Опыт применения искусственного интеллекта для совершенствования и технического диагностирования силовых трансформаторов, в том числе оптимизации затрат на его проведение

Давиденко Ирина Васильевна
д.т.н., профессор кафедры «Электрические машины» Уральского федерального университета

ООО "Энерго-Диагностика и Аналитика"

декабрь 2019

Основные функции ЭДИС: 1.диагностирование
2.назначение сроков и объемов ТОиР

Маслонаполненное оборудование:

- силовые трансформаторы 6-750 кВ,
- шунтирующие реакторы,
- высоковольтные вводы, РПН, газовое реле
- ТТ и ТН,
- масляные выключатели

Не маслонаполненное оборудование:

- выключатели всех типов;
- вентильные разрядники;
- Ограничители перенапряжений;
- токопроводы;
- конденсаторы;
- силовые кабельные линии

Диагностирование маслонаполненного оборудования на основе:

- *анализ растворенных в масле газов;*
- *расширенный физико-химический анализа масла (35 парам-ов);*
- *удельное объемное сопротивление масла;*
- *измерение изоляционных характеристик;*
- *омическое сопротивление обмоток;*
- *сопротивление короткого замыкания;*
- *Результаты опыта холостого хода;*

Учет оценки тех.состояния специальных методов контроля:

- *Тепловизионный контроль;*
- *Измерение ЧР;*
- *Виброобследование;*
- *прочее;*

Структура и назначение ЭДИС

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ СИИ

10 лет? 29 лет

История разработки

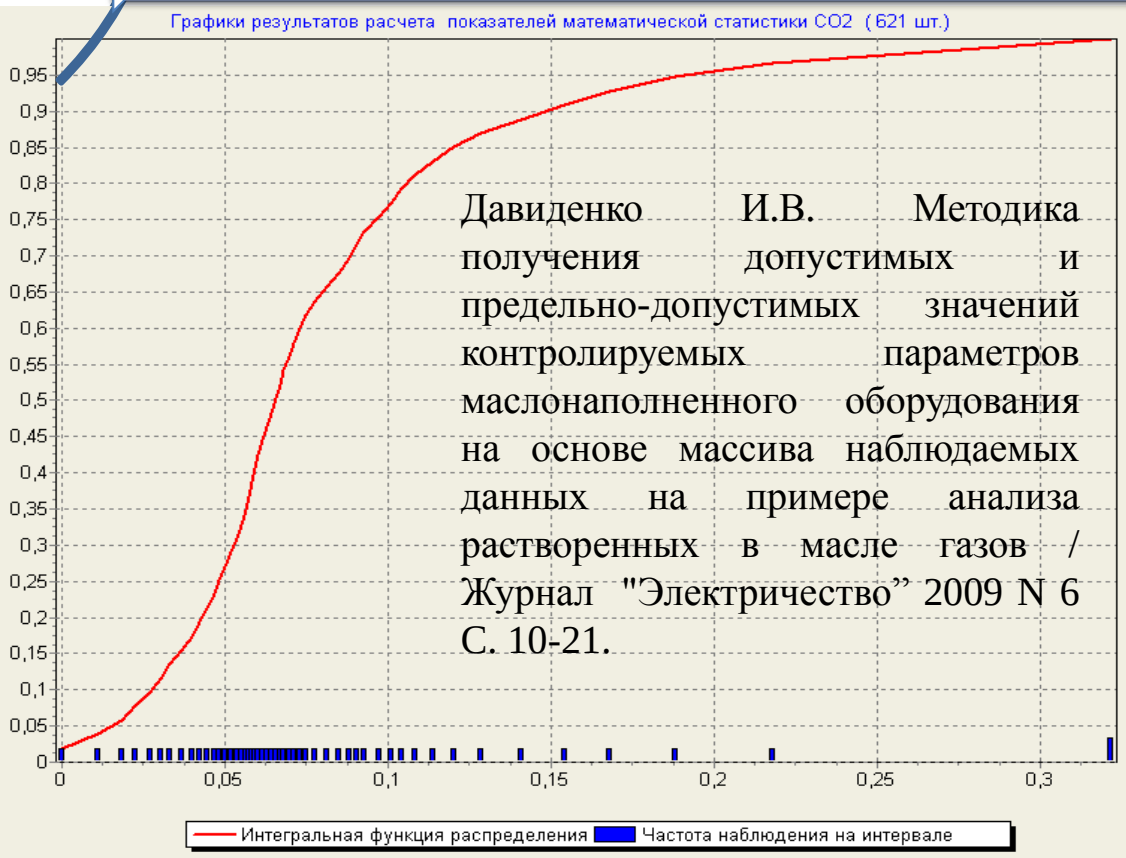
1990 г вышел первый релиз экспертной системы «Альбатрос» с возможностью диагностирования силовых трансформаторов на основе анализа растворенных в масле газов и выработки рекомендаций по дальнейшей эксплуатации (внедрение Кубаньэнерго);

С 1990 по 2019 г каждый год в систему добавляется новый функционал (подсистемы, блоки).

