

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ЭДИС "Альбатрос" релиз 10.2022

## Назначение

Настоящий программный продукт предполагается использовать при диагностике отечественных маслонаполненных силовых трансформаторов и автотрансформаторов (все типы, класс напряжений: 10-750кВ); масляных реакторов; измерительных трансформаторов; высоковольтных вводов (35-750кВ) трансформаторов и масляных выключателей; выключателей (масляных, воздушных, элегазовых, вакуумных); ограничителей перенапряжения и разрядников; конденсаторов; шин и токопроводов; кабелей, на основании традиционно проводимых измерений.

## Возможности программного продукта

1. Занесение, хранение и редактирование информации по структуре энергосистемы:

- списки предприятий энергосистемы; РЭС-ов; подстанций;
- перечни установленного на них маслонаполненного оборудования, его характеристики и паспортные данные.

Базы справочников структуры энергосистемы заполняет пользователь.

2. Занесение, хранение и редактирование информации сервисных справочников:

списки условий эксплуатации, списки причин измерений, списки принятых мер, списки типов трансформаторов и вводов, списки типов РПН, списки марок масла, списки заводов-изготовителей, списки средств измерений.

Базы сервисных справочников поставляются заполненными. В дальнейшем пользователь дополняет их самостоятельно.

3. Занесение, хранение и удаление основной оперативной информации - данные испытаний и измерений следующих видов:

- по анализу, газов растворенных в трансформаторном масле (АРГ) в виде концентраций следующих газов: водород, метан, ацетилен, этилен, этан, окись углерода и двуокись углерода, кислород, азот;

- - по физико-химическому анализу масла: температура вспышки, кислотное число, пробивное напряжение, влагосодержание и температура отбора масла, мехпримеси, содержание антиокислительной присадки, содержание водорастворимых кислот, фурановых соединений, растворимого шлама, общее газосодержание, тангенс угла диэлектрических потерь масла при подъеме температуры 20-50-70-90 градусов, тангенс угла диэлектрических потерь масла при спаде температуры, мутность, цвет масла, поверхностное натяжение масла, максимальная амплитуда ИФК поглощение масла и соответствующая ей частота; для свежего и восстановленного масла дополнительно: стабильности против окисления по кислотному числу (мгКОН/г), осадку (% массы), летучим кислотам (мгКОН/г), или по методу МЭК (индукционный период, ч); плотность (кг/куб.м) и вязкость (мм/с) масла, содержание в нем серы (%), а также его структурно-групповой состав (Са, %-ароматические углеводороды, Ср, %-парафины, Сп, %-нафтены); (анализ масла в эксплуатации, а также свежего и восстановленного масла, до и после заливки в СТ, ведется по разным критериям);

- степень полимеризации и влагосодержание твердой изоляции измеренное и расчетное (расчет делает система);

- по диэлектрическим характеристикам твердой изоляции:

тангенс угла потерь и емкость изоляции, сопротивление изоляции  $R_{60}$  и  $R_{15}$ , коэффициент абсорбции, напряжение и температура при которых проводились измерения для основных и дополнительных (по зонам) схем измерения – для трансформаторов;

сопротивление, тангенс угла потерь и емкость основной изоляции и дополнительных слоев изоляции – для вводов;

- по измерениям опыта холостого хода на пониженном напряжении: токи и мощность потерь, приложенное напряжение;
- по измерениям сопротивлений обмоток на постоянном токе: значения сопротивлений обмоток, температура измерения;
- по измерениям сопротивления короткого замыкания: значения напряжения и тока короткого замыкания, частоты напряжения измерения;
- результаты измерений и оценки специальных измерений (тепловизионного контроля, виброобследования, частичных разрядов, коэф.трансформации и др.) другими ПО в виде формализованного справочника.

При занесении параметров электрических измерений база знаний сама формирует необходимые схемы измерения по количеству обмоток трансформатора, их схеме соединения и стороне расположения РПН.

Базы данных по оперативной информации заполняет пользователь по мере проведения измерительных работ.

