



**Ассоциация «Российский национальный комитет Международного Совета по
большим электрическим системам высокого напряжения» (РНК СИГРЭ)**

117630, г. Москва, улица Академика Челомея, дом 5А
ИНН/КПП 7704266666 / 772801001. E-mail: cigre@cigre.ru

ОТЧЕТ

об участии в работе 47-й Генеральной сессии Международного Совета по Большим
Электрическим Системам (СИГРЭ) и заседаниях Исследовательского Комитета
А2 «Трансформаторы»
в г. Париж, Франция, с 26 по 31 августа 2018 года

CIGRE SESSION
August 26-31, 2018
Paris - Palais des Congrès
Porte Maillot - 75017 Paris

47

Отчет подготовил:

Ларин Василий Серафимович
к.т.н., регулярный член и представитель РНК
СИГРЭ в исследовательском комитете
А2 «Трансформаторы» СИГРЭ,
начальник отдела трансформаторов
ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им.
академ. Е. И. Забабахина»

Дата составления отчета:

ноябрь 2018

Москва 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
2. Доклады 47-й сессии СИГРЭ	4
2.1. ПТ1 «Тепловые характеристики силовых трансформаторов»	4
2.2. ПТ2 «Достижения в диагностике и моделировании».....	8
2.3. ПТ3 «Приемочные испытания на месте установки»	12
3. Постер-сессия комитета А2 «Трансформаторы».....	14
4. Дискуссионное заседание комитета А2 «Трансформаторы»	15
5. Заседание Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы»	16
6. Заседание консультационной группы AG2.3.....	21
7. Техническая выставка	21
Заключение.....	23

1. Введение

В период с 26 по 31 августа 2018 года в г. Париж, Франция, состоялась 47-я Генеральная сессия Международного Совета по Большим Электрическим Системам (СИГРЭ).

Официальный сайт: <https://www.cigre.org/GB/events/cigre-session-2018>

В рамках 47-й сессии СИГРЭ по тематике Исследовательского комитета (ИК) А2 «Трансформаторы» состоялись следующие мероприятия:

- закрытое заседание ИК А2 «Трансформаторы» (28.08.2018);
- постер-сессия комитета ИК А2 «Трансформаторы» (29.08.2018);
- дискуссионное заседание ИК А2 «Трансформаторы» (30.08.2018);
- заседания консультационных и рабочих групп ИК А2 «Трансформаторы» (26-27.08.2018).

Всего в рамках комитета А2 на 47-й сессии СИГРЭ было принято **38 докладов** (один из которых позднее был отозван) по следующим предпочтительным темам (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 по перегрузочной способности 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 в эксплуатации.

ПТ3 – Приемочные испытания на месте установки (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.

Распределение докладов по количеству среди предпочтительных тем показано в таблице 1.1. Большая часть этих докладов была представлена на постер-сессии, где имелась возможность непосредственного общения и дискуссии с авторами докладов.

Таблица 1.1 – Распределение докладов по предпочтительным темам

Предпочтительная тема	ПТ1	ПТ2	ПТ3	ПТ1+ПТ2+ПТ3
Доклады постер-сессии	17 (44,7%)	15 (39,5%)	6 (15,8%)	38 (100%)

Материалы 47-й сессии СИГРЭ доступны для скачивания для зарегистрированных участников по следующей ссылке:

<http://sessionpapers2018.cigre.org/Site/documents/home.asp>

2. Доклады 47-й сессии СИГРЭ

2.1. ПТ1 «Тепловые характеристики силовых трансформаторов»

A2-101. С. Cotas, N.D. Gonçalves, R.J. Santos, M.M. Dias, J.C.B. 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.

В докладе представлена динамическая тепловая модель обмоток трансформаторов со стержневой магнитной системой, основанная на методе термогидравлической сети. Для обоснования принятых в ней допущений авторами выполнены расчеты течения масла в охлаждающих каналах обмоток путем трехмерного гидродинамического моделирования. Основная цель разработки данной модели – определение динамической нагрузочной способности силовых трансформаторов.

A2-102. М. А. Quintela, А. С. 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)*.

В докладе представлены результаты экспериментов, проведенных с целью проверки и совершенствования разработанной авторами системы расчета нагрева обмоток трансформаторов, использующей в своей основе метод термогидравлической сети. Измерения, проведенные на трехфазном трансформаторе 15 МВА с системой охлаждения НДЦ (принудительная циркуляция воздуха и масла с направленным потоком масла) со стержневой магнитной системой, показали хорошее совпадение расчетов и эксперимента: отличия в скорости потока масла не более 6%, отличия в температуре обмоток менее 3%.

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)*.

В докладе рассмотрены вопросы применения гидродинамического моделирования для подтверждения и совершенствования метода термогидравлической сети для теплового расчета обмоток трансформаторов. Даны рекомендации по проверке тепловых моделей на основе термогидравлической сети.

A2-104. Т. Gradnik, А. 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)*.

Представлены «полевые» результаты непосредственных измерений температур обмоток трансформатора мощностью 300 МВА напряжением 400 кВ, выполненные с помощью 10 установленных в обмотках ВН и НН оптоволоконных температурных датчиков. Представлены результаты сравнения измерений с показаниями традиционных датчиков температуры обмоток (WTI), из которых следует, что показания WTI могут быть

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

выше на 6–10 °С фактической температуры обмоток в зависимости от нагрузки трансформатора. Также приведено сравнение измерений с результатами расчетов по динамической тепловой модели по методике, изложенной в технической брошюре СИГРЭ № 659, и отмечено о возможности использования непосредственного измерения температур обмоток для совершенствования динамических тепловых моделей.