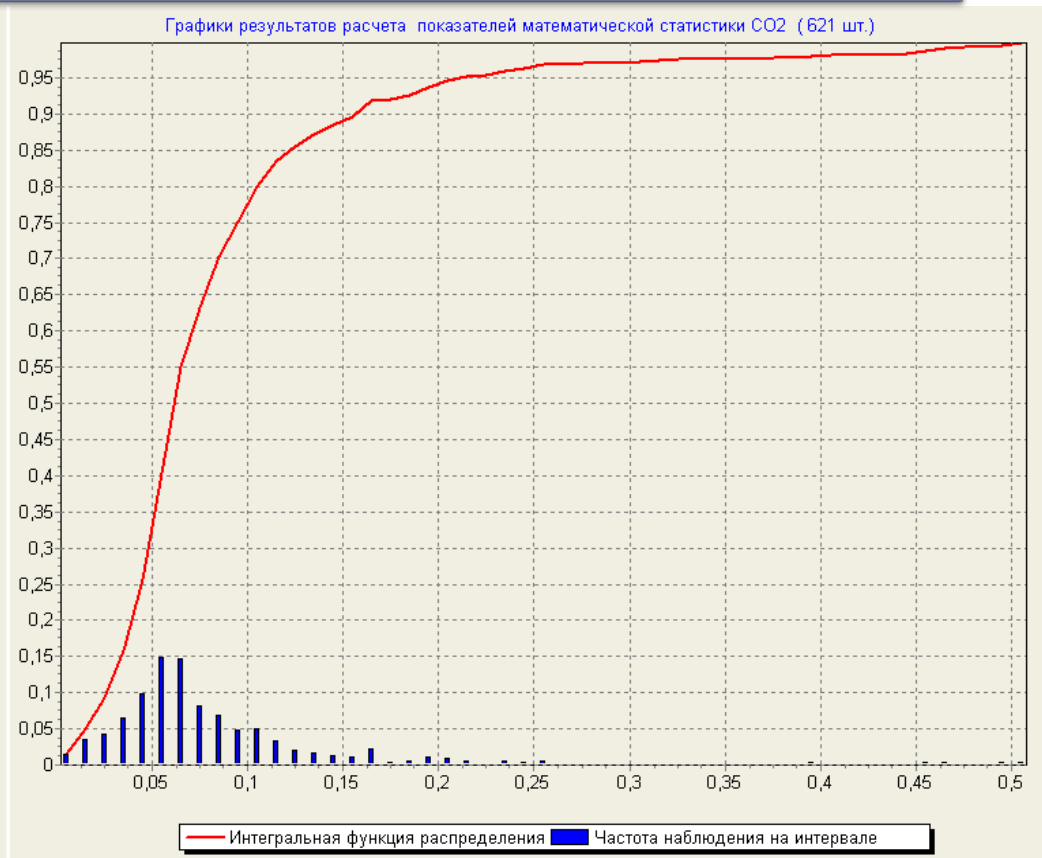
Сейчас «Экспертно-диагностическая и информационная система управления техническим обслуживанием высоковольтного электрооборудования» (ЭДИС «Альбатрос») имеет базу данных, базу знаний и 6 подсистем, выдает более 67 различных графических форм (графиков, диаграмм) и 90 отчетов разного вида. Система внедрена в *38 энергосистемах* России, в Молдавии, Латвии, Украине, Белоруссии (*123 предприятия,* более *430 рабочих мест*).

Подсистема определение критериев диагностирования обладает своей уникальной методикой

- медианный расчет интервалов
- «ленивое» сглаживания максимальных значений
- сглаживание данных скользящими медианами
- определение уровней ДЗ/ПДЗ по потокам повреждаемости ЭО



Давиденко И.В. Методика получения допустимых и предельно-допустимых значений контролируемых параметров маслонаполненного оборудования на основе массива наблюдаемых данных на примере анализа растворенных в масле газов / Журнал "Электричество" 2009 N 6 С. 10-21.



БЗ ЭДИС имеет 3 библиотеки критериев оценки параметров масла: Н,Э,Л

Нормативная Объем и нормы испытаний ЭО РД 34.45-51.300-97, РД 153-34.0-46.302-00

Локальная СТО 34.01-23.1-001-2017 Объём и нормы испытаний электрооборудования, IEC 60599, инструкции заводов-производителей,

Наша разработка - стандарт ПАО Россети от 17.04.2019 СТО 34.01-23-003-2019 Методические указания по техническому диагностированию развивающихся дефектов маслонаполненного высоковольтного электрооборудования по результатам анализа газов, растворенных в минеральном трансформаторном масле.

Экспертная ДЗ, ПДЗ параметров и их трендов, дифференцированные по наработке и конструктивным особенностям оборудования

Возможности ЭДИС по анализу ХХ

ПРОТОКОЛ

оценки технического состояния трансформатора АТ-1

Место установки :	··· ские ЭС РЭС: 5 группа ПС: Заводская								
Тип	Мощность,МВА			Напряжение,кВ			Заводской №	Изготовитель	Год изготовления
	ВН	СН	НН	ВН	СН	НН			
АТДЦТН	100	100	50	230	121	10.5	105546	ЗТЗ (Запорожье)	1978
Марка масла:Смесь			Защита: азотная				РПН: РНОА-сторона СН		

Измерения потерь холостого хода

Дата измерения: 09.06.2016

Напряжение подано на выводы	Закорочены выводы	Заводские данные			Измеренные данные			Величина потерь		Отличие Рприв/Рпасп
		U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт	Р приведенные кВт	Р паспорт кВт	%
ab	bc(c)	380	0.404	103.5	381	0.57	151.5	198.415	138	43.78
bc	ca(a)		0.384	100.8		0.573	152			
ca	ab(b)		0.66	157.2		0.878	219			

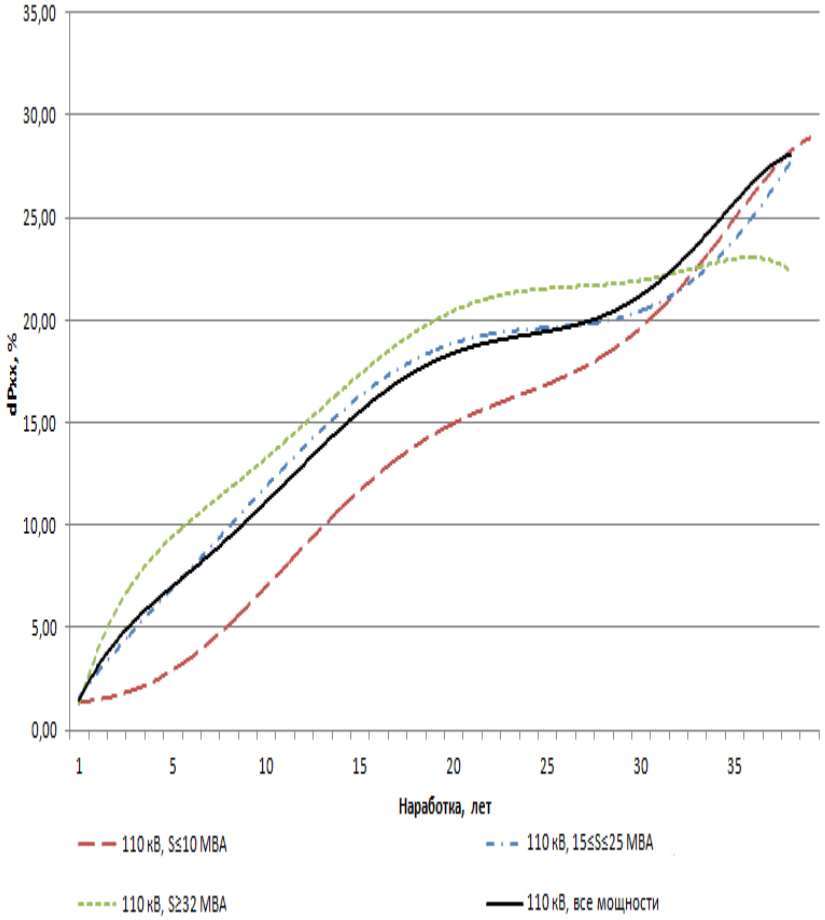
Соотношения потерь			Отклнонение соотнош. измеренные/заводские	Отличие участков потерь измеренные/заводские	
соотношения	заводские	измеренные			
	%	%	%	участки	%
Pab/Pbc	2.68	-0.33	3.008	Pab/Pab	46.38
Pab/Pac	65.84	69.18	-0.051	Pbc/Pbc	50.79
Pbc/Pac	64.12	69.41	-0.082	Pac/Pac	39.31