4. Занесение, хранение и удаление дополнительной оперативной информации - эксплуатационные мероприятия, изменение режимов и условий работы оборудования, которые могли повлиять на состояние объекта; причины проведения измерений, используемые средства измерения;

5. Вносимая оперативная информация для трансформаторов и вводов по возможности тестируется ЭДИС на достоверность и проходит предварительную обработку (приведение параметров к одной температуре, приведение по маслу, контроль правильности измерения характеристик изоляции по зонам, вычисление скоростей изменения параметров и т.п. – все необходимые расчеты). Для приведения по температуре и др., а также сравнительного анализа пользователь имеет возможность отметить базовый замер по измерениям диэлектрических характеристик твердой изоляции, опыту холостого хода, активному сопротивлению обмоток и сопротивлению короткого замыкания.

Результаты расчетов (10-15 последних дат измерений) по каждому виду измерения выводятся на экран в виде таблицы. Результаты тестирования на достоверность можно просмотреть в окне 'Оценка состояния оборудования'.

6. После предварительной обработки проводится тестовая диагностика. Параметр сравнивается с нормативными значениями, с результатами испытаний на заводе или при монтаже оборудования, отслеживается динамика изменений параметров по отношению к предыдущему замеру и соотношения между параметрами анализируемого измерения, при этом учитывается срок эксплуатации оборудования. Результат сравнения по каждому виду измерения представлен в виде таблицы и в графическом виде. Оценка каждого контролируемого параметра показана цветом, определяющим категории: 'нормальная эксплуатация', 'зона риска', 'зона опасности'.

7. Для оборудования, не прошедшего тест на 'нормальную эксплуатацию', на основе правил базы знаний ЭДИС делается заключение о состоянии оборудования, характере, степени опасности и месте предполагаемого дефекта по каждому виду измерения. Даются рекомендации по дальнейшей эксплуатации с указанием объемов дальнейших измерений или по устранению дефекта. ЭДИС производит анализ по любому набору измеряемых величин. По результатам анализа оперативной информации выдается протокол измерений единицы оборудования с оценкой ее состояния на рассматриваемый момент времени.

8. База знаний ЭДИС имеет 3 библиотеки критериев оценки контролируемых параметров силовых трансформаторов, автотрансформаторов, реакторов и высоковольтных вводов, измерительных трансформаторов и др. видов оборудования: 'нормативную' (нормы, рекомендованные министерством, вышестоящей организацией), и 'экспертную' (нормы, рекомендованные экспертами по диагностике). По желанию пользователя это могут быть международные стандарты или стандарты предприятия. Пользователь имеет возможность редактировать граничные значения контролируемых параметров обеих библиотек. Дополнительные наборы критериев оценки АРГ и ФХА, доступные для редактирования, называются 'локальными'. Дополнительная библиотека оценки результатов АРГ содержит критерии нового стандарта Россетей СТО 34.01-23-003-2019 (взамен РД 153-34.0-46.302-00) и СТО 34.01-23.1-001-2017 (взамен РД 34.45-51.300-97), имеющие 2 уровня оценок - допустимый и предельно-допустимый, а также имеет свои критерии оценки силовых трансформаторов 35 кВ и 110 кВ с плечной защитой, реакторов 110 кВ, измерительных трансформаторов и негерметичных и герметичных вводов трансформаторов и выключателей. Предусмотрена возможность пользователю выбирать вид библиотеки критериев оценки параметров (нормативная/экспертная) по каждому виду измерения и оборудования для проведения диагностирования.

Оба комплекта: 'нормативный' и 'экспертный', критериев оценки измеряемых параметров поставляются заполненными.

9. ЭДИС формирует карточки измерений: данные измерений за весь срок эксплуатации единицы оборудования по АРГ; физико-химическому анализу масла; диэлектрическим характеристикам твердой изоляции; измерениям опыта холостого хода на пониженном напряжении (протоколы результатов измерений выдаются в 2-х видах, второй в соответствии со стандартом Россетей СТО 34.01-23-003-2019);

10. ЭДИС анализирует результаты АРГ в графическом виде: строит диаграммы процентного состава газов, сравнивает диаграмму анализируемой пробы масла с диаграммами типовых и находит наиболее похожие диаграммы типовых дефектов (автоматически распознает образ дефекта). ЭДИС поставляется с образами дефектов - диаграммами состава газов, типичными для дефектов трансформаторов и вводов, диагностируемых по АРГ.

