



Обобщение мировых тенденций развития трансформаторного оборудования

(По итогам 46-й сессии СИГРЭ, 2016 г.)

ЛАРИН В.С.

В период с 21 по 26 августа 2016 г. в г. Париж (Франция) состоялась 46-я сессия Международного Совета по Большим Электрическим Системам (СИГРЭ). В рамках 46-й сессии СИГРЭ проходили мероприятия по Исследовательскому комитету (ИК) А2 «Трансформаторы», где были представлены инновационные исследования и решения, пилотные проекты и состоялись обсуждения наиболее значимых для мировой трансформаторной индустрии вопросов.

Сфера деятельности ИК А2 достаточно широка – в нее входят 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]:

подготовка технических требований и закупка, экономические аспекты;

проектирование, производство и испытания; эксплуатация, надежность, безопасность и экологичность;

обслуживание, диагностика, 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 действуют следующие рабочие группы (РГ)¹:

А2.43 «Надежность трансформаторных вводов» (2010);

А2.45 «Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ» (2011);

А2-D1.46 «Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов» (2011);

D1-A2.47 «Новые возможности ХАРГ» (2011);

А2.49 «Оценка состояния» (2012);

А2.50 «Эффект распределенных источников энергии» (2012);

JWG А2-D1.51 «Совершенствование методов измерений частичных разрядов для заводских испытаний и испытаний на месте установки силовых трансформаторов» (2014);

JWG А2-C4.52 «Высокочастотные модели трансформаторов и реакторов» (2014);

А2.53 «Интерпретации результатов частотного анализа реакции (FRA)» (2015);

А2.54 «Требования к уровню звука силовых трансформаторов» (2015);

А2.55 «Продление срока службы» (2016);

А2.56 «Энергоэффективность трансформаторов» (2016);

А2.57 «Влияние подмагничивания постоянным током» (2016).

А2.58 «Монтаж и пуско-наладочные работы на трансформаторах и реакторах» (2017);

А2.59 «Сборка, восстановление и испытания силовых трансформаторов на месте установки» (2017)

Формирование состава новых рабочих групп А2.55–А2.58 еще не завершено и возможно включение в их состав заинтересованных экспертов – членов СИГРЭ.

За период 2015–2017 гг. по комитету А2 вышло в свет семь новых технических брошюр:

№ 625 «Длительное подавление сульфида меди и оценка риска» (РГ А2.40 «Длительное подавление сульфида меди и оценка риска», 2015);

№ 630 «Руководство по системам интеллектуального мониторинга состояния трансформаторов» (РГ А2.44 «Интеллектуальный мониторинг состояния трансформаторов», 2015);

№ 642 «Исследование надежности трансформаторов» (РГ А2.37 «Исследование надежности трансформаторов», 2015);

№ 646 «Изоляция трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения – проводимость масла» (РГ А2/D1.41 «Изоляция трансфор-

¹ В скобках указан год начала работы группы; полужирным курсивом отмечены группы, где работают эксперты из РФ.

маторов для передач постоянного тока высокого напряжения – проводимость масла», 2016);

№ 655 «Технологии и эксплуатация масляных шунтирующих реакторов» (РГ А2.48 «Шунтирующие реакторы», 2016);

№ 659 «Тепловое моделирование трансформаторов» (РГ А2.38 «Тепловое моделирование трансформаторов», 2016);

№ 673 «Руководство по транспортировке трансформаторов» (РГ А2.42 «Транспортирование трансформаторов», 2016).

Краткие сведения о 46-й сессии СИГРЭ. Для 46-й сессии СИГРЭ по ИК А2 «Трансформаторы» СИГРЭ были утверждены следующие предпочтительные темы (ПТ).

ПТ1 «Достижения в диагностике и мониторинге трансформаторов» (принято 16 докладов):

инновационная практика интерпретации данных и оценки состояния: прогнозы, практические примеры и истории успешной оценки состояния;

использование информации из диагностики, мониторинга, обслуживания и эксплуатации для стратегического управления парком трансформаторов;

технические характеристики, интеграция и управление системами мониторинга для обеспечения эффективного использования данных.

ПТ2 «Трансформаторное оборудование и его комплектующие для сетей сверх- и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока» (принято 11 докладов, из них 1 доклад был отозван):

технические характеристики, конструкция, материалы, требования и средства для производства и испытаний;

ограничения при транспортировке, установка, ввод в эксплуатацию, надежность, эксплуатация и обслуживание;

шунтирующие реакторы.

ПТ3 «Обмотки трансформаторов» (принято 11 докладов):

конструкция, производственные процессы, применение и характеристики различных типов обмоток и материалов, опыт с новыми изоляционными материалами;

опыт и оценка механических (силы при КЗ и вибрации при нагрузке), тепловых и изоляционных характеристик и эффективности обмоток;

влияние старения и практики обслуживания на характеристики обмоток.

Полный список названий докладов приведен в Приложении.