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ (ЭДИС Альбатрос):

Очень быстрое старение железа. Сильно возросло сопротивление магнитному потоку. Измеренные потери ХХ значительно превышают паспортные (или базового замера).

РЕКОМЕНДАЦИИ (ЭДИС Альбатрос):

Взять трансформатор на контроль. При ближайшем отключении повторить опыт ХХ, проанализировать условия работы, провести специальные измерения, при ухудшении ситуации рассмотреть целесообразность ремонта.

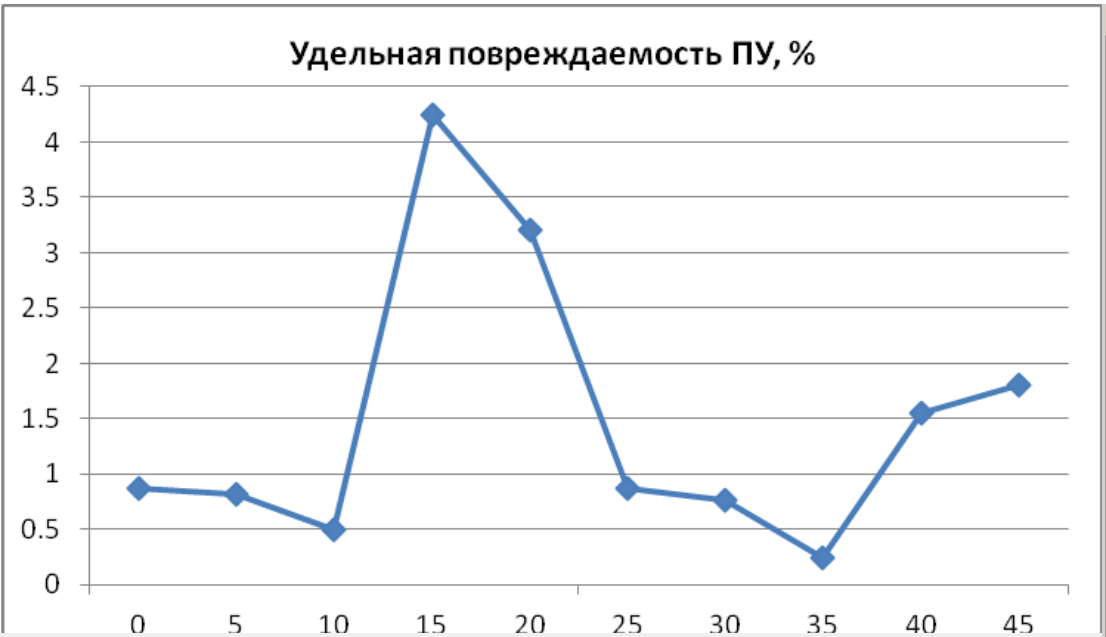


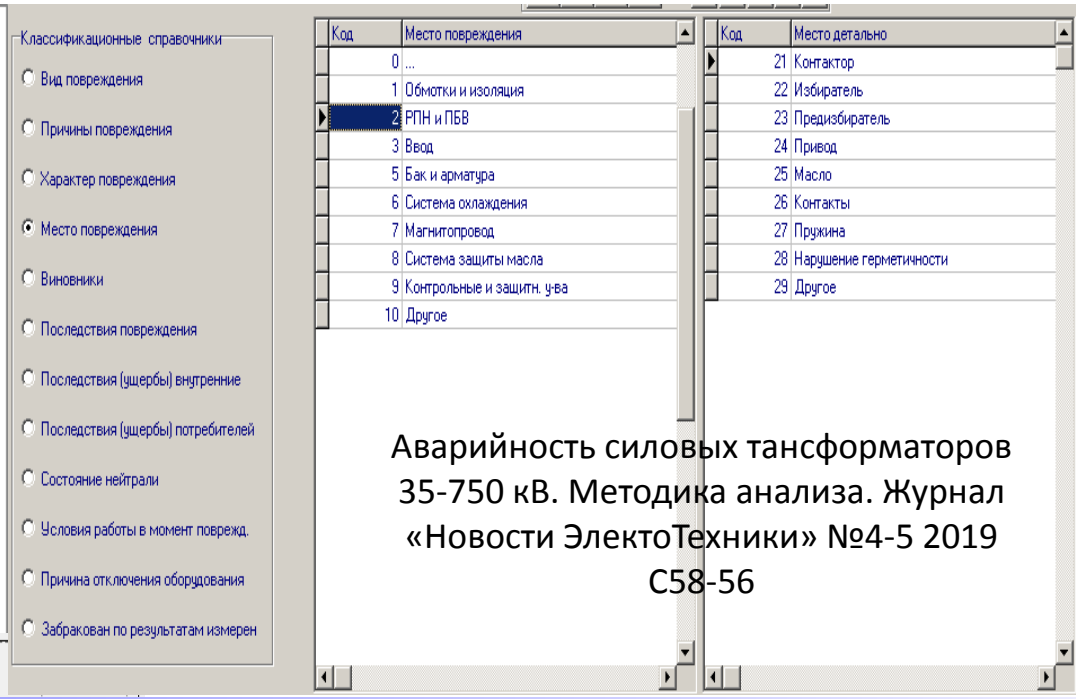
Для оценки изменения потерь ХХ используются критерии, зависящие от срока наработки,