11. Блок "Новая библиотека диагностических параметров по АРГ и ФХА" расширяет базу знаний ЭДИС. У пользователя появляется возможность использовать помимо нормативной (критерии РД с

открытым доступом для редактирования эксперту предприятия) и локальной (критерия стандарт предприятия, МЭК с доступом для редактирования), третью библиотеку критериев диагностики - «экспертную»: с критериями, полученными в ходе НИР и дифференцированными по марке масла, герметичности и сроку эксплуатации оборудования, включая 35 кВ с закрытым доступом для редактирования (критерии оценки АРГ и ФХА масла получены авторами ЭДИС в ходе НИР 2008-20011 г.г.).

12. При выборе пользователем библиотеки (нормативной\ локальной\ экспертной) меняется не только допустимые и предельно-допустимые значения, но алгоритмы идентификации дефекта по результатам АРГ:

- при выборе «нормативной» библиотеки – это методы РД 153-34.0-46.302-00;
- при выборе «локальной» библиотеки – это методы нового стандарта Россетей СТО 34.01-23-003-2019 (пар газов согласно IEC 60599:2015, ансамбля газов Давиденко-Овчинникова);
- при выборе «экспертной» библиотеки – это метод авторов ЭДИС («ноу-хау»);

13. При выборе пользователем библиотеки (нормативной\ локальной\ экспертной) меняется процедура расчета даты следующего отбора масла для оборудования, стоящего на контроле, соответственно:

- согласно РД 153-34.0-46.302-00;
- согласно новому стандарту Россетей СТО 34.01-23-003-2019;
- согласно экспертному алгоритму ЭДИС.

14. ЭДИС строит графики, показывающие динамику изменений контролируемых параметров во времени по:

- АРГ (концентрации и относительные скорости 9 газов, соотношения газов);
- диэлектрическим характеристикам твердой изоляции (тангенсу угла потерь и сопротивлению изоляции  $R_{60}$ , приведенным к температуре и маслу базового замера, емкости изоляции) для основных и дополнительных (по зонам) схем измерения;
- физико-химическому анализу масла.

Занесение, хранение и удаление основной оперативной информации по удельному объемному сопротивлению масла ( $R_{уд.об}$ ). Оценка технического состояния трансформаторного масла по температурной зависимости удельному объемному сопротивлению масла.

15. Все генерируемые системой протоколы, паспорта, отчеты, графики, диаграммы могут выдаваться как на экран, так и на принтер с передачей цвета.

16. ЭДИС содержит базу данных взаимозаменяемости вводов, которая позволяет:

- заносить, хранить и редактировать информацию по техническим параметрам высоковольтных вводов по разным типам и для разных заводских чертежей;
- получать списки взаимозаменяемых вводов с указанием особенностей замены.

База данных взаимозаменяемости вводов трансформаторов и масляных выключателей поставляется заполненной. В дальнейшем пользователь дополняет их самостоятельно.

17. Блок «Графическое распознавание дефектов вводов по результатам АРГ» дает возможность;

- представить анализируемый результат АРГ в виде 8-лучевой лепестковой диаграммы (7 газов и их сумма) в абсолютных значениях;
- отобразить на диаграмме область предельно-допустимых значений концентраций газов с учетом конструктивных особенностей и срока жизни диагностируемого ввода в виде 8-лучевой лепестковой диаграммы (7 газов и их сумма) в абсолютных значениях;
- произвести распознавание технического состояния вводов, используя образы 10 видов типовых дефектов в виде 8-лучевой лепестковой диаграммы (7 газов и их сумма) в относительных значениях;
- отобразить результат распознавания в виде списка ранжирования типовых дефектов;
- отображать образ выбранного дефекта в виде 8-лучевой лепестковой диаграммы (7 газов и их сумма) в относительных значениях. (На алгоритм этого блока получен патент N2008106459.)

18. Блок «Идентификации дефекта по данным АРГ из газового реле» выдает вид дефекта по данным хроматографического анализа из газового реле. Критерии, заложенные в анализ основаны на РД 34.46.502 (раздел 5), РД 153-34.0-46.302-00 (раздел 8), IEC 60599. Распознается 6 видов дефектов. В режим входят опции: занесения и редактирования данных АРГ, автоматический анализ этих данных ЭДИС, выдача протокола тех.состояния, просмотр и редактирование критериев оценки. Критерии оценки имеют 2 вида: нормативный и локальный, соответственно анализ может вестись в 2-х вариантах. Оба вида критериев – НИР авторов ЭДИС. Есть возможность анализировать результаты АРГ в графическом виде: по диаграмме процентного состава газов относительно газа с максимальной концентрацией и по диаграмме ансамбля газов превышающих, свои предельно-допустимые значения.

