

Научно-практическая
конференция

**«Техническое диагностирование
высоковольтных вращающихся
машин. Предпосылки перехода на
обслуживание по реальному
состоянию»**

19-20 ноября 2019 года
НИУ «МЭИ», Москва

Организатор:



Партнеры конференции:



Соорганизатор:



БО · ЭНЕРГО
КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

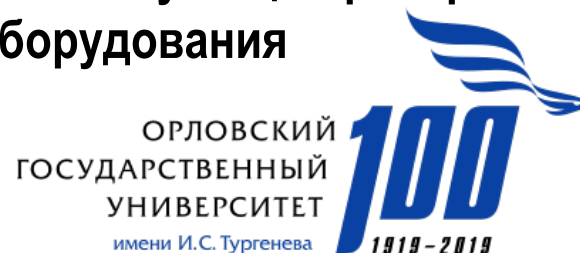
Информационный
партнер:



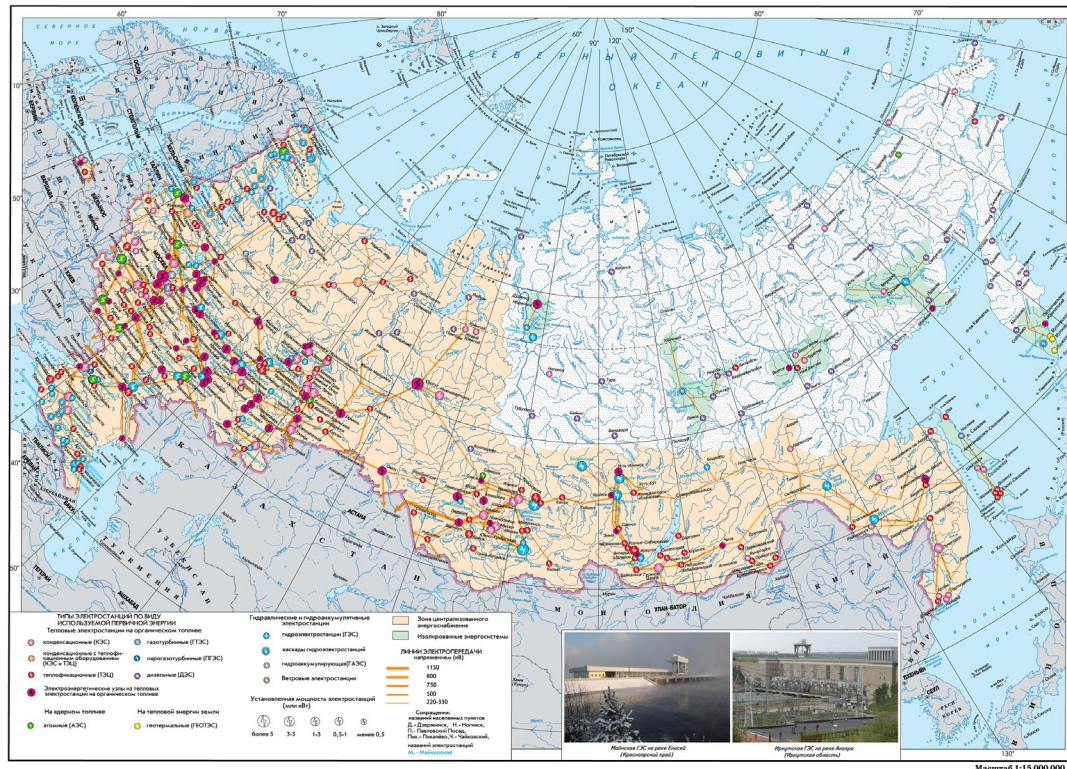
Концепция системы адаптивно-предиктивной эксплуатации роторных машин электрогенерирующего оборудования

Поляков Р.Н., д.т.н., заведующий кафедрой
мехатроники, механики и робототехники

Кудрявцев И.Е., Крупенин В.Н.



Энергетическая карта Российской Федерации

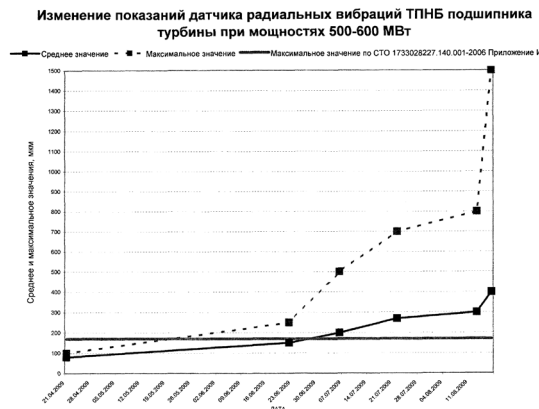


| Электростанция | Марка турбогенераторов | Кол-во |
|----------------|------------------------|--------|
| Заинская | ТГВ-200 | 12 |
| Череповецкая | ТГВ-200 | 3 |
| Шатурская | ТГВ-200 | 3 |
| Барнальская | ТГВ-200М | 3 |
| Камаз | ТГВ-200М | 2 |
| Комсомольская | ТГВ-200М | 2 |
| Кировская | ТГВ-200М | 2 |
| Новоиркутская | ТГВ-200М | 3 |
| Новосибирская | ТГВ-200М | 6 |
| Омская | ТГВ-200М | 3 |
| Приморская | ТГВ-200М | 4 |
| Псковская | ТГВ-200М | 2 |
| Смоленская | ТГВ-200М | 3 |
| Тобольская | ТГВ-200М | 2 |
| Ульяновская | ТГВ-200М | 2 |
| Усть-Илимская | ТГВ-200М | 1 |
| Хабаровская | ТГВ-200М | 4 |
| Челябинская | ТГВ-200М | 2 |
| Троицкая | ТГВ-300 | 4 |
| Новочеркасская | ТГВ-300 | 8 |
| Ставропольская | ТГВ-300 | 8 |
| Рефтинская | ТГВ-300 | 7 |



Аварийные ситуации

Каширская ГРЭС-4, 2002 – усталостное разрушение ротора генератора;





Современные системы диагностики

А.И. Куменко, д-р техн. наук, профессор МЭИ, начальник отдела вибрации и технической диагностики ОАО «Энел ОГК-5», технический эксперт НП «Совет производителей энергии».

