XVI конференция компании Димрус.
Пермь 2019.

Выбор очередности операий ТОиР силовых трансформаторов с учетом оценок тех. стостояния и риска отказа

Давиденко И.В. д.т.н., проф.кафедры
“Электрические машины” Уральского
Федерального Университета Екатеринбург

www.edis.guru

edis@edis.guru

История вопроса

Более 10 последних лет за рубежом и в РФ ищут подходы к менеджменту парка трансформаторов на основе их индекса технического состояния.

Почти четверть докладов секции А2 СИГРЭ 2014 были посвящены этой теме. В докладах 2016 и 2018 г тема получила развитие с акцентом на оценке риска и прогнозировании тех.состояния на 5 лет.

Недостатки методик расчета I тех.состояния:

- формальный подход к оценке контролируемых параметров по превышению их предельно-допустимых значений (ПДЗ) в рамках РД , приводит к ошибкам 1-го и 2-го рода, так как ПДЗ большей частью не дифференцированы по конструктивным особенностям и срокам эксплуатации СТ);
- не учитывается и не анализируется достоверность данных измерений;
- не учитывается, что результаты измерений проведенные несколько лет назад, могут не отражать текущее техническое состояние СТ;
- в оценке части параметров участвует специалист предприятия, что снижает оперативность и объективность ранжирования СТ в силу ошибки или недостаточного опыта специалиста;
- ограничен набор контролируемых параметров, участвующих в оценке индекса;

Недостатки методик расчета I тех.состояния:

- не учитывается, что для СТ различных классов напряжения и мощности, разного вида изоляции применяется различный набор видов контроля (разная периодичность контроля)
- не учитывается отсутствие информации (чем меньше параметров участвует в оценке, тем лучше индекс технического состояния);
- не учитывается величина трендов изменений большинства контролируемых параметров;
- не учитывается история развития повреждения и специфика режимов эксплуатации;
- не учитывается влияние проведенных эксплуатационных мероприятий на значения контролируемых параметров

ЭДИС : расчет интегрального индекса тех.состояния

В течение 6 лет мы внедряем свою методику ранжирования парка трансформаторов, которая реализована в одной из подсистем экспертно-диагностической и информационной системой управления техническим обслуживанием электрооборудования ЭДИС «Альбатрос».

В данном докладе изложены изменения, которые мы внесли в методику, в результате полученного опыта ее использования и тестирования в энергокомпаниях в течение 6 лет.

Подход ЭДИС расчета индекса тех.состояния:

Индекс тех.состояния должен определяться видом предполагаемого дефекта, а не суммой контролируемых параметров, превышающих регламентируемые ПДЗ, как в методиках РД. Представим, что для двух СТ имеется превышение C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2 своих ПДЗ. Но в одном СТ по соотношениям C_2H_6/C_2H_4 и C_2H_2/C_2H_4 диагностируется “слабый нагрев”, а в другом - “дуга”. Очевидно, что СТ находятся в разных тех. состояниях, но с точки зрения методик РД их индекс тех. состояния будет одинаковым. Например, в оценке качества масла в эксплуатации участвует до 11 параметров. Предположим, что все параметры кроме, напряжения пробоя и влагосодержания масла в норме. Индекс состояния по результатам физико-химического анализа масла будет, в среднем, не критический, хотя необходимо принимать меры для восстановления масла.

ЭДИС : расчет интегрального индекса тех.состояния

$$Ii = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}$$

где Ii - индекс технического состояния СТ по данным i-ого измер;
x_i – оценка тяжести и опасности вида дефекта i-ого измерения;
y_i – оценка скорости развития дефекта i-ого измерения;
z_i – оценка истории эксплуатации и развития дефекта i-ого изм

- Оценка состояния СТ системой производится на основании следующих видов измерений:
- анализ растворенных газов (АРГ);
- расширенного физико-химического анализа масла:25 парам.;
- влагосодержания и степени полимеризации твердой изоляц.;
- измерения изоляционных характеристик;
- омического сопротивления обмоток;
- сопротивления короткого замыкания;
- результатов опыта холостого хода;
- специальные методы (ТВК, виброконтроль, контроль ЧР,...)

ЭДИС : расчет интегрального индекса тех.состояния

1. шаг– проверка их результатов на достоверность, выявление ошибок измерения и занесения информации персоналом.

2. шаг - идентификация вида дефекта и оценка скорости его развития:

2.1 сравнение контролируемых параметров и их трендов с ДЗ и ПДЗ;

2.2 идентификации вида дефекта *Di*.

2.1Преимущество ЭДИС - есть библиотека ДЗ и ПДЗ контролируемых параметров и их трендов, с разбивкой по конструктивным особенностям СТ. Например, есть свои критерии оценки параметров АРГ и ФХА масла для оборудования различного вида (СТ, ИТ, в/в); класса напряжения и мощности; герметичности; срок а эксплуатации и марки масла; Библиотека -результат НИР авторов, полученный методами мат.статистики эксплуатационных данных, накопленных в течение 25 лет БД ЭДИС «Альбатрос» на более, чем 430 рабочих местах.

