

# Обобщение мировых тенденций развития трансформаторного оборудования (по итогам 47-й сессии СИГРЭ, 2018 год)



**cigre**

For power system expertise

В.С. Ларин, к.т.н., нач. отдела трансформаторов ВЭИ – филиала РФЯЦ-ВНИИТФ (ГК Росатом),  
регулярный член ИК А2 «Трансформаторы» СИГРЭ и представитель РНК СИГРЭ в ИК А2

*Отчетная конференция РНК СИГРЭ по итогам 47-й сессии СИГРЭ, 17 апреля 2019 г.*

1. Краткие сведения об ИК А2 «Трансформаторы»
  - Сфера деятельности
  - Действующие рабочие группы
  - Новые технические брошюры
2. 47-я сессия СИГРЭ (26 – 31.08.2018)
  - Общая информация
  - Предпочтительные темы
  - Инновационные исследования и решения
  - Новые разработки и пилотные проекты
3. Следующие мероприятия ИК А2 СИГРЭ
4. Заключение
  - Наиболее обсуждаемые на 47-й сессии СИГРЭ вопросы по тематике ИК А2

# 1. Краткие сведения об ИК А2 «Трансформаторы» СИГРЭ

## 1.1. Сфера деятельности

Председатель – С. Райдер (Великобритания), секретарь – Т. Градник (Словения).

Сфера деятельности ИК А2 «Трансформаторы»:

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

### Основные направления деятельности ИК А2 «Трансформаторы»

(источник: С. Rajotte. Presentation of CIGRE activities on Power Transformers - <http://a2.cigre.org/What-is-SC-A2>)



## 1.2. ИК А2: действующие рабочие группы (1/2)

Название РГ	Срок действия	Председатель	Представители от РФ
JWG A2-D1.51 «Совершенствование методов измерений частичных разрядов для заводских испытаний и испытаний на месте установки силовых трансформаторов»	2014 - 2019	Sebastian Coenen (Германия)	Нет
JWG A2-C4.52 «Высокочастотные модели трансформаторов и реакторов»	2014 – 2019	Bjorn Gustavsen (Норвегия)	Д.А. Матвеев (НИУ МЭИ)
A2.53 «Интерпретация измерений частотных характеристик (FRA)»	2015 – 2019	Patrick Picher (Канада)	А.А. Дробышевский (НТЦ ФСК ЕЭС), В.С. Ларин (ВЭИ)
A2.54 «Требования к уровню звука силовых трансформаторов»	2015 – 2019	Christoph Ploetner (Германия)	Нет
A2.55 «Продление срока службы масляных силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов»	2016 – 2019	Pascal Mueller (Швейцария)	Нет
A2.56 «Энергоэффективность трансформаторов»	2016 – 2019	Zarko Janic (Германия)	Нет
A2.57 «Влияние подмагничивания постоянным током»	2016 – 2019	Dejan Susa (Норвегия)	Нет
A2.58 «Монтаж и пуско-наладочные работы на трансформаторах и реакторах»	2017 – 2020	Ross Willoughby (Австралия)	Нет
A2.59 «Сборка, капитальный ремонт и испытания силовых трансформаторов на месте установки»	2017 – 2020	Yukiyasu Shirasaka (Япония)	Нет

## 1.2. ИК А2: действующие рабочие группы (2/2)

### Начинают работу новые рабочие группы:

Название РГ	Срок действия	Председатель	Представители от РФ
A2.60 «Динамические тепловые характеристики силовых трансформаторов»	2019 – 2023	Tim Gradnik (Словения)	Нет
A2.61 «Передовая практика по устройствам РПН»	2019 – 2022	Axel Kraemer (Германия)	Нет
A2.62 «Анализ надежности трансформаторов для систем переменного тока»	2019 – 2022	Stefan Tenbohlen (Германия)	Нет
A2.63 «Импульсные испытания»	2019 – 2023	Ebrahim Rahimpour (Германия)	Д.А. Матвеев (НИУ МЭИ), В.С. Ларин (ВЭИ)

