

**ПРОГРАММА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«Оценка технического состояния и надежная эксплуатация силовых трансформаторов**  
**6-750 кВ. Анализ информации об эксплуатации трансформаторов с помощью систем**  
**искусственного интеллекта, мониторинга и диагностики»**

| <b>№</b> | <b>Название темы, раздела темы</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Кол-во часов</b> |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>1</b> | <b>Общие вопросы диагностирование трансформаторов и применение АРГ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>16ч</b>          |
| 1.1      | Обзор существующих методов диагностики трансформаторов и выявляемые с их помощью дефекты. Особенности, достоинства и недостатки методов. Схема выявления дефектов с ранжированием современных методов диагностики по эффективности и чувствительности в зависимости от вида дефекта                                                                                                                                                                                                                          | 2ч                  |
| 1.2      | Современные отечественные и зарубежные тенденции диагностирования СТ (включая обзор существующей НТД, МЭК). Расширенный набор контролируемых параметров и их трендов, применяемый экспертами при оценке состояния СТ, в том числе набор диагностических параметров, заложенных в систему искусственного интеллекта. Особенности применения <i>СТО 34.01-23-003-2019</i> при назначении периодичности АРГ и операций технического обслуживания и ремонта для силовых трансформаторов и высоковольтных вводов. | 2 ч                 |
| 1.3      | Анализ газов из газового реле. Особенности интерпретации результатов АРГ из газового реле согласно <i>СТО 34.01-23-003-2019</i> . Отечественные и зарубежные методики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2 ч                 |
| 1.4      | Диагностирование РПН с помощью АРГ. Критерии оценки контактора по соотношению пар газов и превышению регламентированных значений (зарубежный опыт и НИР ПАО «Россети» 2025г- разработка авторов). Совместное применение 2-х методик оценки АРГ для уточнения характера и степени развития дефектов в избирателе и предызбирателе (НИР авторов). Особенности оценки преобразовательных \печных трансформаторов по результатам АРГ по зарубежному и отечественному опыту.                                      | 2ч                  |
| 1.5      | <b>Практика.</b> Отработка навыков использования современных методов анализа диагностической информации о СТ с помощью экспертно-диагностической и информационной системы (ЭДИС) на реальных примерах, в том числе рассмотрение динамики развития повреждений и действий персонала по обнаружению и устранению дефекта. Изучение 30 видов характерных повреждений СТ. Типичные ошибки, допускаемые персоналом при занесении оперативной и паспортной информации, а также при анализе состояния СТ            | 9ч                  |
| <b>2</b> | <b>Оценка технического состояния узлов и систем СТ, их надежность</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>15 ч</b>         |
| 2.1      | Традиционные методы оценки состояния твердой изоляции. Диагностические признаки. Выявляемые дефекты. Чувствительность методов и их ограничения. Типичные ошибки проведения измерений и анализа результатов. Анализ причин повреждаемости твердой изоляции в эксплуатации. Тепловизионный контроль при диагностике трансформаторов.                                                                                                                                                                           | 2 ч                 |
| 2.2      | Использование частотных характеристик изоляционных материалов (DFR) для оценки влагосодержания твердой изоляции. Практические аспекты диагностирования частотными методами - источники ошибок измерения. Использование зависимостей тангенса диэлектрических потерь (емкости) изоляции от напряжения и температуры для оценки технического состояния изоляции СТ и вводов. Метод измерения частичных разрядов. Диагностические признаки. Выявляемые дефекты. Чувствительность методов и их ограничения.      | 1 ч                 |
| 2.3      | Опыт холостого хода. Источники ошибок при измерениях и анализе результатов. Методика размагничивания сердечника. Анализ состояния электромагнитной системы с помощью ХХ и виброобследования. Оценка механического состояния трансформатора методом частотного отклика. Чувствительность методов и виды выявляемых дефектов. Диагностические признаки.                                                                                                                                                        | 1 ч                 |
| 2.4      | Анализ причин повреждаемости магнитопровода в эксплуатации. Сравнение магнитопроводов разной конструкции и характеристик стали. Природа усталости металла. Рост потерь холостого хода в зависимости от класса напряжения, мощности трансформатора и срока эксплуатации (по материалам НИР авторов).                                                                                                                                                                                                          | 1 ч                 |
| 2.5      | Анализ причин повреждаемости обмоток трансформатора. Интенсивность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2 ч                 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|      | повреждаемости обмоток СТ с разным сроком наработки. Чувствительность диагностических методов по выявлению дефектов обмоток.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |
| 2.6  | Анализ повреждаемости СТ в разрезе производителей, функциональных систем трансформатора и виновников на материале разработчиков.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2ч          |
| 2.7. | Конструкция переключающих устройств (ПУ). Оценка надежности ПУ различных производителей. Обзор существующих современных методов диагностирования ПУ силовых трансформаторов и выявляемые с их помощью дефекты. Чувствительность диагностических методов по выявлению дефектов РПН и ПБВ.                                                                                                                                                    | 2ч.         |
| 2.8  | <b>Практика.</b> Подготовка и проведение электромагнитных и диэлектрических испытаний на на силовом трансформаторе.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 4ч          |
| 3    | <b>Трансформаторное масло. Производство. Эксплуатация. Оценка качества</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>15 ч</b> |
| 3.1  | Марки масел: классы, свойства. Структурно-групповой состав. Молекулярный состав. Химическая связь. Технологии получения трансформаторных масел. Достоинства и недостатки различных марок масел.                                                                                                                                                                                                                                             | 2 ч.        |
| 3.2  | Поведение масел в эксплуатации. Регенерация трансформаторных масел, их очистка. Анализ существующих методов очистки и оборудования. Критерии принятия решений о восстановлении, доливках, замене масел.                                                                                                                                                                                                                                     | 2ч.         |