НИР авторов ЭДИС

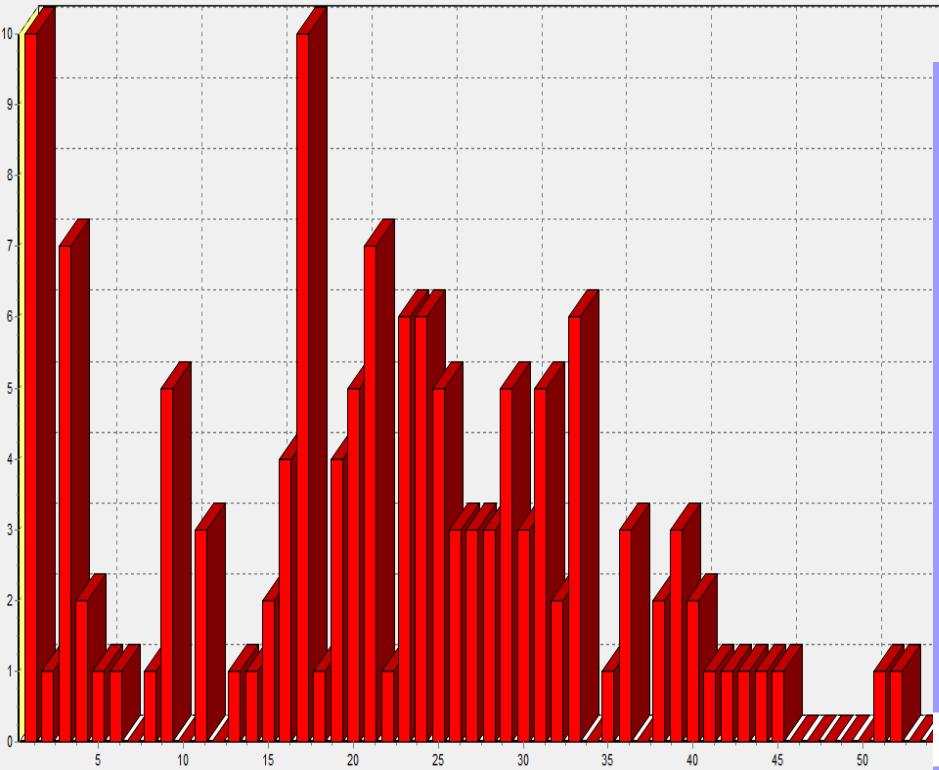
Давиденко И.В., Овчинников К.В. Анализ изменения потерь холостого хода трансформаторов в эксплуатации / Журнал ЭЛЕКТРО 2016. № 1.

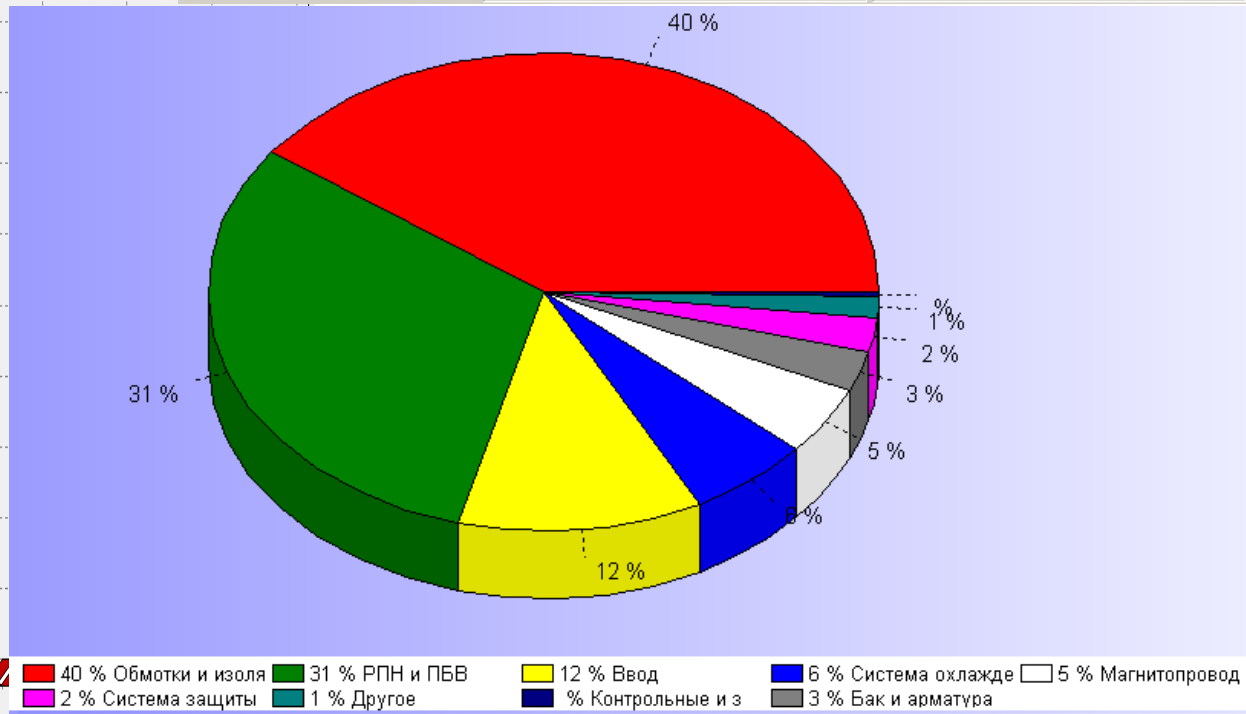
Подсистема анализа повреждаемости МЭО реализует методику авторов





Аварийность силовых тансформаторов 35-750 кВ. Методика анализа. Журнал «Новости ЭлектоТехники» №4-5 2019 С58-56





На основании данных о повреждениях ЭО и результатов АРГ с помощью разработанных методик синтеза образов дефектов и методов машинного обучения были получены:

- Образы 9 видов дефектов ТТ;
- Образы 3 видов дефекта ТН
- Образы10 видов дефектов высоковольтных вводов.
- Метод (Давиденко-Овчинникова) -идентификация 8 видов дефектов по ансамблю характерных газов СТ,РЕА, ТТ,ТН, вводы

