



Мировые тенденции развития трансформаторного оборудования (по итогам 47-й сессии СИГРЭ)

ЛАРИН В.С.

В период с 26 по 31 августа 2018 г. в Париже (Франция) состоялась 47-я сессия Международного Совета по Большим Электрическим Системам (СИГРЭ). В рамках 47-й сессии СИГРЭ проходили мероприятия по Исследовательскому комитету (ИК) А2 «Трансформаторы» СИГРЭ, где были представлены инновационные исследования и решения, пилотные проекты и состоялись обсуждения наиболее значимых для мировой трансформаторной индустрии вопросов.

Сфера деятельности ИК А2 включает трансформаторы (силовые, преобразовательные, фазоповоротные и пр.), электрические реакторы (шунтирующие, токоограничивающие, сглаживающие и пр.), также комплектующие к ним (вводы, переключающие устройства, вспомогательное оборудование).

Основные направления деятельности ИК А2 «Трансформаторы» затрагивают все стадии жизненного цикла трансформаторного оборудования [1]:

- подготовку технических требований и закупку, экономические аспекты;
 - проектирование, производство и испытания;
 - эксплуатацию, надежность, безопасность и экологичность;
 - обслуживание, диагностику, мониторинг и ремонт.
- В работе ИК А2 «Трансформаторы» можно выделить следующие *ключевые темы*:
- мониторинг, диагностика и управление ресурсом;
 - повышение надежности;
 - применение новых видов трансформаторного оборудования;
 - применение новых материалов и технологий.

В настоящее время в рамках ИК А2 «Трансформаторы» действуют следующие рабочие группы, приведенные в табл. 1.

Формирование состава новых рабочих групп А2.60 – А2.63 еще не завершено и возможно включение в их состав заинтересованных экспертов – членов СИГРЭ.

За период 2016–2019 гг. по комитету А2 вышло в свет семь технических брошюр, к публикации в 2019 г. готовятся две новые брошюры (табл. 2).

Технические брошюры, вышедшие в 2016–2019 гг., представлены в табл. 2.

Краткие сведения о 47-й сессии СИГРЭ. Для 47-й сессии СИГРЭ по ИК А2 «Трансформаторы» СИГРЭ были утверждены следующие предпочтительные темы (ПТ):

ПТ1 – Тепловые характеристики силовых трансформаторов (принято 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.

Полный список докладов 47-й сессии приведен в Приложении.

В рамках 47-й сессии по направлению ИК А2 «Трансформаторы» состоялись постер-сессия, дискуссионное заседание комитета, заседания комитета и рабочих групп, а также техническая выставка.

На 47-ю сессию СИГРЭ от Российского национального комитета (РНК) СИГРЭ по комитету А2 «Трансформаторы» поступил и был принят доклад:

Таблица 1

Название рабочей группы	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
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)

Таблица 2

Номер 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»
735	2018	Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ	A2.45 «Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ»
755	2019	Надежность вводов	A2.43 «Надежность трансформаторных вводов»
761	2019	Оценка состояния трансформаторов	A2.49 «Оценка состояния»
–	2019	Достижения в интерпретации ХАРГ (готовится к публикации)	D1/A2.47 «Достижения в интерпретации ХАРГ»
–	2019	Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов (готовится к публикации)	A2-D1.46 «Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов»

A2-209. Ларин В.С., Матвеев Д.А., Волков А.Ю. Применение паттернов изменения собственных частот колебаний обмоток и высокочастотного численного моделирования трансформаторов для интерпретации результатов измерений методом FRA.

С программой, тематиками заявленных докладов и другой интересной информацией о 47-й сессии СИГРЭ можно ознакомиться на официальном сайте: <https://www.cigre.org/GB/events/cigre-session-2018>.

Инновационные исследования и решения, представленные на 47-й сессии СИГРЭ. По итогам обобщения материалов и сообщений, представленных на 47-й сессии СИГРЭ по трансформаторному направлению, можно отметить следующие ключевые инновационные исследования и решения.

ПТ1 «Тепловые характеристики силовых трансформаторов»

1. Развитие методов тепловых расчетов и сопоставление с экспериментами:

Развитие метода термогидравлической сети (ТНН) для тепловых расчетов трансформаторов (доклады A2-101, Португалия; A2-102, Португалия; A2-103, Бельгия; и др.).

Применение трехмерного конечно-элементного моделирования (A2-106, Великобритания, Швейцария; A2-107, Хорватия; A2-108, Франция; и др.).

2. Непосредственное измерение температуры наиболее нагретых точек (ННТ) обмоток:

Вопросы применения оптоволоконных датчиков температуры в обмотках (A2-109, Испания; A2-112, Нидерланды; и др.).

Оценка нагрузочной способности трансформаторов при непосредственном измерении температуры ННТ обмоток (A2-110, Канада).

3. Тепловые характеристики альтернативных жидких диэлектриков:

Вопросы охлаждения и обеспечения теплового режима при применении натуральных эфиров (A2-111, Австрия; A2-115, Франция, Германия; A2-117, Испания, Германия).

4. Работа трансформаторов при низких температурах:

Повреждение трансформатора с системой охлаждения Ц при «холодном старте» (A2-116, Сербия).

Работа наполненных эфирами трансформаторов при низких температурах (A2-111, Австрия).

ПТ2 «Достижения в диагностике и моделировании».

1. Развитие методов диагностики трансформаторного оборудования:

Применение электромагнитного УВЧ-метода регистрации для локализации ЧР в силовых трансформаторах (A2-201, Корея).

Применение электрического метода и анализа частотно-временных характеристик сигналов ЧР для определения типа и места дефекта (A2-205, Швейцария).

Развитие метода частотных характеристик и выявление внутренних повреждений трансформаторов (A2-209, Россия).

Онлайн диагностика контактов РПН с помощью виброакустического метода (A2-204, Германия).

2. Высокочастотные процессы в обмотках и их моделирование:

Применение ВЧ-моделей трансформаторов для моделирования частотных характеристик с целью интерпретации результатов FRA (A2-209, Россия; A2-212, Нидерланды; A2-214, Германия, Канада, Япония).

Применение ВЧ-моделей трансформаторов и измерений частотных характеристик для исследований и разработки мероприятий по защите от резонансных перенапряжений в обмотках трансформаторов (A2-210, Франция, Хорватия; A2-213, Норвегия, Уругвай; A2-215, Великобритания, Болгария).

ПТ3 «Пусконаладочные испытания на месте установки оборудования».

1. Испытания и проверки трансформаторов на месте установки перед вводом в эксплуатацию:

Применение мобильных испытательных установок для высоковольтных испытаний (A2-301, Канада, США, Испания, Германия).

Испытания и проверки при вводе в эксплуатацию (A2-302, Австралия; A2-303, Румыния).

Особенности испытаний трансформаторов «быстрого развертывания» (A2-304, Германия, Австрия, США).

2. Трансформаторы большой мощности, собираемые на месте установки:

Технология сборки на месте установки трансформаторов ультравысокого напряжения (A2-306, Китай).

Новые разработки и пилотные проекты, представленные на 47-й сессии СИГРЭ.

Представлен опыт США (доклад A2-304, США, Австрия, Германия) по реализации концепции быстрого развертывания (восстановления) трансформаторных мощностей на случай выхода из строя трансформаторов или атаки на энергообъекты. В ее основе — применение трансформаторов «быстрого развертывания», особенностями которых являются:

высокая степень готовности, малое время развертывания и ввода в эксплуатацию;

малая транспортная масса и высокая транспортабельность.

Проведенные в рамках реализации концепции эксперименты показали, что высокая транспорта-

бельность трансформаторов «быстрого развертывания» позволяет перебросить трансформаторы на дальние расстояния и ввести их в работу всего за три дня, в то время как для перевозки и установки традиционных трансформаторов обычно требуется несколько недель.

Отмечено, что трансформаторы «быстрого развертывания» могут быть использованы в экстренных ситуациях (для быстрого восстановления энергоснабжения), при обслуживании подстанций (при необходимости вывода действующего оборудования в ремонт), для временного снабжения потребителей, а также для возможности оперативного повышения установленной мощности подстанций при сезонном росте нагрузки.

Сообщено о разработке и изготовлении двух типов автотрансформаторов «быстрого развертывания» однофазного исполнения по заказу компании ConEd (США), инфраструктура которой ранее пострадала от урагана Сэнди.

1. Однофазные автотрансформаторы 100 МВЧ 345/138 кВ:

обмотки ВН и СН, пересоединяемые с помощью ПБВ;

сочетания напряжений ВН и СН: 345/138 кВ (100 МВЧ) и 138/69 кВ (50 МВЧ);

подключение к стороне СН с помощью втычных кабельных муфт или вводов;

регулирование напряжения устройством РПН; гибридная высокотемпературная изоляция с заполнением синтетическим эфиром MIDEЛ® 7131;

транспортная масса с жидким диэлектриком — 98 т;

продолжительность установки и монтажа на месте эксплуатации — около 3 дней.

2. Однофазные автотрансформаторы 133 МВЧ 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.

Дискуссионное заседание ИК А2 «Трансформаторы» СИГРЭ

Дискуссионное заседание Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы» состоялось 30 августа 2018 г. Согласно формату проведения сессий СИГРЭ по каждой предпочтительной теме комитетом А2 были утверждены составители «специальных отчетов», которые сделали обобщение принятых к сессии докладов и сформулировали вопросы для дискуссионного обсуждения. Составителями

«специальных отчетов» являлись: ПТ1 — *Hugo Campelo* (FACEC, Португалия); ПТ2 — *Angélica da C.O. Rocha* (технический консультант, Бразилия); ПТ3 — *John Lapworth* (Doble, Великобритания).

В начале дискуссионного заседания был заслушан доклад представителя молодежной секции от РФ *Александра Риделя* (г. Новосибирск, аспирант НГТУ) «Partial Discharges Studies in Free Gas Bubbles in Transformer Oil» (Исследования частичных разрядов в пузырьках газов в трансформаторном масле).

В начале каждой предпочтительной темы были заслушаны доклады приглашенных основных докладчиков:

ПТ1 — *Mohamed RYADI* (Франция), «Thermal Characteristics of Power Transformers – Summary of the State-of-the-Art» (Тепловые характеристики силовых трансформаторов — краткая информация о современном состоянии);

ПТ2 — *Jim McBride* (США), «Use of Online High Frequency Analysis Systems in the Condition Assessment of Transformers/Reactors and Associated Devices» (Применение высокочастотных онлайн-систем анализа при оценке состояния трансформаторов, реакторов и связанных с ними устройств);

ПТ3 — *Paul Jarman* (Великобритания) и *Ross Willoughby* (Австралия), «Transformer Site Testing» (Испытания трансформаторов на месте установки).

По трем предпочтительным темам приняли участие 57 докладчиков (26 по ПТ1, 15 по ПТ2 и 16 по ПТ3) с заранее подготовленными короткими сообщениями. Кроме того, желающие могли выступить с коротким устным сообщением и принять участие в обсуждении представленных докладов.

Очередные мероприятия с участием ИК А2 «Трансформаторы» СИГРЭ. Следующий коллоквиум комитета А2 «Трансформаторы» состоится в период с 18 по 23 ноября 2019 г. в Нью-Дели, Индия. Для коллоквиума утверждены предпочтительные темы:

ПТ1. Достижения в проектировании трансформаторов и применении новых материалов:

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 том числе анализ случаев повреждений;

альтернативы испытаниям на стойкость при коротких замыканиях;

контроль качества и приемочные испытания на заводе.

ПТЗ. «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 г.; подтверждение участия – до 30 июня 2019 г.; представление текста доклада и презентации – до 30 августа 2019 г.

В рамках коллоквиума запланирована техническая экскурсия с посещением подстанции HVDC ± 800 кВ «Агра».

48-я сессия СИГРЭ запланирована в период с 23 по 28 августа 2020 г. в Париже, Франция. Предпочтительные темы:

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 том числе при морском и подводном размещении.

ПТ2. Достижения в конструкции и испытаниях изоляции:

требования к конструкции изоляции, в том числе для новых и нетрадиционных применений;

новые и передовые концепции и техника проектирования изоляции;

сложности испытаний электрической прочности изоляции и способы их преодоления.

ПТЗ. Повышение надежности трансформаторов:

исследования и анализ надежности при длительной эксплуатации;

повышение надежности посредством совершенствования технических требований, проектирования и изготовления;

повышение надежности посредством совершенствования практики эксплуатации, обслуживания, восстановления и ремонтов.

Коллоквиум комитета А2 в 2021 г. – запланировано проведение совместного коллоквиума комитетов А2 «Трансформаторы» СИГРЭ и В3 «Подстан-

ции» в Бухаресте (Румыния), сроки проведения будут уточнены позднее.

Приложение. Список докладов ИК А2 «Трансформаторы» на 47-й сессии СИГРЭ.

Предпочтительная тема №1 «Тепловые характеристики силовых трансформаторов».

A2-101. С. Cotas, N.D. Gonzalves, R.J. Santos, M.M. Dias, J.C.V. Lopes, M.A. Quintela, H. M. R. Campelo (Португалия). *Development of a dynamic thermal hydraulic network model for core-type power transformers windings (Разработка динамической тепловой модели обмоток трансформаторов со стержневой магнитной системой с использованием метода термогидравлической сети)*¹.

A2-102. M. A. Quintela, A. C. Barradas, S. Couto, E. Costa, H. M. R. Campelo (Португалия). *Experimental Validation of a Thermal Hydraulic Management Platform for Core-Type Power Transformers (Экспериментальная проверка метода термогидравлической сети для трансформатора со стержневой магнитной системой).*

A2-103. W. Van Der Veken, J. Codde, M. Baelmans (Бельгия). *Improved THNM models for power transformers using new correlations set up with CFD simulations (Тепловая модель силового трансформатора на основе термогидравлической сети, усовершенствованная с использованием результатов гидродинамического моделирования).*

A2-104. T. Gradnik, A. Polajner (Словения). *The role of direct hot-spot temperature measurements and dynamic thermal models in the determination of power transformers dynamic thermal rating (Применение непосредственного измерения температуры и динамических тепловых моделей для определения динамической нагрузочной способности силовых трансформаторов).*

A2-105. T. Laneryd, A. Gustafsson, B. Samuelsson, Y. Jiao (Швеция). *Selecting the right level of complexity for thermal modelling of transformer windings (Выбор достоверного уровня сложности тепловой модели обмоток трансформатора).*

A2-106. P. Jarman, P. Dyer, P. Mavrommatis, X. Zhang, M. Daghra, Q. Liu, Z.D. Wang, A. Gyore, P. Smith, D. Walker (Великобритания), M. Negro (Швейцария). *Uneven liquid flow distribution in radial ducts in transformer winding cooling systems shown by CFD and experimental measurements (Необычное распределение течения жидкости в радиальных охлаждающих каналах обмоток трансформаторов, выявленное по результатам гидродинамического моделирования и экспериментальных измерений).*

A2-107. R. Sitar, . Janić (Хорватия). *Determination of local losses and temperatures in power transformer tank (Определение локальных потерь и перегревов бака силового трансформатора).*

¹ Здесь и далее названия докладов даны в переводе автора статьи.

A2-108. D. Bortolotti, O. Moreau, M. Ryadi (Франция). *Determination of the temperature rise of the magnetic core of power transformer by 3D finite element method modelling (Определение перегревов магнитопровода силового трансформатора с помощью трехмерного конечно-элементного моделирования).*

A2-109. M. Martínez, C. Vila, M. Cuesto, M. Vaquero, J.E. Grijuela (Испания). *Comparison between different methods to measure winding hot-spots (Сравнение различных методов измерения температур наиболее нагретых точек обмоток).*

A2-110. C. Rajotte, P. Picher (Канада). *Experience with transformer loading tests and direct temperature measurements in the laboratory and in service (Опыт проведения нагрузочных испытаний трансформаторов и непосредственного измерения температур в условиях заводской лаборатории и в эксплуатации).*

A2-111. F. Bachinger, P. Hamberger (Австрия). *Measurement of thermal behavior of an ester-filled power transformer at ultralow temperatures (Измерения тепловых характеристик наполненных эфиром силовых трансформаторов при сверхнизких температурах).*

A2-112. C.J.G. Spoorenberg (Нидерланды). *Practical aspects of determining the hotspot temperature in large power transformers (Практические вопросы определения температуры наиболее нагретых точек в мощных силовых трансформаторах).*

A2-113. S. Yamada, Y. Nakashima, M. Kadowaki, T. Kobayashi (Япония). *Study on Winding Temperature Rise Using Full-Scale Transformer Model (Исследования перегревов обмоток на полномасштабной модели трансформатора).*

A2-114. D. Vir, T.M. Golner (США). *Design of Insulated Cables to Reduce Gassing Issues in Power Transformers (Конструкция изолированных проводов для снижения газовыделения в силовых трансформаторах).*

A2-115. C. Perrier, M.-L. Coulibaly (Франция), T. Stirl, J. Harthun (Германия). *Experiences with high-temperature insulation systems & overload requirements (Опыт применения систем высокотемпературной изоляции и требования к перегрузочной способности).*

A2-116. Z. Radakovic, U. Radoman, G. Klasnic, R. Matic (Сербия). *Cold start-up and loading of oil immersed power transformers at extreme ambient temperatures (Включение и нагрузочная способность масляных силовых трансформаторов при экстремально низких температурах окружающей среды).*

A2-117. M. Cuesto, C. González-García, M. Vaquero (Испания), D. Vukovic (Германия). *Thermal comparison between mineral oil, natural and synthetic esters at largest single-phase 420 kV green transformer (Сравнение тепловых характеристик мощных «экологических» силовых трансформаторов 420 кВ с заполне-*

нием минеральным маслом, натуральным и синтетическим эфиром).

Предпочтительная тема №2 «Достижения в диагностике и моделировании»

A2-201. W. Min, J. B. Lee, C. H. Cho, J. S. Park (Корея). *Development of Power Transformer Defect Location Detection Technology using UHF Partial Discharge Monitoring System (Разработка технологии локализации дефектов в силовых трансформаторах с использованием системы СВЧ-мониторинга частичных разрядов).*

A2-202. F. Ghelichi, A.A. Abbasi, A. Tofighi, S. Emrani Saravi, K. Gharani Khajeh (Иран). *Experimental Investigation on Ungrounded Conductive Objects Effects Approximate to Power Transformer during IVPD Test (Экспериментальные исследования влияния незаземленных проводящих объектов при испытаниях силовых трансформаторов переменным напряжением с измерением частичных разрядов).*

A2-203. L. Jonsson, L. Melzer, N. Schönborg, G.-O. Persson (Швеция). *Experimental evaluation of status of 400 kV shunt reactor bushings in the Swedish national grid (Экспериментальная оценка состояния вводов шунтирующих реакторов 400 кВ в национальных сетях Швеции).*

A2-204. K. Viereck, A. Saveliev, U. Sundermann, M. Späth (Германия). *First results from the field testing of advanced acoustic monitoring of variable shunt reactors and on-load tap-changers (Первые результаты полевых испытаний передового акустического мониторинга шунтирующих реакторов и устройств РПН).*

A2-205. J. Fuhr, Th. Aschwanden (Швейцария). *Localization of Partial Discharge Sources in Transformers by Analysis of Signals in Time- and Frequency-Domain (Локализация источников частичных разрядов в трансформаторах с помощью анализа сигналов во временной и частотной областях).*

A2-206. L. Cheim (США). *Machine Learning Tools in Support of Transformer Diagnostics (Инструменты машинного обучения для диагностики силовых трансформаторов).*

A2-207. M. Al-Nsour, J. Abdallah (Иордания). *Method of Investigations and Predictions for transformers faults (Метод исследования и определения поврежденных трансформаторов).*

A2-208. S.S. Narichandanray, J. Das, R.K. Tyagi, P.N. Dixit (Индия). *A novel approach for bushing fault diagnosis: Power Grid India experience (Новый подход к диагностике вводов: опыт сетевой компании Индии).*

A2-209. В.С. Ларин, Д.А. Матвеев, А.Ю. Волков (Россия). *Application of natural frequencies deviations patterns and high-frequency white-box transformer models for FRA interpretation (Применение паттернов изменения собственных частот колебаний обмоток и высокочастотного численного моделирования трансфор-*

маторов для интерпретации результатов измерений методом FRA).

A2-210. P. Poujade, O. Moreau, M. Ryadi, A. Xemard (Франция), B. Jurisic (Хорватия). *French utility investigations for simulating HF transients in power transformers (Исследования французской энергокомпании по моделированию высокочастотных переходных процессов в силовых трансформаторах).*

A2-211. S. Banaszak, W. Szoka, K.M. Gawrylczyk, J. Subocz, M. Szrot, J. Płowucha (Польша). *Interpretation of the LF resonance in Frequency Response Analysis of transformer windings (Интерпретация низкочастотного резонанса при анализе частотных характеристик обмоток трансформатора).*

A2-212. M. Louwse, J. Veens, J. Kanters (Нидерланды). *Modelling of Winding Frequency Response on a Large Power Transformer, based on design data, and Comparison to Measured Results (Моделирование частотных характеристик обмоток мощных силовых трансформаторов на основе конструктивных данных и сравнение с результатами измерений).*

A2-213. B. Gustavsen (Норвегия), A. Portillo (Уругвай), H.K. Nøidalen (Норвегия). *Modelling of transformers and reactors for electromagnetic transient studies (Моделирование трансформаторов и реакторов для исследований электромагнитных переходных процессов).*

A2-214. S. Tenbohlen, M. Tahir, E. Rahimpour (Германия), B. Poulin (Канада), S. Miyazaki (Япония). *A New Approach for High Frequency Modelling of Disc Windings (Новый подход к высокочастотному моделированию катушечных обмоток).*

