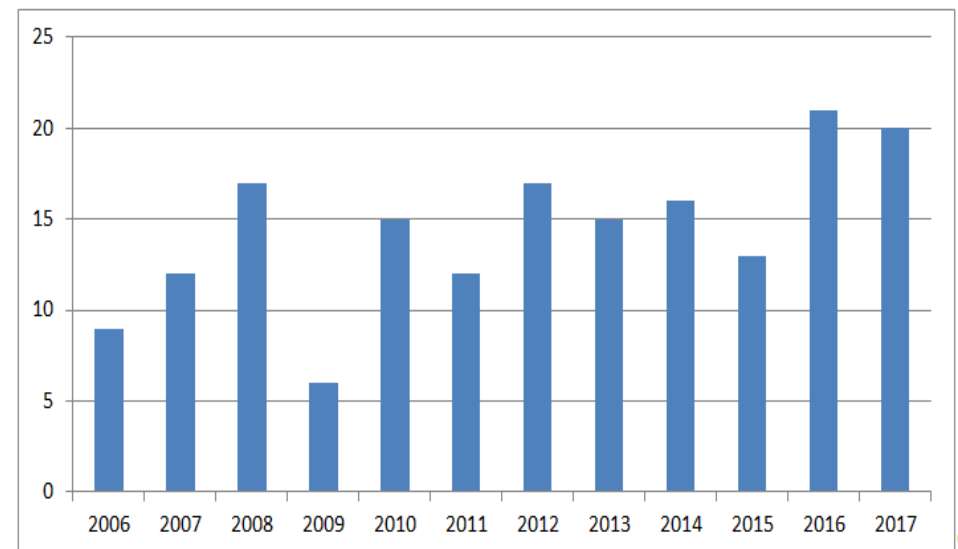
- В настоящее время в эксплуатации на АЭС АО «Концерн Росэнергоатом» находятся 54 турбогенератора 10 типов.
- В основном эксплуатируются генераторы типа ТВВ: 220-2АУЗ, 500-2УЗ, 1000-2УЗ и 4УЗ, однако есть и «эксклюзивные», типа ТЗВ-1200-2АУЗ (установленные на новых блоках АЭС).
- Срок эксплуатации генераторов составляет от 45 до 2 лет (на новых блоках).

Распределение повреждений в зависимости от места дефекта



Основным направлением развития и применения методов технической диагностики и мониторинга является уменьшение (устранение) наиболее частых повреждений генераторов в эксплуатации, а также повреждений, связанных со значительным недоотпуском электроэнергии.

Распределение повреждений по годам



Существующая система технической диагностики ТГ АЭС



- Основной объём диагностики ТГ определяется инструкцией по эксплуатации турбогенератора (от Изготовителя) и комплектом НТД Концерна



- Действующая в настоящее время нормативная база по контролю и диагностики и инструкция завода направлены в основном на проведение диагностики ТГ в период ППР

Недостатки

1. Неполный объем диагностируемых элементов и узлов ТГ
2. Позднее выявление дефектов
3. Недостаточная «чувствительность» методов диагностики. Возможен пропуск критических дефектов
4. Отсутствие возможности прогнозирования ТС

Предложенные пути решения:

1. Разработка нормативной базы по комплексной диагностике
2. Применение новых систем диагностики ON-line, мониторинга
3. Внедрение аналитических систем в целях углубленной обработки данных технологического контроля