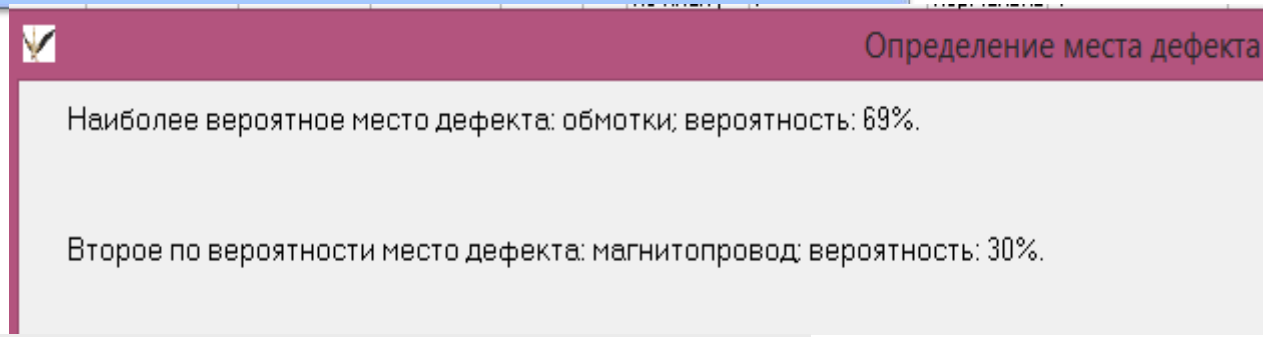
Результаты работы с внешними экспертами ЭДИС по анализу ФХА

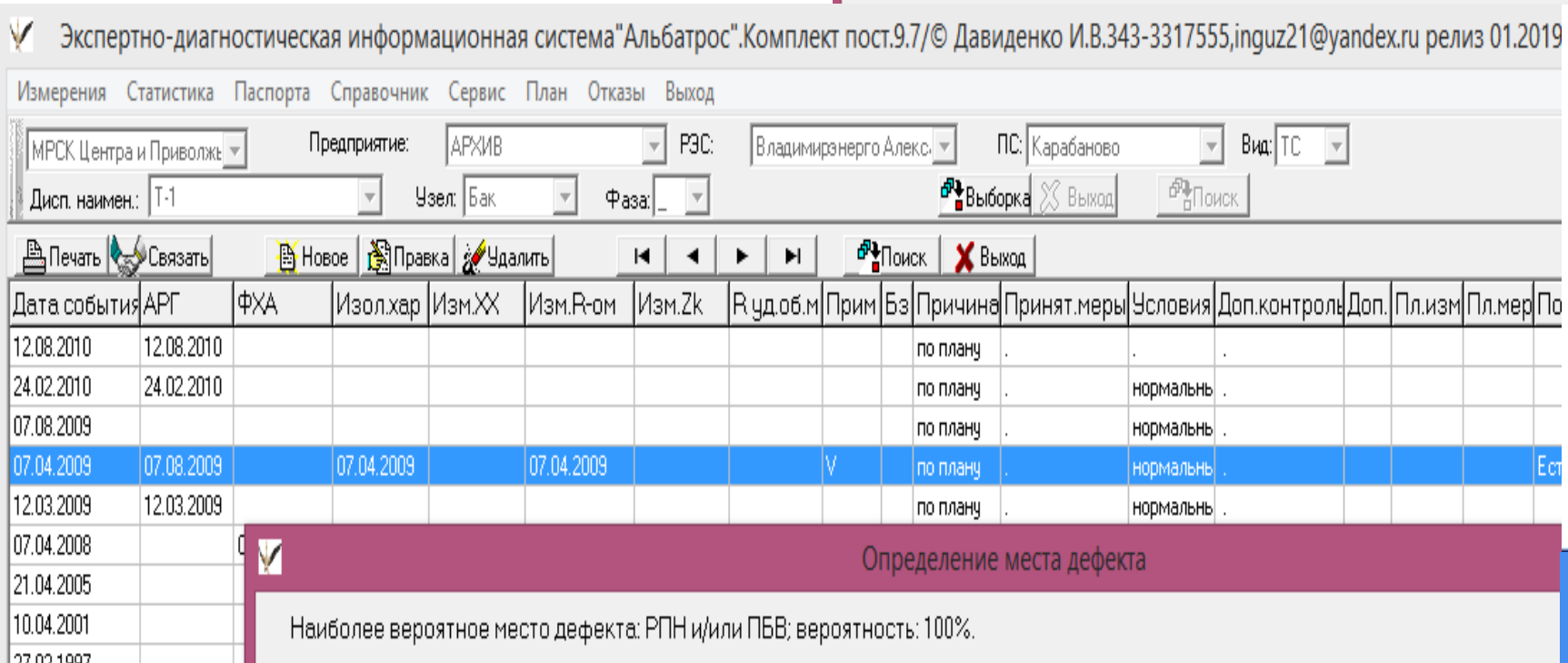
- ***Расчет относительного влагосодержания с учетом температуры отбора пробы и марки масла (ноу-хау)***
- ***распознавание образования Х-воска (ноу-хау)***
- ***распознавание вида дефекта по графику удельного объемного сопротивления масла(ноу-хау)***
- ***Определение границы выпадения шлама по коэф.Вермана(ноу-хау)***

НОВЫЕ ЗНАНИЯ ЭДИС – РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ НИР ООО ЭДА

- ***анализ газов из газового реле***
- ***локализация места дефекта***
- ***поиск аналогов в БД повреждений***

Пример локализации по одному АРГ от 12.03.2009





Пример локализации по АРГ и Rom обмоток от 07.08.2009

ООО "ЭДА"

НОВЫЕ МЕТОДИКИ ЭДИС – ПОИСК АНАЛОГОВ В БД ДЕФЕКТОВ

Поиск аналого повреждений

При подборе аналогов учитывать: пасп. хар-ки | тех.состояние | оба

Поиск | Сброс | Отчет

Фильтр по пасп. харак-м:
Фильтр по тех.состоянию:

Условия поиска | Результаты поиска

Паспортные характеристики, как условия отбора

Класс напряжения, кВ: 110 — Все — 110

Количество обмоток: 2-х р — Все

Система охлаждения: . — Все

Год выпуска/ввода в эксплуатац. (#####): 1984 / 11.09.1985 — Все — с: — по:

Тип сил. трансофрматора: ТРДН — Все — ТРДН

Защита: своб.дых. — Все

Масло: ГК

Завод изготов: П/яГ4616

Мощность, мВ: 0

РПН: РС-4

Место дефекта: Все

Основные условия подбора аналогов (АРГ и ФХА - локальные критерии оценки. остальные измерения-экспертные)