В рамках 46-й сессии по направлению ИК А2 «Трансформаторы» состоялась постер-сессия, дискуссионное заседание комитета, заседания комитета и рабочих групп, а также техническая выставка.

На 46-ю сессию СИГРЭ от Российского национального комитета (РНК) СИГРЭ поступили и были приняты три доклада:

А2-115. Волков А.Ю., Дробышевский А.А., Ларин В.С., Матвеев Д.А., Дробышевский С.А. Интерпретация результатов диагностики силовых трансформаторов методом анализа частотных характеристик.

А2-211. Антонов А.В., Косолапов И.А., Горюшин Ю.А., Булькин П.Ю., Кубарев Л.П., Чуприков В.С., Мауро Перна. Быстродействующий шунтирующий реактор с тиристорным управлением. Опыт разработки и применения.

А2-311. Ларин В.С., Матвеев Д.А. Влияние формы грозового импульса на электрические воздействия на изоляцию обмоток силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов.

Доклады А2-115 и А2-311 также были представлены соавторами на постер-сессии ИК А2. Кроме того, специалисты РФ приняли участие в дискуссионном заседании ИК А2, где были представлены сообщения «Паттерны отклонения собственных частот – критерий объективной интерпретации результатов анализа частотных характеристик» (ПТ1, вопрос 1.8, Ларин В.С.) и «Требования к форме импульса при испытаниях трансформаторов» (ПТ3, вопрос 3.7, Матвеев Д.А.).

С программой, тематикой заявленных докладов и другой информацией о 46-й сессии СИГРЭ можно ознакомиться на официальном сайте: <http://www.cigre.org/Events/Session/Session-2016>

Инновационные исследования и решения, представленные на 46-й сессии СИГРЭ. По итогам обобщения материалов и сообщений, представленных на 46-й сессии СИГРЭ по трансформаторному направлению, можно отметить следующие ключевые инновационные исследования и решения.

ПТ1 «Достижения в диагностике и мониторинге трансформаторов»

1. Развитие и повышение эффективности систем мониторинга для раннего обнаружения развивающихся дефектов:

Применение систем мониторинга для управления активами энергокомпаний (доклады А2-101, Бразилия; А2-114, Румыния);

Совершенствование систем мониторинга (А2-103, Австралия; А2-113, Украина);

Оценка состояния с помощью онлайн-мониторинга интенсивности частичных разрядов электрическим методом (А2-107, Испания);

Динамические процессы газообразования в масле при повреждениях и их регистрация датчиками онлайн-систем анализа растворенных газов (А2-116, Германия).

2. Развитие методов диагностики трансформаторного оборудования, в том числе его комплектующих:

Виброакустический метод онлайн-диагностики состояния РПН, основанный на анализе сигналов во временной и частотной области (А2-104, Канада, Германия);

Развитие электромагнитного метода регистрации частичных разрядов в диапазоне ультравысоких частот (А2-105, Корея; А2-111, Германия, Франция);

Развитие метода анализа частотных характеристик для оценки механического состояния обмоток трансформаторов (А2-115, Россия).

3. Развитие методов оценки состояния трансформаторов:

Применение индексов для технического обслуживания, ориентированного на обеспечение высокой надежности работы оборудования (А2-110, Швейцария, США, Швеция, Канада);

Применение химических маркеров старения твердой изоляции (фурфурол, метанол) для оценки ее состояния и возможности продления срока службы трансформаторов (А2-109, Великобритания, Швейцария; А2-112, Франция).

ПТ2 «Трансформаторное оборудование и его комплектующие для сетей сверх- и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока».

Испытания и подтверждение стойкости при КЗ силовых трансформаторов в свете укрупнения и роста мощности КЗ сетей (А2-206, Испания, Франция).

ПТ3 «Обмотки трансформаторов».

1. Применение натуральных эфиров:

Ускоренное ресурсное старение трансформаторов с изоляционной системой на основе нагревостойкой бумаги и натурального эфира (А2-301, США);

Вопросы проектирования силового трансформатора 154 кВ с заполнением натуральным эфиром (А2-305, Корея).

2. Повышение класса напряжения сухих трансформаторов:

Исследования и разработка прототипа сухого трансформатора напряжением 123 кВ мощностью 5 МВА для сетей высокого напряжения (А2-307, Швейцария, Испания);

Испытания на стойкость при коротких замыканиях сухого трансформатора напряжением 66 кВ мощностью 34 МВА (А2-308, Швейцария, Испания, Италия).

Новые разработки и пилотные проекты, представленные на 46-й сессии СИГРЭ

1. Масляные трансформаторы для ЛЭП 1000 кВ (доклад А2-210, Китай). Представлен опыт китайских специалистов в области проектирования, из-

готовления, испытаний, транспортировки, установки на месте эксплуатации и приемочных испытаний, а также эксплуатации автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и блочных трансформаторов ультравысокого напряжения (УВН) переменного тока 1000 кВ. Приведено краткое описание пилотного проекта электропередачи УВН JinDongNan-JingMen (введена в эксплуатацию 06.01.2009), электропередачи УВН HuaiNan-ZheBei-ShangHai с двухцепной воздушной линией 1000 кВ (введена в эксплуатацию 25.09.2013), а также электропередачи УВН ZheBei-FuZhou (введена в эксплуатацию 26.12.2014).