| 3.3  | Смешение разных марок трансформаторных масел. Правила смешения и существующие ограничения. Программы исследования допустимости смешения и определения пропорций масел. Поведение смесей масел в работающем оборудовании.                                                                                                                                                                                                                    | 2 ч         |
| 3.4  | Методы испытаний трансформаторных масел.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 2 ч         |
| 3.5  | Взаимодействие системы изоляции бумага-масло. Современное понимание процесса миграции воды в системе бумага-масло. Использование параметров относительного влагосодержания масла и точки росы для своевременного выбора необходимых эксплуатационных мероприятий. Причины различия в показаниях влагосодержания масла, выполненных различными методами off-line измерений, а также off-line и on-line измерений                             | 2 ч         |
| 3.6  | Оценка состояния качества масла по допустимым и предельно-допустимым значениям контролируемых параметров и их трендов. Корреляция параметров качества масла. Предиктивная модель старения масла.                                                                                                                                                                                                                                            | 2 ч         |
| 3.7  | Применение коэффициента Вермана, удельного объемного сопротивления, влагосодержания, кислотного числа и тангенса диэлектрических потерь масла для оценки качества трансформаторного масла. Многопараметрическая оценка масла с учетом взаимного влияния перечисленных факторов. Отечественные и зарубежные методы контроля качества трансформаторного масла, основанные на параметрах оптического контроля. Эффективность новых параметров. | 2ч          |
| 4.   | <b>Управление эксплуатацией парка СТ с помощью систем искусственного интеллекта</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>13 ч</b> |
| 4.1  | <b>Практика.</b> Отработка навыков анализа парка СТ, стоящего на контроле в разрезе видов измерений, степени развития повреждения, структурных единиц предприятия, конструктивных особенностей, применения различных наборов критериев оценки контролируемых параметров. Аудит качества проведения измерений и диагностических процедур, проводимых персоналом. Анализ затрат на эксплуатацию оборудования.                                 | 2 ч         |
| 4.2  | <b>Практика.</b> Предложения по набору необходимых измерений и их периодичности. Автоматическая верстка плана испытаний оборудования в ЭДИС, редактирование библиотеки периодичности измерений.                                                                                                                                                                                                                                             | 1ч          |
| 4.3. | Сравнительный анализ отечественных и зарубежных методик ранжирования СТ по техническому состоянию. Методика расчета индекса тех.состояния (ИТС) Минэнерго в редакции 2020, анализ практики ее применения.                                                                                                                                                                                                                                   | 1,5ч        |
| 4.4  | Менеджмент рисков отказов трансформаторов: международные и отечественные стандарты. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных методик оценки риска отказов (обобщение по материалам зарубежных конференций).                                                                                                                                                                                                                          | 1ч          |
| 4.5  | <b>Практика.</b> Использование алгоритма выбора очередности операций техобслуживания и ремонта с учетом индекса технического состояния и оценки риска повреждения трансформатора, реализованного в ЭДИС. Ошибки, допускаемые при использовании методики расчета ИТС Минэнерго.                                                                                                                                                              | 2 ч         |
| 4.6  | Рассмотрение характерных ошибок расследования аварий/отказов СТ, при анализе и обработке оперативной и паспортной информации.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2 ч         |
| 4.7  | <b>Практика.</b> Использование подсистема анализа повреждаемости оборудования при                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1 ч         |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |             |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|     | анализе актов описания дефектов на основе классификационных справочников. Навыки составление статистических и аналитических отчетов.                                                                                                                                                                                                              |             |
| 4.8 | <b>Практика.</b> Методы получения критериев оценки контролируемых параметров. Расчет допустимых и предельно-допустимых значений контролируемых параметров по результатам измерений с помощью ЭДИС.                                                                                                                                                | 1,5 ч       |
| 4.9 | <b>Практика.</b> Схемы организации потоков информации между внутренними и внешними источниками данных. Возможности работы и настройки автоматического модуля обмена данными между существующими системами, в т.ч. синхронизации автоматического обмена информацией между управлением и филиалами, между on-line и off-line системами.             | 1 ч         |
| 5   | <b>Технологии изготовления трансформаторов</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>10 ч</b> |
| 5.1 | Современные технологии изготовления трансформаторов, повышающие их ресурс.                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2 ч         |
| 5.2 | Входной контроль качества материалов и узлов изготовителя СТ. Этапы и технологии изготовления СТ, методы контроля качества этапов и соблюдения технологий. Приемосдаточные испытания и специальные методы контроля, применяемые на заводе.                                                                                                        | 2 ч         |
| 5.3 | Обмен опытом выявления дефектов, применения новых методов и приборов диагностирования, контроля качества и периодичности проведения ТОиР.<br>Обзор материалов конференций по эксплуатации СТ и узлов за последние 3 года                                                                                                                          | 3 ч         |
| 6   | <b>Оценка технического состояния трансформаторов on-line</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4 ч         |
| 6.1 | Обзор параметров, контролируемых on-line. Чувствительность и диагностическая ценность параметров. Набор датчиков on-line, их принципы работы, чувствительность, точность измерений, ограничения. Факторы, влияющие на точность измерений.                                                                                                         | 2 ч         |
| 6.2 | Аналитический обзор существующих АСМД (автоматизированных систем мониторинга и диагностики). Современные требования к АСМД. Отечественная практика применения данных on-line для оценки технического состояния трансформаторов, критерии оценки, модели расчета диагностических параметров, температуры наиболее нагретой точки, расхода ресурса. | 2 ч         |
|     | <b>Итого</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>72 ч</b> |