ансамбль газов | пары газов — диагноз АРГ | параметры АРГ

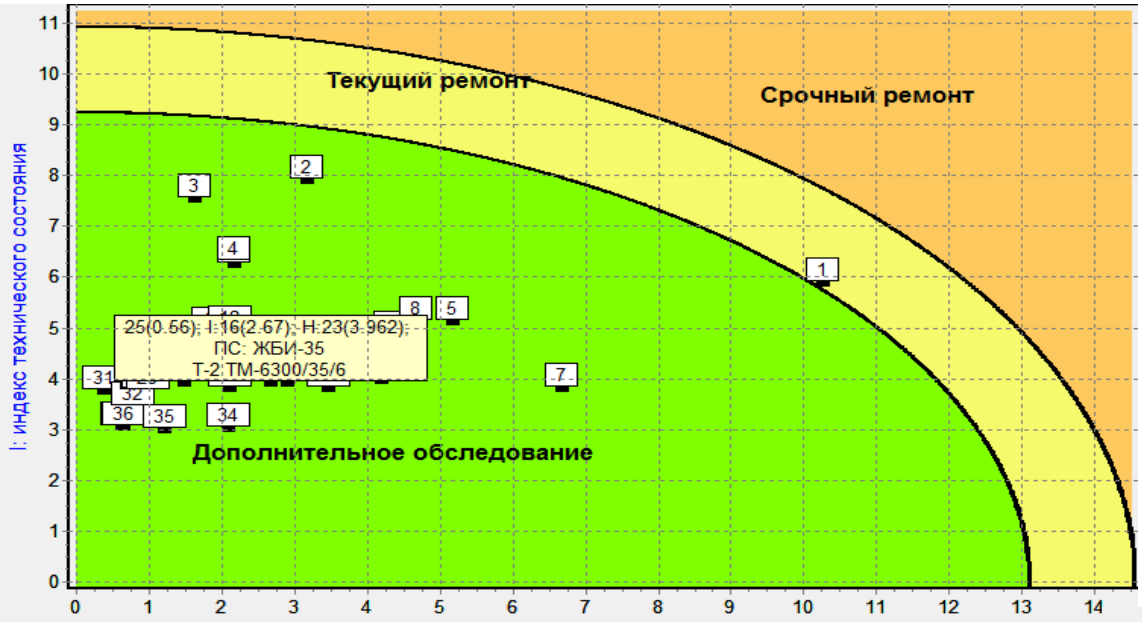
Образ повреждения, по набору диагностических признаков

Вкл/Выкл	№D	Диагноз по виду измерения	Список параметров выше ПДЗ/ДЗ
АРГ	78	АГ: Дуга, разряды большой мощности	/C2H2,
	172	ПГ: Частичные разряды	Аттрибуция газов: H2:g CH4:g C2H2:a C2H4:v C2H6:g
		...	
ФХАмасла		...	...
		...	
		...	
Изоляц.хар-ки		Сопротивление изоляции в норме. Обратите внимание	TG1,TG3,KA1,KA2,KA3,/

Условия поиска | Результаты поиска

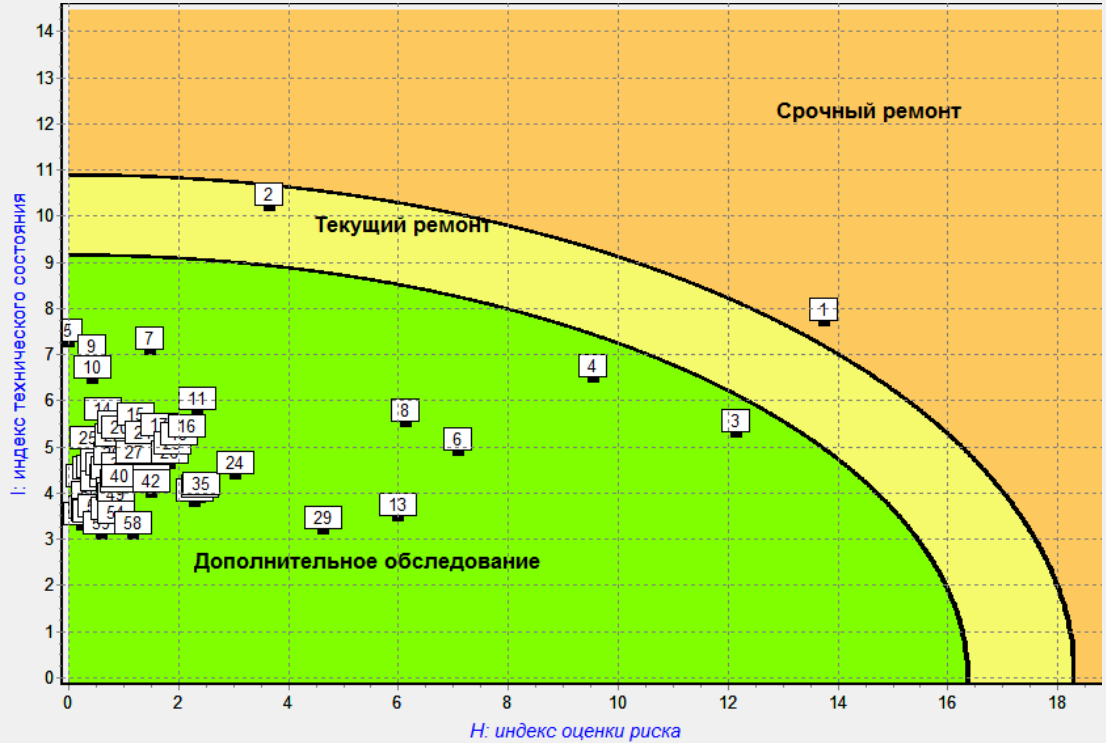
ID акт	Место	Место_детально	Описание	Характ_детл
90407	РПН и ПБВ	Другое	После загона РПН в 1-ое положение каждый раз срабатывал автомат защиты РПН . На месте причину установить не	Смещение деталей
100525	Обмотки и изоляция	Отводы	ТВК Ослабленное КС отвода обмотки НН к шпильке проходного изолятора ослабление затяжки гайки в процессе эк	Смещение деталей
100525	Обмотки и изоляция	Отводы	ТВК Ослабленное КС отвода обмотки НН к шпильке проходного изолятора ослабление затяжки гайки в процессе эк	Смещение деталей
100525	Обмотки и изоляция	Отводы	ТВК Ослабленное КС отвода обмотки НН к шпильке проходного изолятора ослабление затяжки гайки в процессе эк	Смещение деталей
100729	Обмотки и изоляция	Отводы	Ослабленное КС (контактн соед) отвода обмотки НН к шпильке проходного изолятора ослабление затяжки гайки в п	Смещение деталей
100729	Обмотки и изоляция	Отводы	Ослабленное КС (контактн соед) отвода обмотки НН к шпильке проходного изолятора ослабление затяжки гайки в п	Смещение деталей
100729	Обмотки и изоляция	Отводы	Ослабленное КС (контактн соед) отвода обмотки НН к шпильке проходного изолятора ослабление затяжки гайки в п	Смещение деталей
100923	РПН и ПБВ	Избиратель	бр В/В испытания и измерения. . (R постоянному току) Слабое КС в избирателе обмотки ВН ф. "С". Старение оборуд	Нарушение контакт
100923	РПН и ПБВ	Избиратель	бр В/В испытания и измерения. . (R постоянному току) Слабое КС в избирателе обмотки ВН ф. "С". Старение оборуд	Нарушение контакт
100923	РПН и ПБВ	Избиратель	бр В/В испытания и измерения. . (R постоянному току) Слабое КС в избирателе обмотки ВН ф. "С". Старение оборуд	Нарушение контакт
70914	Магнитопровод	Детали крепежа и стяжки	тр-р отключен. по предварительным данным обгорела шпилька на ф А ВН. Газовое реле 15 часов работало после ср	Подгар
70914	Магнитопровод	Детали крепежа и стяжки	тр-р отключен. по предварительным данным обгорела шпилька на ф А ВН. Газовое реле 15 часов работало после ср	Подгар
70914	Магнитопровод	Детали крепежа и стяжки	тр-р отключен. по предварительным данным обгорела шпилька на ф А ВН. Газовое реле 15 часов работало после ср	Подгар
898	Магнитопровод	Детали крепежа и стяжки	Вскрытие трансформатора. При ревизии активной части обнаружены: "нулевая" шпилька верхнего ярма магнитопро	Образование конту
898	Магнитопровод	Детали крепежа и стяжки	Вскрытие трансформатора. При ревизии активной части обнаружены: "нулевая" шпилька верхнего ярма магнитопро	Образование конту
898	Магнитопровод	Детали крепежа и стяжки	Вскрытие трансформатора. При ревизии активной части обнаружены: "нулевая" шпилька верхнего ярма магнитопро	Образование конту
881019	Обмотки и изоляция	Витковая изоляция	При к.з. в ячейке 10 кВ произошло витковое замыкание на обмотке ВН ТРДН-32000/110/10 (год изготов. 1968).	Витковое замыкан
881019	Обмотки и изоляция	Витковая изоляция	При к.з. в ячейке 10 кВ произошло витковое замыкание на обмотке ВН ТРДН-32000/110/10 (год изготов. 1968).	Витковое замыкан
881019	Обмотки и изоляция	Витковая изоляция	При к.з. в ячейке 10 кВ произошло витковое замыкание на обмотке ВН ТРДН-32000/110/10 (год изготов. 1968).	Витковое замыкан
71107	Обмотки и изоляция	Прессующие кольца	Откл. Т-1 типа ТРДН-32000/110 от Г.З. при близком К.З. во время грозы: попадание молнии в опору №1 фидера 10кВ	Повреждение обмо