ЭДИС : расчет интегрального индекса тех.состояния

2.2 База знаний ЭДИС имеет авторские методы и алгоритмы идентификации вида дефекта *Di* , учитывающие особенности оборудования разных видов и конструкций как на основе АРГ, так и на основе других видов измерений

3. шаг– выработка ЭДИС рекомендаций *Ri*. по необходимым операциям ТОиР, в том числе повторного проведения недостоверных измерений.

Рекомендация выбирается на основании вида дефекта *Di* и трендов его параметров, а также с учетом истории его развития и проведенных ранее операций ТОиР.

Например, алгоритм ЭДИС учитывает, что замена масла влияет как на результаты АРГ и ФХА масла, так и на характеристики твердой изоляции СТ.

Т.о. ЭДИС самостоятельно определяет вид дефекта *Di* и рекомендацию по его дальнейшей эксплуатации *Ri*.

По перечисленным видам измерений система идентифицирует более 70 различных тех.состояний СТ (дефектов) *Di* и выдает более 40 разных рекомендаций *Ri*

Шкала тяжести и опасности тех. состояния СТ

4. шаг- 4.1. ЭДИС определяет значения координат x_i, z_i, соответствующие поставленному диагнозу *Di* и рекомендации *Ri* по таблице соответствия БЗ (по 7 видам измерений слайда 7)

Балл	Описание технического состояния СТ
1	Исправное состояние
2	Недостоверное измерение, ложное срабатывание сигнализации
3	Один или незначительная часть контролируемых параметров эпизодически превышают ДЗ, но ниже ПДЗ или результаты измерений под сомнением
4	Устойчивое превышение параметрами ДЗ (ниже ПДЗ) с низкими значениями их трендов, прогнозируется начальная стадия развития дефекта, требуется учащенный контроль СТ
...	.....
...	.....
8	Неисправное состояние, наличие развитого дефекта. По виду дефекта планируется небольшой объем ремонта.
9	Неисправное состояние, наличие развитого дефекта. По виду дефекта планируется большой объем ремонта.
10	Неисправное состояние, ремонт СТ не возможен или экономически нецелесообразен

ЭДИС : расчет интегрального индекса тех.состояния

4.2 Оценка тех.состояния специальным видам контроля может быть выполнена другим ПО/экспертами, а ее результат введен в ЭДИС с помощью справочника формализованных диагнозов.

Индекс тех.состояния спец.контроля определяется по таблице Б3, задающей соответствие набора диагнозов *Di* и значений x*i*.

5 шаг - интегральный индекс состояния рассчитывается, как взвешенное среднее число индексов состояния традиционных и специальных методов контроля

$$Im = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} Ki * Ii^{2}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} Ki * M_{i\ max}^{2}}}$$