Дано краткое описание конструкции однофазных автотрансформаторов мощностью 1000 МВА, блочных трансформаторов мощностью 400 МВА и шунтирующих реакторов мощностью 160–320 МВар.

Автотрансформаторы ODFPS-1000000/1000/500 (производства компаний TBEA, Baoding Tianwei, Shandong Power Equipment Co; установлены на ЛЭП JinDongNan-JingMen и HuaiNan-ZheBei-ShangHai); основные параметры: номинальное напряжение стороны ВН / СН / НН – $1050/\sqrt{3}$ / $525/\sqrt{3}$ / 110 кВ;

мощность обмотки последовательной / общей / низшего напряжения – 1000 / 1000 / 334 МВА; напряжение короткого замыкания ВН-СН – 18%;

уровень изоляции последовательной обмотки: ПГИ 2250, СГИ 2400, КИ 1800, ОПЧ 1100 кВ;

регулирование напряжения ПБВ или РПН в нейтрали ВН с помощью вольтодобавочного трансформатора, $\pm 4 \times 1,25\%$ или $\pm 10 \times 0,5\%$;

Генераторный трансформатор DFP-400000/1000 (производства компании TBEA, установлен на угольной электростанции Anhui Pingwei):

номинальное напряжение стороны ВН / НН – $1100/\sqrt{3}$ / 27 кВ;

номинальная мощность 400 МВА;

напряжение короткого замыкания – 18%;

уровень изоляции обмотки ВН: ПГИ 2250, СГИ 2400, КИ 1800, ОПЧ 1100 кВ;

регулирование напряжения ПБВ в нейтрали ВН с помощью вольтодобавочного трансформатора, $-4 \times 1,25\%$... $+0\%$;

вид системы охлаждения – НДЦ (ODAF);

Шунтирующие реакторы BKD-160000/1000, BKDF-200000/1000, BKDF-240000/1000 и BKD-320000/1000 (производство компаний TBEA, XDХВ; установлены на ЛЭП JinDongNan—JingMen и HuaiNan-ZheBei-ShangHai):

номинальное напряжение – $1100/\sqrt{3}$ кВ;

номинальная мощность — 160, 200, 240 и 320 МВар;

уровень изоляции линейного вывода: ПГИ 2250, СГИ 2400, КИ 1800, ОПЧ 1100 кВ.

Приведены ключевые вопросы, которые потребовали решения при создании трансформаторного оборудования УВН. Отмечен опыт создания прототипа однофазного управляемого шунтирующего реактора УВН трансформаторного типа мощностью 200 МВар. Рассмотрено дальнейшее развитие направления трансформаторов УВН — создание сверхкрупных трансформаторов для сборки на месте установки и успешном опыте разработки автотрансформатора мощностью 1500 МВА.

2. Трансформаторы 400 кВ с применением синтетических эфиров (Германия—Австрия). Рассмотрены аспекты применения натуральных эфиров в силовых трансформаторах, в том числе на напряжение 420 кВ. Отмечено, что в период с 2013 по 2015 гг. с применением натуральных компанией Siemens были изготовлены и успешно испытаны автотрансформаторы мощностью 400 МВА напряжением $405 \pm 11\%$ / 115 / 22 кВ и мощностью 240 МВА напряжением 400 / $132 + 10 \times 1,5\%$ / $-4 \times 1,25\%$ / 13 кВ, а также блочный трансформатор мощностью 120 МВА напряжением $433/\sqrt{3}$ / 16,8 / 16,8 кВ, имеющие следующие основные характеристики:

Автотрансформатор 400/132/13 кВ (установлен на подстанции в пригороде Лондона (Великобритания), где предъявлялись повышенные требования к взрыво- и пожаробезопасности, а также уровню звука):

номинальное напряжение стороны ВН / СН / НН — 400 / 132 / 13 кВ;

номинальная мощность — 240 МВА (трехфазное исполнение);

регулирование напряжения РПН на стороне СН, $-4 \times 1,25\%$... $+10 \times 1,5\%$;

масса жидкого диэлектрика — около 70 т;

особенности: низкий уровень шума, звукопоглощающие панели на баке; система утилизации тепла (мощность потерь трех трансформаторов ~1 МВт), используемая для обогрева близлежащей школы.

Генераторный трансформатор 400 кВ (установлен на гидроэлектростанции в Швеции):

номинальное напряжение обмоток ВН / НН1 / НН2 — $420/\sqrt{3}$ / 16,8/16,8 кВ;

номинальная мощность обмоток ВН / НН1 / НН2 — 120 / 60 / 60 МВА (однофазное исполнение);

масса жидкого диэлектрика — около 35 т.