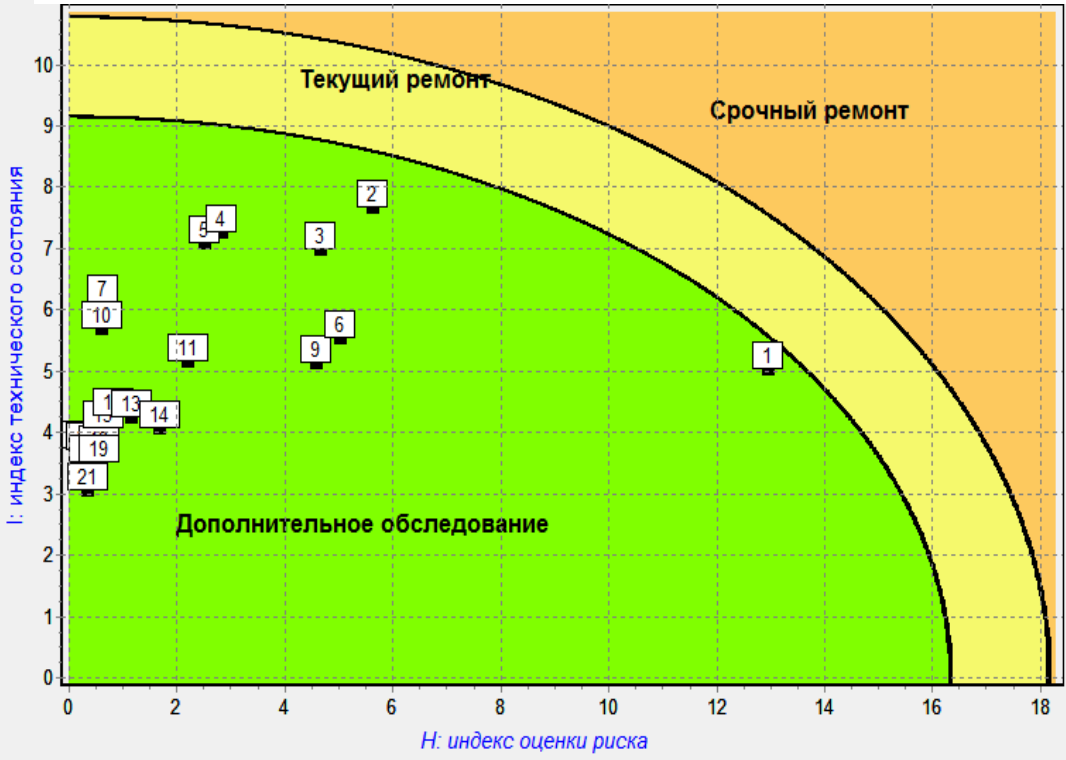
Примеры выбора очередности операций ТОиР ЭДИС



Алгоритм расчета индекса технического состояния разработан в 2008 г. Претерпел незначительные изменения. Точнее методики Минэнерго., использует другой принцип.

Алгоритм расчета показателя риска отказа СТ совершенствуется до сих пор.