19. Занесение, хранение и редактирование паспортов трансформаторов тока и напряжения.

20. Занесение основной оперативной информации измерительных трансформаторов - данные испытаний и измерений следующих видов:

по анализу, газов растворенных в трансформаторном масле (АРГ) в виде концентраций следующих газов: водород, метан, ацетилен, этилен, этан, окись углерода и двуокись углерода, кислород, азот;

- по физико-химическому анализу масла;
- по диэлектрическим характеристикам твердой изоляции: тангенсу угла диэлектрических потерь, емкости, сопротивлению;
- по измерениям сопротивлений обмоток на постоянном токе;
- по вольт-амперной характеристике и опыту XX.

При занесении параметров электрических измерений база знаний сама формирует необходимые схемы измерения по типу ТТ и ТН, классу напряжения и выбранной ступени.

21. Тестовая диагностика параметров измерений: параметры сравниваются с нормативными значениями, с результатами испытаний на заводе (монтаже), отслеживается динамика параметров по отношению к предыдущему замеру и соотношения между параметрами. Результат сравнения по каждому виду измерения представлен в виде таблицы и в графическом виде. Оценка каждого контролируемого параметра показана цветом, определяющим категории: 'нормальная эксплуатация', 'зона риска', 'зона опасности'.

22. ЭДИС поставляется с 2 библиотеками оценки (нормативной \ локальной) контролируемых параметров трансформаторов тока и напряжения по всем перечисленным выше видам измерений. Критерии оценки АРГ локальной библиотеки содержат 2 уровня (ДЗ и ПДЗ) концентраций газов, дифференцированные по классу напряжения, сроку службы и типу ИТ согласно СТО 34.01-23-003-2019.

23. Блок «Глубокой диагностики ИТ по результатам АРГ» дает возможность;

- представить анализируемый результат АРГ в виде диаграммы мер превышения 7 газами своих регламентируемых значений (критерии оценки выбираются с учетом сроков наработки, классов напряжения и особенностей конструкции ИТ);
- произвести идентификацию вида дефекта ТТ и ТН, используя ансамбли характерных газов по методу Давиденко-Овчинникова отраженного в новом стандарте Россетей СТО 34.01-23-003-2019.

Распознаются 8 видов дефектов: (нагревы слабый, средний, сильный, ЧР, искровые ряды, дуга, композиции дефектов с преобладанием дефекта электрического и термического характеров).

24. ЭДИС формирует карточки измерений измерительных трансформаторов: данные контроля за весь срок эксплуатации единицы оборудования по АРГ, физико-химическому анализу масла; диэлектрическим характеристикам твердой изоляции.

25. Блок «Графическое распознавание дефектов ИТ по результатам АРГ» дает возможность;

- представить анализируемый результат АРГ в виде 8-лучевой лепестковой диаграммы (7 газов и их сумма) в абсолютных значениях;
- отобразить на диаграмме область предельно-допустимых значений концентраций газов с учетом конструктивных особенностей и срока жизни диагностируемого ИТ в виде 8-лучевой лепестковой диаграммы (7 газов и их сумма) в абсолютных значениях;
- произвести распознавание технического состояния ИТ, используя образы 9 видов типовых дефектов для ТТ и 3-х видов типовых дефектов для ТН в виде 8-лучевой лепестковой диаграммы (7 газов и их сумма) в относительных значениях;
- отобразить результат распознавания в виде списка ранжирования типовых дефектов;
- отображать образ выбранного дефекта в виде 8-лучевой лепестковой диаграммы (7 газов и их сумма) в относительных значениях. На алгоритм этого блока получен патент № 2008182867 .)

26. Блок оценки относительного влагосодержания масла производит:

- расчет относительного влагосодержания масла, используя значение абсолютного влагосодержания и температуры масла, а также содержание ароматических углеводородов в масле (т.е. какой процент составляет измеренное влагосодержание масла при данной температуре от максимальной растворимости воды в масле);
- если для конкретного объекта не известно содержание ароматических углеводородов в его масле, то берется среднее значение содержания ароматических углеводородов в данной марке масла;
- рассчитанный параметр влагосодержания должен быть включен в общий анализ параметров физико-химического анализа масла, целью которого является определение его тех.состояния;
- в анализ может входить коэффициент Вермана:  $KV = \varepsilon - nD2$ , равный разности между относительной диэлектрической проницаемостью и квадратом показателя преломления масла, при условии занесения этих величин соответственно в паспорт трансформатора и на вкладку измерений физико-химического анализа масла.