где n- количество видов измерений

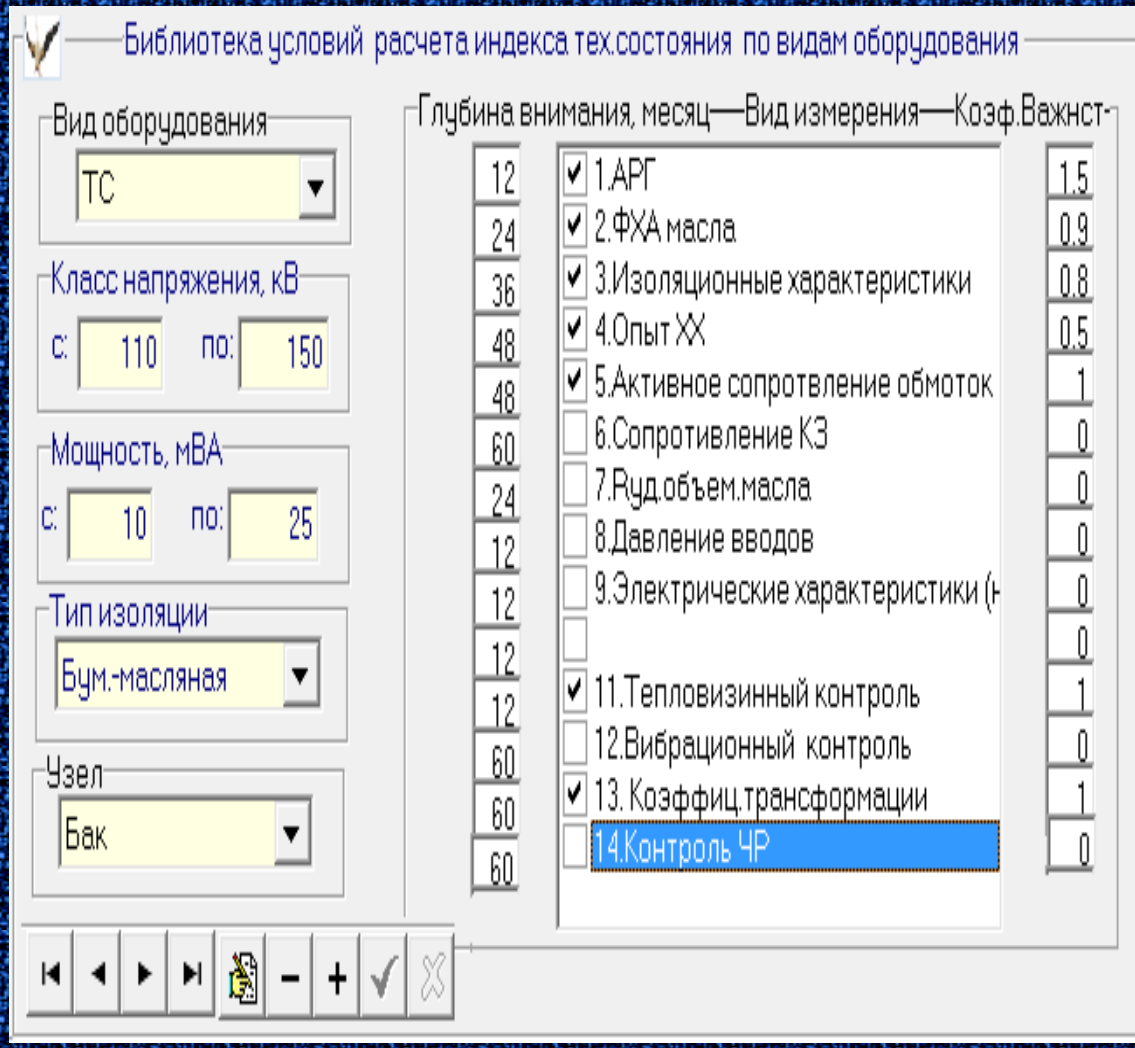
I_m – индекс тех. состояния для СТ с номером *m*;

$M_{i\ max}$ – максимальное значение коэффициента *i*-го измерения, используемое для нормирования;

K_i – коэффициент важности *i*-ого измерения учитывает достоверность, чувствительность и регулярность проведения разных видов контроля.

Библиотека условий расчета индекса тех.состояния

Для оценки СТ различных классов напряжения и мощности, разного вида изоляции применяется различный набор видов контроля, кроме того, используется разная периодичность этого контроля. Для учета этих особенностей в ЭДИС была введена библиотека условий расчета индекса



ЭДИС : расчет интегрального индекса тех.состояния

6 шаг – после определения интегральных индекс состояния *Im* для всего парка СТ из выборки исключаются объекты, находящиеся в исправном состоянии.

Операции по дальнейшему обслуживанию исправных СТ назначаются системой согласно периодичности проведения планово-профилактических мероприятий, хранящейся в БЗ ЭДИС.

7 шаг - по каждому оставшемуся в выборке СТ рассчитывается показатель риска его отказа *Hm*.

7.ЭДИС : оценка риска отказа

$$H = P_k * (G_{пост} + G_{потреб} + G_{рем})$$

где *H* – индекс оценки риска повреждения СТ;

P_k – вероятность повреждения k-ого узла (системы) СТ ;

$G_{пост}$ - **ущерб поставщика** электроэнергии, от недоотпуска электроэнергии (учитывает мощность трансформатора, его нагрузку, предполагаемое время отключения, тариф потребителя, количество линий резервирования);

$G_{потреб}$ - **ущерб потребителя** электроэнергии, который может быть предъявлен поставщику к возмещению (учитывает категорию потребителя и количество линий резервирования. Предполагаемый ущерб потребителя определен экспертными оценками и данными статистики) .

$G_{рем.}$ – **ущерб поставщика** электроэнергии, связанный со стоимостью ремонта СТ;

Затраты на ремонт $G_{рем}$ и риск вероятности повреждения P_k **связаны с конкретным узлом** (системой) СТ их нельзя учесть без определения места предполагаемого дефекта. Здесь необходим новый модуль ЭДИС

Исходные данные для P_k и локализации дефекта

За 25 лет работы ЭДИС Альбатрос в ее БД было накоплен 374 случая повреждения СТ с описанием результатов вскрытия (ремонта).
Для каждого повреждения полностью или частично известны пред- и поставарийные результаты измерений: АРГ, расширенный ФХА масла, значения омического сопротивления, характеристик изоляции, потерь и тока в опыте ХХ при малом напряжении, сопротивления короткого замыкания, а также история изменения этих анализов во времени.
Вся эта информация собрана в формализованных актах описания повреждений (5 параметров) с указанием причин, характера, места дефекта и т.д., что позволило значительно облегчить работу при подготовке данных к анализу.