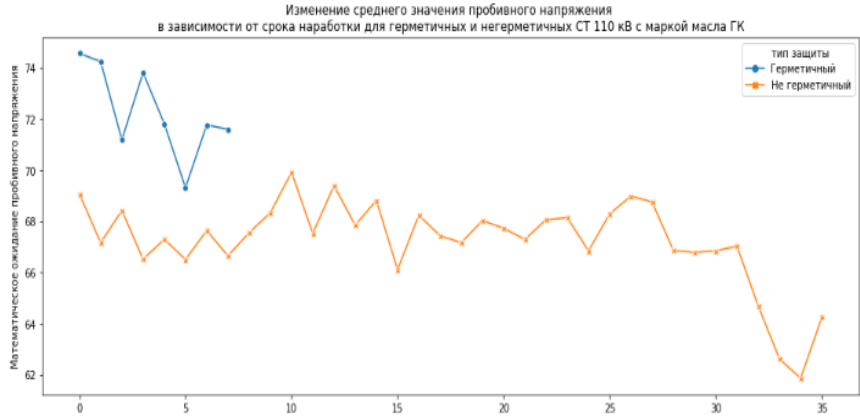


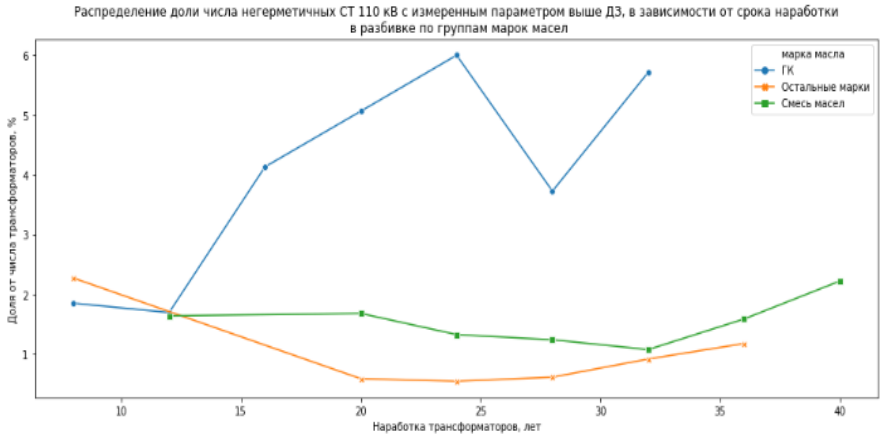


НИР 2019 В ходе участия в выполнении НИР ПАО Россети «Разработка методологических подходов к тех.диагностированию состояния СТ 35 кВ и выше по ограниченному числу контролируемых параметров и динамики их изменения» нами была разработана методика «Определения периодичности контроля параметров для надежной, эффективной оценки состояния силовых трансформаторов эксплуатации» Журнал «Энергоэксперт» №4 2019 С.50-54.

Выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на кислотное число, тангенс диэлектрических потерь, влагосодержание, напряжение пробоя масла, содержание антиокислительной присадки и водорастворимых кислот.

Проведен анализ адекватности нормативных значений этих параметров, рассчитаны - уточнены регламентированные значения, где необходимо





РОССЕТИ

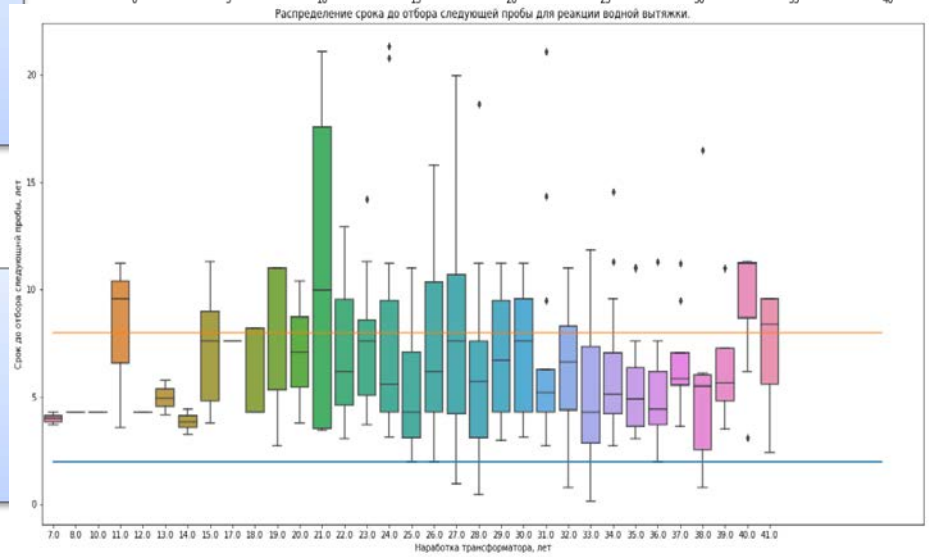
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ:

Получены статистические модели старения (окисления, увлажнения, загрязнения) различных марок масла, которые могут служить для прогноза и увеличения горизонта планирования операций ТОиР .

Рассчитаны сроки достижения ДЗ параметра в зависимости от возраста СТ с помощью аппроксимации троек замеров линейной, параболической и экспоненциальной функцией

Даны практические рекомендации по изменению периодичности контроля, исключению дублирования и т.д.

Экономия эксплуатационных расходов в периоды медленного ухудшения параметров и повышение надежности работы в периоды быстрого ухудшения параметров



Сохранение ЖЦ ЭДИС за счет:

- **Внесение изменений в БЗ** в соответствии с новыми РД, СТО, МЭК,НИР
- **Ежегодное обновление** (сопровождение предоставляется бесплатно при условии обновления)
- **Наращивание функционала**
- Возможность обучения (в УрФУ или на местах), в т.ч. в виде **курсов повышения квалификации**
- **Методическая поддержка** при обращении

Преимущества ЭДИС :

- не требует дополнительного персонала служб ИТ, изоляции и пр.
- устойчивая работа - специалисты ИТ вспоминают о системе в минуту обновления ПО
- ускорение внедрения за счет поставки заполненных справочников
- аккумулирование опыта МРСК, ФСК, заводов, генерации и пр.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

Давиденко Ирина Васильевна д.т.н.,
профессор кафедры «Электрические машины»
Уральского федерального университета,
директор ООО «Энерго-Диагностика и Аналтика
inguz21@yandex.ru, 343-3317555
www.edis.guru