27. ЭДИС позволяет переводить, как отдельную единицу оборудования, так и целую подстанцию с одного рабочего места на другое с сохранением всей внесенной истории жизни. Ведется журнал перемещения оборудования с указанием даты, причины старого и нового места установки. ЭДИС позволяет организовать архив списанного или находящегося в резерве (ремонте) оборудования и работать с ним. Есть возможность получить отчет по статистике перемещенного оборудования по выбранному предприятию, РЭС за указанный период.

28. ЭДИС содержит блок статистики, который формирует:

- выборки по паспортным характеристикам трансформаторов и высоковольтных вводов (по классу напряжения, мощности, году изготовления, типу, виду защиты, маслу, заводу изготовителю) в виде таблиц;

- выборки по значениям контролируемых параметров трансформаторов и высоковольтных вводов в виде таблиц;

- выборка по оборудованию, находящимся на контроле (не прошедших тест на нормальное рабочее состояние) в разрезе видов контроля, структурных подразделений, видов оборудования и его узлов по годам в виде таблиц,

- выборки проведенных эксплуатационных мероприятий, в том числе измерений, в разрезе причин измерений, условий работ, выполненных работ, структурных подразделений предприятия, видов оборудования, по годам и пр.;

- расчет интегральной функции распределения и построение диаграммы распределения данных для определения предельных и предельно-допустимых значений контролируемых параметров, выдает таблицу рассчитанных значений.

либо

- расчет интегральной функции распределения, мат.ожидания дисперсии, медианное распределение, сглаживание выборки, дисперсионный анализ, проверка критерия на однородность выборок, расчет коэффициентов корреляции параметров;

- строит диаграммы распределения данных, вероятности появления на интервале и интегральной функции распределения, графики зависимости математического ожидания от срока эксплуатации для определения предельных и предельно-допустимых значений контролируемых параметров, выдает таблицу рассчитанных значений.

29. ЭДИС содержит блок планирования и мониторинга эксплуатационных мероприятий позволяющий:

- автоматически составлять годовые планы измерений и других эксплуатационных мероприятий на основе библиотеки “условий составления плана”;

- редактировать библиотеку “условий составления плана”, т.е. менять периодичность и особенности назначения измерения или эксплуатационного мероприятия по группе оборудования (например, сушку или замену масла и прочее.);

- использовать возможность формирования каждым филиалом предприятия своих условий плана и учета этих различий при автоматической верстке плана;

- автоматически осуществлять мониторинг выполнения плана;

- осуществлять выборку из плана и мониторинга плана (по годам/месяцам, предприятиям, видам оборудования и запланированных и выполненных работ и пр.);

- выдавать отчеты по плану и мониторингу плана, формировать задания рабочим группам.

выдавать отчеты о планируемых измерениях и мероприятиях с отображением суммирования количества мероприятий по ПС, РЭС, филиалу и предприятию.

30. Блок планирования и мониторинга эксплуатационных мероприятий дополнен функцией, позволяющей:

- формировать ежегодные планы измерений и других эксплуатационных мероприятий в показателях стоимости и трудоемкости работ;

- выдавать отчеты о планируемых измерениях и мероприятиях с отображением суммирования показателей стоимости и трудоемкости работ по ПС, РЭС, филиалу и предприятию;

- использовать возможность формирования каждым филиалом предприятия своих показателей стоимости и трудоемкости работ и учета этих особенностей при расчете.

31. ЭДИС содержит блок анализа эксплуатационных мероприятий позволяющий:

- рассчитывать затраты на эксплуатацию единицы оборудования и удельные затраты по однородной группе оборудования (одни класс напряжения, вид оборудования и его узла);

- находить оборудование с максимальной долей затрат на его эксплуатацию по однородной группе оборудования и от его первоначальной стоимости;

- осуществлять выборку эксплуатационных мероприятий (по годам/месяцам, предприятиям, видам оборудования и выполненных работ и пр.) в количественном, стоимостном и временном (трудозатраты) выражении.

- выдавать отчеты по анализу эксплуатационных мероприятий.