Вероятность повреждения различных узлов СТ – статистика базы данных ЭДИС

Класс напряжения	35кВ		110 кВ	
	Срок эксплуатации			
Место повреждения	0-5 лет	16-25 лет	0-5 лет	16-25 лет
Обмотки и изоляция	1,03%	0,78%	1,41%	0,93%
РПН и ПБВ	0,51%	0,39%	0,40%	0,56%
Вводы	0,26%	0,00%	0,40%	0,26%
Магнитопровод	0,00%	0,00%	0,10%	0,11%
Система защиты масла	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%
Бак и арматура	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%
Система охлаждения	0,51%	0,91%	0,00%	0,03%

Таблица показывает необходимость дифференцировать вероятность повреждения P_k СТ в зависимости от срока его эксплуатации, класса напряжения и узла.

Определение места дефекта методами машинного обучения по статистике базы повреждений СТ ЭДИС

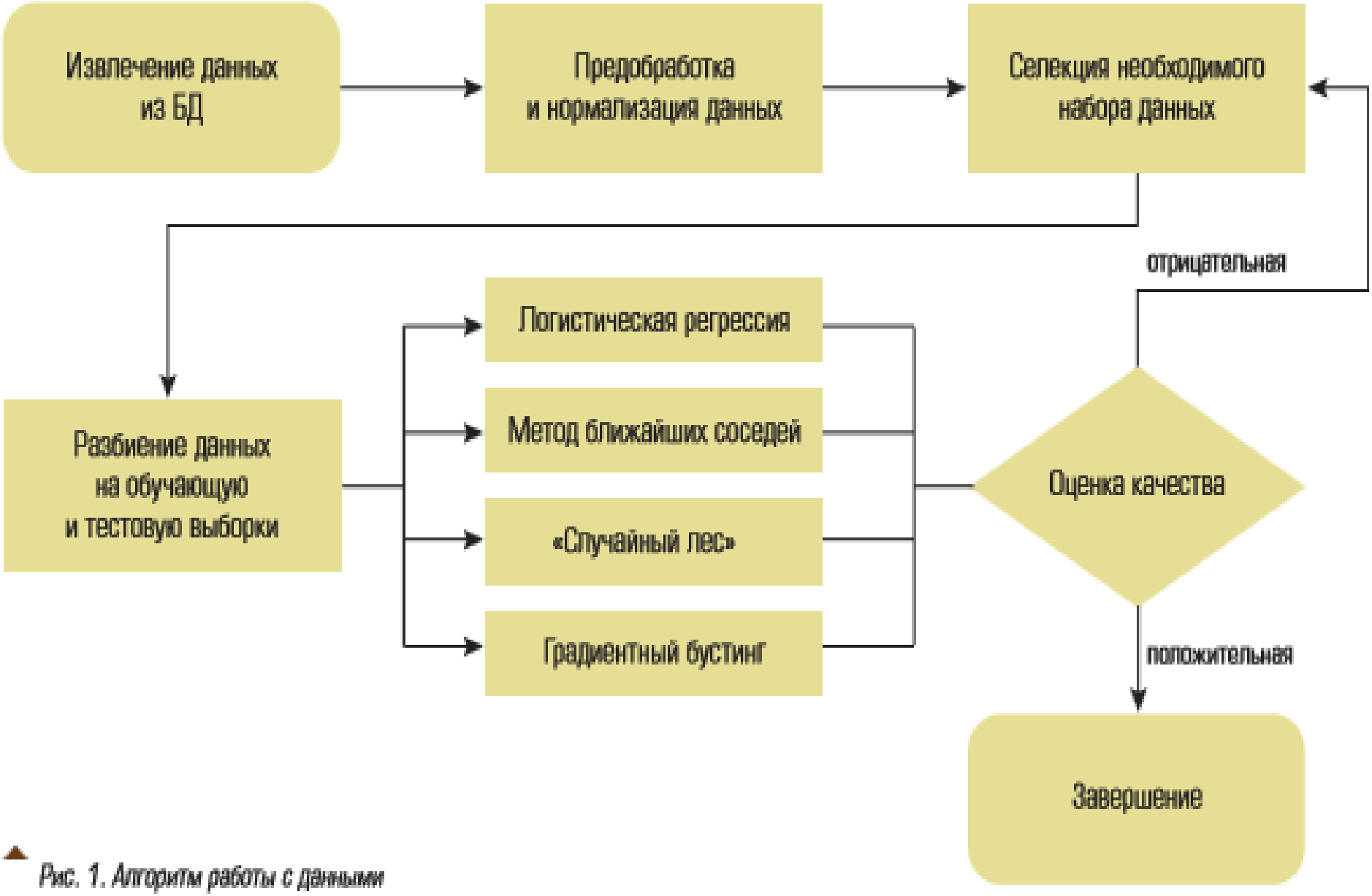
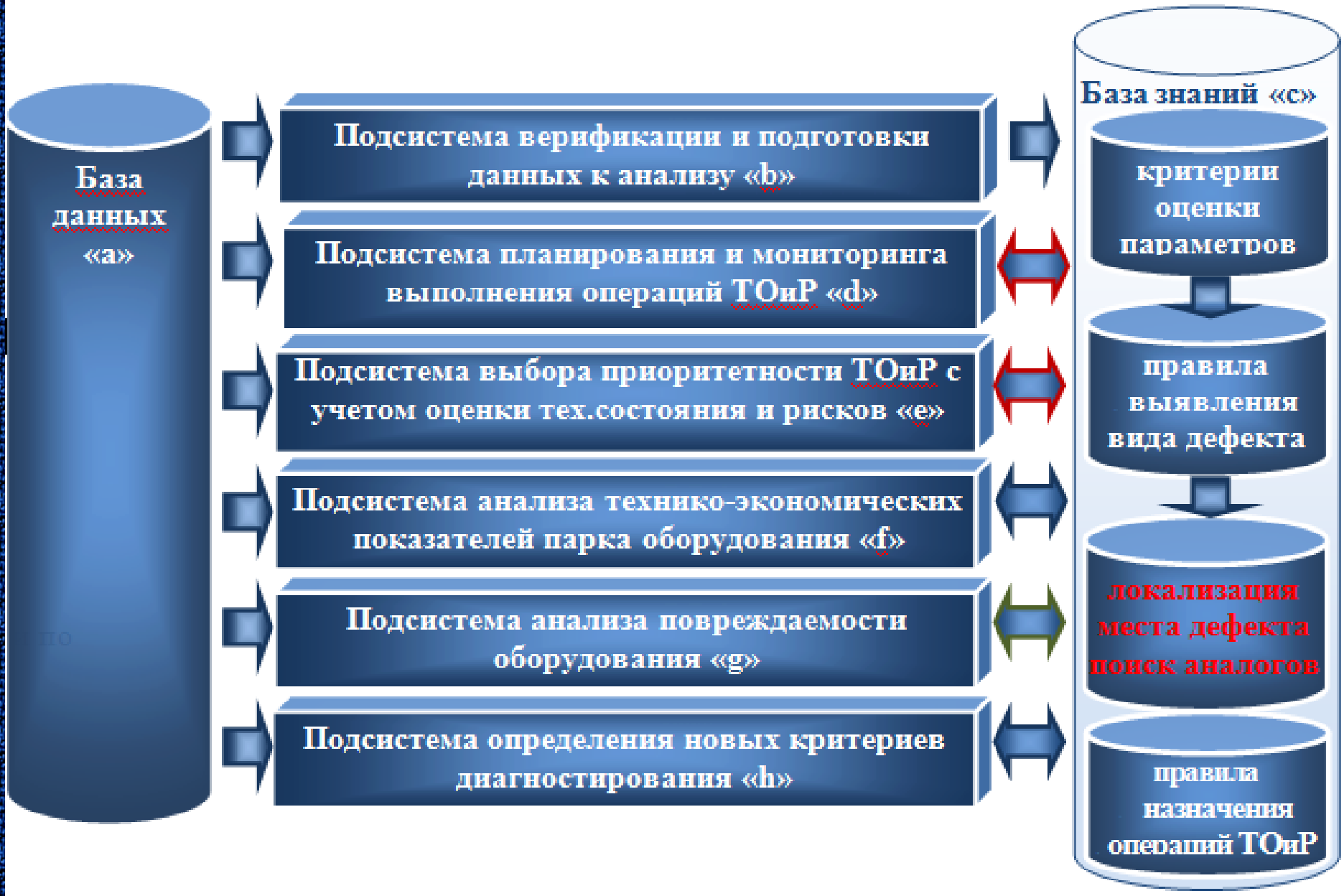