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

В докладе рассмотрены вопросы применения различных упрощений расчетных моделей для обеспечения баланса между затратами на проведение вычислений и точностью вычислений. Представлено сравнение результатов гидродинамического моделирования с использованием трехмерной и двухмерной осесимметричной модели. Отмечается о достаточной для практических расчетов точности расчета тепловых характеристик при использовании двухмерного гидродинамического моделирования и метода термогидравлической сети.

A2-106. P. Jarman, P. Dyer, P. Mavrommatis, X. Zhang, M. Daghray, 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).*

В докладе представлено описание эффекта обратного потока масла в охлаждающих каналах обмоток с направленной циркуляцией охлаждающей жидкости, проиллюстрированного результатами измерений и гидродинамического моделирования. Отмечено, что при больших соотношениях длины и высоты радиального охлаждающего канала между катушками обмотки возможна стагнация потока масла и даже обратный поток масла в отдельных каналах. При определенных условиях увеличение общей скорости потока масла может приводить не к снижению, как того следовало ожидать, а к росту температуры наиболее нагретой точки обмотки. Отношение температуры наиболее нагретой точки обмотки и средней температуры обмотки в значительной степени определяется числом Рейнольдса охлаждающей жидкости: при малых числах Рейнольдса это отношение может быть примерно постоянным, в то время как при больших числах Рейнольдса оно может увеличиваться.

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

В докладе приведены результаты измерений и расчетов локальных перегревов стенок бака трансформатора. Представлен метод экспериментальной оценки мощности потерь по начальной скорости роста температуры отдельных частей бака. Приведены результаты измерений перегревов стенки бака, проведенных на физических моделях, и их сопоставление с результатами трехмерного конечно-элементного моделирования в связанной постановке, включающей расчет электромагнитного и теплового поля.

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).*

В докладе представлены методика и программное обеспечение для расчета перегревов магнитопровода силовых трансформаторов с системой охлаждения ДЦ, проиллюстрированные примером расчета трехфазного генераторного трансформатора 680 МВА. Показано хорошее соответствие (расхождение всего в несколько градусов) результатов расчетов и прямых измерений, выполненных с помощью термодатчиков Pt100 и оптоволоконных датчиков, установленных в ярах магнитопровода.

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).*

В докладе представлены результаты измерений температуры верхних слоев масла и температуры обмоток трансформаторов различными системами прямого и косвенного измерения, включая оптоволоконные датчики, датчики РТ 100 и индикаторы температуры масла и обмоток двух изготовителей. Измерения выполнены на трехобмоточном автотрансформаторе мощностью 225 МВА с напряжениями обмоток 228 / 136,27 / 21,5 кВ в процессе тепловых испытаний по расширенной программе, содержащей несколько циклов со ступенчатым изменением тока обмоток и длительности выдержки тока: $I_{ном}$ в течение 60 мин; $0,6I_{ном}$ в течение 175 мин; $1,2I_{ном}$ в течение 135 мин; $0,3I_{ном}$ в течение 171 мин и $1,5I_{ном}$ в течение 25 мин. По итогам сравнения результатов сделан вывод о предпочтительности использования оптоволоконных датчиков в виду большей точности измерений и возможности наблюдения динамики изменения температуры 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).*

В докладе представлен опыт компании Hydro-Québec в части специальных заводских испытаний трансформаторов на перегрузочную способность. Данное испытание проводят сразу после испытаний на нагрев. Испытание включает несколько циклов изменения нагрузки трансформатора: $1,3I_{ном}$ в течение 24 ч, $0,7I_{ном}$ до стабилизации температуры и затем $1,5I_{ном}$ в течение 3 ч. Критерии успешности испытаний на перегрузочную способность: температура наиболее нагретых точек обмоток не более 140 °С; температура металлических частей, не соприкасающихся с целлюлозной изоляцией – не более 180 °С; отсутствие выброса масла из расширителя; не превышение граничных концентраций растворенных газов. Отмечено, что с 1991 года по данной методике были испытаны более 60 трансформаторов, при этом в 10% случаев отмечались отрицательные результаты испытаний по причине перегрева отводов устройства РПН, перегрева магнитных шунтов и магнитной системы. Также представлены результаты непосредственного измерения температур обмоток трехобмоточных автотрансформаторов мощностью 150 МВА с напряжением обмоток 735/120/12,5 кВ в условиях эксплуатации при нагрузке менее 50% на протяжении 60 дней, в течение которых температура окружающего воздуха изменялась в диапазоне от минус 35 °С до плюс 15 °С.

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).*

В докладе рассмотрены вопросы работы и обеспечения «холодного пуска» в условиях экстремально низких температур трансформаторов, заполненных синтетическими эфирами. Представлены результаты испытаний с «холодным пуском»

трансформатора мощностью 15 МВА напряжением 55 кВ: плавным при температуре минус 50 °С и на полную нагрузку при температуре минус 40 °С. Отмечено, что при «холодном старте» при температуре минус 50 °С сравнительно быстро появляется поток масла внутри обмоток и бака трансформатора. При этом для появления конвективного потока масла через радиаторы требуется значительное время. В виду большого гидравлического сопротивления течению вязкой жидкости радиаторы системы охлаждения могут работать неэффективно, и в этом случае охлаждение трансформатора будет определяться площадью поверхности стенок бака. Как результат, возможно чрезмерное повышение температуры элементов активной части. Также в докладе затронут вопрос о времени задержки включения системы охлаждения, необходимым для разогрева охлаждающей жидкости.