«Перспективы развития систем диагностики технического состояния генерирующего оборудования ТЭС. Состояние и развитие отечественных систем виброконтроля и диагностики» / Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008, №2

Вызовы:

- Анализ многопараметрических переходных режимов в реальном времени недоступен.
- Уточненные связанные математические модели на этапах проектирования не дают требуемой достоверности реального поведения турбоагрегата.
- Ограниченность мультикритериального анализа работоспособности из-за малых вычислительных мощностей и требований большого обмена данными.

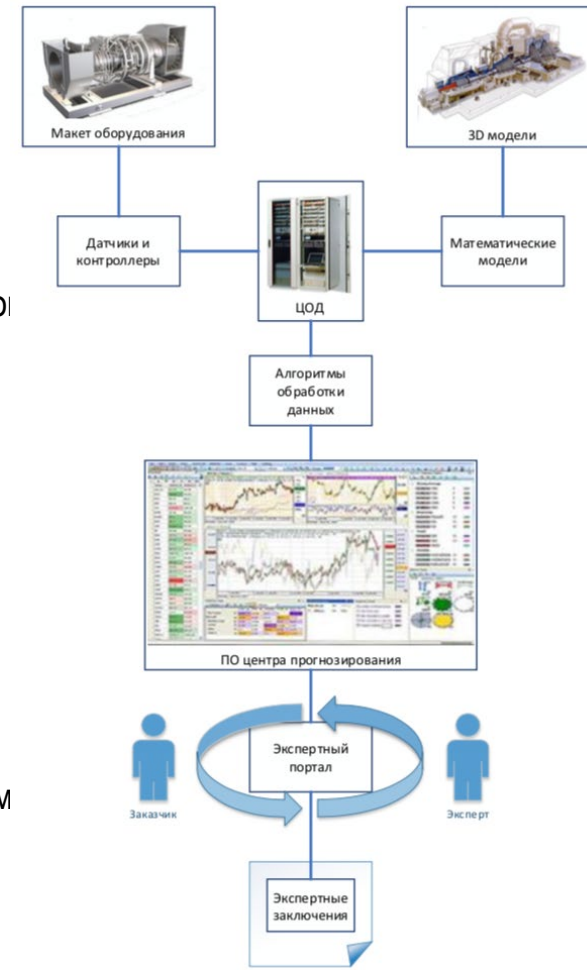
1. Фирмы в РФ, поставляющие и готовые далее поставлять для энергетики системы АСКВМД

| № п/п | Название фирмы, генеральный директор | Поставляемые продукты | | | | | | Используемая теоретическая основа |
|-------|--|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|---------------|------------------------|-----------------------|--|
| | | Штатная аппаратура | Переносная аппаратура | Система измерений перемещений вала | Виброконтроль | Расширенный мониторинг | Алгоритмы диагностики | |
| 1 | ООО "НПП Виконт", г. Москва, С.С. Токаев | + | + | + | + | + | Совместно с ВТИ | Спектральный анализ (СА) |
| 2 | ООО "Вибробит", г. Ростов, А.Г. Добряков | + | — | + | + | + | — | То же |
| 3 | ООО "Диамек-2000", г. Москва, И.И. Радчик | + | + | + | + | + | — | — |
| 4 | "Измерительные технологии", г. Саров, А.В. Хомутов | + | + | + | + | + | — | — |
| 5 | НПЦ "Динамика", г. Омск, В.Н. Костиюков | + | + | + | + | + | + | СА, методы теории надежности, статистические методы |
| 6 | НПП "МЕРА", г. Королев, И.А. Потапов | + | + | + | + | + | + | СА, расширенный набор методов спектрального анализа и специальных методов обработки сигналов |
| 7 | НИИТ, г. Королев, В.П. Дунаевский | + | — | + | + | + | + | СА |
| 8 | НПК "Инновация", г. Москва, С.В. Калинин | + | + | + | + | + | + | То же |
| 9 | ОАО "ВТИ", г. Москва, А.З. Зиле | — | + | — | — | + | + | СА, теория колебаний роторов, элементы ретро-спективной диагностики |
| 10 | ОАО "НПО ЦКТИ", г. С.-Петербург, И.А. Ковалев | — | — | — | — | + | + | СА, метод экспертных оценок |
| 11 | "МЭИ" ТУ, г. Москва | — | — | — | — | + | + | СА, методы теории надежности и статистики, теория колебаний роторов |
| 12 | "УПИ" УГТУ, г. Екатеринбург, Урьев Е.В. | — | — | — | — | + | + | СА, методы экспертной нечеткой Байесовской логики |
| 13 | ЗАО "Энергоприбор", г. С.-Петербург, Б.Б. Феофанов | + | + | + | + | + | + | СА, методы теории надежности (в разработке совместно с МЭИ) |
| 14 | Ассоциация "ВАСИ", г. С.-Петербург, А.В. Барков | — | + | — | — | — | — | Методы СА, метод огибающей |
| 15 | Информтех, г. Сосновый бор, Н.Г. Мотылев | — | + | — | — | — | — | Балансировочный прибор |