Рис. 1. Алгоритм работы с данными

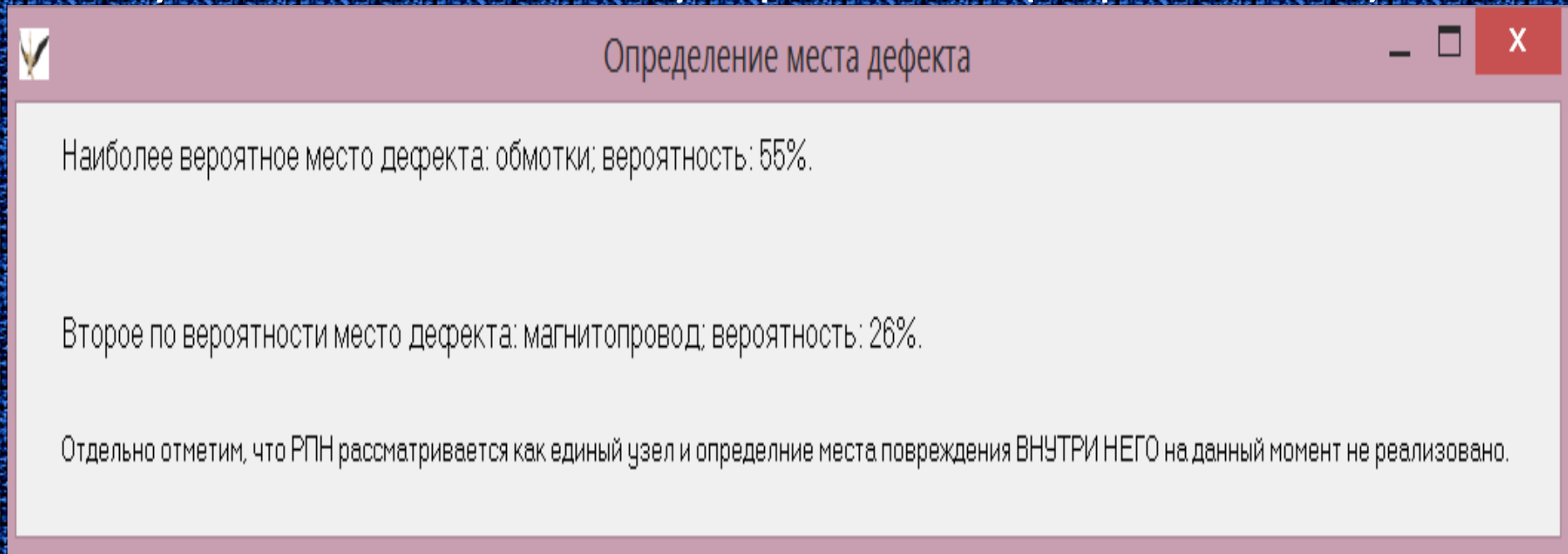
Структура ЭДИС «Альбатрос»



Новый модуль локализует повреждение СТ по:

- обмотки;
- переключающее;
- главная изоляция;
- магнитопровод;
- система охлаждения;
- масло

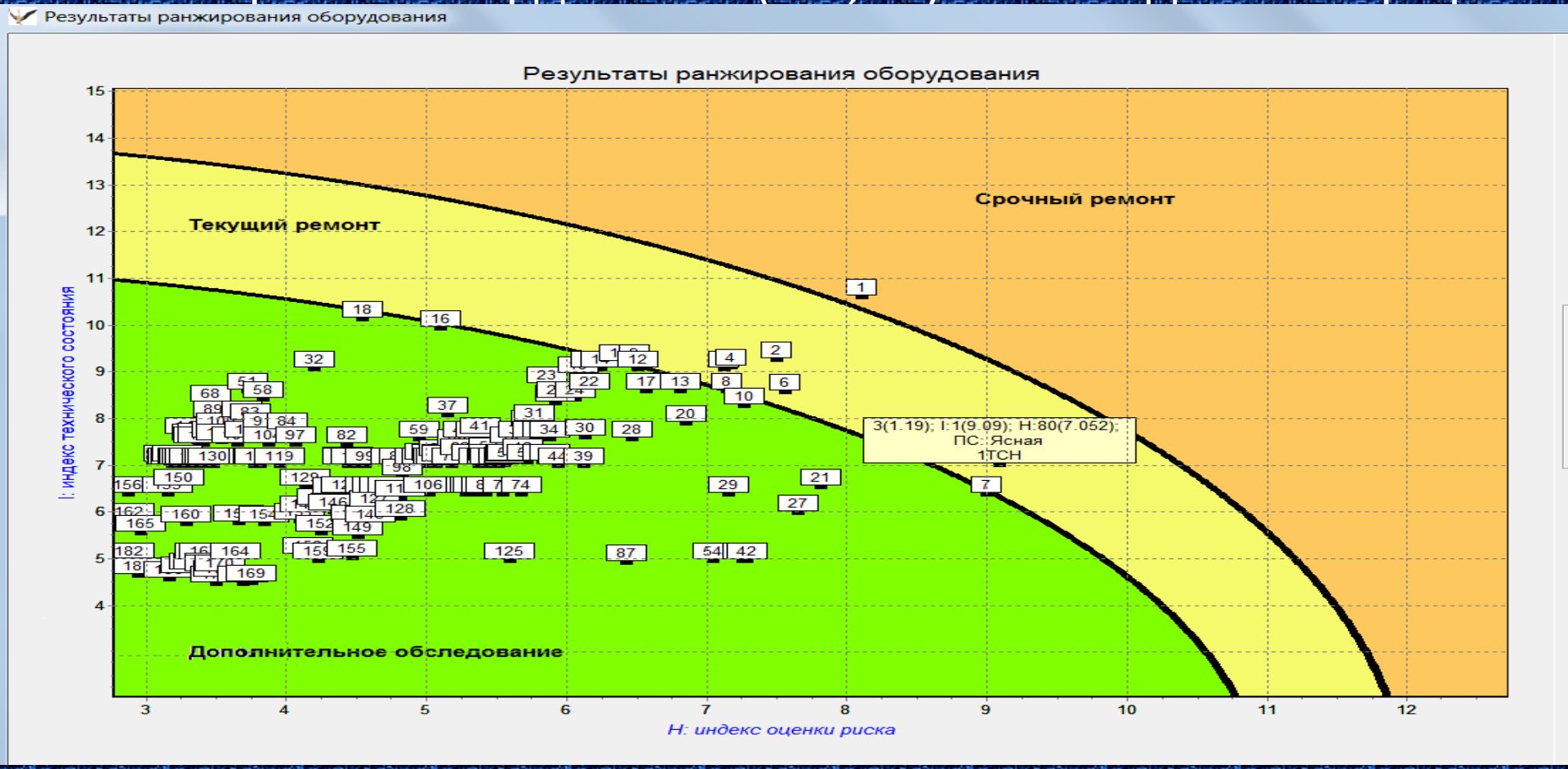
с указанием степени уверенности (вероятности).