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).*

В докладе рассмотрены вопросы косвенного (расчетного) и прямого (путем измерений с помощью оптоволоконных датчиков) определения температуры наиболее нагретых точек (ННТ) обмоток. Даны характеристики и оценки погрешности разных методов определения температур ННТ. Отмечено о том, что хотя оптоволоконные сами по себе позволяют получить достаточно точные измерения температуры, при их неправильной установке возможно увеличение неопределенности измерений, что может быть скомпенсировано установкой большего количества температурных датчиков.

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).*

В докладе представлены результаты исследований нагрева обмоток полномасштабной модели трехфазного трехмоточного автотрансформатора мощностью 1500 МВА с напряжением обмоток 525/275/63 кВ. Конструкция автотрансформатора допускает транспортировку по частям массой не более 45 т и полную сборку на месте эксплуатации. Такое техническое решение позволяет снизить материалоемкость и потери автотрансформатора и сделать возможным его транспортировку автотранспортом (по частям). Вместе с тем, особенности разборной конструкции потребовали проведения дополнительных исследований тепловых характеристик автотрансформатора. В докладе представлены результаты испытаний на нагрев, в том числе значения средних температур и температур ННТ обмоток, полученные с помощью оптоволоконных датчиков.

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

В докладе рассмотрен вопрос газовой выделенности СО и СО₂ из изоляции регулировочных сильноточных отводов обмоток низшего напряжения, выполненных круглым медным проводом с бумажной изоляцией. В качестве причины газовой выделенности авторы отмечают перегревы изоляции при протекании больших токов, при которых рабочие температуры составляют свыше 85 °С. В качестве решения проблемы газовой выделенности предложено использование нагревостойкой бумаги и арамидной бумаги. Представлены результаты исследований перегревов и исследований электрической прочности изоляции проводов, изолированных нагревостойкой бумагой.

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).*

В докладе рассмотрены вопросы применения в трансформаторах высокотемпературной изоляции на основе нагревостойкой бумаги и натуральных эфиров. Представлены результаты испытаний на искусственное старение образцов бумажной изоляции. Рассмотрен пример повышения номинальной мощности трансформатора с 70 до 100 МВА. Отмечено, что электронное управление охлаждением трансформатора и применение частотно-регулируемого привода для вентиляторов и маслонасосов позволяет оптимизировать охлаждение трансформатора, снизить потери и уровень шума трансформатора.

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).*

В докладе рассмотрены вопросы работы трансформаторов при экстремально низких температурах. Одной из особенностей работы трансформаторов в условиях низких температур является большая вязкость охлаждающей жидкости и связанные с этим большие градиенты температур в обмотках. Представлены результаты тепловых расчетов трансформатора мощностью 112 МВА с принудительной циркуляцией воды и масла с направленным потоком масла (ODWF). Рассмотрен пример повреждения водяного охладителя системы охлаждения ODWF.

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 заполнением минеральным маслом, натуральным и синтетическим эфиром).*

В докладе представлены результаты измерений и сравнения тепловых характеристик трех однофазных автотрансформаторов мощностью 200 МВА с напряжением обмоток 420/230/33-26,4-24 кВ с заполнением трансформаторным маслом, натуральным эфиром и синтетическим эфиром, соответственно. Данные исследования были проведены для определения возможности применения эфиров в трансформаторах, которые изначально были спроектированы для работы с трансформаторным маслом.

2.2. ПТ2 «Достижения в диагностике и моделировании»

A2-201. B. 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).*

В докладе рассмотрены вопросы онлайн-мониторинга состояния трансформаторов с помощью электромагнитного (СВЧ) метода регистрации частичных разрядов. Приведены примеры успешного применения разработанной системы для выявления ЧР в изоляции трансформатора мощностью 150 МВА напряжением 225 кВ на этапе заводских испытаний и трансформатора мощностью 750 МВА напряжением 500 кВ в эксплуатации.

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).

При заводских испытаниях трансформаторов длительным переменным напряжением с измерением уровня ЧР критерием успешности испытаний является не превышение зафиксированных уровней ЧР установленных в стандартах допустимых значений. Наложение на измеряемые сигналы ЧР сигналов от короны в испытательной схеме и разрядов на незаземленных проводящих объектах с плавающим потенциалом может приводить к увеличению регистрируемого уровня ЧР и ложной отбраковке трансформаторов. В докладе представлены результаты экспериментальных исследований влияния незаземленных проводящих объектов на регистрируемый уровень ЧР. Сделан вывод о возможности выявления разрядов на металлических частях с плавающим потенциалом с помощью анализа графических образов на амплитудно-фазовой диаграмме сигналов ЧР.

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).

В докладе представлен опыт диагностирования состояния вводов трансформаторов и шунтирующих реакторов производства 70-80-х годов. Для оценки состояния выполнялись: хроматографический анализ растворенных газов (ХАРГ), измерения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости основной изоляции, оценка влагосодержания, а также измерения по методу диэлектрической спектроскопии (Dielectric Frequency Response, DFR). Отмечено о высокой информативности ХАРГ и DFR по сравнению с другими методами.

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).

В докладе дано описание разработанного авторами метода виброакустической диагностики состояния контакторов устройств РПН и его дальнейшего развития с целью создания систем виброакустического мониторинга состояния устройств РПН под рабочим напряжением и шунтирующих реакторов. Рассмотрены вопросы создания систем мониторинга на основе виброакустического метода с использованием передовых алгоритмов обработки данных и программного обеспечения с функциями самообучения.

