

# Обобщение мировых тенденций развития трансформаторного оборудования (по итогам 45-й сессии СИГРЭ, 2014 г.)

---

В.С. Ларин

к.т.н., нач. отдела трансформаторов ФГУП ВЭИ

Регулярный член ИК А2 «Трансформаторы» СИГРЭ и  
представитель РНК СИГРЭ в ИК А2

# Исследовательский комитет (ИК) А2 «Трансформаторы» СИГРЭ



## Сфера деятельности ИК А2 «Трансформаторы»:

- ❑ Трансформаторы (силовые, преобразовательные, фазоповоротные);
- ❑ Электрические реакторы (шунтирующие, токоограничивающие, сглаживающие и пр.);
- ❑ Компоненты к ним (вводы, переключающие устройства, вспомогательное оборудование) и пр.

## Основные направления деятельности ИК А2

«Трансформаторы» - связаны как с производством, так и с эксплуатацией и включают все стадии жизненного цикла трансформаторного оборудования:

- ❑ вопросы подготовки технических требований и закупки, экономические аспекты;
- ❑ вопросы проектирования, производства и испытаний;
- ❑ вопросы эксплуатации, надежности, безопасности и экологичности;
- ❑ вопросы обслуживания, диагностики, мониторинга и ремонта.

# ИК А2: Действующие рабочие группы

---

- А2.37 «Исследование надежности трансформаторов»
  - А2.38 «Тепловое моделирование трансформаторов»
  - А2.40 «Длительное подавление сульфида меди и оценка риска»
  - **А2/D1.41 «Изоляция трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения – проводимость масла»**
  - А2.42 «Транспортирование трансформаторов»
  - А2.43 «Надежность трансформаторных вводов»
  - А2.44 «Интеллектуальный мониторинг состояния трансформаторов»
  - А2.45 «Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ»
  - **А2-D1.46 «Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов»**
  - D1-A2.47 «Новые возможности ХАРГ»
  - А2.48 «Шунтирующие реакторы»
  - А2.49 «Оценка состояния»
  - А2.50 «Эффект распределенных источников энергии»
- В т.ч. новые рабочие группы:**
- JWG А2-D1.51 «Частичные разряды»
  - JWG А2-С4.52 «Высокочастотные модели трансформаторов и реакторов»
-

# ИК А2: Предпочтительные темы и доклады 45-й сессии СИГРЭ (2014 г.)

---

## 1. Передовая практика управления ресурсом (16 докладов):

- индикатор состояния как инструмент для оценки состояния, применения ранжирования парка трансформаторов по состоянию и важности;
- передовой опыт стратегий обслуживания и новых инвестиций, маркеров старения твёрдой изоляции, онлайн-мониторинга и диагностики, роль анализа причин повреждений при вскрытии трансформаторов;
- методики минимизации последствий от наиболее значимых событий, требования и практика использования резервных трансформаторов.

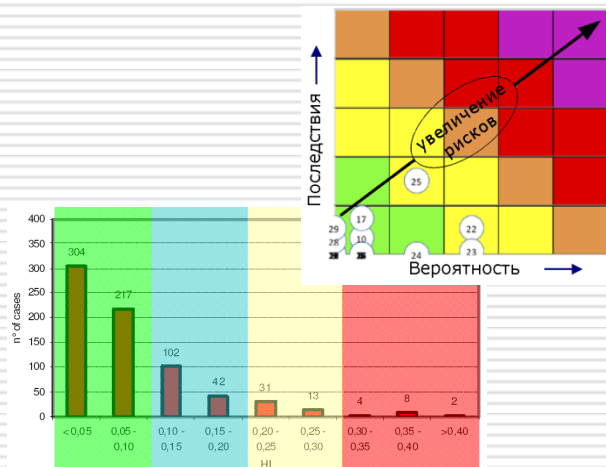
## 2. Трансформаторы специального применения (11 докладов):

- применение фазопоротных, преобразовательных, промышленных, морских/подводных трансформаторов, регулируемых шунтирующих реакторов и пр.;
- технические требования, проектирование, изготовление и испытания;
- характеристики, надёжность, эксплуатация и обслуживание.

