



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

109074, Россия, г. Москва, Китайгородский проезд, дом 7, стр.3. ОГРН 1037704033817.

ИНН 7704266666 / КПП 770401001. Тел.: +7 (495) 627-85-70. E-mail: cigre@cigre.ru

ОТЧЕТ

об участии в работе 45-й Генеральной сессии Международного Совета по Большим Электрическим Системам (СИГРЭ) и заседаниях Исследовательского Комитета А2 «Трансформаторы»
в г. Париж, Франция, с 25 по 29 августа 2014 года



Отчет подготовил:

Ларин Василий Серафимович
к.т.н., представитель РНК СИГРЭ в
исследовательском комитете А2
«Трансформаторы», начальник отдела
трансформаторов ФГУП ВЭИ

Контактные данные:

e-mail: vlarin@vei.ru

Дата составления отчета:

08.10.2014

Москва 2014

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
2. Обзор докладов постер-сессии.....	4
2.1. ПТ1 «Передовая практика управления ресурсом»	4
2.2. ПТ2 «Трансформаторы специального применения»	11
2.3. ПТ3 «Практический опыт использования нетрадиционных материалов и технологий»	20
3. Дискуссионное заседание комитета А2 «Трансформаторы»	24
4. Заседание Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы».....	25
5. Техническая выставка.....	30
Заключение	31

1. Введение

В период с 24 по 29 августа 2014 года в г. Париж, Франция, состоялась 45-я Генеральная сессия Международного Совета по Большим Электрическим Системам (СИГРЭ).

Официальный сайт коллоквиума: <http://www.cigre.org/Events/Session/Session-2014>

В рамках 45-й сессии СИГРЭ по тематике Исследовательского комитета (ИК) А2 «Трансформаторы» состоялись следующие мероприятия:

- закрытое заседание ИК А2 «Трансформаторы» (25.08.2014);
- постер-сессия комитета ИК А2 «Трансформаторы» (26.08.2014);
- дискуссионное заседание ИК А2 «Трансформаторы» (28.08.2014);
- заседания рабочих групп ИК А2 «Трансформаторы».

Всего в рамках комитета А2 на 45-й сессии СИГРЭ было принято **35 докладов** (два из которых позднее были отозваны) по следующим предпочтительным темам (ПТ):

ПТ1 «Передовая практика управления ресурсом» (16 докладов)

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

ПТ2 «Трансформаторы специального применения» (11 докладов)

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

ПТ3 «Практический опыт использования нетрадиционных материалов и технологий» (8 докладов, 2 доклада были отозваны)

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

- опыт и применение трансформаторов с высокотемпературной сверхпроводимостью.

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	16 (48%)	11 (33%)	6 (18%)	33 (100%)

2. Обзор докладов постер-сессии

2.1. ПТ1 «Передовая практика управления ресурсом»

A2-101. P. Picher, J.-F. Boudreau, A. Manga, C. Rajotte, C. Tardif, G. Bizier, N. Di Gaetano, D. Garon, B. Girard, J.-F. Hamel, S. Proulx (Канада). *Use of Health Index and Reliability Data for Transformer Condition Assessment and Fleet Ranking (Применение индексов состояния и данных о надежности для оценки состояния и ранжирования трансформаторов)*¹

В докладе специалистами компании Hydro-Québec (Канада) рассмотрены вопросы управления активами и принятия решений о замене силовых трансформаторов на основе их ранжирования с помощью индекса состояния. Отмечено, что свыше 50% эксплуатируемых трансформаторов имеют возраст более 30 лет (рисунок 2.1.1), при этом предельный возраст трансформаторов оценивается равным 40–45 лет, а шунтирующих реакторов – 35 лет, и в виду финансовых ограничений, несмотря на проводимые плановые замены трансформаторов, в целом происходит дальнейшее увеличение возраста парка трансформаторов. В этих условиях имеет огромное значение стратегия замены трансформаторов по их фактическому состоянию. В докладе отмечено, что для оценки индекса состояния в Hydro-Québec используются уровень повреждаемости подобных трансформаторов, показатели состояния твердой изоляции, результаты хроматографического анализа растворенных газов, показатели состояния РПН и вводов, влагосодержание, результаты испытаний масла, показатели надежности вспомогательных составных частей, показатель утечки масла, которые учитываются соответствующими

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

весовыми коэффициентами. Описан опыт применения в Hydro-Québec разработанного программного обеспечения для ранжирования трансформаторов.

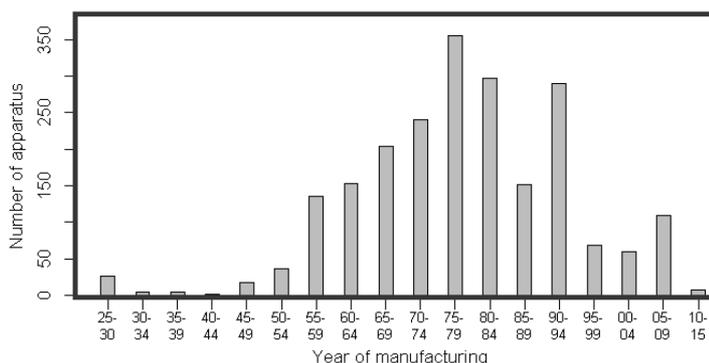


Рисунок 2.1.1 – Возрастной состав парка трансформаторов компании Hydro-Québec

A2-102. J. Jalbert, M-C. Lessard и В. Girard (Канада). *Post-mortem Analysis of Transformer Insulating Paper and its Relationship to the Determination of Chemical Markers (Послеаварийный анализ бумажной изоляции трансформаторов и его применение для определения химических маркеров состояния твердой изоляции)*

В докладе специалистами компании Hydro-Québec (Канада) представлен опыт анализа состояния твердой изоляции и оценки «маркеров» состояния изоляции, выполненного по результатам отбора проб масла и твердой изоляции из обмоток низшего и высшего напряжений выведенных из эксплуатации шести силовых трансформаторов производства 1958 г. Сделано сравнение результатов оценки степени полимеризации и «маркеров» состояния твердой изоляции, таких как этанол, метанол и фурфурол, при температуре масла 20 – 60 °С. Представлены результаты, показывающие различия в степени полимеризации твердой изоляции для разных по высоте частей обмоток.

A2-103. В. Németh, CS. Vörös, G. Csépes (Венгрия). *Health index as one of the best practice for condition assessment of transformers and substation equipments – Hungarian experience (Индекс состояния как одна из лучших практик оценки состояния трансформаторов и оборудования подстанций – Венгерский опыт)*

В докладе представлен опыт специалистов Венгрии по применению индекса состояния, экспертной системы Transformer Status Indicator (TSI) и систем мониторинга для оценки текущего состояния и принятия решений о необходимом техническом обслуживании или замене силовых трансформаторов. Расчет индекса состояния в экспертной системе производится на основе суммирования с учетом соответствующих весовых коэффициентов таких показателей состояния, как результаты хроматографического анализа растворенных газов, испытаний проб масла и электрических испытаний изоляции, показателей состояния внешнего составных частей и вспомогательного оборудования, возраста и данных о предшествующих нагрузках и пр.

A2-104. M. L. Mamani, R. Medina, A. A. Romero, E. Mombello, G. Rattá (Аргентина). *Power Transformer Management – Investment Planning Considering Loss of Life of the Insulating Paper (Административное управление силовыми трансформаторами – планирование инвестиций с учетом сокращения срока службы бумажной изоляции)*

В докладе рассмотрена оценка сокращения срока службы бумажной изоляции обмоток силовых трансформаторов вследствие теплового старения исходя из рабочих температур наиболее нагретых точек, а также оценка продолжительности надежной работы. Представлен пример для трансформатора напряжением 132 кВ мощностью 30 МВА, в котором по имеющимся данным о нагрузке и температуре окружающего воздуха в период 2008 – 2010 г.г., а также реконструированным недостающим данным о нагрузке и температуре с момента ввода в эксплуатацию (с 1994 по 2008 год) сделана оценка сокращения срока службы бумажной изоляции, составившего около 20%. Рассмотрены примеры двух инвестиционных стратегий: замена старого трансформатора 30 МВА на новый трансформатор большей мощности (50 МВА) и установка нового трансформатора 30 МВА в дополнение к старому. С помощью метода чистой текущей стоимости (Net Present Value) сделана оценка затрат для этих двух стратегий и отмечено, что вторая стратегия в рассматриваемом примере является более предпочтительной.

A2-105. T. K. Saha, H. Ma, C. Ekanayake, D. Martin, D. Allan (Австралия). *Pattern Recognition Techniques for Determining the Health Index of Oil-Paper Insulation of In-service Power Transformers (Методика распознавания образов для определения индексов состояния бумажной изоляции эксплуатируемых трансформаторов)*

В докладе предложена методика «распознавания образов» для автоматической обработки большого объема диагностических данных, выделения полезной информации и вычисления индекса состояния трансформаторов. Предложен подход к построению базы данных характеристик масла, необходимой для методики «распознавания образов», а также методики обработки данных. Рассмотрены самообучающийся алгоритм «распознавания образов» и способы повышения его эффективности.

A2-106. T. Leibfried, M. Jaya, M. Stach, N. Majer, M. Schäfer, S. Voss (Германия). *Post-mortem Investigation of Power Transformers – Profiles of Moisture and Degree of Polymerization – Furan Concentration in the Oil as Ageing Assessment Tool (Послеаварийное исследование силовых трансформаторов – профили «влажностеряжание и степень полимеризации – концентрация фурановых соединений в масле» как инструмент для оценки старения изоляции)*

В докладе представлены результаты масштабного исследования состояния витковой изоляции обмоток трансформаторов, выведенных из работы после 30-50 лет

эксплуатации. Проанализированы образцы твердой изоляции из 14 генераторных трансформаторов напряжением 110 – 420 кВ, двух трансформаторов собственных нужд напряжением 27 кВ, 18 сетевых трансформаторов напряжением 110 – 400 кВ и шести трансформаторов для электрических железных дорог напряжением 115 кВ. Представлены данные по степени полимеризации и влагосодержанию витковой изоляции обмоток, а также данные по концентрации фурановых соединений в масле. Отмечено о наличии корреляции между концентрации фурановых соединений и степени полимеризации твердой изоляции и возможности использования данных, получаемых из анализа твердой изоляции старых трансформаторов, для оценки состояния эксплуатируемых трансформаторов.

A2-107. F. Scatiggio, A. Fraioli, V. Iuliani, M. Pompili (Италия). *Health Index: the TERNA's Practical Approach for Transformers Fleet Management (Индекс состояния: практический подход TERNA к администрированию парка трансформаторов)*

В докладе представлен подход компании TERNА к управлению трансформаторными активами на основе индекса состояния трансформаторов. Представлены данные о возрастном составе (рисунок 2.1.2) и уровне повреждаемости сетевых трансформаторов напряжением 69 кВ и выше (рисунок 2.1.3). Отмечено, что в связи с отсутствием международного стандарта или руководства крупные компании внедряют свои собственные подходы к оценке индексов состояния. Представлены результаты оценки индекса состояния для парка компании TERNА, содержащего около 700 трансформаторов, и отмечено о крайне слабой корреляции состояния трансформаторов и продолжительности их эксплуатации. В ряде случаев более новые трансформаторы имеют индексы состояния ниже, чем более старые трансформаторы. Как результат, использование индекса состояния позволяет перейти от обслуживания и замены исходя из фактического срока службы трансформаторов к обслуживанию и замене по текущему состоянию трансформаторов.

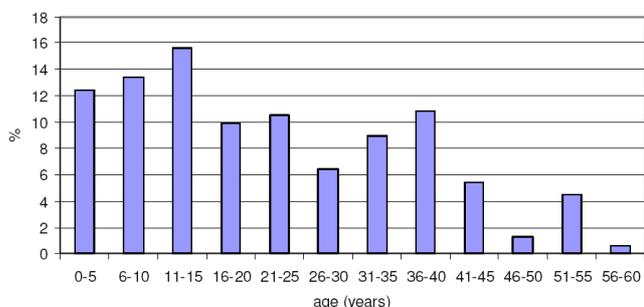


Рисунок 2.1.2 – Возрастной состав парка трансформаторов компании TERNА

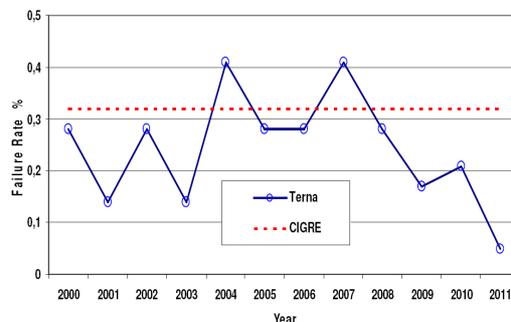


Рисунок 2.1.3 – Уровень повреждаемости трансформаторов компании TERNА

A2-108. R. Heywood, P. Jarman, S. Ryder (Великобритания). *Transformer Asset Health Review: Does it really work? (Анализ состояния при управлении трансформаторными активами: действительно ли это работает?)*

В докладе рассмотрено развитие подходов к оценке состояния трансформаторов при управлении активами энергокомпаний в Великобритании. Представлены данные о средней повреждаемости трансформаторов. Отмечено, что эффективность применения подходов к оценке состояния трансформаторов при управлении активами в масштабах всего парка трансформаторов может быть оценена по среднему уровню их повреждаемости. Для отдельно взятого трансформатора эффективность подходов к оценке его состояния может быть определена путем проведения исследований состояния повредившихся или утилизируемых трансформаторов и сравнения результатов этих исследований с ранее сделанными оценками их состояния.

A2-109. E. Cross, H. Ding, R. Heywood, R. Hooton, S. Horsley, P. Jarman, J. Lapworth, S. Ryder (Великобритания). *Learning from Power Transformer Forensic Investigation and Failure Analysis (Получение информации из расследования и анализа повреждений)*

В докладе представлена методология, которая используется в Великобритании для систематического расследования и анализа причин повреждений трансформаторов. Представлены практические примеры обнаружения повреждений изоляции трансформаторов, выявленных при вскрытии и разборке трансформаторов при их утилизации. Отмечено, что информация, получаемая при анализе состояния в процессе разборки повредившихся или утилизируемых трансформаторов, может быть использована для более надежного управления находящимися в эксплуатации трансформаторами того же типа или подобной конструкции. Предложено внедрить на уровне политики энергокомпаний необходимость обязательного проведения подобного анализа.

A2-110. A. Ramirez Orquin, V. Ramirez (США). *Addressing Ground-Induced-Current (GIC) Transformer Protection (О защите трансформаторов от геомагнитно-индуцированных токов)*

В докладе рассмотрены вопросы защиты трансформаторов от геомагнитно-индуцированных токов, вызываемых солнечной активностью или электромагнитными импульсами. Отмечено, в что регионах, подверженных сильным солнечным бурям, градиент геомагнитно-индуцированного напряжения может достигать 20 – 40 В/км, таким образом для линий электропередачи длиной около 200 км квазипостоянное напряжение относительно земли может достигать 8 кВ. Рассмотрен подход к защите трансформаторов от действия геомагнитно-индуцированных токов, основанный на установке в нейтрали трансформаторов ограничителя перенапряжений параллельно с

заземлителем. При превышении некоторой уставки по постоянному току по сигналу от системы управления происходит отключение заземлителя, в результате чего постоянный ток оказывается ограничен нелинейным сопротивлением ограничителя перенапряжений.

A2-111. J. Watson, V. Prykhodko (США), J. Buchacz (Польша), S. Skinner (США). *Interpretation of Data from On-line Bushing Monitoring Systems (Интерпретация данных систем онлайн-мониторинга высоковольтных вводов)*

В докладе рассмотрены вопросы анализа и обработки данных, получаемых от систем онлайн-мониторинга состояния вводов, для устранения влияния внешних возмущений в сети на результаты оценки состояния вводов. Рассмотрены различные методы анализа состояния вводов на основе суммы токов трех фаз, сравнения вводов соседних фаз, сравнения вводов обмоток разных напряжений, сравнения вводов разных трансформаторов и сравнения с напряжением емкостного делителя или трансформатора напряжения. Представлены примеры изменений во времени результатов измерений системы мониторинга вводов. Рассмотрены подходы к анализу результатов и исключению влияния внешних факторов для различных методов оценки состояния вводов.

A2-112. I. Ohno, T. Kobayashi, T. Ito, S. Yamada, M. Kadowaki, H. Murakami (Япония). *Experiences with Transformer Damage and Recovery from the Great East Japan Earthquake (Опыт восстановления трансформаторов после их повреждения в результате Большого землетрясения в Восточной Японии)*

В докладе описан опыт восстановления трансформаторов после произошедшего 09.03.2011 г. в Восточной Японии одного из самых разрушительных в мире землетрясений магнитудой 9 баллов по шкале Рихтера. Отмечено, что благодаря применению специальных мер, направленных на повышение сейсмостойкости силовых трансформаторов и внедренных ранее на практике в энергосистеме Японии, удалось минимизировать повреждение трансформаторов. Это обстоятельство, а также применение мобильных трансформаторных подстанций позволило восстановить работу энергосистемы в течение одной недели после масштабных отключений. Одной из причин выхода из работы трансформаторов были повреждение фарфоровых покрышек высоковольтных вводов и вызванные этим течи масла. Рассмотрены способы повышения сейсмостойкости трансформаторов, такие как усиление крепления покрышек и сокращение длины высоковольтных вводов, а также усиление элементов крепления трансформаторов к основанию.

A2-113. N. Abeywickrama (Швеция), O. Kouzmine, S. Kornhuber (Германия), L. Cheim (США), P. Lorin, M. Gauvin (Канада), F. Leonard, P. Picher (Канада). *Application of novel algorithms for continuous bushing and OLTC monitoring for increasing network reliability*

(Применение новых алгоритмов непрерывной мониторинга состояния вводов и устройств РПН для повышения надежности энергосистемы)

В докладе рассмотрены вопросы применения систем онлайн-мониторинга состояния высоковольтных вводов и устройств РПН. Представлены примеры работы системы мониторинга устройства РПН при имитировании различных дефектов, таких как несинхронная работа разных фаз, ослабление пружинного механизма и пр. Рассмотрено влияние увлажнения и частичных пробоев внутренней изоляции между соседними обкладками на результаты измерений систем мониторинга вводов.

A2-114. L.E. Lundgaard, C. Lesaint, K.B. Liland, D. Linhjell, M.-H.G. Ese, K. Sagen, T. Ohnstad, D. Susa, A. Mjelve, Bjørn Tandstad, Geir Vårdal, Knut Rydland, Arnt Sigmar Tødenes, Svein Olav Arnesen, Stig Kvanli (Норвегия), Claire Pitois (Швеция), J. van Peteghem (Бельгия), K. Sundkvist (Швеция). *Managing an ageing transformer fleet; Norwegian situation, research and initiatives (Управление парком стареющих трансформаторов: текущая ситуация, исследования и инициативы Норвегии)*

В докладе сообщено о проводимых в Норвегии исследованиях, направленных на оценку технического состояния и остаточного ресурса эксплуатируемых трансформаторов и принятие решений о продлении эксплуатации или замене трансформаторов. Представлены результаты лабораторных исследований длительного старения бумажной изоляции. Также представлены результаты исследований бумажной изоляции и оценки степени полимеризации по итогам разборки 13 утилизированных генераторных и сетевых трансформаторов мощностью 20 – 190 МВА, находившихся в эксплуатации свыше 30 лет. Отмечается о важности анализа состояния изоляции утилизируемых трансформаторов для оценки состояния эксплуатируемых трансформаторов и продления срока их эксплуатации.

A2-115. S.J. Słowikowski (Польша). *Criteria determining the highest permissible operation temperature of an oil transformer when the humidity of the cellulose insulation increases (Критерии для определения наибольшей допустимой температуры масляных трансформаторов при увеличении влагосодержания целлюлозной изоляции)*

В докладе рассмотрены вопросы перераспределения влаги между твердой изоляцией и маслом и влияния влагосодержания твердой изоляции и масла на электрическую прочность масла и допустимый уровень перегрузок трансформаторов. Отмечено, что при влагосодержании бумажной изоляции обмоток не более 3% перегрузка трансформаторов согласно Руководству МЭК по нагрузке трансформаторов не приводит к риску повреждения трансформаторов. При влагосодержании свыше 3% перегрузки трансформаторов должны быть ограничены на таком уровне, чтобы масло верхних слоев с

учетом фактической температуры при перегрузке имело пробивное напряжение не менее 50 кВ.

A2-116. M. Vermeer, J. Wetzer (Нидерланды). *Transformer health and risk indexing, including data quality management (Индексы состояния и риска трансформаторов, в том числе управление качеством данных)*

В докладе представлено обеспечение для оценки индекса состояния трансформаторов и рисков, разработанное компанией DNV GL и используемое энергокомпаниями разных стран мира, которое позволяет при управлении активами оценивать состояние всего парка трансформаторов и выявлять требуемое дополнительное обслуживание или необходимость замены по каждому отдельному трансформатору. Приведены примеры применения разработанного обеспечения и определения количества трансформаторов, требующих дополнительного обслуживания и замены, а также ранжирования трансформаторов по степени риска их повреждения.

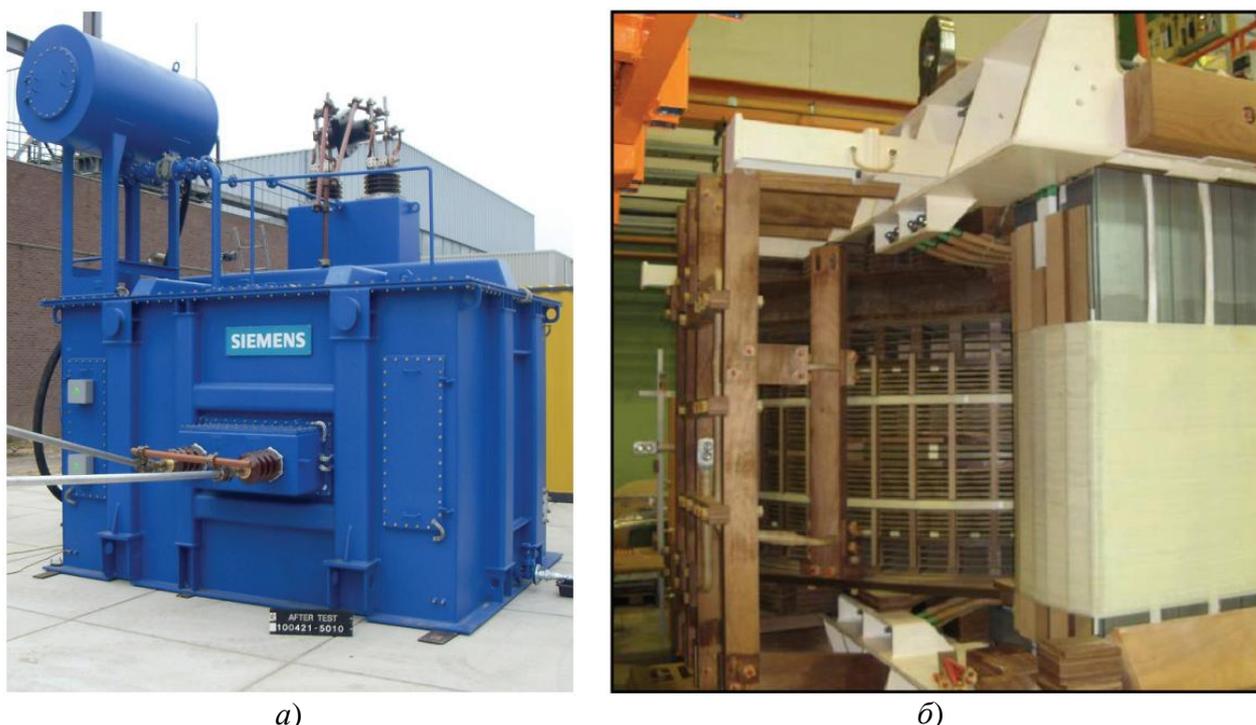
2.2. ПТ2 «Трансформаторы специального применения»

A2-201. G. Leber, H. Passath (Австрия), M. Ryadi, P. Hurllet (Франция). *Short Circuit Verification for a 570 MVA, 420 kV single-phase GSU-Transformer by SC-Withstand Tests on a Mock-up Unit (Подтверждение стойкости при коротких замыканиях однофазного генераторного трансформатора напряжением 420 кВ мощностью 570 МВА путем испытания стойкости при коротких замыкания на масштабном макете)*

В докладе представлен уникальный опыт компании Сименс по подтверждению стойкости при коротких замыканиях (КЗ) трансформатора большой мощности, испытания которого затруднены из-за технических ограничений испытательных лабораторий, выполненному путем испытания масштабного макета трансформатора (рисунок 2.2.1). Испытания макета проведены по требованию энергокомпании EDF (Франция) в рамках приемки генераторных трансформаторов мощностью 570 МВА в части стойкости при КЗ.

Испытанный макет трансформатора содержит все основные элементы активной части реального трансформатора, определяющие стойкость трансформатора при КЗ, включая обмотки, прессующую систему, отводы и пр. Реальный трансформатор имеет двухстержневое исполнение активной части, и для упрощения конструкции макета в нем воспроизведен лишь один обмоточный стержень. За исключением высоты обмоток все другие основные размеры, в т. ч. размеры проводов, радиальные размеры обмоток, – такие же, как в реальном трансформаторе; высота обмоток в макете составляет примерно четверть высоты обмоток реального трансформатора (рисунок 2.2.1,б). С учетом

указанных отличий эквивалентная мощность (около 46 МВА) макета существенно меньше мощности реального трансформатора.



а) б)
Рисунок 2.2.1 – Масштабный макет трансформатора для испытаний на стойкость при КЗ

Для подтверждения стойкости при КЗ были проведены две серии испытаний макета. В первой серии выполнены испытания согласно стандартной процедуре испытаний на стойкость при КЗ по МЭК 60076-5. Во второй серии для получения коэффициентов запаса конструкции было проведено испытание до разрушения, в котором ток от опыта к опыту увеличивали с шагом в несколько процентов. При после трех опытов с током не более 110% изменение реактанса составило менее 0,5%, а после 4-го опыта при токе немногим более 110% изменение составило более 0,5%, в связи с чем авторы доклада связывают значение тока 110% с допустимым значением и говорят о запасе прочности конструкции порядка 20%. По итогам разборки макета после испытаний выявлены возникшие повреждения (рисунок 2.2.2, скручивание обмотки НН и деформация верхнего витка из транспонированного провода в месте его выхода из обмотки) и предложены меры по усилению конструкции.

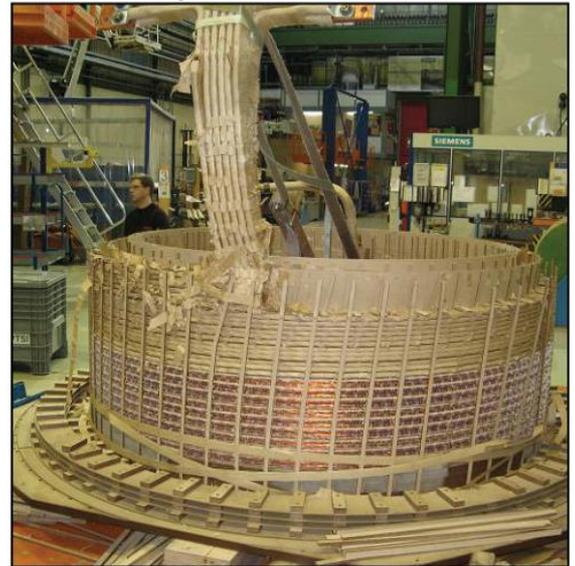


Рисунок 2.2.2 – Деформации (скручивание) обмотки НН макета от действия сил КЗ

A2-202. A.L.N. Vita, G.M. Bastos, Dr. J.C. Mendes, F.C. Neto (Бразилия). *Phase Shifting Transformer on Power Control - A Brazilian Experience (Управление потоками мощности с помощью фазопоротных трансформатора – опыт Бразилии)*

В докладе представлен опыт применения энергокомпанией Furnas фазопоротного трехфазного трансформатора напряжением 138 кВ проходной мощностью 400 МВА (рисунок 2.2.3), установленного на подстанции Angra dos Reis последовательно с трехфазной группой 3x133 МВА однофазных автотрансформаторов 500/138 кВ для управления перетоками мощности между системами 138 кВ и 500 кВ. Фазопоротный трансформатор имеет диапазон регулирования фазового сдвига $\pm 21,6^\circ$. Отмечено, что применение фазопоротного трансформатора значительно улучшило ситуацию с энергоснабжением региона без значительных изменений в структуре энергосистемы.



Рисунок 2.2.3 – Фазопоротный трансформатор напряжением 138 кВ проходной мощностью 400 МВА на подстанции Angra dos Reis

A2-203. J. Li, J. Sun, S. Zhang, R. Liu, H. Tang, H. Cheng, Z. Zhao, F. Gao, R. Guo (Китай). *Research on the Insulation Reliability for the Lead Exit of 1000 kV Transformer* (Исследования надежности изоляции установки ввода трансформатора 1000 кВ)

В докладе представлены результаты исследования электрической прочности изоляции установки ввода трансформатора ультравысокого напряжения 1000 кВ, в том числе испытаний длительным переменным напряжением с выдержкой в течение 10 часов для подтверждения надежной его работы. Испытания проведены на макете, позволяющем проводить испытания без подключения к трансформатору (рисунок 2.2.4). Для регистрации частичных разрядов реализовано подключение измерительных элементов к измерительному выводу высоковольтного ввода и высоковольтному соединительному конденсатору, что позволяет различить сигналы частичных разрядов в изоляции установки ввода от сигналов частичных разрядов в высоковольтном вводе.

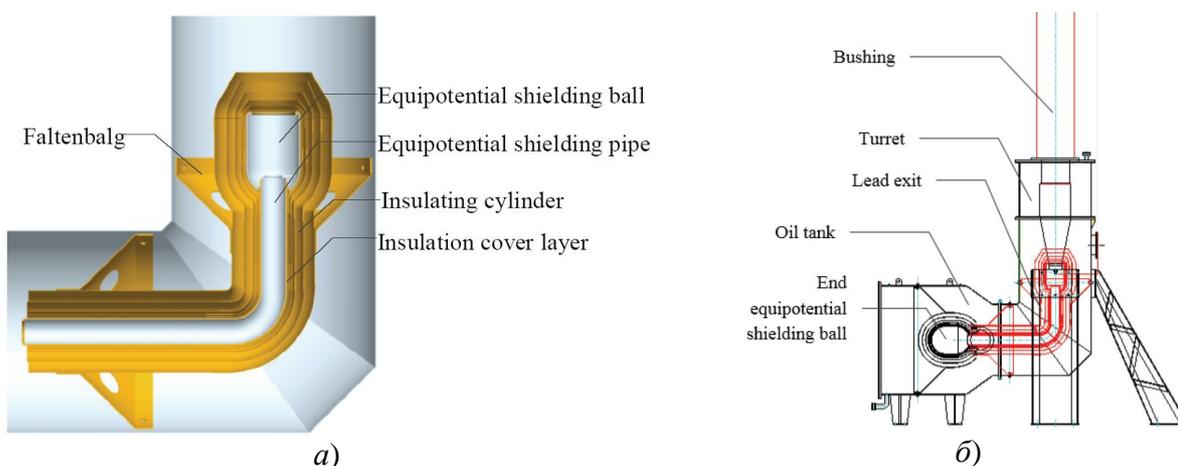
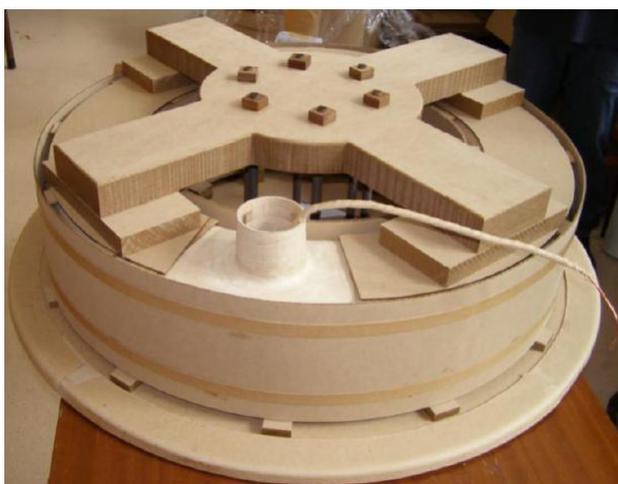


Рисунок 2.2.4 – Эскиз узла установки ввода трансформатора 1000 кВ (а) и макета для испытания изоляции (б)

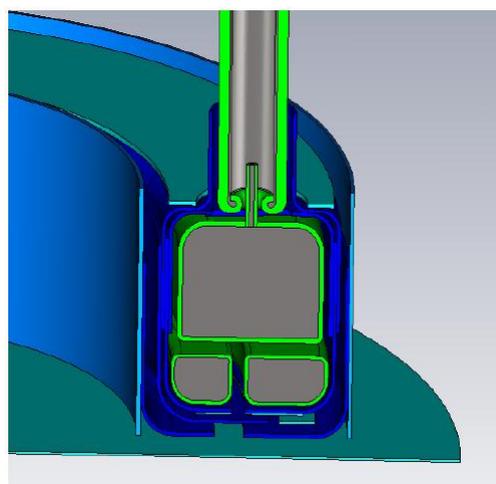
A2-204. R. Wimmer, J. Норре (Германия), A. Mikulecky (Хорватия), F. Jenau, M. Freiburg (Германия). *Basic Research for Fibre Optic Application in HVDC Transformer* (Фундаментальное исследование для применения оптоволоконных датчиков в трансформаторах для передач постоянного тока высокого напряжения)