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 области).

В настоящее время для локализации источников ЧР в изоляции трансформаторов получили применение акустический и электромагнитный метод регистрации ЧР. В докладе рассмотрены вопросы локализации источников ЧР в изоляции трансформаторов электрическим методом на основе анализа сигналов ЧР во временной и частотной области. Представлены практические примеры анализа сигналов ЧР во временной и

частотной области для локализации источников ЧР в трансформаторах: мощностью 250 МВА напряжением 220/150/24 кВ (выявлены проводящие частицы на элементе прессующей системы вблизи отвода ВН); мощностью 75 МВА напряжением 132/50 кВ (выявлены ЧР между отводами НН); мощностью 987 МВА напряжением 345/24,8 кВ (выявлены ЧР в главной изоляции).

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

В докладе рассмотрены вопросы применения алгоритмов машинного обучения для создания систем автоматизированной оценки состояния силовых трансформаторов. Представлены результаты сравнения точности оценки состояния по 12 различным алгоритмам машинного обучения. Для обучения алгоритмов использовались наборы диагностических данных по 1000 трансформаторам, из которых 800, выбранных случайным образом, использовались для обучения алгоритмов, и еще 200 – для проверки работы алгоритмов. Наименьшее число случаев ложной оценки состояния было получено для алгоритма на основе градиентного бустинга (Extreme Gradient Boosting Machine), который дал верную оценку состояния анализируемых трансформаторов в 97% случаев.

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

В докладе затронуты вопросы применения метода частотных характеристик (FRA) для оценки состояния трансформаторов. Представлены результаты измерений частотных характеристик трансформатора мощностью 100 кВА напряжением 10/0,4 кВ.

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).

В докладе представлен опыт диагностирования состояния и выявления начальных повреждений в высоковольтных вводах. Отмечено, что измерения тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) при профилактическом контроле вводов не всегда могут выявить развивающиеся дефекты. По мнению авторов доклада, более информативными являются измерения $\text{tg}\delta$ в диапазоне частот от 15 Гц до 400 Гц при напряжении 2 или 4 кВ, а также применение метода диэлектрической спектроскопии, использование которых позволяет выявить газовые включения и ЧР в бумажно-масляной изоляции, а также отложения X-воска.

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 трансформаторов для интерпретации результатов измерений методом FRA).

В докладе представлены наработки авторов, направленные на развитие метода частотных характеристик и интерпретации результатов измерений для оценки состояния активной части трансформаторов и реакторов. Представлен подход к интерпретации результатов измерений на основе анализа собственных частот колебаний обмоток трансформаторов и реакторов. Предложен метод выявления и локализации внутренних коротких замыканий в обмотках. Рассмотрены вопросы применения высокочастотного моделирования обмоток трансформаторов и так называемых моделей «белого ящика»

(white-box models) для анализа причин отклонений частотных характеристик. Предложен подход к выявлению разземления экранов и частей магнитной системы.

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).*

В докладе представлены результаты разработки программного обеспечения для моделирования переходных процессов в обмотках трансформаторов. Параметры высокочастотной модели обмоток трансформаторов (сопротивления, индуктивности, емкости и проводимости расчетных элементов) определяются из расчета электромагнитного поля методом конечных элементов. Представлены результаты сравнения расчетов и измерений, выполненных на макете трансформатора.

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).*

Частотные характеристики трансформаторов, как правило, имеют явно выраженные минимумы (антирезонансы) в области низких частот. В докладе рассмотрены «природа» этих антирезонансов и факторы, влияющие на частоты антирезонансов. Отмечено о том, что частота первого антирезонанса в частотной характеристике одной обмотки зависит от состояния других обмоток. Сделан вывод о том, что изменение положения первого антирезонанса на частотной характеристике не может использоваться как индикатор наличия повреждения в измеряемой обмотке. При этом отмечено, что отличия положений первого антирезонанса у обмоток одного стержня могут быть вызваны повреждением в активной части трансформатора.

A2-212. M. Louwerse, 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).*

Как правило, высокочастотные модели обмоток в явном виде не пригодны для моделирования низкочастотных процессов, поскольку не учитывают характеристик магнитной системы, в результате чего полученные по ним расчетные частотные характеристики обмоток сильно отличаются от измеренных в области низких частот. В докладе предложен подход, позволяющий воспроизвести частотную характеристику в области низких частот и основанный на учете характеристик магнитной системы путем включения в высокочастотную модель фиктивной обмотки, нагруженной на активно-индуктивное сопротивление. Приведены результаты сравнений расчетных и измеренных частотных характеристик обмоток, а также результаты моделирования частотных характеристик при наличии в обмотках некоторых характерных повреждений.

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).*

В докладе представлены результаты исследований, полученные в рамках работы рабочей группы СИГРЭ JWG A2/C4.52 «Высокочастотное моделирование

трансформаторов и реакторов». Представлены результаты измерений и расчетов переходных напряжений и частотных характеристик трехфазного и однофазного трансформатора, выполненных с целью сравнения и оценки точности различных расчетных моделей, используемых участниками рабочей группы. Рассмотрены вопросы применения так называемых моделей «черного ящика» и «серого ящика» (black-box model и grey-box model, соответственно). Приведено сравнение результатов по моделям «черного ящика» и «белого ящика» на примере расчета наведенных на обмотке НН напряжений при подаче ступенчатого импульса на обмотку ВН.

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)*.