Информация справочников стоимости и трудозатрат эксплуатационных мероприятий и измерений заполняется пользователем.

32. Занесение, хранение и редактирование паспортов ограничителей перенапряжения и вентильных разрядников (ОПН и РВ), конденсаторов (КС), шин и токопроводов (СШ), силовых кабелей (КЛ).

33. Занесение основной оперативной информации - данных измерений электрических характеристик:

- по ОПН и РВ: сопротивление и ток проводимости каждого элементов и в целом оборудования, сопротивление основания, температура измерения, испытательное напряжение;

-по КЛ: результат испытания повышенным напряжением, испытательное выпрямленное напряжение, токи утечки, коэффициента асимметрии на напряжение свыше 1 кВ и сопротивление изоляции на напряжение от 1 кВ;

- по КС: емкость, тангенс диэлектрических потерь и сопротивление изоляции для каждого элемента конденсатора, величина разрядного сопротивления, результат внешнего осмотра и испытания повышенным напряжением;

-по СШ: сопротивление изоляции в целом и минимальное сопротивление изоляции станины, минимальное сопротивление участка и его название секционированных и непрерывных экранов, результаты испытания повышенным напряжением и визуального контроля качества соединений.

34. Тестовая диагностика параметров измерений: параметры сравниваются с нормативными значениями, с результатами испытаний на заводе (монтаже), отслеживается динамика параметров по отношению к предыдущему замеру и соотношения между параметрами. Результат сравнения по каждому виду измерения представлен в виде таблицы и в графическом виде. Оценка каждого контролируемого параметра показана цветом, определяющим категории: 'нормальная эксплуатация', 'зона риска', 'зона опасности'.

35. ЭДИС поставляется с библиотекой нормативных значений электрических характеристик ОПН и РВ, КС, СШ, КЛ, занесенных в РД. Пользователю предоставляется возможность дополнять библиотеку критериями диагностики заводов-изготовителей.

36. Для оборудования, не прошедшего тест на 'нормальную эксплуатацию', на основе правил базы знаний ЭДИС делается заключение о состоянии оборудования, характере, степени опасности и месте предполагаемого дефекта, а также даются рекомендации по дальнейшей эксплуатации. ЭДИС производит анализ по любому набору измеряемых величин. По результатам анализа оперативной информации выдается протокол оценки технического состояния по ОПН и РВ, КС, СШ, КЛ на рассматриваемый момент времени.

37. Занесение, хранение и редактирование паспортов выключателей (масляных, воздушных, элегазовых, вакуумных) и оперативной информации - данных измерений:

- физико-химического анализа;

- электрических, скоростных и механических характеристик: сопротивление изоляции, тангенс диэлектрических потерь (для МВ 35 кВ), минимальное напряжение срабатывания при включении\отключении, испытание многократным опробованием и повышенным напряжением, падение давления (для элегазовых);

- скоростные характеристики: средняя и максимальная скорость движения контактов, собственное время и разновременность, давление при включении\отключении;

- механические характеристики: ход подвижных частей и вжим контактов камер, как со стороны шин, так и линии;

- измерение сопротивлений постоянному току контура в целом и каждого модуля в отдельности, измерение шунтирующих сопротивлений камер;

- измерение емкости и тангенса диэлектрических потерь конденсаторов шунта\делителей напряжения;

38. Тестовая диагностика результатов измерений выключателей в виде диагностических моделей, представленных в табличном и графическом виде. Оценка каждого контролируемого параметра с их нормативными значениями показана цветом, определяющим категории: 'нормальная эксплуатация', 'зона риска', 'зона опасности'.

39. ЭДИС поставляется с библиотекой нормативных значений контролируемых параметров выключателей, занесенных в РД. Пользователю предоставляется возможность дополнять библиотеку критериями диагностики заводов-изготовителей.

40. Для выключателей, не прошедших тест на 'нормальную эксплуатацию', на основе правил базы знаний ЭДИС делается заключение о их состоянии, характере, степени опасности и месте предполагаемого дефекта, а также даются рекомендации по дальнейшей эксплуатации. ЭДИС производит анализ по любому набору измеряемых величин. По результатам анализа оперативной информации выдается протокол оценки технического состояния выключателя по всем видам измерений на рассматриваемый момент времени.