Системы технологического контроля турбогенераторов

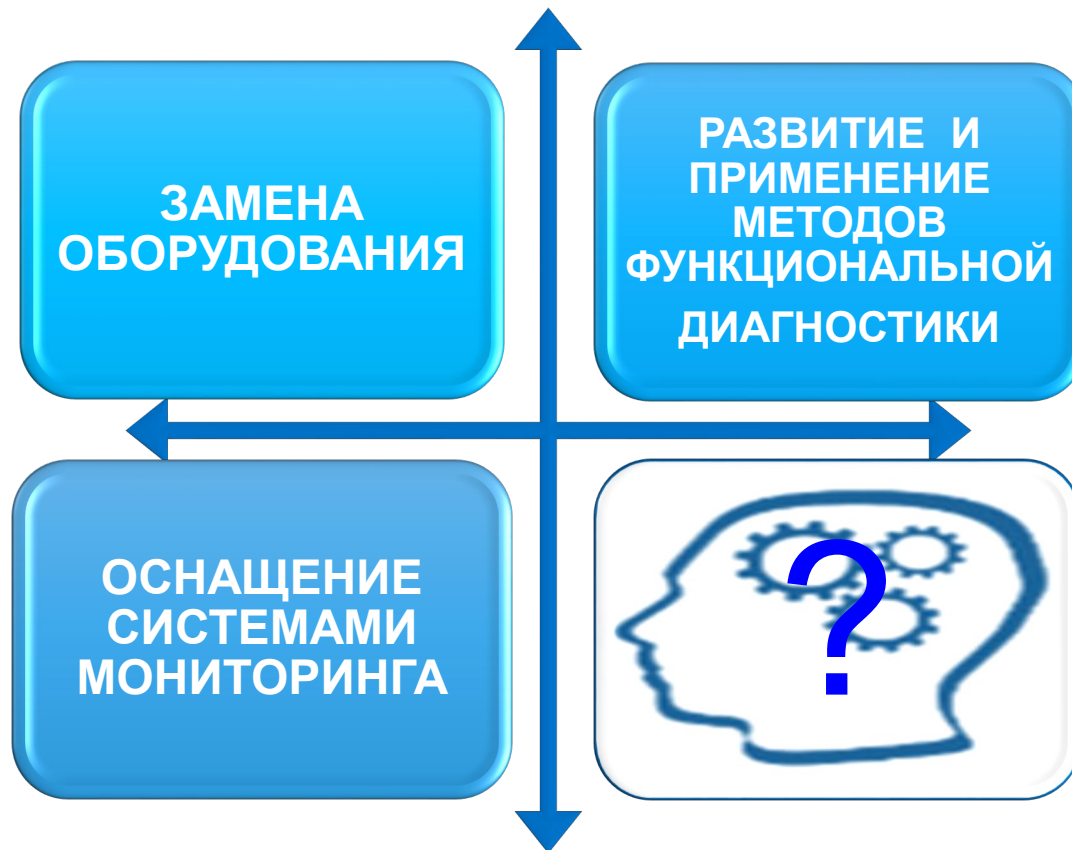
В настоящее время на АЭС АО «Концерн Росэнергоатом» применяются системы технологического контроля турбогенераторов ПТК «Квинт» производства НИИ «Теплоприбор», СТК-ЭР производства НПФ «Ракурс», ПТК СТК-ТГ «Круиз» производства ООО НПФ «Сенсорика», СК-03 производства ОАО «Приборный завод «Тензор», «НЕВА-АСКДГ» производства НПФ «Энергосоюз».

Все указанные системы в равной мере решают задачи температурного контроля генераторов, связанные с контролем, представлением, хранением информации и обработкой архива. Также системы способны выполнять функции защит генератора на основе сравнения действующих значений контролируемых параметров со значениями введенных уставок.

Функциональные возможности ПТК с определёнными отличиями имеют сходный набор:

- сбор и предварительная обработка сигналов датчиков;
- сравнение измеряемых параметров с заданными уставками и выдача выходных релейных сигналов по результатам сравнения;
- регистрация событий и аварийных ситуаций;
- представление информации на экранах дисплеев в виде мнемосхем, гистограмм, графиков, цифровых значений и текстовых сообщений, хранение информации;
- непрерывный контроль исправности измерительных каналов, включая линии связи с датчиками, - циклическая тарировка измерительных трактов;
- передачу данных в СББУ (и далее в АСУТП).

Существующие пути повышения эксплуатационной надежности генераторного оборудования АЭС



Одно из возможных направлений повышения надежности эксплуатации основного электротехнического и тепломеханического оборудования энергоблоков АЭС - разработка и внедрение автоматизированных систем, основанных на применении методов предиктивной аналитики.

Предиктивная аналитика оборудования



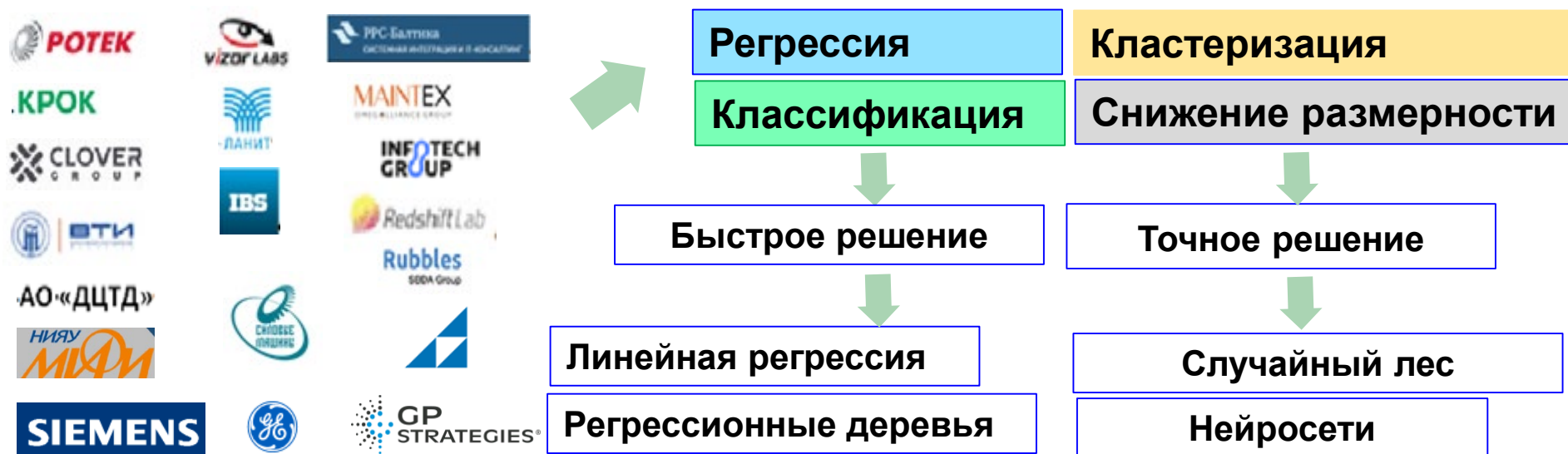
10.07.2017 Международная промышленная выставка «Иннопром-2017»

Председатель Совета директоров «РОТЕК» Михаил Лифшиц рассказал Президенту о **системе прогностики** состояния промышленного оборудования «ПРАНА»...

«У нас уже реализуются цифровые проекты в рамках национальной технологической инициативы. Теперь важно их максимально быстро развивать, масштабировать, сформировать новые рынки, предложить дополнительные стимулы для инвестиций в высокотехнологичные отрасли и, конечно же, продолжать создавать комфортную среду для инноваций, причем на всех уровнях: от федерального до муниципального». В.В. Путин

- **Предиктивная аналитика (от англ. predictive analytics)** — класс методов математического анализа данных, концентрирующийся на прогнозировании технического состояния объекта с целью принятия оптимальных решений по его дальнейшей эксплуатации.
- **Основной задачей ПА** является построение и оптимизация математической (цифровой) модели оборудования, с помощью которой возможно выявление одного или нескольких параметров, изменение которого даже в пределах уставок может значительно ухудшить ТС оборудования, определение этого временного интервала и корректировка основе этой информации программы и объема ТОиР.

Математические методы построения цифровой модели



Регрессионные модели. Используются для моделирования отдельных показателей функционирования объекта и их прогнозирования. Предиктивный анализ проводится на основе сравнения прогнозных значений с текущими номинальными (в т.ч. с заданными уставками).

Метод MSET (Multivariate State Estimation Technique). Основан на сравнении наблюдаемых значений показателей с модельными и анализе рассогласований между ними. Нетипичные рассогласования могут свидетельствовать об аномальном поведении объекта.

Сравнение существующих систем прогнозной аналитики

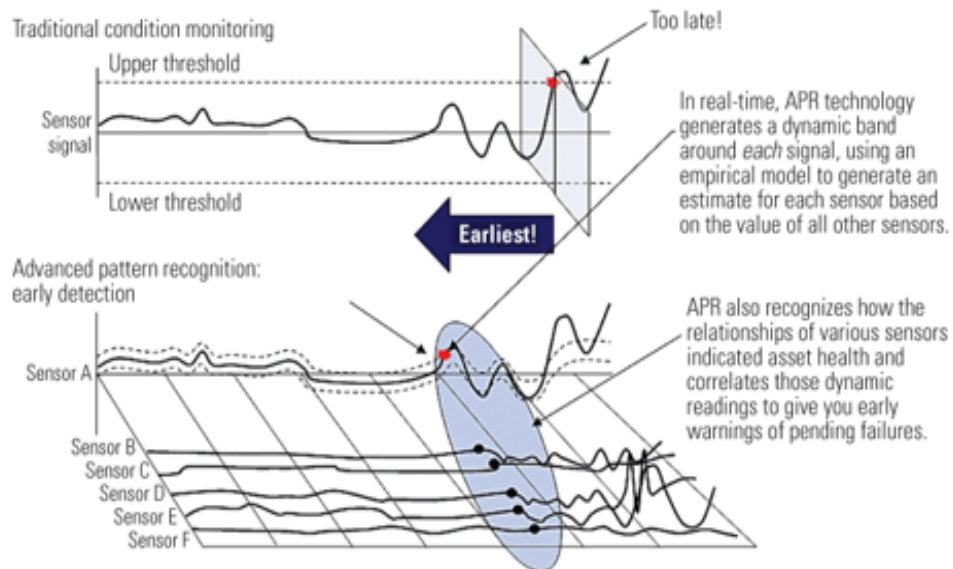
Система	Математический метод и его характеристика
SmartSignal GE / MAINTEX	Метод выявления сходства переменных (SBM – similarity based modeling) Методом <i>многомерного статистического моделирования</i> выявляют характер и структуры взаимосвязей между компонентами исследуемых многомерных данных;
AVEVA PRiSM Predictive Asset Analytics MAINTEX	Техника оценки многомерных состояний MSET– метод с использованием идеологии контрольных T ² -карт Хотеллинга для обнаружения и идентификации разладки в работе объекта мониторинга.
SPPA-D3000 Plant Monitor Siemens	Нейронные сети Нет чёткой прозрачности в математическом обосновании метода. В процессе обучения <i>нейронная сеть</i> выявляет сложные зависимости между входными и выходными данными, а также выполняет обобщение. В результате обучения создается модель объекта, задающая связи между моделируемыми технологическими параметрами и параметрами-аргументами. Модель не существует в явном виде.
EtaPRO GP Strategies	Нечёткие логики Нет чёткой прозрачности в математическом обосновании метода. Позволяет сравнить интуитивное или экспертное знание о процессе или представление о процессе в виде набора эвристических правил с моделью процесса.
SmartMaintenance CLOVER GROUP	Линейная регрессия и интегрирование данных
ПРАНА POTЕК	Техника оценки многомерных состояний MSET– метод с использованием идеологии контрольных T ² -карт Хотеллинга для обнаружения и идентификации разладки в работе объекта мониторинга.

Что такое предиктивная модель?

Предиктивная модель оборудования - математическая модель оборудования, предназначенная для проведения непрерывной обработки актуальной измерительной информации, поступающей с систем контроля и диагностики, размещенных на оборудовании, с целью превентивного определения скрытых дефектов, возникающих в оборудовании в процессе его эксплуатации, удовлетворяющая следующим основным требованиям:

- должна строиться на основе исторических эксплуатационных архивов изменения параметров оборудования, с учетом проектной и эксплуатационной документации, включающей в себя информацию о дефектах, зафиксированных ранее при эксплуатации оборудования и объеме проведенного ТОиР;
- в качестве входных параметров должна использовать значения сигналов от датчиков систем контроля и диагностики, размещенных на оборудовании (то есть такие сигналы, изменения значений которых могут свидетельствовать о появлении скрытого дефекта в оборудовании);
- модель должна оценивать следующие выходные параметры:
 - вероятность (количественная или качественная) наличия скрытого дефекта в текущем состоянии оборудования;
 - причина возникновения скрытого дефекта с оценкой достоверности ее определения (применяется только в случае обнаружения скрытого дефекта);
 - запас по времени (с оценкой достоверности) до выхода входных параметров предиктивной модели за пределы области, характеризующей нормальную эксплуатацию оборудования, при его дальнейшей эксплуатации (применяется только в случае обнаружения скрытого дефекта).

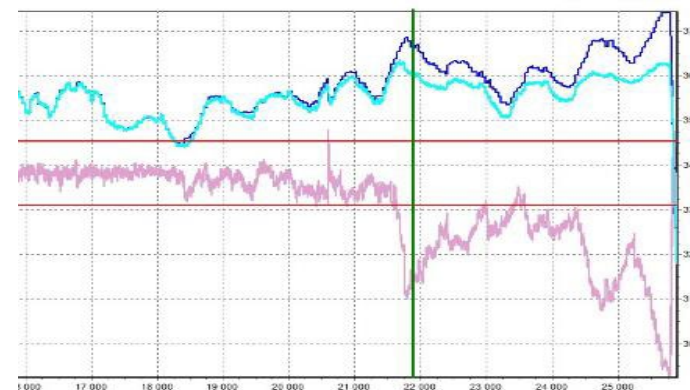
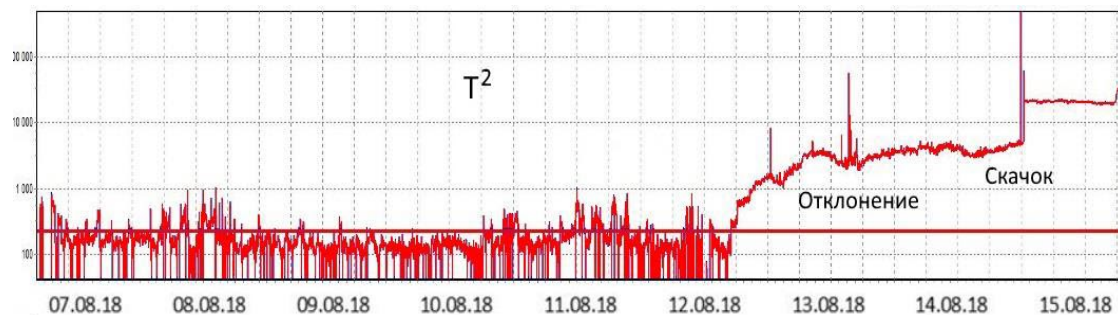
Пример работы предиктивной модели на основе MSET



Решение основано на технике оценки многомерных состояний (MSET) с использованием идеологии контрольных T^2 -карт Хотеллинга и методов машинного обучения.

1. На основе архивных данных ПРАНА строит эталонную модель работы оборудования. Далее все измерения с объекта в режиме реального времени сравниваются с ней.
2. Система автоматически выявляет критически важные отклонения параметров, на основании которых проводит первичную идентификацию проблемы.
3. Программное обеспечение ПРАНА включает готовые экспертные модули и библиотеки, которые ложатся в основу рекомендаций, что позволяет избежать погрешностей.

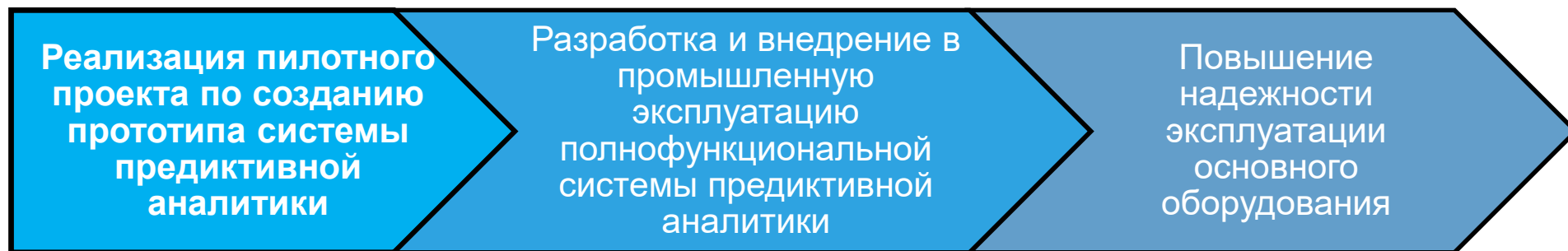
В рамках настоящей работы каждый предоставленный архив был разбит на 2 временных интервала: по первому строилась эталонная модель, по второму производился анализ изменения технического состояния с выявлением параметров, вносящих наибольший вклад в разладку интегрального критерия T^2 .



Итоги предпилотных исследований

- Результаты предпилотных исследований показали, что применение существующих подходов и решений в области предиктивной аналитики для анализа технического состояния основного оборудования энергоблоков АЭС организационно и технически реализуемо.
- Предпилотные исследования позволили более детально проработать требования АО «Концерн Росэнергоатом» к пилотному проекту по созданию прототипа системы предиктивной аналитики.
- Предпилотные исследования позволили получить адекватную информацию о техническом уровне предложений на существующем рынке предиктивной аналитики.
- В настоящее время на отечественном рынке не существует законченного решения в области предиктивной аналитики, которое бы полностью удовлетворяло всем техническим требованиям со стороны АО «Концерн Росэнергоатом». Необходимо разрабатывать свою систему.

Реализация проекта «Предиктивная аналитика оборудования АЭС»



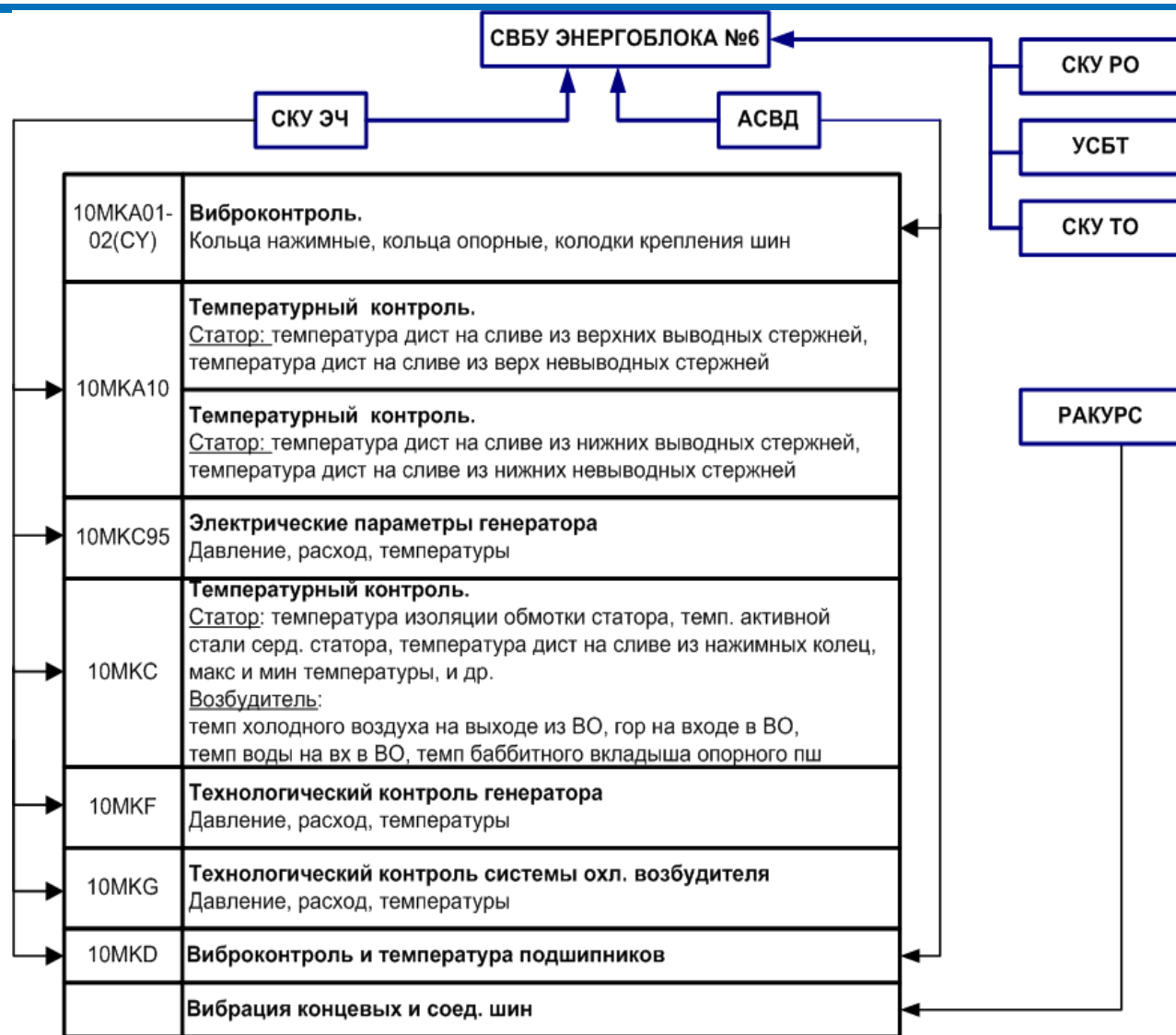
1 Этап работ по развитию направления предиктивной аналитики оборудования АЭС в АО «Концерн Росэнергоатом» - выполнение **пилотного проекта**. В качестве основного объекта реализации пилота определен турбогенератор типа ТЗВ-1200-2У3 энергоблока №6 Нововоронежской АЭС.