В докладе представлен подход к высокочастотному моделированию обмоток трансформаторов на основе конечно-элементного моделирования. Подход отличается тем, что для расчетов не используются схемы замещения с сосредоточенными параметрами. Расчеты частотных характеристик выполняются непосредственно с помощью трехмерного конечно-элементного моделирования (авторами использован программный продукт CST MICROWAVE STUDIO), что позволяет автоматически учесть частотные зависимости параметров схемы замещения обмоток и повысить точность моделирования.

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)*.

В докладе рассмотрены вопросы резонансных перенапряжений в обмотках трансформаторов. Рассмотрен случай внутреннего повреждения автотрансформатора мощностью 240 МВА напряжением 400/132 кВ и приведены результаты измерений передаточных функций напряжений на регулировочных отпайках, показывающие существенное увеличение напряжений на отдельных резонансных частотах. Также приведены результаты измерений передаточных функций напряжений в обмотке ВН распределительного трансформатора. В докладе поднят вопрос о необходимости развития стандартов на методы испытаний электрической прочности изоляции трансформаторов и введения в них проверки стойкости трансформаторов к воздействию резонансных перенапряжений.

2.3. ПТЗ «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)*.

В докладе рассмотрены вопросы испытаний силовых трансформаторов на месте установки с использованием мобильных испытательных комплексов. Приведено краткое описание установок, используемых для испытаний индуктированным переменным напряжением с измерением интенсивности частичных разрядов, приложенным переменным напряжением и напряжением грозовых импульсов. Представлены примеры использования мобильных испытательных установок для испытаний трансформаторов мощностью 340 МВА напряжением 345 кВ и мощностью 600 МВА напряжением 400 кВ

после ремонта на месте установки, а также для поиска и устранения дефектов в трансформаторе мощностью 880 МВА напряжением 345 кВ на месте установки.

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).*

В докладе рассмотрены вопросы применения метода частотных характеристик (FRA) для выявления повреждений активной части трансформаторов. Рассмотрены факторы, влияющие на результаты измерений и повторяемость измерений. Приведены практические примеры выявления повреждений в обмотках НН трансформаторов. Также приведен пример генераторного трансформатора мощностью 800 МВА напряжением 432/23,5 кВ, в котором при разборке были выявлены ослабление внутренних барьеров в обмотках и следы перегрева твердой изоляции. Поскольку эти повреждения не повлияли на частотные характеристики обмоток, измерения по методу частотных характеристик не выявили повреждение обмоток.

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).*

В докладе рассмотрено применение новых диагностических методов в дополнение к стандартным методам. Приведены примеры применения метода частотных характеристик для оценки состояния и выявления повреждений двух шунтирующих реакторов (после транспортировки и после повреждения ввода) и даны рекомендации по выполнению измерений при заводских испытаниях и в условиях эксплуатации. Также приведен пример измерений динамического сопротивления контактов контактора переключающего устройства РПН, в котором была выявлена несинхронная работа контакторов трех фаз.

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 развертывания с временем установки менее 30 часов).*

В докладе рассмотрены вопросы применения трансформаторов «быстрого развертывания», предназначенных для оперативного восстановления энергоснабжения потребителей в случае повреждения силовых трансформаторов (в результате катаклизмов или атак). Описан пример создания таких автотрансформаторов однофазного исполнения по заказу компании ConEd (США), инфраструктура которой ранее пострадала от урагана Сэнди. Автотрансформаторы имеют пересобираемые обмотки с сочетаниями напряжений и мощности: 345/138 кВ при 300 МВА и 138/69 кВ при 150 МВА (приведена трехфазная мощность); жидкий диэлектрик – эфир; транспортная масса с жидким диэлектриком – менее 100 т. Также приведена информация об аналогичных однофазных автотрансформаторах мощностью 133 МВА, изготовленных для другого заказчика и имеющих пересобираемые обмотки с сочетанием напряжений 345/230 кВ, 345/138 кВ, 345/115 кВ, 230/138 кВ и 230/115 кВ; автотрансформаторы имеют кабельное присоединение по стороне СН 138/115 кВ.

A2-305. К.Н. Lee, С.Ј. Park and С.Н. 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).

В докладе рассмотрено влияние окружающих предметов и условий измерений уровня звука при заводских испытаниях трансформаторов. На примере измерений трехфазного трансформатора показано, что в случае установки трансформатора на транспортной платформе возможно увеличение измеренного уровня звука на 2-4 дБ по сравнению со случаем его установки на пол испытательного зала.

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).

В докладе представлена информация о создании в Китае сети ультравысокого напряжения напряжением 1000 кВ, включающей 27 подстанций и имеющей суммарную установленную трансформаторную мощность 135 ГВА и общую протяженность 20 170 км. Общее количество автотрансформаторов – более 150 штук. Автотрансформаторы имеют мощность 1000 МВА и напряжения обмоток 1050/525/110 кВ. В виду больших единичной мощности и класса напряжения автотрансформаторы имеют большие массогабаритные показатели, что затрудняет их транспортировку. Транспортные ограничения подтолкнули к разработке концепции конструирования трансформаторов, собираемых на месте установки. В докладе описан опыт разработки, изготовления и сборки на месте эксплуатации автотрансформатора мощностью 1000 МВА напряжением 1050 кВ. Конструкция магнитной системы и бака автотрансформатора допускает транспортировку автотрансформатора в разобранном виде отдельными частями массой не более 70-80 т. Окончательная сборка производится на месте эксплуатации в специальном здании, оснащенный краном и камерой для сушки активной части в парах керосина.