41. «Подсистема анализа повреждаемости оборудования», представленная блоками:

41.1. Статистического анализа информации по повреждаемости оборудования содержит:

- формализованный акт описания повреждения;

- 15 справочников описания (классификации) повреждения (причины, характер, место повреждения, вид повреждения, виновники, последствия повреждения, ущербы внутренние, ущербы потребителей, состояние нейтрали, условия работы в момент повреждения, причины отключения оборудования, причины браковки оборудования; первые три справочника разработаны наиболее детально и имеют 2 уровня.);

- механизм гибкой настройки фильтрации данных о повреждениях;

- статистический анализ в виде 23 видов различных круговых диаграмм;

- статистический анализ в виде графиков зависимости повреждаемости от срока эксплуатации трансформатора;
- расчет показателей надежности парка трансформаторов.

Большая часть характеристик акта заносится из справочников. Эта формализация описания повреждения позволяет автоматизировать процедуру статистического анализа данных повреждений в виде круговых диаграмм и в виде графика зависимости исследуемого фактора от срока эксплуатации, в том числе с использованием настраиваемой фильтрации данных.

41.2. Поиск аналогов повреждений силовых трансформаторов по заданным критериям содержит:

- базу данных 350 фактов повреждений. Каждый случай имеет: паспорт СТ, историю развития повреждения в виде результатов измерений и журнала операций ТОиР, описание результатов вскрытия при ремонте (демонтаже) в текстовом виде. На каждый случай составлен формализованный акт описания повреждения с помощью классификационных справочников, описанных выше. Все случаи проверены экспертами на соответствие вида повреждения, определенного диагностированием по данным измерений, результатам вскрытия СТ.
- механизм поиска аналогов повреждений из БД, анализируемой ситуации:
- по паспортным характеристикам (конструктивным особенностям);
- по классификационным справочникам;
- по ключевым словам описания вскрытия;
- по характерным показателям контролируемых параметров и их динамике;
- сочетания перечисленных выше видов поисков аналогов повреждений.

42. Блок "Автоматической постановки на контроль и диагностирования силовых трансформаторов" осуществляет автоматическую оценку всего массива внесенных данных и постановку оборудования на контроль по 4 градациям технического состояния. Блок выполняет следующие функции:

- автоматическое выполнение процедуры диагностирования и выбора рекомендации дальнейшей эксплуатации по выбранному массиву данных и библиотеки критериев диагностирования (пользователю предоставляется возможность выбирать для автодиагностирования нормативную или экспертную библиотеку критериев оценки технического состояния, а также нужные предприятие, вид оборудования, вид измерения и период, в который производились измерения);
- деление парка оборудования по техническому состоянию на группы: исправные, риска развития дефекта, опасности развития дефекта, опасного дефекта;
- проводить статистический анализ парка оборудования, стоящего на контроле, в графическом виде с возможностью выбора вида отображения по координатным осям: градаций тех.состояния, видов измерения, структурных подразделений, времени контроля;
- формировать отчеты по неисправному оборудованию с возможностью фильтрации данных по конструктивным особенностям трансформаторов, изготовителям, градациям тех.состояния, видам измерения, структурным подразделениям, сроку эксплуатации и пр.

По каждой единице оборудования дополнительно отражается вид контроля, дата постановки на контроль и снятия с контроля, список контролируемых параметров и их трендов, вышедших за допустимый и предельно-допустимый диапазоны, отметки о недостоверности измерения. Вся перечисленная информация формируется системой автоматически.

43. Блок "Автоматической постановки на контроль и диагностирования высоковольтных вводов" осуществляет автоматическую оценку всего массива внесенных данных и постановку оборудования на контроль по нескольким градациям технического состояния. Блок выполняет следующие функции:

- автоматическое выполнение процедуры диагностирования и выбора рекомендации дальнейшей эксплуатации по выбранному массиву данных и критериям диагностирования (пользователю предоставляется возможность выбирать для автодиагностирования нормативную или экспертную библиотеку критериев оценки технического состояния, а также нужные предприятие, вид оборудования, вид измерения и период, в который производились измерения);
- деление парка вводов по техническому состоянию на группы: исправные, риска развития дефекта, опасности развития, дефекта, опасного дефекта;
- проводить статистический анализ ранжирования в графическом виде с возможностью выбора вида отображения по координатным осям: градаций тех.состояния, видов измерения, структурных подразделений, времени контроля;
- формировать отчеты по неисправному оборудованию с возможностью фильтрации данных по конструктивным особенностям трансформаторов, изготовителям, градациям тех.состояния, видам измерения, структурным подразделениям, сроку эксплуатации и пр.