## 3. Практический опыт использования нетрадиционных материалов и технологий (6 докладов):

- опыт с новыми изоляционными жидкостями, газами и твёрдыми диэлектриками (обслуживание, характеристики, диагностика, затраты полного срока эксплуатации), улучшенные материалы и технологии для обмоток и магнитопровода;
- опыт с новыми технологиями для компонентов (вводов, РПН и др.);
- опыт и применение трансформаторов с высокотемпературной сверхпроводимостью.

# ИК А2: Инновационные исследования и решения (45-я сессия СИГРЭ)



## 1. Передовая практика управления ресурсом

- применение индексов состояния и ранжирование трансформаторов для принятия решений о продлении эксплуатации или замене оборудования;
- послеаварийный анализ трансформаторов, исследования состояния изоляции при утилизации отработавших трансформаторов для улучшения оценок состояния и остаточного ресурса.



# ИК А2: Инновационные исследования и решения (45-я сессия СИГРЭ)

---

## 2. Применение специального трансформаторного оборудования

- масштабных макетов трансформаторов для подтверждения стойкости при КЗ силовых трансформаторов большой мощности;
- преобразовательных трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения;
- фазопоротных трансформаторов для регулирования потоков мощности;
- регулируемых и управляемых шунтирующих реакторов.



# ИК А2: Инновационные исследования и решения (45-я сессия СИГРЭ)

---

## 3. Применение новых материалов с целью повышения экологической чистоты, взрыво- и пожаробезопасности и энергоэффективности



- применение жидких диэлектриков, альтернативных традиционному трансформаторному маслу (например, натуральных эфиров);
- повышение напряжения сухих трансформаторов до 72,5кВ и выше, разработка сухих трансформаторов для применения в сетях среднего и высокого напряжения;
- применение прорывных решений по активным материалам (применение высокотемпературной сверхпроводимости).

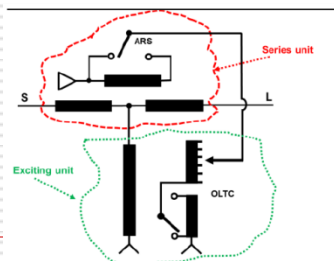


# ИК А2: Пилотные проекты – фазоворотные трансформаторы 400 кВ 1800 МВА (45-я сессия СИГРЭ)



## Установлены на ПС Foggia и Villanova компании Terna (Италия)

- проходная мощность 1800 МВА;
- номинальное напряжение 400 / 400 кВ;
- фазовый сдвиг  $\pm 17,5^\circ$ ,  $\pm 33$  степени;
- последовательный трансформатор:
  - транспортные габаритные размеры: 11200 x 4745 x 4400 мм;
  - транспортная масса без масла 290 т;
  - масса масла 85 т.
- трансформатор возбуждения:
  - транспортные габаритные размеры: 10810 x 4382 x 5100 мм;
  - транспортная масса без масла 295 т;
  - масса масла 110 т.





# ИК А2: Пилотные проекты – регулируемые шунтирующие реакторы 420кВ 90-200 Мвар (45-я сессия СИГРЭ)



**Установлены на ПС 420 кВ компании Statnett (Норвегия) – 6 ед.**

- номинальное напряжение 420 кВ;
- мощность 90 ... 200 Мвар и 120...200 Мвар;
- регулирование путем переключения ответвлений обмотки с помощью РПН;
- скорость изменения мощности определяется устройством РПН, сравнительно медленное быстроедействие.