3. Постер-сессия комитета А2 «Трансформаторы»

Постер-сессия Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы» (рисунок 3.1) состоялась 29 августа 2018 г. На ней были представлены постеры принятых к 47-й сессии докладов и имелась возможность задать вопросы непосредственно авторам докладов.



Рисунок 3.1 – Постер-сессия ИК А2 «Трансформаторы»

В постер-сессии ИК А2 «Трансформаторы» приняли участие представители РФ – Д.А. Матвеев (НИУ МЭИ) и автор данного отчета. Ими был представлен доклад А2-209 «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 трансформаторов для интерпретации результатов измерений методом FRA»).

4. Дискуссионное заседание комитета А2 «Трансформаторы»

Дискуссионное заседание Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы» (рисунок 4.1) состоялось 30 августа 2018 г.



Рисунок 4.1 – Дискуссионное заседание комитета А2 «Трансформаторы»

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 (FACES, Португалия); ПТ2 – Angélica da S. O. Rocha (технический консультант, Бразилия); ПТ3 – John Lapworth (Doble, Великобритания).

По трем предпочтительным 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.

В начале дискуссионного заседания был заслушан доклад молодого специалиста Александра Риделя (Россия, 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» (Использование высокочастотных систем онлайн-анализа для оценки состояния трансформаторов, реакторов и связанных с ними устройств);

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

5. Заседание Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы»

28 августа 2018 года в рамках 47-й сессии СИГРЭ состоялось закрытое заседание Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы» (рисунок 5.1). В заседании приняли участие регулярные члены и члены-наблюдатели комитета А2 – представители национальных комитетов стран-участников СИГРЭ, а также гости, присутствие которых было одобрено руководством комитета А2.



Рисунок 5.1 – Заседание ИК А2 «Трансформаторы»

На закрытом заседании комитета были рассмотрены, в частности, следующие вопросы.

5.1. Активность комитета А2 «Трансформаторы» СИГРЭ в 2018 году

Сообщено о завершении работы отдельных рабочих групп (РГ), публикации соответствующих статей в журнале *Electra* и технических брошюр (таблица 5.1).

В 2018 – 2019 г.г. запланирована публикация брошюр и статей в *Electra* по следующим рабочим группам:

- А2.43 «Надежность трансформаторных вводов» (Transformer Bushing Reliability);
- А2.49 «Оценка состояния силовых трансформаторов» (Condition assessment of power transformers).

Таблица 5.1 – Публикации рабочих групп ИК А2 в 2016-2018 г.г.

№ брошюры	Год публикации	Название	Рабочая группа
646	2016	Изоляция трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения – проводимость масла	А2/D1.41 «Изоляция трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения – проводимость масла»
655	2016	Технологии и эксплуатация масляных шунтирующих реакторов	А2.48 «Шунтирующие реакторы»
659	2016	Тепловое моделирование трансформаторов	А2.38 «Тепловое моделирование трансформаторов»
673	2016	Руководство по транспортированию трансформаторов	А2.42 «Транспортирование трансформаторов»
735	2018	Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ	А2.45 «Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ»
—	2018 – 2019	Надежность вводов (<i>готовится к публикации</i>)	А2.43 «Надежность трансформаторных вводов»
—	2018 – 2019	Оценка состояния трансформаторов (<i>готовится к публикации</i>)	А2.49 «Оценка состояния

5.2. Краткие сообщения о работе рабочих групп

Руководителям и представителями РГ сделаны краткие сообщения о деятельности и выполнении рабочих планов действующих рабочих групп (таблица 5.2).

5.3. Краткие сообщения о новых рабочих группах

Сообщено о создании новых рабочих групп, которые начинают свою работу в 2018–2019 г.г. (таблица 5.3).

Таблица 5.2 – Действующие рабочие группы ИК А2

Название РГ	Срок действия	Представители от РФ
А2-D1.46 «Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов» (Field experience with transformer aging markers)	2011 – 2018	Нет
А2-D1.46 «Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов» (Field experience with transformer aging markers)	2011 – 2018	Нет
А2/D1.51 «Совершенствование методов измерений частичных разрядов для заводских испытаний и испытаний на месте установки силовых трансформаторов» (Improvement to Partial Discharge Measurements for Factory and Site Acceptance Tests of Power Transformers)	2014 – 2018	Нет
А2/С4.52 «Высокочастотные модели трансформаторов и реакторов для исследования переходных процессов в электрических сетях» (High-frequency transformer and reactor models for network studies)	2014 – 2019	Д.А. Матвеев (НИУ МЭИ, АО «РЭТЗ»)
А2.53 «Объективная методология интерпретации для оценки механического состояния обмоток трансформаторов с помощью анализа частотных характеристик» (Objective interpretation methodology for the mechanical condition assessment of transformer windings using Frequency Response Analysis (FRA))	2015 – 2019	1) А.А. Дробышевский (АО «НТЦ ФСК ЕЭС»); 2) В.С. Ларин (ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ–ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»)
А2.54 «Требования к уровню звука силовых трансформаторов» (Power transformer audible sound requirements)	2015 – 2019	Нет
А2.55 «Продление срока службы масляных силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов» (Life Extension of oil filled Transformers and Shunt Reactors)	2016 – 2020	Нет
А2.56 «Энергоэффективность силовых трансформаторов» (Power transformer efficiency)	2016 – 2019	Нет
А2.57 «Влияние подмагничивания постоянным током» (Effects of DC Bias on power transformers)	2016 – 2019	Нет
А2.58 «Монтаж и пуско-наладочные работы на трансформаторах и реакторах (Installation and Pre-Commissioning of Transformers and Shunt Reactors)	2017 – 2020	Нет
А2.59 «Сборка, капитальный ремонт и испытания силовых трансформаторов на месте установки» (On-Site Assembly, On-Site Rebuild, and On-Site High Voltage Testing of Power Transformers)	2017 – 2020	Нет

Таблица 5.3 – Новые рабочие группы ИК А2

Название РГ	Срок действия	Председатель
A2.60 «Динамические тепловые характеристики силовых трансформаторов» (Dynamic Thermal Behaviour of Power Transformers)	2019 – 2023	Tim Gradnik (Словения)
A2.61 «Передовая практика по переключающим устройствам РПН» (On-load tap-changer best practices)	2019 – 2022	Axel Kraemer (Германия)
A2.62 «Анализ надежности трансформаторов для систем переменного тока» (Analysis of AC Transformer Reliability)	2019 – 2022	Stefan Tenbohlen (Германия)
A2.62 «Импульсные испытания» (Transformer impulse testing)	2019 – 2023	Ebrahim Rahimpour (Германия)

Озвучено, что для участия в указанных новых рабочих группах приглашаются заинтересованные эксперты.

5.4. Предложения по новым рабочим группам

- трансформаторы для передач постоянного тока высокого напряжения (ППТВН);
- трансформаторы для интеграции в электрические сети возобновляемых источников энергии и накопителей энергии;
- воздействие гармоник;
- измерение уровня звука трансформаторов и реакторов на месте установки;
- работа силовых трансформаторов в условиях низких температур.

5.5. Сообщение о деятельности ТК 14 «Силовые трансформаторы» МЭК

Сообщено об активности ТК14 МЭК, проводимых работах, пересмотре и разработке стандартов, технических отчетов и технических спецификаций МЭК.

В 2018 году опубликованы новые документы МЭК:

- IEC 60076-7:2018 «Силовые трансформаторы – Часть 7: Руководство по нагрузке масляных трансформаторов» (Power transformers - Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers);
- IEC 60076-11:2018 «Силовые трансформаторы – Часть 11: Сухие трансформаторы» (Power transformers - Part 11: Dry-type transformers);
- IEC TS 60076-23:2018 «Силовые трансформаторы – Часть 23: Устройства для подавления подмагничивания» (Power transformers - Part 23: DC magnetic bias suppression devices);

Готовятся к публикации новые документы МЭК:

- IEC/IEEE 60076-16:2018 «Силовые трансформаторы – Часть 16: Трансформаторы для ветряных турбин» (Power transformers - Part 16: Transformers for wind turbine applications)
- IEC 60076-21:2018 «Силовые трансформаторы – Часть 21: Стандартные требования, терминология и методы испытаний линейных регулировочных

трансформаторов» (Power transformers - Part 21: Standard requirements, terminology, and test code for step-voltage regulators).

В стадии разработки находятся следующие стандарты МЭК:

- IEC 60076-22-1 «Комплекующие для трансформаторов и реакторов – часть 22-1: Защитные устройства» (Power transformer and reactor fittings - Part 22-1: Protective devices);

- IEC 60076-22-2 «Комплекующие для трансформаторов и реакторов – часть 22-2: Радиаторы» (Power transformer and reactor fittings - Part 22-2: Radiators);

- IEC 60076-22-3 «Комплекующие для трансформаторов и реакторов – часть 22-3: Охладители для систем охлаждения Д и ДЦ» (Power transformer and reactor fittings - Part 22-3: Liquid to air coolers);

- IEC 60076-22-4 «Комплекующие для трансформаторов и реакторов – часть 22-4: Охладители для системы охлаждения Ц» (Power transformer and reactor fittings - Part 22-4: Liquid to water coolers);

- IEC 60076-22-5 «Комплекующие для трансформаторов и реакторов – часть 22-5: Насосы» (Power transformer and reactor fittings - Part 22-5: Pumps);

- IEC 60076-22-6 «Комплекующие для трансформаторов и реакторов – часть 22-6: Вентиляторы» (Power transformer and reactor fittings - Part 22-6: Fans);

- IEC 60076-22-7 «Комплекующие для трансформаторов и реакторов – часть 22-7: Вспомогательное оборудование и составные части» (Power transformer and reactor fittings - Accessories and fittings);

- IEC/TS 60076-24 «Распределительные трансформаторы с регулированием напряжения» (Power transformers - Part 24: Voltage Regulating Distribution Transformers (VRDT));

- IEC 60076-25 «Резисторы для заземления нейтрали – общие конструктивные требования и методы испытаний» (Power transformers - Part 25: Neutral grounding resistors - General Design requirements and test procedures).

В стадии пересмотра находятся следующие стандарты и технические спецификации МЭК:

- IEC 60214-2 «Переключающие устройства – Часть 2: Руководство по применению» (Tap-changers - Part 2: Application guide);

- IEC 60076-4 «Силовые трансформаторы – часть 4: Руководство по испытанию напряжениями грозовых и коммутационного импульсов силовых трансформаторов и реакторов» (Power transformers - Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing - Power transformers and reactors);

- IEC 60076-5 «Силовые трансформаторы – часть 5: Стойкость при коротком замыкании» (Power transformers - Part 5: Ability to withstand short circuit);

- IEC TS 60076-19 «Силовые трансформаторы – часть 19: Правила для определения неопределенностей при измерениях потерь силовых трансформаторов и реакторов» (Power transformers - Part 19: Rules for the determination of uncertainties in the measurement of the losses on power transformers and reactors).

5.6. Сообщение о коллоквиуме комитета А2 в 2019 году

Следующий коллоквиум комитета А2 «Трансформаторы» запланирован ориентировочно на период 17 – 21 ноября 2019 года в г. Нью-Дели, Индия, совместно с ИК В2 «Воздушные линии» и ИК D1 «Материалы и новые методы испытаний».

5.7. Сообщение о 48-й сессии СИГРЭ в 2020 году

Очередная 48-я сессия СИГРЭ запланирована на период 23 – 28 августа 2020 года в г. Париж, Франция. Официальный сайт: <https://www.cigre.org/GB/events/cigre-session-2020>

Основные сроки:

- представление тезисов в центральный офис – до 28.06.2019;
- подтверждение участия – до 05.10.2019;
- представление полных докладов в центральный офис – до 14.02.2020.

Сообщено о следующих предварительных предпочтительных темах:

ПТ1 – Трансформаторные технологии для интеграции распределенных возобновляемых источников энергии

- применение, технические требования, конструкция и проектирование;
- влияние гармоник, включая промежуточные и высшие гармоники;
- влияние экстремальных условий работы, в частности морское и подводное размещение.

ПТ2 – Достижения в проектировании и испытаниях изоляции

- требования к конструкции изоляции, в т. ч. для новых и нетрадиционных применений;

- новые и передовые концепции и методы проектирования изоляции;
- проблемы испытаний изоляции и способы их решения;

ПТ3 – Повышение надежности трансформаторов

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

5.8. Сообщение о коллоквиумах комитета А2 в 2021 году

Коллоквиум комитета А2 «Трансформаторы» СИГРЭ в 2021 году запланирован к проведению совместно с комитетом В3 «Подстанции» (будет уточнено позднее) в г. Бухарест (Румыния).

6. Заседание консультационной группы AG2.3

27 августа 2018 года в рамках 47-й сессии СИГРЭ состоялось заседание консультационной группы AG2.3 «Технологии» (Technology), в состав которой входит автор данного отчета. На заседании были рассмотрены предложения членов группы о создании новых рабочих групп. Итоги обсуждения позднее были озвучены на закрытом заседании ИК А2 председателем группы Хенком Фонком (Нидерланды).

7. Техническая выставка

В период с 27 по 31 августа 2018 года проходила техническая выставка, на которой стенды представили широко известные компании, такие как АВВ, 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.

Компанией АВВ представлен миниатюрный робот TXplore – микросубмарина для работы в трансформаторном масле, которая предназначена для визуального осмотра активной части масляных силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов без полного слива масла из бака и подъема колокола бака (рис. 7.1).

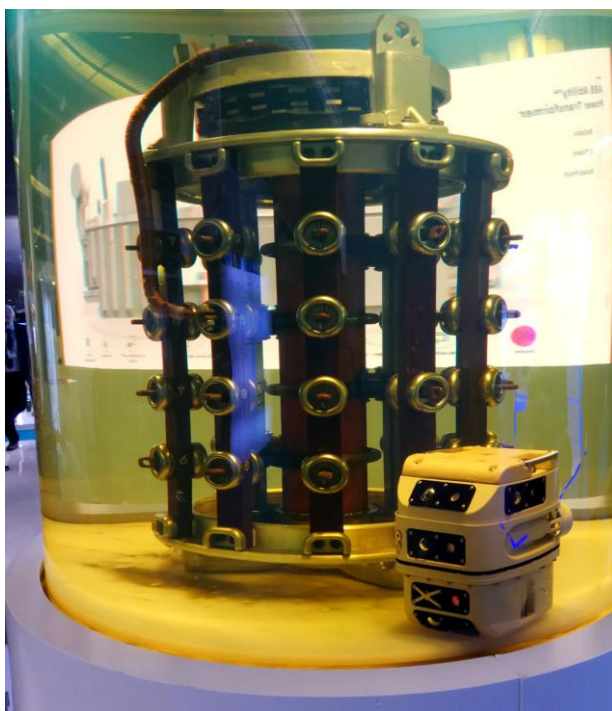


Рисунок 7.1 – Робот TXplore (АВВ)

Робот оснащен четырьмя камерами для визуального осмотра и записи и обладает малыми габаритами (ширина ориентировочно около 30 см) и высокой маневренностью, что позволяет ему проплыть в масляных промежутках между активной частью и баком трансформатора.

Заключение

1. По итогам 47-й сессии по комитету А2 СИГРЭ можно отметить следующие наиболее обсуждаемые ключевые вопросы:

- повышение надежности трансформаторного оборудования;
- применение новых видов трансформаторного оборудования;
- применение новых материалов и технологий для повышения экологичности, взрыво- и пожаробезопасности, энергоэффективности.

2. В части повышения надежности трансформаторного оборудования следует отметить имеющийся интерес к следующим вопросам:

- 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 динамической нагрузочной способности трансформаторов;

- применение ВЧ-моделей трансформаторов для интерпретации результатов измерений частотных характеристик обмоток трансформаторов, а также для исследований и разработки мероприятий по защите от резонансных перенапряжений в обмотках трансформаторов.

3. В части применения новых видов трансформаторного оборудования следует отметить имеющийся интерес к:

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

4. В части применения новых материалов и технологий для повышения экологичности, взрыво- и пожаробезопасности, энергоэффективности следует отметить имеющийся интерес к следующим вопросам:

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

- применение высокотемпературной изоляции для улучшения массогабаритных показателей.