A2-215. J.A. Lapworth, P.N. Jarman, Z.D. Wang (Великобритания), S. Dragostinov (Болгария). *Transformer Internal Resonant Over-voltages, Switching Surges and Special Tests (Внутренние резонансные и коммутационные перенапряжения и специальные испытания силовых трансформаторов).*

Предпочтительная тема №3 «Приемочные испытания на месте установки»

A2-301. E.G. Tenyenhuis (Канада), M. L. Diaby (США), G. Pajaro (Испания), J. Szczechowski (Германия). *Benefits of High Voltage Testing at Site for Power Transformers (Преимущества высоковольтных испытаний на месте эксплуатации силовых трансформаторов).*

A2-302. J. Tusek, R. Willoughby, H. Rahimpour, M. Cotton (Австралия). *The Emerging Role of FRA as a Required Commissioning Test (Важная роль анализа частотных характеристик как необходимого испытания при вводе в эксплуатацию).*

A2-303. C. Moldoveanu, I. Hategan, A.Rusu, L. Iacobici, M. Budan, M. Ploeanu, V. Florea, V. Brezoianu, S. Zaharescu, I. Ionita (Румыния). *Particularities of the additional site commissioning tests applied to power transformers and shunt reactors for*

correct decision regarding their technical condition - a Romanian Experience (Особенности дополнительных испытаний при вводе в эксплуатацию силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов для правильной оценки их состояния – опыт Румынии).

A2-304. E. Schweiger (Германия), S. Riegler, C. Ettl, M. Stössl (Австрия), S. Bose (США). *Recommendation of site commissioning tests for rapid recovery transformers with an installation time less than 30 hours (Рекомендации по испытаниям при вводе в эксплуатацию трансформаторов быстрого разворачивания с временем установки менее 30 часов).*

A2-305. K.H. Lee, C.J. Park and C.H. Yang (Республика Корея). *The Study for Environmental Effect of Sound Measurement of Power Transformer (Исследование влияния окружающих предметов на результаты измерений уровня звука силовых трансформаторов).*

A2-306. X. Wang, J. Wu, G. Sun, J. Chen, H. Guo, H. Li, X. Hu, H. Yu, X. Zhang (Китай). *A study on key technology and demonstration application of UHV AC site assembled transformers (Исследования ключевых технологий и демонстрационного применения трансформаторов для передач ультравысокого напряжения переменного тока, собираемых на месте установки).*

Выводы. По итогам 47-й сессии СИГРЭ можно отметить следующие ключевые направления развития и наиболее обсуждаемые вопросы в области трансформаторного оборудования.

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 разворачивания»; трансформаторов для сборки на месте установки.

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

альтернативных трансформаторному маслу жидких диэлектриков (натуральных и синтетических эфиров) для повышения экологичности, взрыво- и пожаробезопасности;

высокотемпературной изоляции для улучшения массогабаритных показателей.

transformers with an installation time less than 30 hours. — 47th CIGRE Session, report A2-304, Paris, France, 26–31 August 2018.

[27.06.2019]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Rajotte C.** Presentation of CIGRE activities on Power Transformers [Электрон. ресурс] <http://a2.cigre.org/what-is-SC-A2> (дата обращения 21.06.2019).

2. **Schweiger E., Riegler S., Ettl C., Stussl M., Bose S.** Recommendation of site commissioning tests for rapid recovery

А в т о р: Ларин Василий Серафимович — кандидат техн. наук, начальник отдела трансформаторов ВЭИ; регулярный член Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы» СИГРЭ и представитель Российского национального комитета СИГРЭ в комитете А2 СИГРЭ, диссертацию защитил в 2007 г.

Electrichestvo, 2019, No.10, pp. 61–68

DOI:10.24160/0013-5380-2019-10-61-68

World Trends in the Development of Transformer Equipment (Following The Results of the 47th Session of CIGRE, 2017)

LARIN Vasily S. (*All-Russian Electrotechnical Institute, Moscow, Russia*) — *Head of the Department, Regular member of the CIGRE Study Committee A2 «Transformers», Cand. Sci. (Eng.)*

REFERENCES

1. **Rajotte C.** Presentation of CIGRE activities on Power Transformers [Electron. Recourse] <http://a2.cigre.org/what-is-SC-A2> (Data of appeal 21.06.2019).

2. **Schweiger E., Riegler S., Ettl C., Stussl M., Bose S.** Recommendation of site commissioning tests for rapid recovery transformers with an installation time less than 30 hours. — 47th CIGRE Session, report A2-304, Paris, France, 26–31 August 2018.

[27.06.2019]