Требуемые качества системы адаптивно-предиктивного анализа

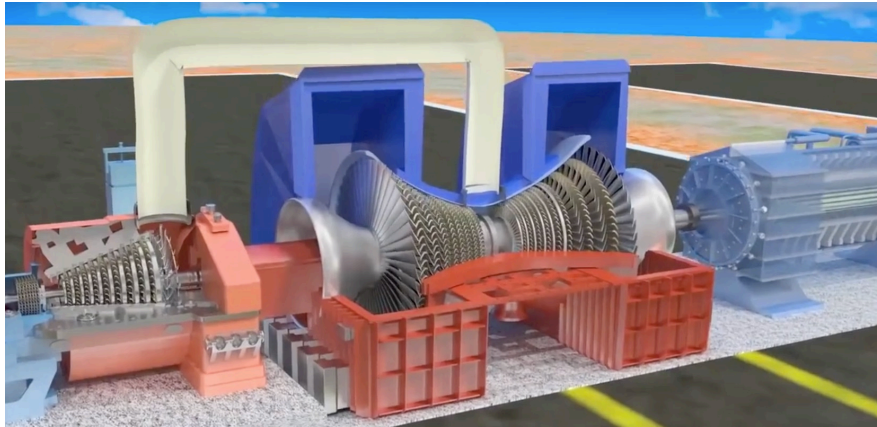
Экспертная система адаптивно-предиктивного анализа текущего состояния работоспособности узлов и агрегатов газотурбинных станций должна обладать следующими преимуществами:

- участие человека в работе технических систем будет минимизировано, что позволит избежать ошибок и отказов систем по причине субъективного (человеческого) фактора;
 - программное обеспечение не является статичным, а накапливаемые базы данных способны самостоятельно пополняться без участия оператора для коррекции алгоритмов принятия решений;
 - программа принятия решений является автоматической, что снижает вероятность принятия неверного решения;
 - систематизация накопленной информации по оборудованию, неисправностям, диагностике и ремонту, включая 3D-модели и интерактивные схемы, с удалённым доступом, каталогом и поиском;
 - интерактивное взаимодействие между эксплуатантами объектов и контролирующими или консультирующими специалистами для проверки соответствия выполняемых работ технологическому процессу, профилактики нарушений трудовой дисциплины, разрешения конфликтных ситуаций;
 - защита от внешних воздействий, недопущение утечки информации о состоянии систем
- информационная безопасность каналов связи;
- взаимодействие между заказчиками (эксплуатантами объектов энергетики, ремонтными бригадами) и отраслевыми экспертами с целью осуществления удалённой диагностики без необходимости личного присутствия экспертов на объектах.



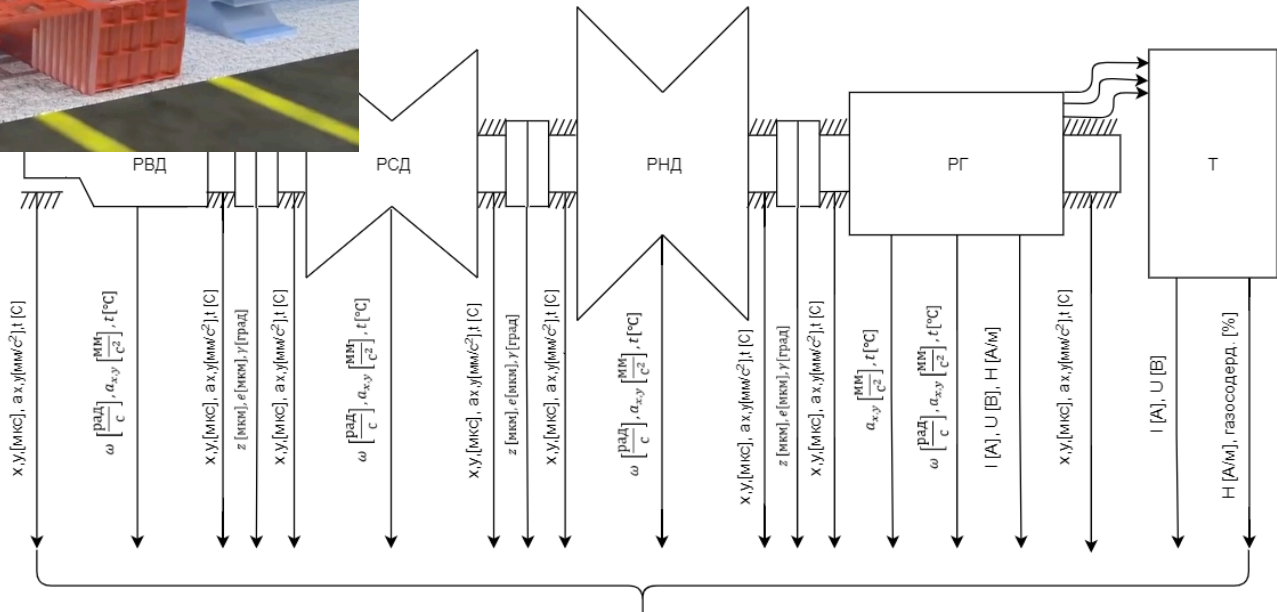


Концепция системы адаптивно-предиктивного анализа



Объектно-измерительная
схема энергоблока

Вызовы:
Требуется унифицированная структура типов и количества датчиков, АЦП/ЦАП, ключевых точек измерения, согласования частоты рабочего процесса, дискретности АЦП, точности первичных преобразователей...



BIG DATA CENTER, IoT, Cloud Storage



Ключевые модули системы адаптивно-предиктивного анализа

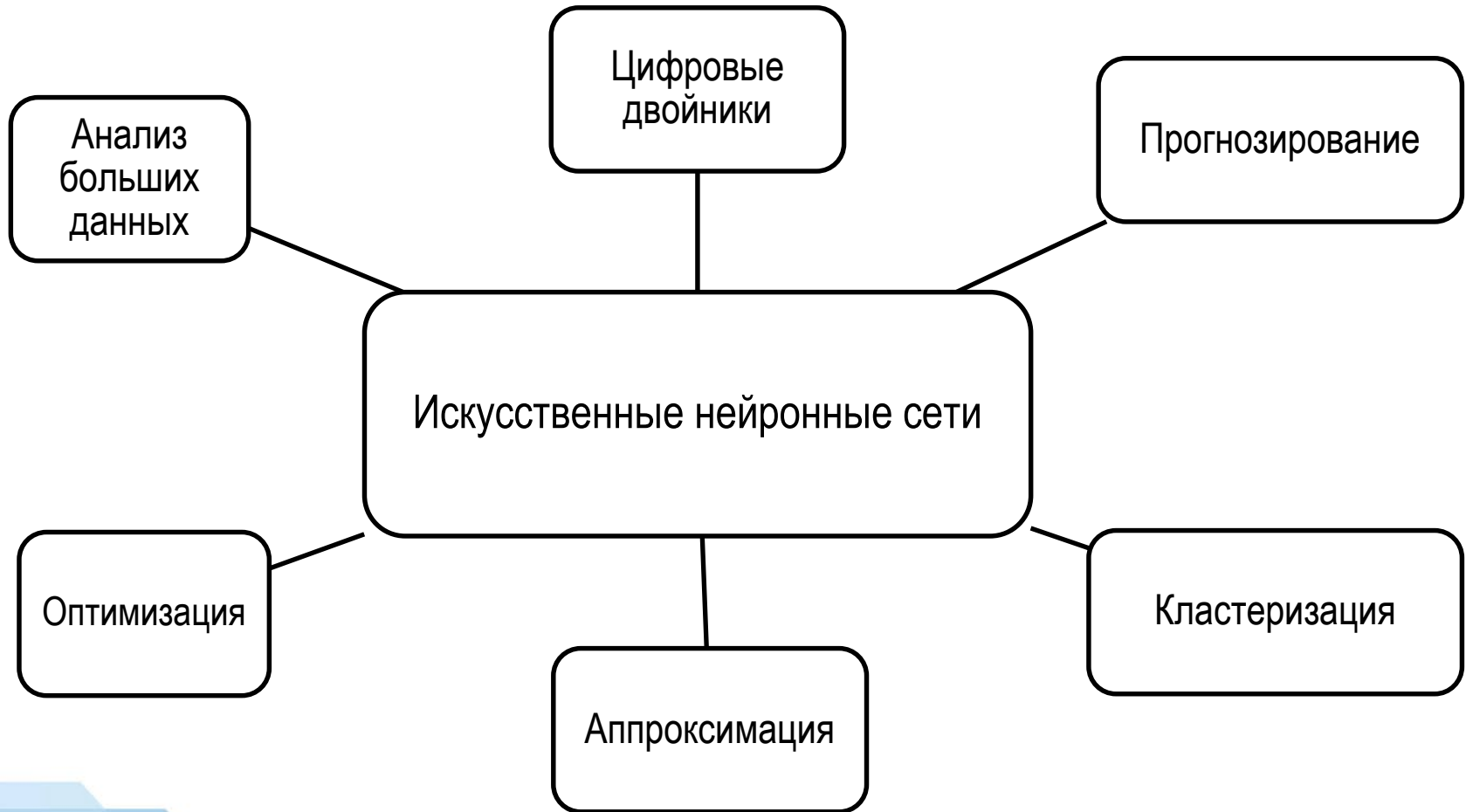


Схема использования сигнала по температуре





ИНС в задачах адаптивно-предиктивной эксплуатации роторных машин





Концепция построения предиктивной нейросети

Максимально детализированные сценарии отказа ключевых элементов турбоагрегата математически формализованные на каждом шаге процесса

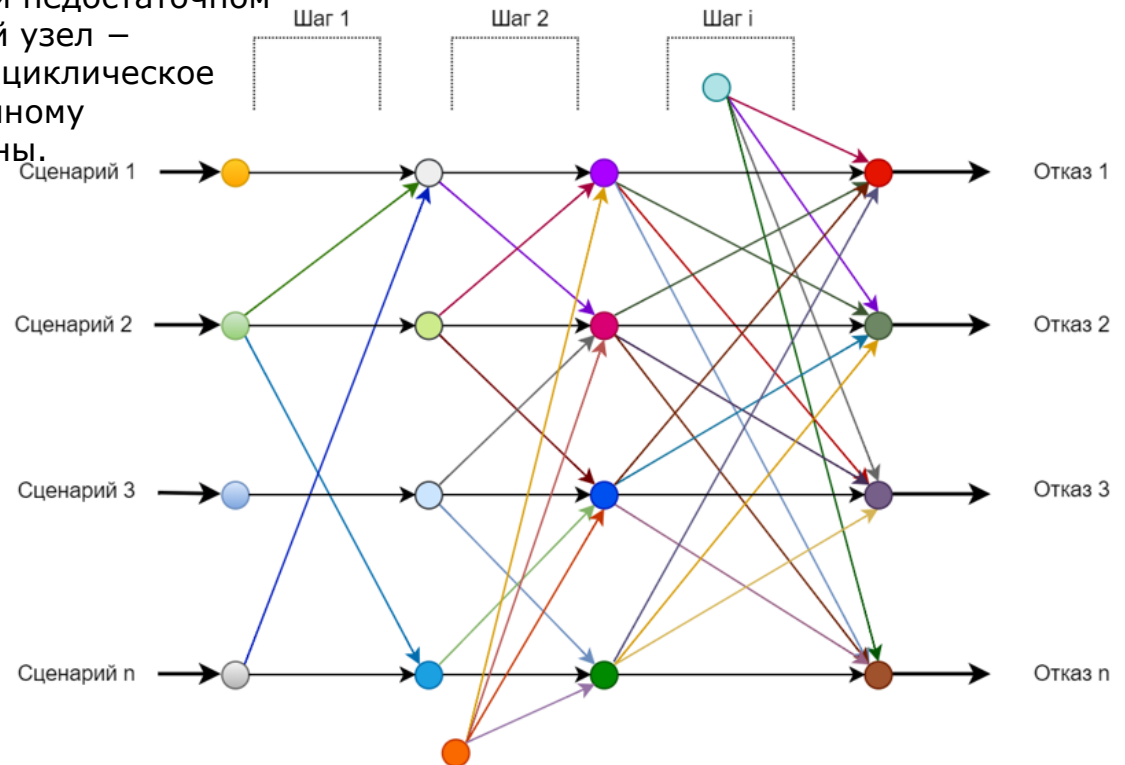
Некоторые сценарии выхода из строя.

Турбина ГЭС: гидравлические удары при недостаточном напоре – огромные нагрузки на опорный узел – ослабление креплений опорного узла – циклическое повторение процесса, приводящее к полному разрушению опорного узла и всей машины.

Турбоагрегат: отрыв лопатки – резкое изменение дисбаланса – увеличение динамических нагрузок – разрушение подшипников.

Турбоагрегат: просадка фундамента опор – касание ротора о статор – заклинивание подшипников.

Насос хим.агрегата: кавитационный износ крыльчатки – изменение дисбаланса – возрастание нагрузок на опорный узел – разрушение опорного узла – разрушение роторной машины.

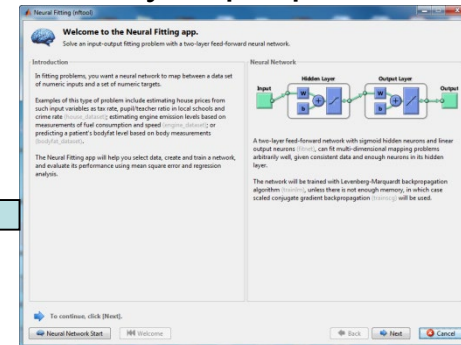
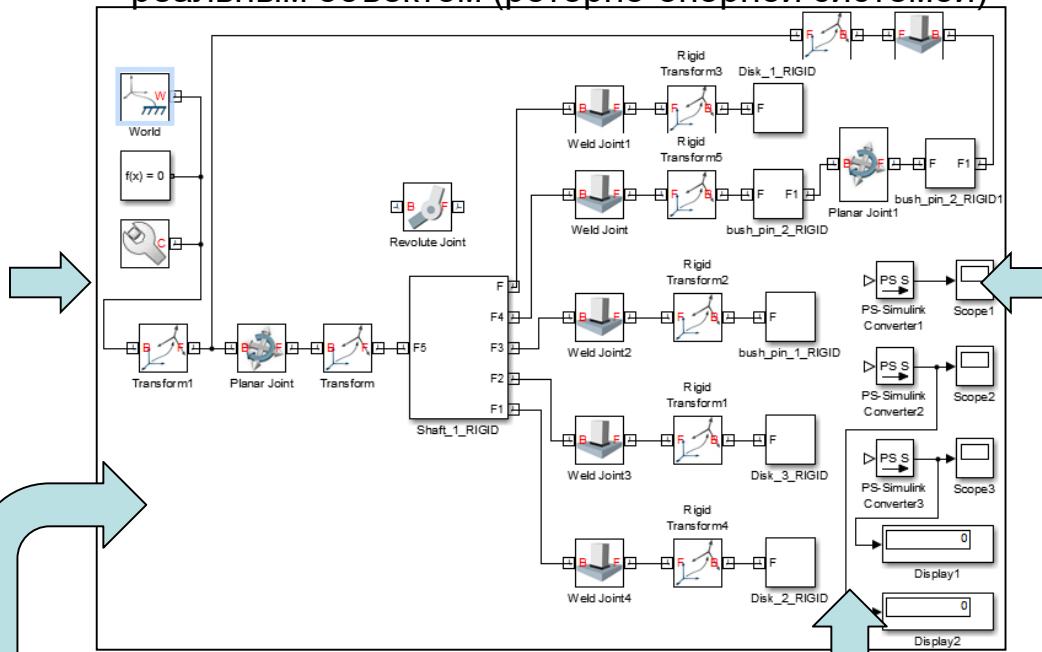
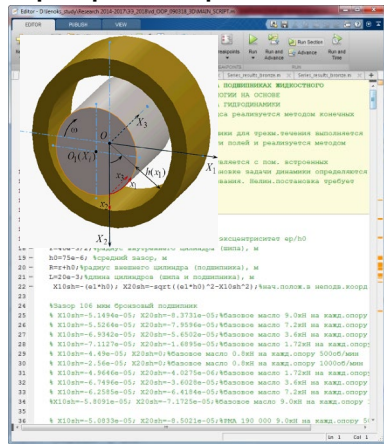


Концепция построения предиктивной нейросети

Matlab Simulink. Среда моделирования и взаимодействия с реальным объектом (роторно-опорной системой)

Matlab NNstart.
Модуль разр. ИНС

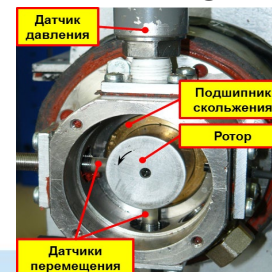
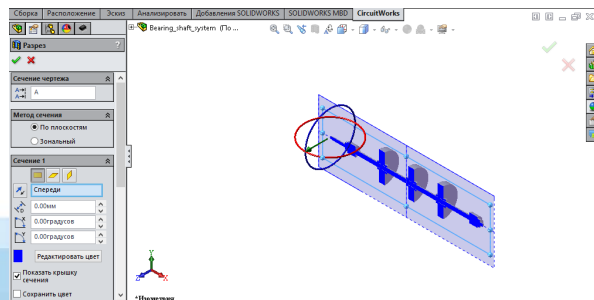
MATLAB. Среда программирования



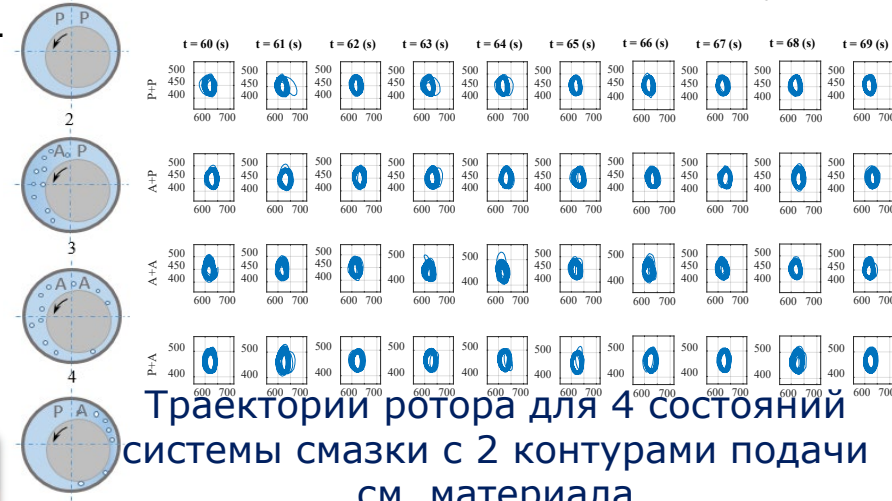
SolidWorks. Среда твердотельного моделирования

MATLAB+Hardware support package+National Instr.

Системы измерения и управления



Задача: используя данные измерений определить возникновение изменений в системе смазки подшипника при попадании воздуха в один из двух контуров. Основная сложность в том, что эти изменения не удастся определить визуально по траекториям и АЧХ колебаний.

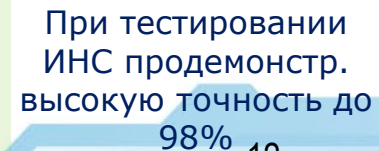


Траектории ротора для 4 состояний системы смазки с 2 контурами подачи см. материала



Для обучение ИНС использовались:

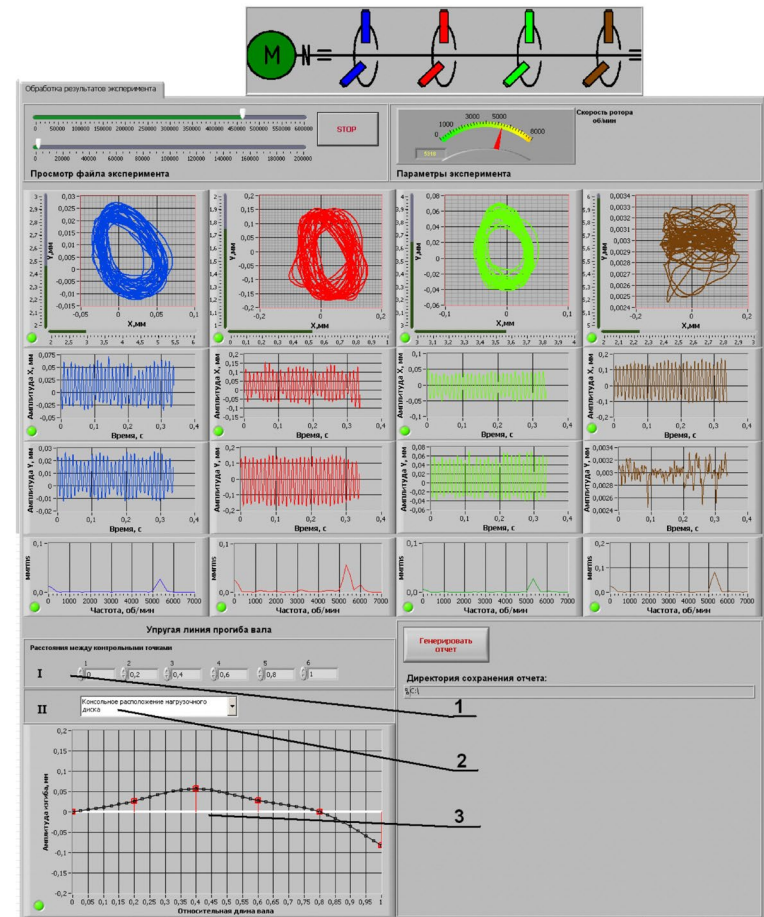
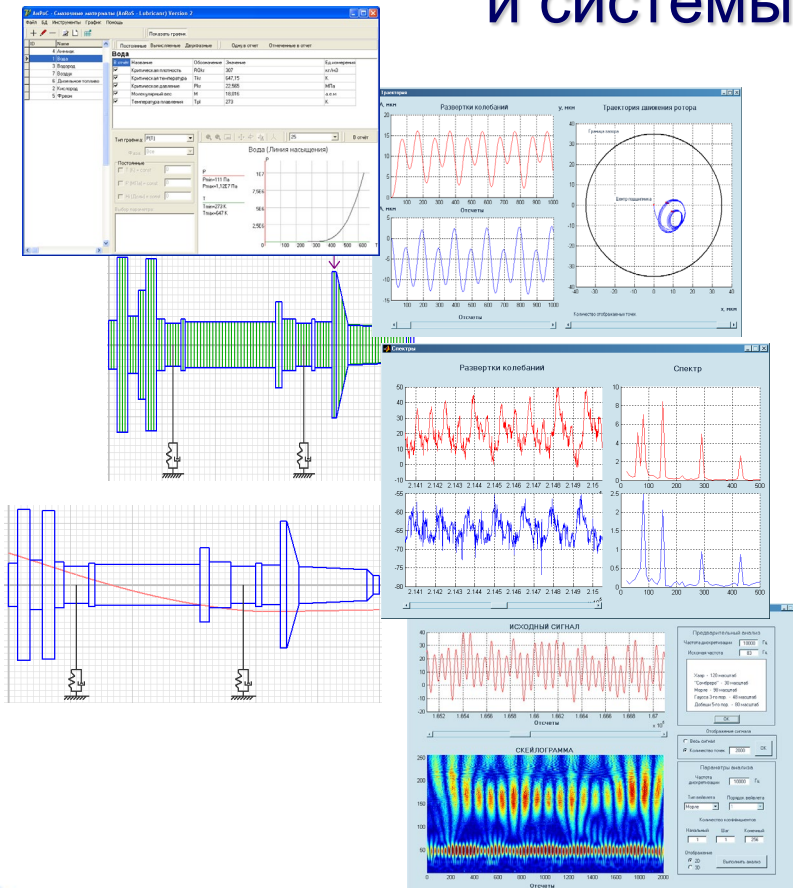
- данные измерений перемещений (случаи: 1 sensor, 2 sensors) в двух направлениях и давления (случай: 3 sensors);
- фрагменты данных по 200-600 измерений;
- от 6000 до 18000 обучающих выборок.



12



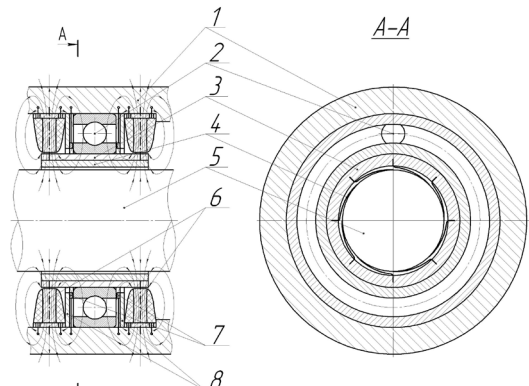
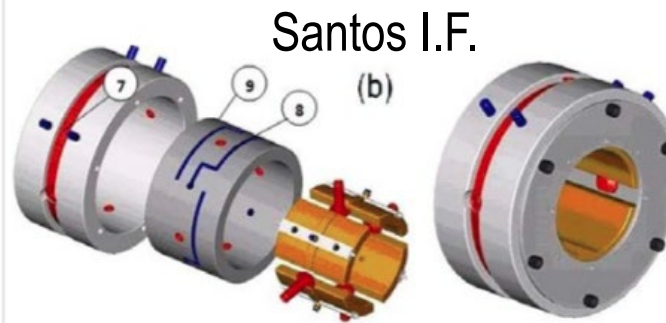
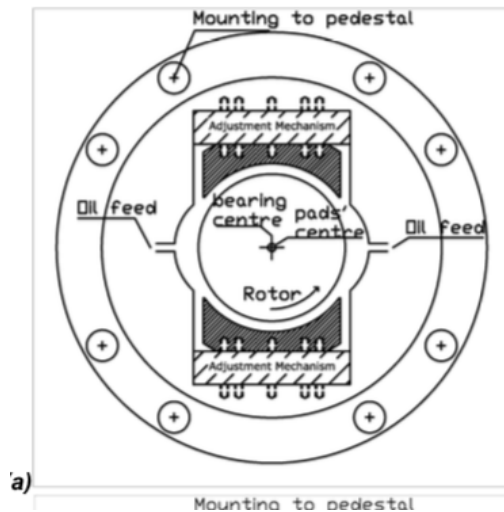
Программное обеспечение предиктивного модуля и системы мониторинга



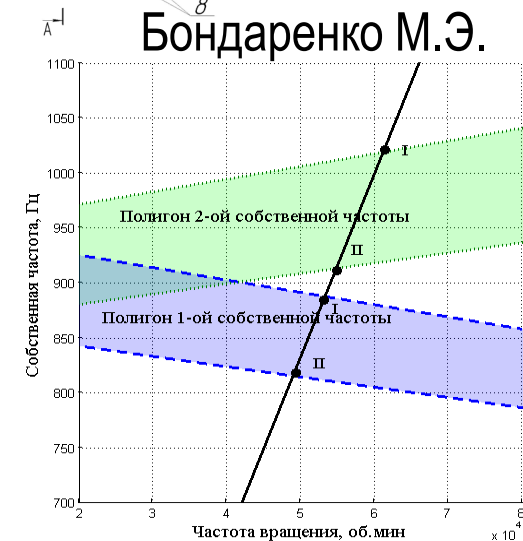
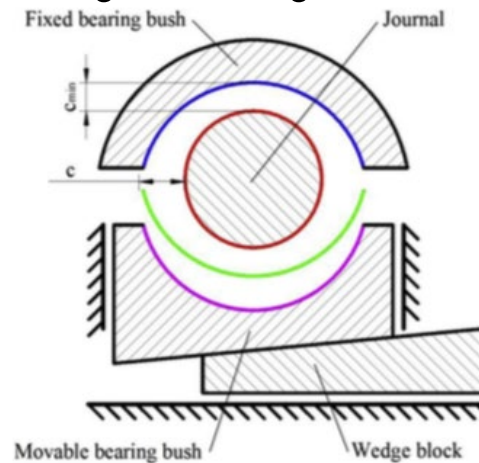


Элементная база адаптивного модуля

Подшипники с регулируемыми характеристиками



Shenglun Zhang, Hua Xua...

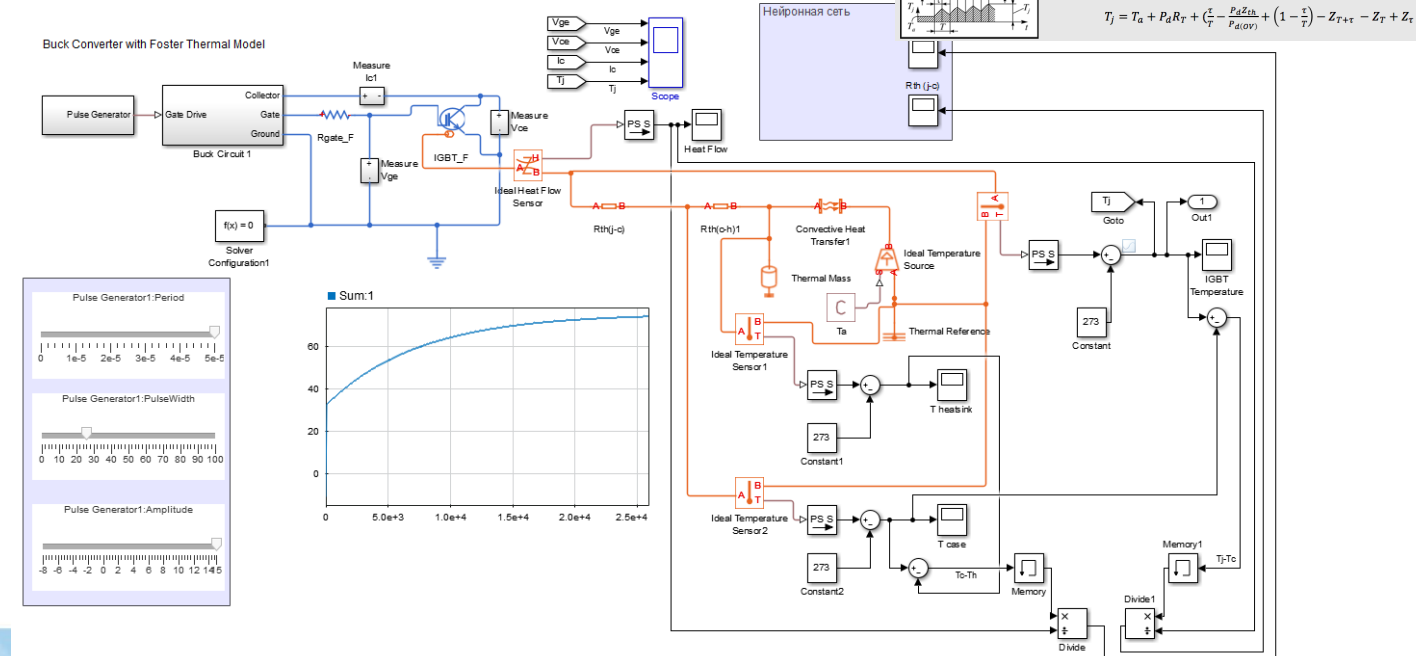
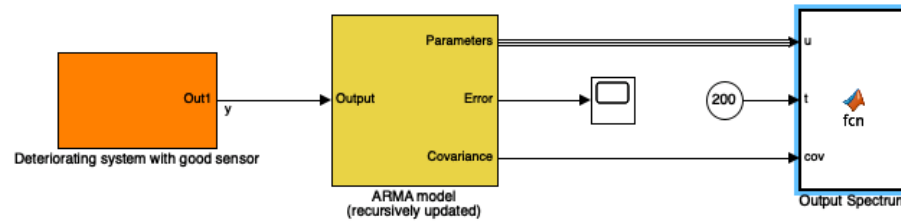


Chasalevris A and Guignier G



Пример: Виртуальная электромеханическая система

ИНС с различными видами определения предельных состояний







Проект ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно - технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы».

"Разработка интеллектуальной технологии мониторинга и прототипа программно-аппаратного комплекса обеспечения безопасности объектов энергетического комплекса"

Исполнители



Сроки 1 ноября 2019 г. – 30 сентября 2020 г.



Инфраструктура проекта

Кафедра мехатроники, механики
и робототехники

Кадровый потенциал

ПНИЛ «Моделирование
гидромеханических систем»

*Аппаратно-программное
обеспечение адаптивного
модуля*

НОЦ
"Интеллектуальный
мониторинг и диагностика
энергогенерирующего
оборудования"

*Программное обеспечение
предиктивного модуля*

Инжиниринговый центр
технологий цифровой среды для
обеспечения комплексной
безопасности:
телекоммуникации, средства
связи и энергоэффективность

*Анализ больших данных, сервера
хранения и обработки
информации, протоколы обмена
данных между экспертами и
эксплуатантами*





Инфраструктура проекта

Инжиниринговый центр технологий цифровой среды для обеспечения комплексной безопасности: телекоммуникации, средства связи и энергоэффективность

Ресурсная база: 12 серверов трёх видов, маршрутизатор, коммутаторы, программное обеспечение с общей характеристикой:

общий объём хранения данных – 512 Тб (SATA), 16 Тб (SSD)

объём доступной оперативной памяти – 4 Тб;

планируемый уровень отказоустойчивости – 99,9 %.





Концепция системы адаптивно-предиктивной эксплуатации роторных машин электрогенерирующего оборудования

Поляков Роман Николаевич

Спасибо за внимание!