По каждому вводу дополнительно отражается вид контроля, дата постановки на контроль и снятия с контроля, список контролируемых параметров и их трендов, вышедших за допустимый и предельно-допустимый диапазоны, отметки о недостоверности измерения. Вся перечисленная информация формируется системой автоматически.

44. Блок "Автоматической постановки на контроль и диагностирования измерительных трансформаторов" осуществляет автоматическую оценку всего массива внесенных данных и постановку оборудования на контроль по нескольким градациям технического состояния. Блок выполняет функции, аналогичные п.42.

45. Блок «Выбор очередности операций технического обслуживания и ремонта силовых трансформаторов» осуществляет ранжирование парка СТ на основании расчета интегрального показателя технического состояния и оценки риска отказа.

45.1. Интегральный показатель тех состояния ЭДИС определяет следующим образом:

- рассчитывает индекс каждого вида контроля, как вектор 3-х мерного пространства, где координаты  $x$ ,  $y$  - показатели тяжести и скорости развития дефектов,  $z$  – показатель тяжести «истории болезни» (срок развития дефекта);

- рассчитывает индекс технического состояния, как взвешенное среднее число индексов состояния, определенных по результатам традиционных и специальных методов контроля.

Идентификация вида дефекта, определение значений координат для традиционных методов контроля производится экспертной системой ЭДИС «Альбатрос» без участия специалистов.

Оценка состояния специальными методами (виброобследование, контроль ЧР и тепловизионный), сделанная другим ПО, вводится в систему специалистами.

Блок содержит библиотеку условий расчета индекса тех.состояния, позволяющую для трансформаторов различных классов напряжения и мощности, разного вида изоляции задать:

- различный набор видов контроля;
- разную периодичность и значимость разных видов контроля.

Пользователю предоставляется возможность:

- выбирать для ранжирования СТ нормативную или экспертную библиотеку критериев оценки технического состояния;

- ограничить выборку анализируемых данных выбором предприятия, вида оборудования, вида измерения и периода, в который производились измерения;

- формировать отчеты по показателю индекса технического состояния с возможностью фильтрации данных по конструктивным особенностям трансформаторов, изготовителям, градациям ранжирования, видам измерения, структурным подразделениям, сроку эксплуатации и пр.

45.2. Оценка риска отказа проводится с учетом вероятности повреждения узла (системы) силового трансформатора и ущерба, учитывающего потери поставщика и потребителя электроэнергии. Вероятность повреждения  $k$ -ого узла (системы) СТ, зависит от срока наработки и класса напряжения СТ. Ноу-хау ЭДИС являются и значения вероятности повреждения отдельных узлов СТ для разных возрастов и классов напряжения, полученные авторами на основании сбора статистики их повреждаемости более 20 лет.

Ущерб определяется в баллах и зависит от категории потребителя, мощности и нагрузки СТ. Оценка затрат на ремонт связаны с конкретным узлом (системой) трансформатора. Место повреждения определяется блоком ЭДИС.

46. Блок " Определение места повреждения (узла/системы) силового трансформатора "определяет место повреждения силового трансформатора до его вскрытия, что необходимо для принятия более взвешенного решения о требуемых объемах и сроках операций тех.обслуживания и ремонта, а также для оценки риска его повреждения (см.п.45.2). На основании анализа результатов измерений и динамики изменения контролируемых параметров силовых трансформаторов определяется локализация дефекта (вероятное место/узел повреждения). Алгоритм («ноу-хау») получен с использованием методов машинного обучения (методы ближайших соседей, градиентного бустинга, логистической регрессии) на основе анализа базы данных формализованного описания дефектов силовых трансформаторов. На данный момент блок определяет одно из 5-х мест повреждения: обмотки; переключающее устройство (РПН или ПБВ); главная изоляция; магнитопровод; система охлаждения. Результат выдается в виде 2-х мест дефекта с наибольшими вероятностями и значениями вероятности дефекта, где вероятность это "уверенность" алгоритма блока в выдаваемом результате.

47. Модуль «Расчет ИТС силовых трансформаторов» осуществляет расчет индекса технического состояния узлов СТ и, в целом, единицы оборудования согласно Приказа Минэнерго России от 26.07.2017 N 676 "Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей"