

# Технически и экономически обоснованные системы диагностического мониторинга, оценки и прогнозирования технического состояния оборудования

**Леонид Альбертович Дарьян**  
Д.т.н., Директор по научно-техническому  
сопровождению



СОЧИ  
2017



## Внедрение средств диагностического мониторинга, оценки и прогнозирования технического состояния электроэнергетического оборудования

**Цель:** обеспечение заданного уровня надежности функционирования оборудования энергообъектов за счет внедрения технически и экономически обоснованных систем диагностического мониторинга, оценки и прогнозирования технического состояния оборудования

### Задачи:

- Создание системы консолидации технологической и диагностической информации
- Создание экспертно-аналитических систем, обеспечивающих оценку и прогнозирование технического состояния оборудования, а также выдачу рекомендаций по принятию управленческих решений

### Основные функции автоматизированных систем диагностического мониторинга (СДМ):

- Сбор диагностических данных, в том числе из корпоративных технологических и информационных систем
- Обработка и управление данными
- Оценка и прогнозирование технического состояния электроэнергетического оборудования
- Предоставление доступа и сервисов пользователям
- Представление результатов обработки данных пользователям для оперативного принятия решений





## Основные проблемы применения существующих систем диагностического мониторинга оборудования подстанции

- Высокая стоимость внедрения и эксплуатации
- Отсутствие единых требований, норм и правил проектирования, разработки и эксплуатации систем диагностического мониторинга оборудования подстанции
- Необходимость развития математического аппарата и аналитических моделей для оценки и прогнозирования технического состояния оборудования подстанции
- Необходимость развития технических средств (датчики, преобразователи, контроллеры...)
- Отсутствие классификаторов оборудования
- Отсутствие единых протоколов обмена данными между структурными элементами
- Отсутствие единого информационного поля для создания консолидированной информационно-технологической базы данных
- Требуется решение задач по информационной безопасности (кибербезопасности)

**Необходимо создание полноценной нормативно-методической базы для разработки и внедрения современных систем диагностического мониторинга, включая экспертно-аналитические системы оценки и прогнозирования технического состояния оборудования**



## Сравнение методов комплексного обследования и систем диагностического мониторинга на примере силовых трансформаторов

Параметр для сравнения	Комплексное обследование	Диагностический мониторинг
Подсистемы СТ	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Твердая изоляция</li> <li>■ Масло СТ, вводов, РПН</li> <li>■ РПН и ПБВ</li> <li>■ Вводы</li> <li>■ Система охлаждения</li> <li>■ Бак СТ и расширитель</li> <li>■ Обмотки, отводы и контактная система, магнитная система</li> <li>■ Система защиты и регенерации масла</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Твердая изоляция</li> <li>■ Масло СТ</li> <li>■ РПН и ПБВ</li> <li>■ Вводы</li> <li>■ Система охлаждения</li> <li>■ Бак СТ и расширитель</li> </ul>
Режимы СТ	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Рабочее напряжение, нагрузка вплоть до номинальной</li> <li>■ Рабочее напряжение, холостой ход</li> <li>■ Отключен и расшинован</li> <li>■ Режимы, обеспечивающие разные температурные состояния и/или возможность подключения измерительной аппаратуры</li> </ul>	Рабочее напряжение
Количество измеряемых параметров	120-150	35-45
Количество вычисляемых параметров	3-5	До 30
Периодичность проведения и анализ результатов	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ на СТ, отработавших нормативный срок службы (25-30 лет), для принятия решения о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации</li> <li>■ на СТ, отработавших 8-12 лет, для принятия решения о необходимости и объемах капитального ремонта;</li> <li>■ на СТ, при выходе результатов испытаний за нормируемые значения, или другие показания на наличие внутреннего дефекта</li> </ul> <p>Анализ результатов: вручную, прикладное ПО</p>	<p>Экспертно-аналитическая система</p> <p>Непрерывная оценка и прогнозирование технического состояния</p>