## 1.3. ИК А2: новые технические брошюры

№ брошюры	Год публикации	Название	Рабочая группа
646	2016	Изоляция трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения – проводимость масла	A2/D1.41 «Изоляция трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения – проводимость масла»
655	2016	Технологии и эксплуатация масляных шунтирующих реакторов	A2.48 «Шунтирующие реакторы»
659	2016	Тепловое моделирование трансформаторов	A2.38 «Тепловое моделирование трансформаторов»
673	2016	Руководство по транспортированию трансформаторов	A2.42 «Транспортирование трансформаторов»
<b>735</b>	<b>2018</b>	<b>Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ</b>	A2.45 «Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ»
<b>755</b>	<b>2019</b>	<b>Надежность вводов</b>	A2.43 «Надежность трансформаторных вводов»
<b>761</b>	<b>2019</b>	<b>Оценка состояния трансформаторов</b>	A2.49 «Оценка состояния»
	<b>2019</b>	<b>Достижения в интерпретации ХАРГ</b> <i>(готовится к публикации)</i>	D1/A2.47 «Достижения в интерпретации ХАРГ»
	<b>2019</b>	<b>Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов</b> <i>(готовится к публикации)</i>	A2-D1.46 «Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов»



## 2. 47-я сессия СИГРЭ, 26 – 31.08.2018

### 2.1. Общая информация

- 26 – 31.08.2018, г. Париж, Франция.
- Официальный сайт: <https://www.cigre.org/GB/events/cigre-session-2018>
- Мероприятия в рамках ИК А2 «Трансформаторы»:
  - заседания ИК А2 «Трансформаторы» и рабочих групп
  - постер-сессия ИК А2
  - дискуссионное заседание ИК А2



## 2.2. Предпочтительные темы (ПТ)

### **ПТ1 – Тепловые характеристики силовых трансформаторов (17 докладов)**

- Определение превышения температуры наиболее нагретой точки обмотки с помощью моделирования и прямых измерений.
- Определение превышения температуры магнитопровода, бака и других частей с помощью моделирования и прямых измерений.
- Влияние требований к перегрузкам на выбор конструкции и составных частей.

### **ПТ2 – Достижения в диагностике и моделировании (15 докладов)**

- Высокочастотные модели силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов, сравнение с результатами измерений.
- Интерпретация и моделирование частотных характеристик обмоток.
- Опыт применения различных методов измерения частичных разрядов в условиях заводских испытаний и на месте установки.

### **ПТ3 – Пуско-наладочные испытания на месте установки оборудования (6 докладов)**

- Требуемые приемочные испытания трансформаторов и реакторов.
- Дополнительные приемочные испытания трансформаторов и реакторов.
- Опытная эксплуатация трансформаторов и реакторов, включая требования к дополнительному наблюдению и мониторингу состояния.



## 2.3. Дискуссионное заседание ИК А2

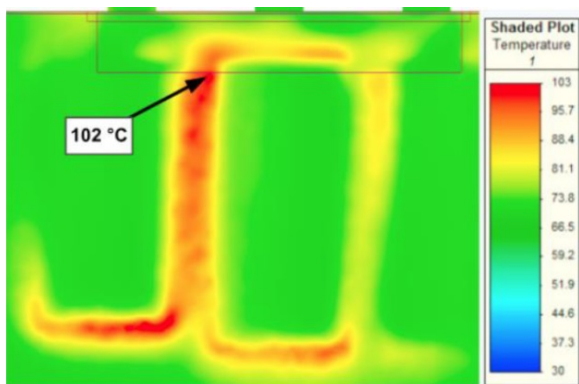
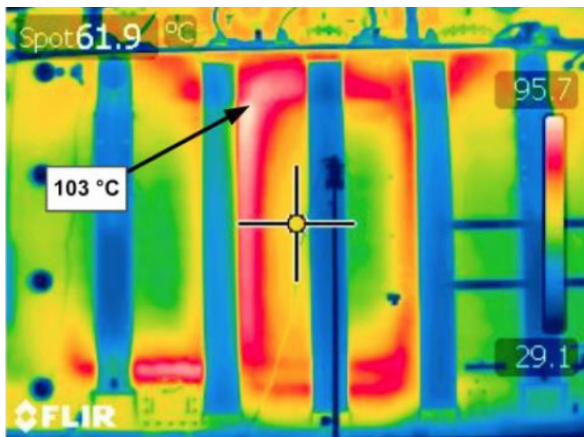


- В начале дискуссионного заседания был заслушан доклад представителя молодежной секции от РФ, аспиранта НГТУ Александра Риделя «Исследования частичных разрядов в пузырьках газов в трансформаторном масле».
- По каждой предпочтительной теме были заслушаны доклады приглашенных ключевых докладчиков:
  - ПТ1 – Mohamed RYADI (Франция), «Тепловые характеристики силовых трансформаторов – краткая информация о современном состоянии»;
  - ПТ2 – Jim McBride (США), «Использование высокочастотных систем онлайн-анализа для оценки состояния трансформаторов, реакторов и связанных с ними устройств»;
  - ПТ3 – Paul Jarman (Великобритания) и Ross Willoughby (Австралия), «Испытания трансформаторов на месте установки».
- 57 докладов (коротких сообщений): 26 по ПТ1, 15 по ПТ2 и 16 по ПТ3.