Приведены краткие сведения в части опыта эксплуатации первого автотрансформатора 420 кВ

и затронуты вопросы интерпретации анализа растворенных газов применительно к натуральным эфирам.

3. Управляемые шунтирующие реакторы трансформаторного типа.

Специалисты ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», Nidesc ASI S.p.A, ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «Айдис групп», ООО «РУСЭЛПРОМ-Трансформатор» и ЗАО «Нидек АСИ ВЭИ» представили разработанные быстродействующие шунтирующие реакторы с тиристорным управлением. Приведено описание принципа работы и конструкции шунтирующих реакторов трехфазной мощностью 50 МВар напряжением 220 кВ и трехфазной мощностью 180 МВар напряжением 500 кВ. Отмечены основные преимущества реакторов данного типа, а также дополнительные функции, которые могут быть обеспечены при его использовании, такие как снижение времени однофазного автоматического повторного включения (АПВ), ограничение коммутационных перенапряжений и снижение аперiodической составляющей тока включения реакторов.

Дискуссионное заседание ИК А2 «Трансформаторы» СИГРЭ.

26 августа 2016 г. в рамках 46-й сессии СИГРЭ состоялось Дискуссионное заседание ИК А2. Согласно формату проведения сессий СИГРЭ по каждой предпочтительной теме комитетом А2 были утверждены составители «специальных отчетов», которые обобщили принятые к сессии доклады и сформулировали вопросы для дискуссионного обсуждения. Составителями «специальных отчетов» являлись: ПТ1 — Gilson Bastos, (Furnas, Бразилия); ПТ2 — Christoph Krause (Weidmann, Швейцария); ПТ3 — Christoph Ploetner, (ABB, Германия). В рамках дискуссионного заседания состоялось обсуждение сформулированных вопросов.

По трем предпочтительным темам приняли участие 52 докладчика с заранее подготовленными короткими сообщениями в форме презентаций. Кроме того, желающие могли выступить с коротким устным сообщением и принять участие в обсуждении представленных докладов.

В самом начале дискуссионного заседания был заслушан доклад молодого специалиста ShengJi Tee (Малайзия; студент Университета Манчестера, Великобритания) «Оценка старения трансформаторов: анализ баз данных испытаний проб масла».

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

ПТ1 — *Patric Picher* (IREQ, Канада), «Достижения в диагностике и мониторинге силовых трансформаторов»;

ПТ2 — *B.N. De Bhowmick* (Power Grid Corporation of India Ltd, Индия), «Вызовы для трансформаторов и реакторов СВН и УВН в электрических сетях Индии»;

ПТ3 — *Peter Werle* (Schering Institute, Leibniz Universität, Германия), «Обмотки трансформаторов».

Далее представлено краткое содержание наиболее обсуждаемых вопросов, вынесенных для обсуждения на дискуссионном заседании.

ПТ1 — Достижения в диагностике и мониторинге трансформаторов:

оценка состояния трансформаторов по совокупности данных из эксплуатации, диагностики и мониторинга;

применение маркеров старения твердой изоляции;

применение систем мониторинга и газоанализаторов;

применение технологий управления надежностью RCM и FMEA;

развитие диагностических методов (УВЧ-метод для локализации ЧР, FRA и др.).

ПТ2 — Трансформаторное оборудование и его комплектующие для сетей сверх- и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока:

применение, электрические и тепловые характеристики жидкостей, альтернативных трансформаторному маслу;

использование макетов и прототипов трансформаторов для подтверждения стойкости при КЗ;

длительная электрическая прочность продольной изоляции обмоток трансформаторов при воздействии высокочастотных перенапряжений.

ПТ3 — Обмотки трансформаторов:

применение сухих трансформаторов высокого напряжения (свыше 35кВ): экономика, энергоэффективность, стойкость при КЗ;

интерпретация результатов ХАРГ, выделение водорода и ацетилена при искрениях электродов с плавающим потенциалом;

применение эфиров: допустимость высокого влагосодержания в эфирах, отличия трансформаторного масла и эфиров.

Очередные мероприятия с участием ИК А2 «Трансформаторы» СИГРЭ. Следующий коллоквиум комитета А2 «Трансформаторы» состоится в период с 1 по 6 октября 2017 г. в г. Краков (Польша). Для коллоквиума утверждены следующие предпочтительные темы:

ПТ1. Уровни звука и вибраций силовых трансформаторов и реакторов:

методы расчета и оценки уровней звука и вибраций, сравнение с измерениями (точность, повторяемость);

моделирование для определения уровней звука и вибраций, в особенности для новых или усовершенствованных конструкций;

решения по снижению уровня звука.

ПТ2. Диагностика и надежность компонентов: надежность и уровень повреждаемости компонентов для трансформаторов и реакторов;

влияние компонентов на общую надежность трансформаторов и реакторов;

диагностика компонентов трансформаторов и реакторов, включая идентификацию начальных повреждений.

ПТ3. Инновационные решения для транспортировки и установки:

опыт применения мобильных подстанций и трансформаторов, включая «странствующие» трансформаторы;

опыт сборки трансформаторов на месте установки (разборка на заводе, повторная сборка на месте установки, испытания после установки);

опыт применения инновационных решений для преодоления ограничений по транспортным размерам и массе.

Основные сроки: подача тезисов — до 31.03.2017; уведомление о принятии — до 30.04.2017; подача докладов — до 30.06.2017.

47-я сессия СИГРЭ запланирована с 26 по 31 августа 2018 г. в г. Париж (Франция). Предпочтительные темы:

ПТ1. Тепловые характеристики силовых трансформаторов:

определение превышений температур наиболее нагретых точек с помощью моделирования и непосредственного измерения в различных режимах охлаждения;

определение превышений температур магнитопровода, бака и других частей с помощью моделирования и непосредственного измерения;

влияние требований к перегрузке на выбор конструкции и составных частей.

ПТ2. Достижения в диагностике и мониторинге:

высокочастотные модели силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов, включая сопоставление с измерениями;

интерпретация и результаты моделирования частотных характеристик;

опыт применения различных методов измерений частичных разрядов в условиях заводских испытаний и эксплуатации.

ПТ3. Приемочные испытания на месте установки:

требуемые приемочные испытания силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов;

дополнительные приемочные испытания силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов, определяемые их спецификой;

опытная эксплуатация трансформаторов и реакторов, включая требования к дополнительному наблюдению и мониторингу.

Основные сроки: подача тезисов в РНК СИГРЭ – до 31.05.2017; отбор и подача тезисов от РНК СИГРЭ в центральный офис – до 30.06.2017; уведомление о принятии от центрального офиса – до 12.10.2017; подача докладов в центральный офис – до 15.02.2018.

Коллоквиум комитета А2 в 2019 г. От национального комитета СИГРЭ Индии поступило предложение провести в 2019 г. colloquium комитета А2 «Трансформаторы» совместно с комитетами В2 «Воздушные линии» и D1 «Материалы и новые методы испытаний» в г. Нью-Дели (Индия) ориентировочно во второй половине ноября 2019 г.

Коллоквиум комитета А2 в 2021 г. От национального комитета СИГРЭ Румынии поступило предложение провести в 2021 г. colloquium комитета А2 «Трансформаторы» совместно с комитетом В3 «Подстанции» (будет уточнено позднее) в г. Бухарест (Румыния).

Приложение. Список докладов ИК А2 «Трансформаторы» на 46-й сессии СИГРЭ. Предпочтительная тема №1 «Достижения в диагностике и мониторинге трансформаторов»

A2-101. L.F. Queiroz, J.M. Araujo, P.V. Almeida, R.J.C. Padilha, D.O. Neto, C.C. Santos, L.G. Lima, A. Altmann, L.C.F. Santos (Бразилия). *Система удаленного мониторинга и анализ технического состояния оборудования для управления активами (Remote Monitoring System and Analysis of Equipment Performance for Asset Management)².*

A2-102. Т. Kido (Япония). *Факторы, определяющие срок службы трансформаторов, и совершенствование методов определения износа, связанного со старением (Determinants of Transformer Life and Sophistication of Deterioration Diagnosis Corresponding to Aging).*

A2-103. Т. Saha, D. Martin, Н. Ма, С. Ekanayake, G. Russell, G. Buckley, Т. Gray, G. Caldwell (Австралия). *Интеллектуальная система мониторинга силовых трансформаторов: развитие проекта (Smart Monitoring of Power Transformers: Project Update).*

A2-104. М. Foata, R. Beauchemin (Канада), К. Viereck, А. Saveliev, Н. Hochmuth (Германия). *Новый метод онлайн виброакустической диагностики устройств РПН – первые результаты и практический опыт (New Online Vibro-Acoustic Tap-Changer*

Diagnostic Method – First Results and Practical Experience).

A2-105. W.H Choi, S.W Hwang-Bo, C.S Park, J.S Park (Корея). *Шумоподавление УВЧ сигналов на основе метода RBPF и локализация источников ЧР на основе метода FDTD в силовых трансформаторах (Denoising of UHF Signals based on RBPF and the Localization of PD Sources using FDTD Method in Power Transformer).*

A2-106. J.R. Jung, H.D Seo, S.J Kim, S.W Kim (Корея). *Передовые методы диагностики силовых трансформаторов с помощью анализа растворенных газов с оценкой мест повреждений на основе базы данных из эксплуатации (Advanced Dissolved Gas Analysis (DGA) Diagnostic Methods with Estimation of Fault Location for Power Transformer Based on Field Database).*

A2-107. Н. Gago, F. Garnacho, М.А. Sбnchez-Uran, J. Ortego, I. Uliarte (Испания). *Оценка состояния силовых трансформаторов в эксплуатации с помощью мониторинга частичных разрядов (Condition Assessment of Power Transformers in service using PD Monitoring).*

A2-108. S. Ryder, Н. Ding, R. Heywood, P. Jarman, S. White (Великобритания). *Диагностика серьезных проблем в трансформаторах с использованием мониторинга состояния (Diagnosing difficult transformer problems using online condition monitoring).*

A2-109. Z. Wang, Q. Liu, P. Jarman, G. Wilson, R. Hooton, D. Walker, P. Dyer (Великобритания), Ch. Krause (Швейцария), P.W. Smith, А. Gyore, R. Martin, P. Mavrommatis, J. Noakhes (Великобритания). *Мониторинг состояния и диагностическая оценка трансформаторов (Condition monitoring and diagnostic assessment of transformers).*

A2-110. Р. Lorin (Швейцария), L. Cheim (США), L. Pettersson, К. Gustafsson (Швеция), Е. teNyenhuis (Канада). *Индекс состояния трансформатора и вероятность отказа на основе анализа видов и последствий отказов при выполнении программ технического обслуживания, ориентированного на обеспечение надёжности (Transformer Health Index and Probability of Failure Based on Failure Mode Effects Analysis (FMEA) of a Reliability Centered Maintenance (RCM) Program).*

A2-111. S. Coenen, М. Siegel (Германия), G. Luna (Франция), S. Tenbohlen (Германия). *Параметры, влияющие на измерения частичных разрядов, и их влияние на диагностику, мониторинг и приемочные испытания силовых трансформаторов (Parameters influencing Partial Discharge Measurements and their Impact on Diagnosis, Monitoring and Acceptance Tests of Power Transformers).*

² Здесь и далее названия докладов даны в переводе автора статьи.

A2-112. Ml. Coulibaly, C. Perrier, M. Marugana (Франция). *Определение метанола как маркера старения целлюлозы в минеральном масле и натуральных эфирах (Assessment of Methanol as cellulose aging marker in mineral and ester oils).*

A2-113. L. Kontorovych, A. Bass (Украина). *Экспертная система мониторинга, диагностики и управления трансформаторов (ESMDU_TRANS) (Expert System of Monitoring, Diagnostics and Control for Transformers (ESMDU_TRANS)).*

A2-114. C. Moldoveanu, M. Florea, A. Rusu, M. Budan, I. Hategan, P. Stroica, V. Brezoianu, V. Aurelian, M. Avramescu, I. Ionita, S. Szlivka (Румыния). *Развитие экспертных систем онлайн мониторинга и диагностики силовых трансформаторов – опыт Румынии (Improvements of Large Power Transformer Condition Real Time Monitoring and Diagnosis Expert System – a Romanian Experience).*

A2-115. А.Ю. Волков, А.А. Дробышевский, В.С. Ларин, Д.А. Матвеев, С.А. Дробышевский (Россия). *Интерпретация результатов диагностики силовых трансформаторов при использовании метода частотных характеристик (Interpretation of Results of Diagnostics of Power Transformers by Using the Frequency Response Analysis).*

A2-116. S. Tenbohlen, I. Hцhlein, M. Lukas, A. Mцller, K. Schrцder, U. Sundermann (Германия). *Динамические характеристики образующихся при повреждениях газов и онлайн датчиков газов (Dynamic Behaviour of Fault Gases and Online Gas Sensors).*

Предпочтительная тема №2 «Трансформаторное оборудование и его комплектующие для сетей сверх- и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока»

A2-201. A. Vita, J. Montanha, E. Oliveira (Бразилия). *Evaluation Method of VFT Метод оценки воздействий при быстрых переходных перенапряжениях для проектирования обмоток силовых трансформаторов – опыт взаимодействия между изготовителем и потребителем (Stresses for Power Transformer Winding Design - Interaction Experience Between Manufacturer and Utility).*

A2-202. R. Girgis, J. Verner, G. Hoffman (США). *Подтверждение стойкости силового трансформатора к воздействию геомагнитных возмущений (Establishing Power Transformers Capability while under Geomagnetic Disturbances).*

A2-203. T. Srivastava, N.S. Mitra, V. Moorkath (Индия). *Влияние процесса и качества изготовления на уровень вибраций трехфазного шунтирующего реактора 420 кВ – практический пример (3 Phase 420 kV Shunt Reactor manufacturing and quality sensitivity for vibration control – A case study).*

A2-204 – отозван.