Цель пилотного проекта – создание прототипа системы предиктивной аналитики, включая практическую отработку математических методов предиктивного анализа и организацию каналов передачи данных со штатных систем контроля и диагностики оборудования, предназначенной для своевременного обнаружения возникновения и развития скрытых дефектов в оборудовании.

Турбогенератор типа ТЗВ-1200-2АУЗ

Основные технические параметры генератора

Активная мощность (P)	1200 МВт
Число обмоток	2
Реактивная мощность (Q)	581 МВАр
Полная мощность	1333 МВА
Коэффициент мощности	0,9
Ток ротора генератора	6550 А
Линейное. напр. обмотки 1 генератора (UA1)	24 кВ
Ток фазы обмотки	16 кА
Ток возбуждения	141 А
Напряжение возбуждения	620 В



Ожидаемый результат пилотного проекта

➤ ЭТАП 2 Разработка прототипа системы ПА с функциями:

- автоматический поиск скрытых дефектов, возникающих в оборудовании во время его эксплуатации, на основе автоматического анализа изменения технологических параметров оборудования, регистрируемых штатными системами контроля и диагностики;
- автоматическая локализация обнаруженных скрытых дефектов путем определения перечня технологических параметров оборудования, на которые проявление дефекта оказывает основное влияние;
- автоматическая оценка запаса по времени до выхода технологических параметров оборудования за пределы области значений, характеризующей нормальную эксплуатацию оборудования;
- автоматизированное (с привлечением экспертов) определение возможных причин возникновения скрытых дефектов в оборудовании;
- разработка рекомендаций (на экспертном уровне) по порядку дальнейшей эксплуатации оборудования.

➤ ЭТАП 3 Проведение опытной эксплуатации прототипа системы ПА, оценка перспективности дальнейшего развития данного направления на другие типы ЭТО АЭС

Заключение – предложения по

1.	Полнее взаимодействовать с заводами-изготовителями по вопросам исключения отказов, связанных с недостатками конструирования и конструкторской документации.
2.	При производстве ТОиР особое внимание уделять анализу конструкции и повреждаемости конкретного типа испытуемого оборудования, а также визуальному осмотру с использованием технических средств (по которому процедура детально нигде в НД не прописана). И на этой основе уже корректировать программу и объем испытаний.
3.	Провести «аудит» действующих методик контроля ТС турбогенераторов как при ремонте так и в эксплуатации для реанимации понятия «комплексного диагностического обследования».
4	Проработать вопрос о модернизации, дополнении существующих автоматизированных систем технологического контроля и мониторинга ТГ в части расширения состава датчиков для наиболее полного контроля ТС основных систем ТГ.