7 шаг: оценка риска отказа

$$H = P_k * (G_{пост} + G_{потреб} + G_{рем})$$

8 шаг: по расчит.координатам (*Hm;Im*) СТ выводятся на график



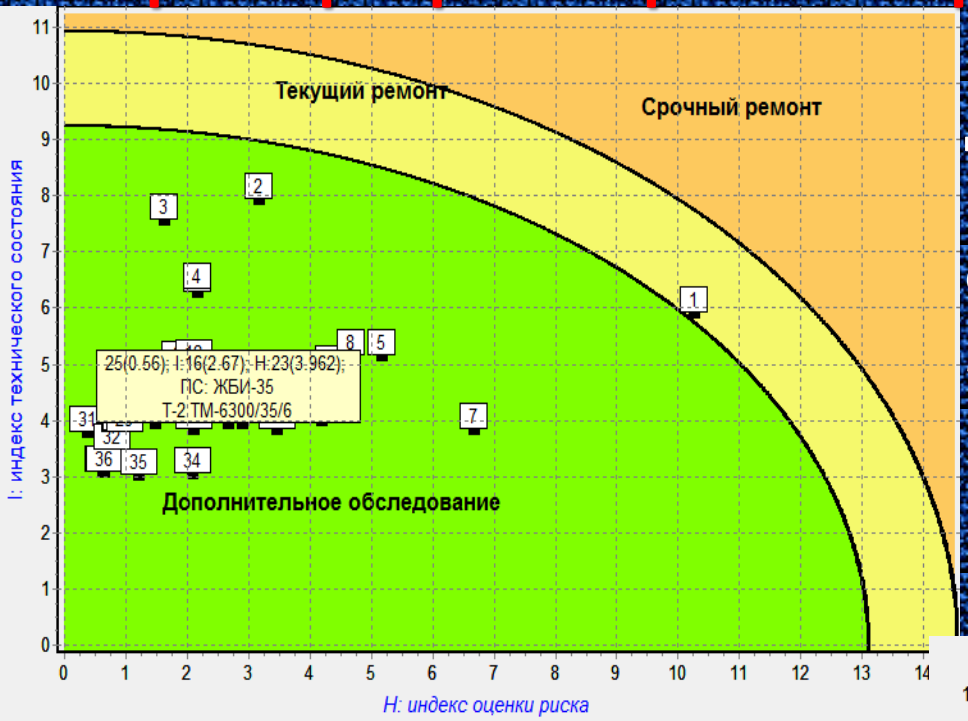
9 шаг – ЭДИС ранжирует СТ по расстоянию от точки с координатами (Hm;Im) до точки с координатами (0;0).

1цифра - ранг СТ по очередности вывода в ремонт;

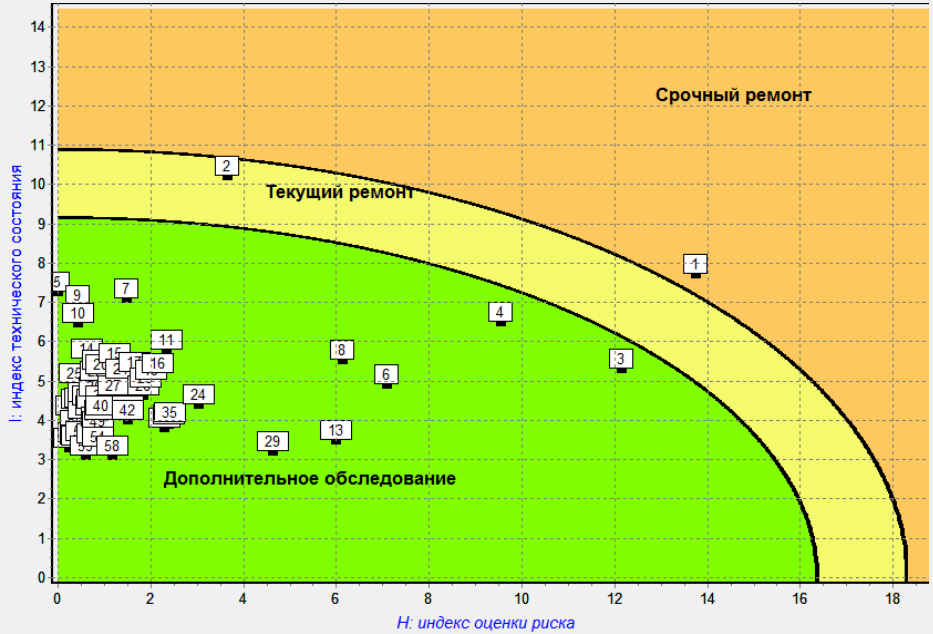
2цифра - ранг по индексу технического состояния, в скобках значение *Im;*