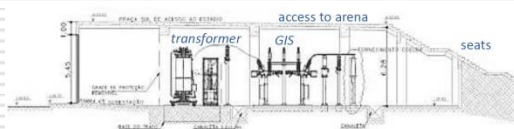


# ИК А2: Пилотные проекты – взрыво- и пожаробезопасная ПС 69 кВ внутри стадиона (45-я сессия СИГРЭ)



## ПС 69 кВ футбольного стадиона “Fonte Nova” (Бразилия, ЧМ-2014)

- расположена непосредственно под трибунами;
- питается от кабельной линии 69 кВ и снабжает стадион и окрестные районы города;



- КРУЭ 69 кВ;
- **Сухой трансформатор АВВ HiDry<sup>72</sup> - 69 кВ:**

- трехфазного исполнения;
- мощностью 25000 кВА;
- напряжением 69 / (11,95 ... 13,8) кВ;
- регулирование напряжения на стороне ВН с помощью РПН, диапазон регулирования +4/-12 x 1,25%;
- РПН в «сухом» исполнении;
- обмотки с литой изоляцией (VCC);
- уровень изоляции - ПГИ 380 кВ, ОПЧ 140 кВ.



# ИК А2: Вопросы на Дискуссионном заседании 45-й сессии СИГРЭ

---

## 1. Передовая практика управления ресурсом

- опыт онлайн-мониторинга состояния вводов и РПН;
- ошибочная интерпретация данных системами мониторинга и повышение надёжности оценки состояния оборудования;
- длительная эксплуатация и надёжность датчиков систем мониторинга;
- **опыт применения и сравнения индексов состояния трансформаторов;**
- объём данных, необходимый для оценки индексов состояния трансформаторов;
- **проведение анализа повредившихся трансформаторов для получения ценной диагностической информации.**

## 2. Трансформаторы специального применения

- фактически требуемые параметры фазопоротных трансформаторов и их сравнение с параметрами, указываемыми при заказе трансформаторов;
- требования, которые следует указывать в заказе, чтобы избежать излишне завышенную стоимость трансформаторов;
- воспроизводимость при заводских испытаниях распределения напряжений, соответствующего воздействию переходных перенапряжений в эксплуатации;
- исключение насыщения магнитной системы фазопоротного трансформатора в эксплуатации;
- **требования к быстродействию управляемых и регулируемых шунтирующих реакторов;**
- опыт применения и количество установленных единиц управляемых и переменных шунтирующих реакторов;
- **испытания электродинамической стойкости при КЗ генераторных трансформаторов и сетевых автотрансформаторов большой мощности на масштабных макетах.**

# ИК А2: Вопросы на Дискуссионном заседании 45-й сессии СИГРЭ

---

## 3. Практический опыт использования нетрадиционных материалов и технологий

- влияние влаги на диэлектрические свойства натуральных эфиров;
- влияние натуральных эфиров на степень полимеризации целлюлозной изоляции;
- возможные риски при включении трансформаторов, заполненных натуральными эфирами, при температуре окружающего воздуха минус 20 °С и ниже;
- допустимое остаточное содержание минерального масла при перезаливке трансформаторов натуральными эфирами и характеристики получаемой смеси;
- опыт подтверждения температуры наиболее нагретой точки и потерь в высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) трансформаторах, вызванных добавочными потерями от магнитного поля в ВТСП-проводниках обмоток;
- ***электродинамическая стойкость сухих трансформаторов с литой изоляцией обмоток напряжением 69 кВ мощностью 25 МВА и более.***

# ИК А2: Предпочтительные темы (ПТ) следующих мероприятий

---

## **2015 - коллоквиум ИК А2, Шанхай, Китай**

- ПТ1 – Трансформаторное оборудование и его компоненты для сетей сверх- и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока
- ПТ2 – Технологии для оборудования подстанций будущего и активно-адаптивных сетей (совместно с комитетами А3 и В3)
- ПТ3 – Лучшее использование существующего парка трансформаторов

## **2016 - 46-я сессия СИГРЭ, Париж, Франция**

- ПТ1 – Достижения в диагностике и мониторинге трансформаторов
- ПТ2 – Трансформаторное оборудование и его компоненты для сетей сверх- и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока
- ПТ3 – Обмотки трансформаторов

---

# Спасибо за внимание!

См. также материалы и отчеты по 44-й (2012 г.) и 45-й (2014 г.) сессиям СИГРЭ и совместному коллоквиуму А2-С4 (2013 г.) на сайте РНК СИГРЭ:  
[http://www.cigre.ru/research\\_commitets/sc\\_wg/A2/](http://www.cigre.ru/research_commitets/sc_wg/A2/)