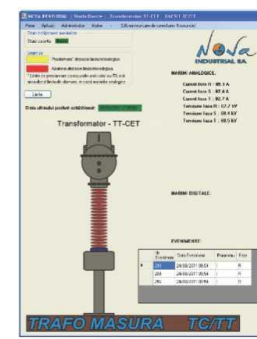
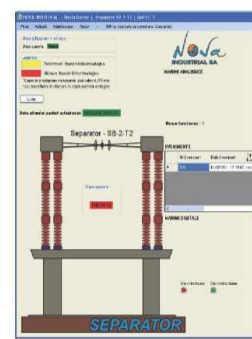
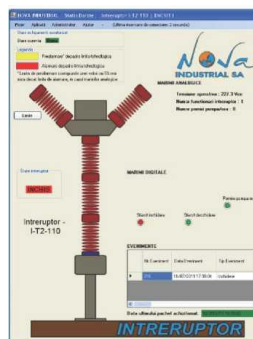
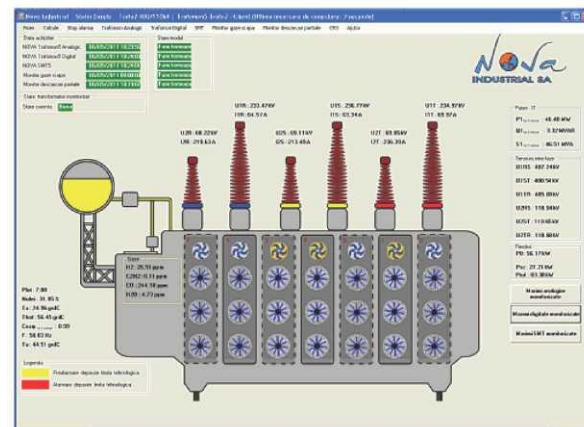
Вероятность выявления развивающихся дефектов у диагностического мониторинга выше (по предварительным оценкам, СДМ выявляют до 80% дефектов, приводящих к выходу из строя оборудования)



# Международный опыт применения систем мониторинга и диагностики технического состояния объектов электроэнергетики и их оборудования

## Опыт Румынии\*

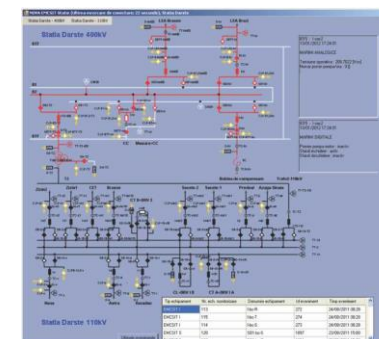
Первая подстанция в Румынии (400/110кВ «Darste»), полностью оснащенная системой on-line мониторинга



Контролируемое оборудование:

Силовые трансформаторы; высоковольтные вводы; трансформаторы тока и напряжения; выключатели; разъединители; ОПН; видеонаблюдение.

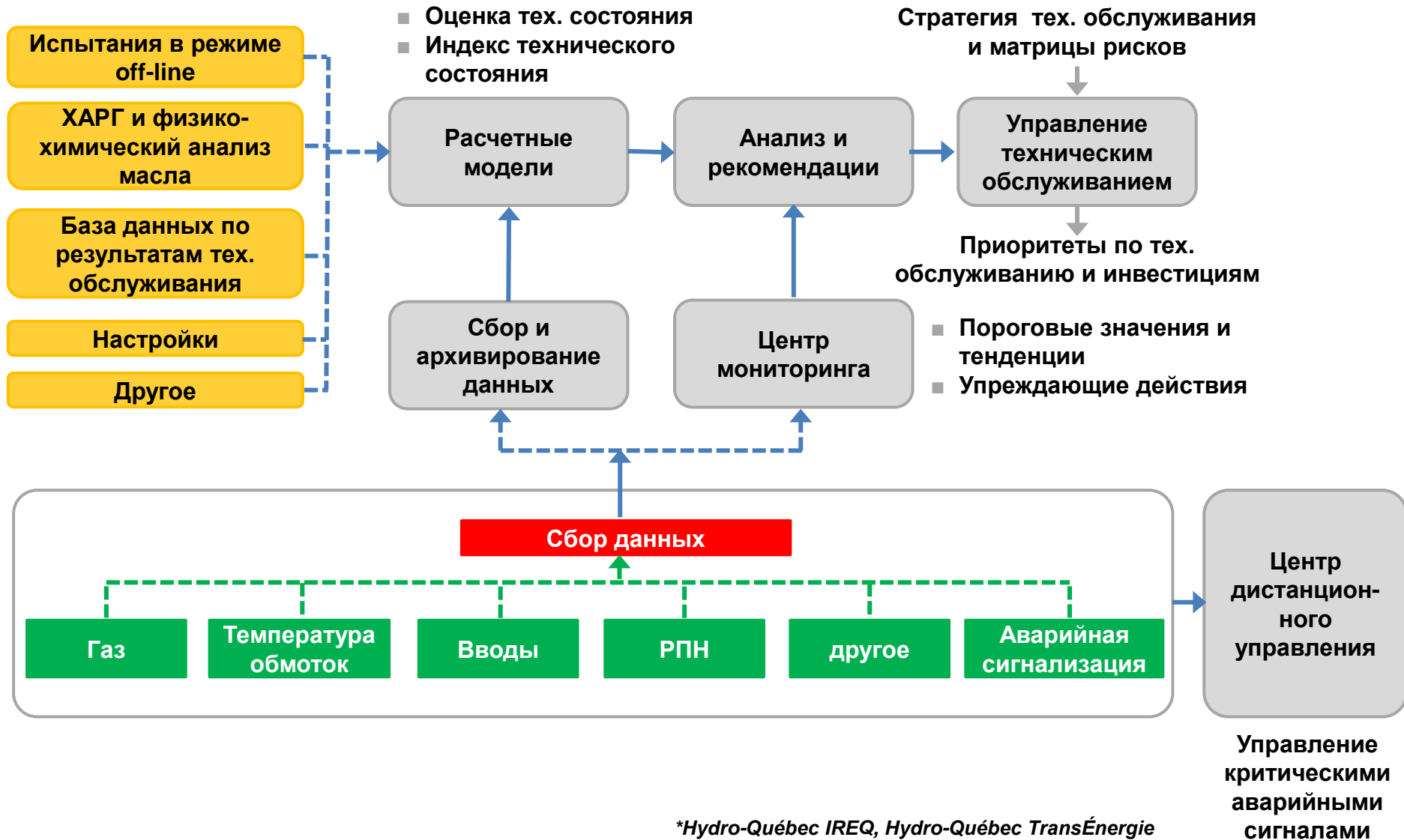
**!** Относительная стоимость комплексной системы мониторинга оборудования подстанции составляет (2,5-3)%



\*По данным Исследовательского комитета СИГРЭ ВЗ (Подстанции)



# Международный опыт применения систем сбора и обработки данных о состоянии силовых трансформаторов по результатам мониторинга (компания Hydro-Québec\*, Канада)



\*Hydro-Québec IREQ, Hydro-Québec TransÉnergie



## Примеры опыта эксплуатации систем диагностического мониторинга оборудования подстанции: характерные проблемы

Характерные проблемы, выявляемые при эксплуатации и в рамках проводимых проверок качества функционирования СДМ\*:

- отсутствуют показания с первичных датчиков газо-влажностного содержания (приборы в состоянии отказа)
- требуется периодическая калибровка и поверка датчиков газо- и влажностного содержания
- отсутствуют показания температуры масла/обмотки от преобразователей
- датчики не откалиброваны
- выход из строя вентиляции в шкафах мониторинга
- выход из строя источников бесперебойного питания
- сбой программного обеспечения
- не ведется расчет математических моделей
- не обеспечивается сбор и передача технологической информации на верхний уровень мониторинга
- периодические отказы оборудования по причине износа элементной базы (блоки питания, преобразователи)
- отсутствуют инструкции по эксплуатации
- недостаток в обучении эксплуатирующего персонала
- высокая стоимость приобретения и замены элементов СДМ



\*По данным ПАО «ФСК ЕЭС», ПАО «МОЭСК», 2016



### Параметры, определяющие выбор систем диагностического мониторинга:

- Характеристики оборудования (вид, тип, класс напряжения, мощность, конструктивные особенности и т.д.)
- Срок эксплуатации и техническое состояние оборудования
- Требования к реализуемым функциям, уровню информативности средств
- Соотношение стоимости оборудования и средств диагностического мониторинга
- Категория потребителей электроэнергии
- Условия эксплуатации
- Квалификация и наличие обслуживающего персонала

### Выбор технически и экономически эффективных систем диагностического мониторинга

- Конкретизация решаемых задач и приоритетов на основе оценки рисков возникновения аварийных ситуаций
- Выбор оптимального технического решения (датчики, преобразователи, информационные модели и т.д.)
- Расчет экономического эффекта от внедрения

Технико-  
экономическое  
обоснование





# Направление развития систем диагностического мониторинга – разработка и внедрение экспертно-аналитических систем на базе методов «искусственного интеллекта»



**Переход от информационно-технологических систем к системам диагностического мониторинга на основе экспертно-аналитических систем**



## Экспертно-аналитическая система

Экспертно-аналитическая система (ЭАС) — компьютерная система (программа), способная частично заменить специалиста-эксперта в решении задач по оценке технического состояния оборудования.



### Составляющие ЭАС:

- экспертная
- аналитическая
- системная

### В структуру ЭАС входят:

- база знаний - совокупность фактов и правил логического вывода
- справочники и классификаторы оборудования, функций, алгоритмов и т.д.
- виртуальные (цифровые) модели оборудования (и объектов в целом)
- математический аппарат работы с большими массивами данных (Big Data)
- программная среда для разработки, настройки, обучения ЭАС (интеллектуальный редактор базы знаний)
- интерфейсы пользователей
- специализированные пользовательские сервисы



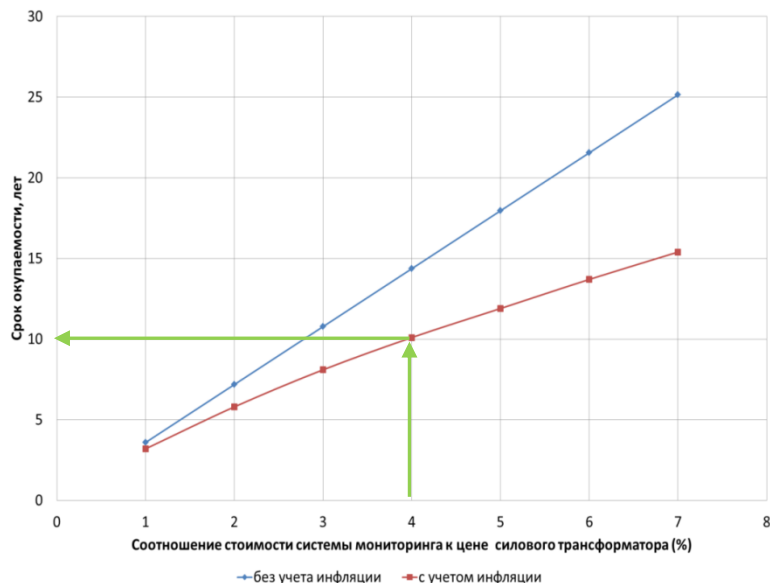


## Пример оценки экономической эффективности и сроков окупаемости

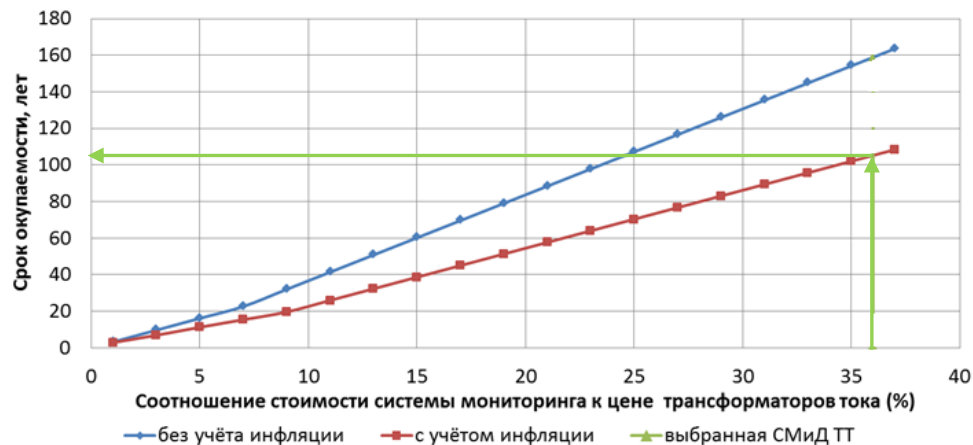
Прототип методики оценки экономического эффекта – методика СИГРЭ\*, адаптированная для российских условий. При расчете учитывались:

- снижение риска крупных и катастрофических аварий
- снижение частоты отказов, времени ремонтов и длительности отключения потребителей
- снижение штрафов и санкций за недоотпуск электроэнергии
- снижение объема ремонтных затрат (за счет превентивного выявления дефектов и их локализации)
- инфляция

Пример расчета срока окупаемости системы мониторинга силового трансформатора 125 МВА



Пример расчета срока окупаемости мониторинга для трансформатора тока



\* Jacques Aubin, Andre Bourgault, Claude Rajotte, Pierre Gervais  
«Profitability Assessment of Transformer On-Line Monitoring and Periodic Monitoring»



Экономический эффект от применения СДМ достигается при относительной стоимости СДМ 3–5 %. При этом срок окупаемости СДМ составляет 10–15 лет



## Пути повышения эффективности эксплуатации оборудования за счет внедрения и развития систем диагностического мониторинга

- Совершенствование нормативно-методического обеспечения
- Уточнение классификаторов оборудования
- Разработка единых протоколов обмена данными
- Оптимизация контролируемых (диагностических) параметров оборудования – уменьшение объема первичной информации за счет интеллектуальной обработки данных
- Развитие математического аппарата, алгоритмов обработки данных, **создание экспертно-аналитических систем и «баз знаний»** с учетом функциональных и конструктивных особенностей оборудования, а также статистики аварийности
- Развитие элементной базы (интеллектуальные датчики, преобразователи, контроллеры, средства связи и т.д.) отечественного производства
- Интеграция СДМ со смежными информационно-аналитическими системами, **создание единого «информационного пространства»** как для отдельного вида, так и для групп оборудования на базе технологий индустриального интернета

Стоимость

Информативность  
Безопасность

**Вывод:** несмотря на то, что стоимость внедрения СДМ в настоящее время весьма высока, предложенные пути развития должны привести к **окупаемости системы за счет снижения эксплуатационных затрат на обслуживание и ремонт, а также продления ресурса оборудования и повышения надежности энергоснабжения**

# Спасибо за внимание!

**Леонид Альбертович Дарьян**

Д.т.н., Директор по научно-техническому сопровождению

АО «Техническая инспекция ЕЭС»

Москва, Славянская площадь, д. 2/5, стр. 5

Тел./факс: +7 495 727 38 76

E-mail: [post@ti-ees.ru](mailto:post@ti-ees.ru)

[www.ti-ees.ru](http://www.ti-ees.ru)