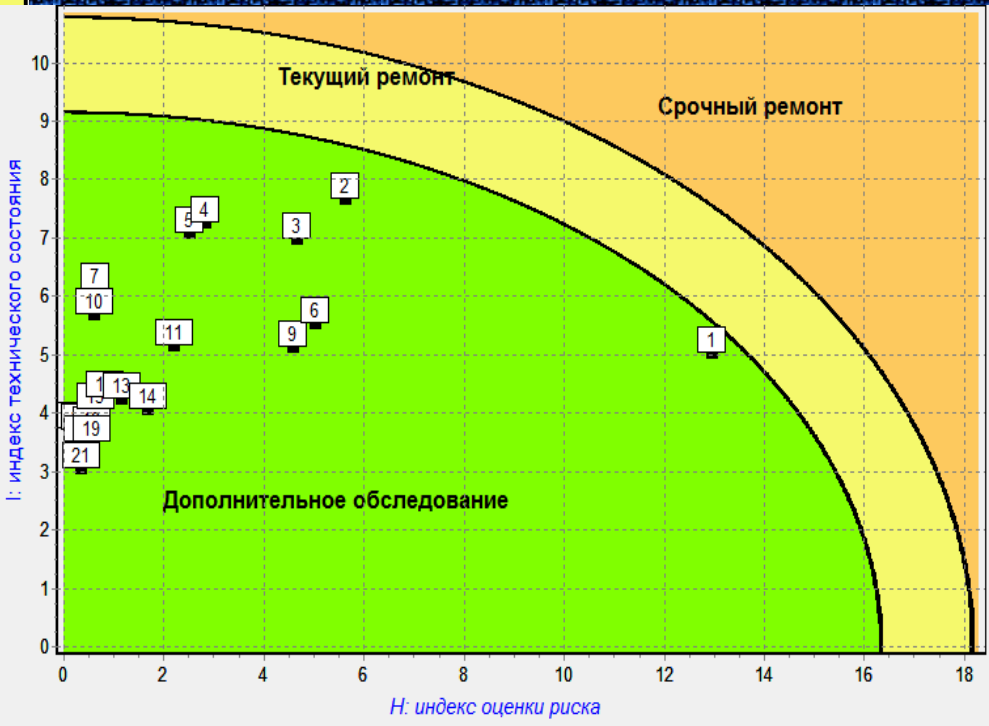
3 цифра – ранг по индексу оценки риска, в скобках значение индекса *Hm;*

Примеры ранжирования филиалов энергокомпании



По нашему опыту причинами дисбаланса могут быть, как неравномерное распределение финансовых и кадровых ресурсов между филиалами, так и разное качество проведения диагности-рования и операций ТОиР





Выводы

1. Отличие предложенной методики расчета индекса тех.состояния в том, что учитываются:

- максимальное числа контролируемых параметров и результатов видов контроля (в т.ч. специального);
- периодичность и регламентированный набор контроля с учетом конструкции СТ;
- идентификация вида дефекта системой, а не бальные оценки контролируемых параметров;
- скорость развития повреждения;
- история эксплуатации объекта, в т.ч. проведенные операции ТОиР;
- 2-х ступенчатая оценка параметров с учетом особенностей конструкции и срока службы СТ.

2. Впервые создан алгоритм, локализующий место повреждения СТ, что позволяет:

2.1.рассчитывать риски отказов СТ с учетом предполагаемого места и характера дефекта, а также вероятности отказа.

2.2. более реалистично составлять планы ТОиР

Выводы

3. Методика адаптирована для реализации в ПО,внедряется с 2013г. Применение предложенной методики на предприятиях эксплуатирующих СТ, ремонтных организациях снизит ошибку менеджмента, повысит оперативность, объективность при оценке реальной ситуации и, как следствие, увеличит срок службы трансформаторов.

У управленческого персонала необходимо формировать навык анализа оперативной информации, технико-экономического состояния парка оборудования, его повреждений и пр.

Естественно, что в современном мире, эти задачи должны решаться с помощью систем искусственного интеллекта.

Спасибо за внимание

Давиденко И.В. д.т.н., проф.кафедры
“Электрические машины” Уральского
Федерального Университета Екатеринбург
edis@edis.guru