## 2.4. Инновационные исследования и решения

### 2.4.1. Предпочтительная тема №1



Сравнение результатов измерений и расчетов температуры бака (источник: доклад A2-107, R. Sitar, Ž. Janić, Хорватия)

#### ПТ1 – Тепловые характеристики силовых трансформаторов

- а) Развитие методов тепловых расчетов и сопоставление с экспериментами
- развитие метода термогидравлической сети (ТНН) (доклады A2-101, A2-102, A2-103 и др.);
  - применение трехмерного конечно-элементного анализа (A2-106, A2-107, A2-108 и др.).
- б) Непосредственное измерение температуры наиболее нагретых точек (ННТ) обмоток
- вопросы применения оптоволоконных датчиков температуры в обмотках (A2-109, A2-112 и др.);
  - оценка нагрузочной способности трансформаторов при непосредственном измерении температуры ННТ обмоток (A2-110).
- в) Тепловые характеристики альтернативных жидких диэлектриков
- вопросы охлаждения и обеспечения теплового режима при применении натуральных эфиров (A2-111, A2-115, A2-117);
- г) Работа трансформаторов при низких температурах
- повреждение трансформатора с системой охлаждения Ц при «холодном старте» (A2-116);
  - работа наполненных эфирами трансформаторов при низких температурах (A2-111)

## 2.4. Инновационные исследования и решения

### 2.4.2. Предпочтительная тема №2

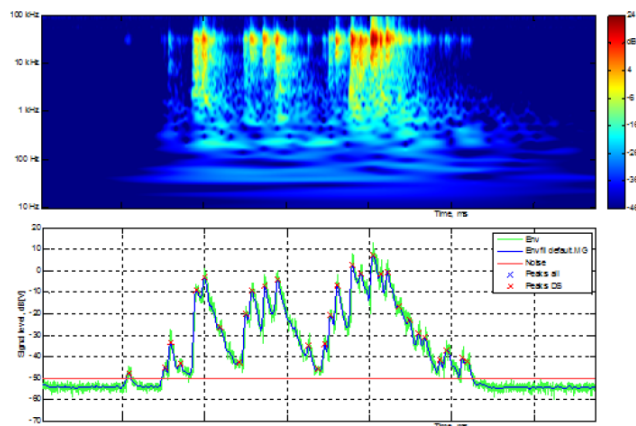
#### ПТ2 – Достижения в диагностике и моделировании

##### а) Развитие методов диагностики трансформаторного оборудования

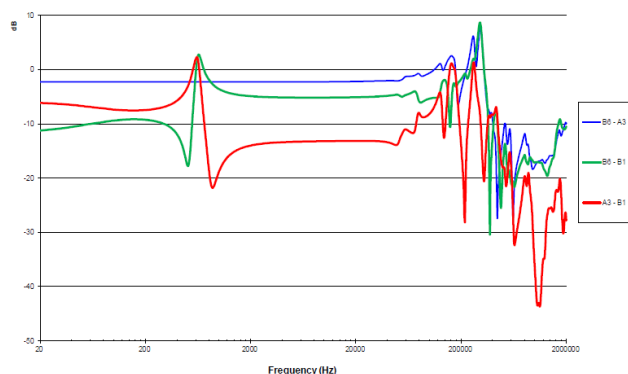
- применение электромагнитного УВЧ-метода регистрации для локализации ЧР в силовых трансформаторах (A2-201);
- применение электрического метода и анализа частотно-временных характеристик ЧР для определения типа и места дефекта (A2-205);
- развитие метода частотных характеристик и выявление внутренних повреждений трансформаторов (A2-209).
- онлайн диагностика контактов РПН с помощью виброакустического метода (A2-204).

##### б) Высокочастотные процессы в обмотках и их моделирование

- применение ВЧ-моделей трансформаторов для моделирования частотных характеристик с целью интерпретации результатов FRA (A2-209 , A2-212, A2-214);
- применение ВЧ-моделей трансформаторов и измерений частотных характеристик для исследований и разработки мероприятий по защите от резонансных перенапряжений в обмотках трансформаторов (A2-210, A2-213, A2-215);



Частотно-временная характеристика контактора РПН (источник: A2-204, K. Viereck, A. Saveliev, U. Sundermann , M. Späth )



Передаточные функции напряжения на регулировочных выводах обмотки (источник: A2-215, J.A. Lapworth, P.N. Jarman, Z.D. Wang and S. Dragostinov)