A2-205. K.H. Lee, C.J. Park, C.H. Yang, W.H. Choi (Корея). *Предложения по допустимому уровню вибраций силовых трансформаторов и их компонентов (The proposal of permissible vibration level for power transformer and its accessories).*

A2-206. M. Cuesto, J. Porrero, M. Mucoz, J. Samara (Испания), P. Hurlet, A. Tanguy, M. Ryadi (Франция). *Концепция проектирования в части стойкости при КЗ и подтверждение стойкости при КЗ однофазного трансформатора (Short Circuit Design Conception and Validation of a 570 MVA, single-phase GSU-Transformer by SC-Withstand Tests on a Mock-up Unit).*

A2-207. L. Kirchner, D. Dohnal, A. Kramer, C. Koczula, M. Spath, U. Sundermann (Германия). *Новые конструкции регулируемых шунтирующих реакторов с устройствами РПН для широкого диапазона регулирования (Advanced designs of variable shunt reactors with on-load tap-changers for wider regulation range).*

A2-208. R. Fritsche (Германия), G.J. Pukel (Австрия). *Трансформаторы с использованием альтернативных жидкостей – опыт с уровнем напряжения 420 кВ (Large Power Transformers using Alternative Liquids - Experience in the range of 420 kV transmission level).*

A2-209. M. Ryadi, A. Tanguy, D. Altieri, L. Anagonou (Франция), G. Fleck, S. Ausserhofer (Австрия). *Длительные испытания на нагрев магнитной системы трансформатора в режиме холостого хода (No-load long duration test experience to test the thermal performance of the transformer magnetic core).*

A2-210. X.C. Han, X.N.Wang, N.H. Wang, B. Li, Z.R. Wu, C.L.Mi, X.L. Zhang, J.T. Zhong, S.B. Sun, S.J. Wang (Китай). *Исследования и применение трансформаторов УВН переменного тока (Research and Application of UHV AC Transformers and Shunt Reactors).*

A2-211. А.В. Антонов, И.А. Косолапов (Россия), М. Перна (Италия), Ю.А. Горюшин, П.Ю. Булыкин, Л.П. Кубарев, В.С. Чуприков (Россия). *Быстродействующий шунтирующий реактор с тиристорным управлением. Опыт разработки и применения (Fast Response Thyristor Controlled Shunt Reactor. Development and Application Experience).*

Предпочтительная тема №3 «Обмотки трансформаторов»

A2-301. K.J. Rapp, A.W. Lemm, A. Trujillo, J. Luksich (США). *Ускоренное старение трансформаторов с изоляционной системой на основе нагревостойкой бумаги и натурального эфира (Accelerated Transformer Aging using Upgraded Kraft and Natural Ester Insulation System).*

A2-302. V. Davydov (Австралия). *Оценка диэлектрических характеристик обмоток после повреждения трансформатора с «возрастом» 38 лет, оснащенного системой онлайн-мониторинга содержания влаги (Post-Failure Evaluation of Dielectric Performance of Winding of 38-y.o. Transformer Enhanced by On-Line Moisture Monitoring).*

A2-303. R. Malewski, M. Szrot, J. Plowucha, R. Kubicki (Польша). *Замена устройства РПН на месте установки, сушка изоляции обмоток, испытание индуктированным напряжением с измерением интенсивности частичных разрядов трансформатора 250 МВА 400/110 кВ со сроком службы 40 лет (On-site replacement of OLTC, drying of winding insulation, induced voltage test with PD measurement of 250 MVA, 400/110 kV, 40 years old transformer).*

A2-304. R.P.P. Smeets (Нидерланды). *Опыт и инновации в испытаниях силовых трансформаторов на стойкость при коротких замыканиях (Experiences and innovations in transformer short-circuit current withstand testing).*

A2-305. B. H. Bae, S. E. Kim, S. W. Park, Y. G. Kim, J. Choi (Республика Корея). *Проектирование силового трансформатора 154 кВ с натуральным эфиром (Design of 154 kV power transformer using natural ester oil).*

A2-306. K. H. Lee, J. H. Song, B. Y Seok, H. M. Kim, I. R. Choi (Республика Корея). *Изучение процессов образования горючих газов, вызванных разрядами в малых промежутках внутри электродов с плавающим потенциалом при воздействии наведенного напряжения в силовых трансформаторах (A Study on Inflammable Gas Generation according to Small Gap Discharge within Floating Electrodes by Induced Voltage in Power Transformer).*

A2-307. B. Cranganu-Cretu (Швейцария), R. Murillo, M. Berrogan, M. Cuesto, S. Roy, L. Sánchez (Испания). *Сухой трансформатор для распределительных сетей высокого напряжения: сухой силовой трансформатор класса напряжения 123 и 145 кВ (Dry-type subtransmission transformer: dry power transformers for the 123 kV and 145 kV voltage class).*

A2-308. B. Cranganu-Cretu (Швейцария), R. Murillo, P. Gonzblez, M. Berrogan, A. Nogués, J. Maorad, M. Cuesto, F. Rojo, T. Gonzblez (Испания), F. Mauri, U. Vercellotti (Италия). *Испытания на стойкость при коротких замыканиях сухого трансформатора напряжением 66 кВ мощностью 34 МВА (Short-circuit testing of 66 kV / 34 MVA dry-type power transformer).*

A2-309. S. Tenbohlen, C. Breuer (Германия), F. Devaux, R. Lebreton (Франция), N. Schmidt, T. Stirl (Германия). *Оценка тепловых характеристик обмо-*

ток трансформаторов с помощью численного моделирования и измерений (Evaluation of the Thermal Performance of Transformer Windings by Numerical Investigations and Measurements).

A2-310. H.M.R. Campelo, J.P.V. Baltazar, C.M.M. Carvalho, R.C. Lopes, R.T. Oliveira, C.M. Fonte, M.M. Dias, J.C.V Lopes (Португалия). *Новая модель на основе термогидравлической сети для обмоток броневых трансформаторов. Сравнение результатов с CFD и экспериментальными измерениями (Novel Thermal-Hydraulic Network Model for Shell-Type Windings. Comparison with CFD and Experiments).*

A2-311. В.С. Ларин, Д.А. Матвеев (Россия). *Влияние формы грозового импульса на электрические воздействия на изоляцию обмоток силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов (Influence of the Lightning Impulse Shape on the Electrical Stresses on Windings Insulation of Power Transformers and Shunt Reactors).*

Выводы. По итогам 46-й сессии СИГРЭ можно отметить следующие ключевые направления развития и наиболее обсуждаемые вопросы в области трансформаторного оборудования:

1. *Передовая практика управления ресурсом трансформаторного оборудования:*

применение индексов состояния и ранжирование трансформаторов для принятия решений о продлении эксплуатации или замене оборудования;

применение химических маркеров старения твердой изоляции (фурфурол, метанол) для оценки ее состояния и возможности продления срока службы трансформаторов;

послеаварийный анализ трансформаторов, исследование состояния изоляции при утилизации выведенных из эксплуатации трансформаторов для улучшения оценок состояния и остаточного ресурса.

2. *Повышение надежности трансформаторного оборудования:*

развитие и повышение эффективности систем мониторинга для раннего обнаружения развивающихся дефектов;

развитие методов диагностики трансформаторного оборудования, в том числе его компонентов;

испытания на стойкость при КЗ силовых трансформаторов в свете укрупнения сетей и роста мощности КЗ сетей.

3. *Применение новых видов трансформаторного оборудования:*

применение масштабных макетов трансформаторов для подтверждения стойкости при КЗ силовых трансформаторов большой мощности;

применение регулируемых и управляемых шунтирующих реакторов.

4. *Применение новых материалов для повышения экологической чистоты, взрыво- и пожаробезопасности, энергоэффективности:*

применение жидких диэлектриков, альтернативных традиционному трансформаторному маслу; повышение класса напряжения сухих трансформаторов до 110 кВ включительно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Rajotte C.** Presentation of CIGRE activities on Power Transformers: <http://a2.cigre.org/what-is-SC-A2>
2. **Han X.C., Wang X.N., Wang N.H., Li B., Wu Z.R., Mi C.L., Zhang X.L., Zhong J.T., Sun S.B., Wang S.J.** Research and Application of UHV AC Transformers and Shunt Reactors. — 46th CIGRE Session, report A2-210, Paris (France), 21—26 August 2016.
3. **Fritsche R., Pukel G.J.** Large Power Transformers using Alternative Liquids — Experience in the range of 420 kV transmission

level. — 46th CIGRE Session, report A2-208, Paris (France), 21—26 August 2016.

4. **Antonov A., Kosolapov I., Peshkov M., Perna M., Goryushin Y., Bulykin P., Kubarev L., Chuprikov V.** Fast Response Thyristor Controlled Shunt Reactor. Development and Application Experience. — 46th CIGRE Session, report A2-211, Paris (France), 21—26 August 2016.

А в т о р: Ларин Василий Серафимович окончил Институт электроэнергетики МЭИ (ТУ) в 2004 г. В 2007 г. защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка эффективного метода расчета внутренней изоляции силовых трансформаторов». Начальник отдела трансформаторов ФГУП ВЭИ. Регулярный член Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы» СИГРЭ и представитель Российского национального комитета СИГРЭ в комитете А2 СИГРЭ.

* * *

ЧИТАТЕЛЯМ, ПОДПИСЧИКАМ, РЕКЛАМОДАТЕЛЯМ ЖУРНАЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»

Подписка в России и странах СНГ принимается в отделениях связи и в подписных агентствах.

Полные тексты статей в формате .pdf размещены на сайте Российской универсальной научной электронной библиотеки (РУНЭБ): www.elibrary.ru

Для желающих представить в журнал статью сообщаем, что правила подготовки рукописей публикуются в №№ 6 и 12 каждого года и на сайте журнала.

Реклама в черно-белом изображении может быть размещена на страницах журнала и на его обложке, а также в виде вкладки.

Возможно размещение рекламы в цветном изображении.

Стоимость оплаты рекламных статей — по договоренности.

Номер выходит в конце каждого месяца.

Адрес для переписки: 111250 Москва, Красноказарменная ул., 14, МЭИ,
редакция журнала «Электричество»
тел./факс: (495)362-7485
E-mail: etr1880@mail.ru