## 2.4. Инновационные исследования и решения

### 2.4.3. Предпочтительная тема №3



#### ПТЗ – Пусконаладочные испытания на месте установки оборудования

а) Испытания и проверки трансформаторов на месте установки перед вводом в эксплуатацию

- применение мобильных испытательных установок для высоковольтных испытаний (A2-301);
- испытания и проверки при вводе в эксплуатацию (A2-302, A2-303);
- особенности испытаний трансформаторов «быстрого развертывания» (A2-304)

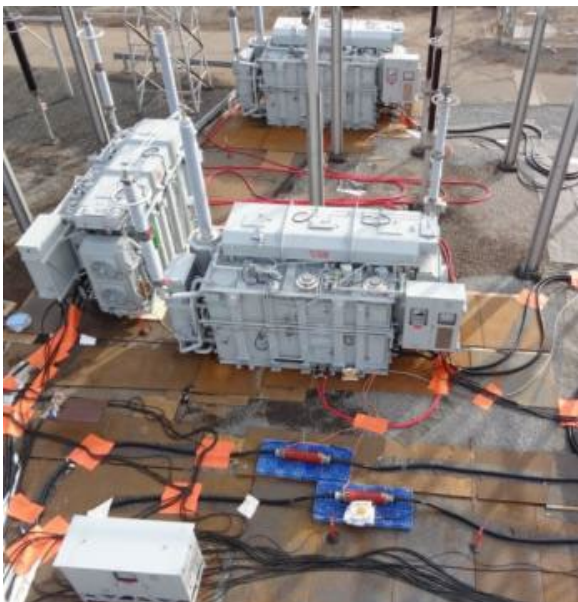
б) Трансформаторы большой мощности, собираемые на месте установки

- технология сборки на месте установки трансформаторов ультравысокого напряжения (A2-306).

Мобильный испытательный комплекс для испытаний индуктированным напряжением и импульсным напряжением (источник: A2-301, E.G.Tenyenhuis, M.L. Diaby, G. Pajaro, J. Szczechowski)



## 2.5. Новые разработки и пилотные проекты: трансформаторы «быстрого развертывания»



Автотрансформаторы 100 МВА 345/138 кВ и 133 МВА 345/230 кВ (источник: A2-304, E. Schweiger, S. Riegler, C. Ettl, M. Stössl, S. Bose, Германия, Австрия, США)

### Особенности трансформаторов «быстрого развертывания»:

- высокая степень готовности, малое время развертывания и ввода в эксплуатацию;
- малая транспортная масса и высокая транспортабельность.

#### 1. Однофазные автотрансформаторы 100 МВА 345/138 кВ

- обмотки ВН и СН, пересоединяемые с помощью ПБВ
- сочетания напряжений ВН и СН: 345/138 кВ (100 МВА) и 138/69 кВ (50 МВА);
- подключение к стороне СН с помощью втычных кабельных муфт или вводов;
- регулирование напряжения устройством РПН;
- гибридная высокотемпературная изоляция с заполнением синтетическим эфиром MIDEL® 7131;
- транспортная масса с жидким диэлектриком – **98 т**;
- продолжительность установки и монтажа на месте эксплуатации – **около 3 дней**.

#### 2. Однофазные автотрансформаторы 133 МВА 345/230 кВ

- пересоединяемые обмотки с сочетанием напряжений ВН и СН: 345/230, 345/138, 345/115, 230/138 или 230/115 кВ;
- подключение к стороне СН с помощью втычных кабельных муфт или вводов;
- заполнение минеральным маслом, система охлаждения ДЦ.
- масса без масла и системы охлаждения **56 т**;
- полная масса – **75 т**.



## 2.6. Техническая выставка



Робот TXplore (ABB)

- Свои стенды представили широко известные в трансформаторной индустрии компании, такие как ABB, Coil Innovation GmbH, ENPAY Transformer Components, General Electric, Haefely Test AG, HighVolt, Hitachi, Hyusung, Konchar, LSIS, Megger, Omicron electronics GmbH, MR Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Nynas AB, Qualitrol, Schneider Electric, Sergi Transformer Protector, Siemens, Weidmann Electrical Technology AG и др.
- ABB представлен миниатюрный робот **TXplore** для обследования масляных трансформаторов:
  - представляет собой микросубмарину для работы в трансформаторном масле;
  - предназначен для визуального осмотра активной части масляных силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов без полного слива масла из бака и подъема колокола бака;
  - оснащен четырьмя камерами для визуального осмотра и записи;
  - обладает малыми габаритами (ширина ориентировочно около 30 см) и высокой маневренностью, что позволяет ему проплыть в масляных промежутках между активной частью и баком трансформатора.

## 3. Следующие мероприятия ИК А2 СИГРЭ (1/2)

**2019 – коллоквиум ИК А2 «Трансформаторы» совместно с ИК В2 «Воздушные линии» и ИК D1 «Материалы и новые методы испытаний» (г. Нью-Дели, Индия, 18 – 23 ноября 2019)**

**ПТ1: Достижения в проектировании трансформаторов и применении новых материалах**

- Разработка и применение новых материалов и изоляционных жидкостей
- Совершенствование технических требований на трансформаторы для повышения надежности проектирования и конструкции
- Опыт эксплуатации и достижения в устройствах РПН, включая фазоповоротные трансформаторы

**ПТ2: Обеспечение качества и стойкость при коротких замыканиях трансформаторов**

- Испытания на стойкость при коротких замыканиях силовых трансформаторов, в т.ч. анализ случаев повреждений
- Альтернативы испытаниям на стойкость при коротких замыканиях
- Контроль качества и приемочные испытания на заводе

**ПТ3: «Полевой» опыт эксплуатации трансформаторов**

- Прогресс в мониторинге и диагностике состояния трансформаторов
- Оценка остаточного срока службы и ремонт/восстановление трансформаторов на месте эксплуатации
- Экономические/коммерческие аспекты управления жизненным циклом трансформаторов

**Основные сроки:**

- представление аннотации – до 30 мая 2019; подтверждение участия – до 30 июня 2019;
- представление текста доклада и презентации – до 30 августа 2019

**Технический визит – посещение подстанции HVDC  $\pm 800$  кВ «Агра»**

## 3. Следующие мероприятия ИК А2 СИГРЭ (2/2)

**2020 – 48-я сессия СИГРЭ, г. Париж, Франция, 23 – 28 августа 2020**

### **ПТ1 – Трансформаторные технологии для интеграции распределенных и возобновляемых источников энергии**

- применение, технические требования, конструкция и проектирование;
- влияние гармоник, включая интергармоники и субгармоники;
- влияние экстремальных условий окружающей среды, в т. ч. при морском и подводном размещении.

### **ПТ2 – Достижения в конструкции и испытаниях изоляции**

- требования к конструкции изоляции, в т. ч. для новых и нетрадиционных применений;
- новые и передовые концепции и техники проектирования изоляции;
- сложности испытаний электрической прочности изоляции и способы их преодоления.

### **ПТ3 – Повышение надежности трансформаторов**

- исследования и анализ надежности при длительной эксплуатации и
- повышение надежности посредством совершенствования технических требований, проектирования и изготовления;
- повышение надежности посредством совершенствования практики эксплуатации, обслуживания, восстановления и ремонтов.

### **2021 – коллоквиум ИК А2 «Трансформаторы» совместно с ИК В3 «Подстанции»**

- г. Бухарест, Румыния – сроки проведения будут уточнены позднее.

## Наиболее обсуждаемые на 47-й сессии СИГРЭ вопросы по тематике ИК А2:

### 1. Повышение надежности трансформаторного оборудования

- развитие методов диагностики трансформаторного оборудования и его компонентов;
- испытания и измерения при транспортировке и на месте установки перед вводом в эксплуатацию;
- развитие методов статических и динамических тепловых расчетов для определения температур наиболее нагретых точек и нагрузочной способности трансформаторов;
- применение ВЧ-моделей трансформаторов для интерпретации результатов FRA, а также для исследований и разработки мероприятий по защите от резонансных перенапряжений в обмотках трансформаторов.

### 2. Применение новых видов трансформаторного оборудования

- трансформаторов «быстрого развертывания»;
- трансформаторов для сборки на месте установки.

### 3. Применение новых материалов и технологий для повышения экологичности, взрыво- и пожаробезопасности, энергоэффективности

- применение альтернативных трансформаторному маслу жидких диэлектриков (натуральных и синтетических эфиров) для повышения экологичности, взрыво- и пожаробезопасности.
- применение высокотемпературной изоляции для улучшения массогабаритных показателей.



Спасибо за внимание!



**cigre**

For power system expertise

См. также материалы и отчеты по 44-й (2012 г.), 45-й (2014 г.), 46-й (2016 г.) и 47-й (2018 г.)  
сессиям СИГРЭ и коллоквиумам А2 (2013, 2015 и 2017 г.)  
на сайте НИК А2 РНК СИГРЭ: [http://www.cigre.ru/research\\_commitets/sc\\_wg/A2/](http://www.cigre.ru/research_commitets/sc_wg/A2/)