В докладе представлены результаты исследований, направленных на расширение применения оптоволоконных датчиков в обмотках преобразовательных трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения. Оптоволоконные датчики получили широкое применение в трансформаторах для систем переменного тока с целью непосредственного измерения фактических температур обмоток. Однако их применение в вентильных обмотках преобразовательных трансформаторов для систем постоянного тока затрудняется тем, что материалы, применяемые для изготовления оптоволокна, имеют существенно меньшую проводимость по сравнению с маслом, бумагой и картоном. Как

следствие, при воздействии постоянного напряжения или переменного напряжения с наложенной постоянной составляющей в оптоволокне имеют место большие значения напряженности электрического поля, что может привести к пробое оптоволокна. В докладе представлены результаты исследований электрической прочности оптоволокна из двух материалов (PFA и PTFE), проведенных на моделях с межэлектродными промежутками «диск–диск» и «шар–шар» при воздействии постоянного напряжения при размещении оптоволокна вдоль и поперек электрического поля. Также представлены результаты исследований электрической прочности, проведенные на модели изоляции обмотки трансформатора (рисунок 2.2.5).



а)



б)

Рисунок 2.2.5 – Модель изоляции обмотки трансформатора

а – внешний вид модели; б – сечение 3D модели в плоскости отвода.

Модель изоляции обмотки трансформатора была испытана при воздействии переменного и постоянного напряжения и постоянного напряжения со сменой полярности, при различных температурах масла, в том числе при длительной выдержке напряжения (свыше 6 часов). По результатам исследований сделаны рекомендации о возможности и ограничении области применения оптоволоконных датчиков в вентильных обмотках трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения.

A2-205. S.V.N. Jithin Sundar, A. Yuvaraju, C. Radhakrishna, M. Kumar, S. Sachdeva (Индия). *Design, Testing and Commissioning of First Phase Shifting Transformer In Indian Network (Проектирование, испытания и приемка первого фазоворотного трансформатора в электросетях Индии)*

В докладе представлен опыт проектирования, изготовления, испытаний и приемки первого индийского трехфазного фазоворотного трансформатора компании ВHEL (рисунок 2.2.6), предназначенного для связи между системами 400 кВ и 220 кВ с регулированием фазового сдвига $\pm 15^\circ$ по стороне 220 кВ. Потребность в таком

трансформаторе вызвана развитием энергосистемы Индии, вводом новых мощностей, строительством линий электропередачи напряжением 400 кВ и необходимостью перераспределить потоки мощности между линиями напряжением 400 кВ и 220 кВ.

Трансформатор состоит из основного четырехобмоточного трансформатора напряжением 400/220/55/33 кВ мощностью 315 МВА со схемой соединения обмоток У/У/У/Д и вольтодобавочного серийного двухобмоточного трансформатора напряжением 35/55 кВ мощностью 105 МВА со схемой соединений обмоток «незамкнутый треугольник»/Д; ответвления первичной обмотки серийного трансформатора включаются последовательно к обмотке 220 кВ основного трансформатора для обеспечения требуемого фазового сдвига.



а)



б)

Рисунок 2.2.6 – Фазоповоротный трансформатор компании ВHEL
а – основной трансформатор; б – вольтодобавочный трансформатор.

A2-206. L. Makarevich, L. Mastryukov, V. Ivakin, V. Kovalev, N. Suldin (Россия).
Controlled shunt reactor 500kV 180MVA with new design. Field experience at NELYM substation (Управляемый шунтирующий реактор 500 кВ 180 МВА новой конструкции. Полевые испытания на подстанции «Нелым»)

В докладе представлены основные параметры, описание конструкции, результаты заводских испытаний, а также результаты полевых испытаний на подстанции «Нелым» (Россия) управляемого шунтирующего реактора (УШР) напряжением 500 кВ трехфазной мощности 180 Мвар разработки ОАО «ПК ХК Электрозавод» (рисунок 2.2.7). УШР имеет однофазное исполнение и в сборе состоит из трех однофазных электромагнитных частей, заземляющего реактора, подмагничивающего устройства и системы управления. Изменение индуктивности реактора производится путем подмагничивания магнитных систем активных частей постоянным напряжением, подаваемым в нейтрали сетевых обмоток. Отмечено, что согласно результатам испытаний УШР обладает низким уровнем потерь (около 600 кВт при номинальной мощности) и гармоник (около 2%) и высоким

быстродействием (переход от нулевой к полной мощности при форсировке возбуждения за время не более 0,3 с).

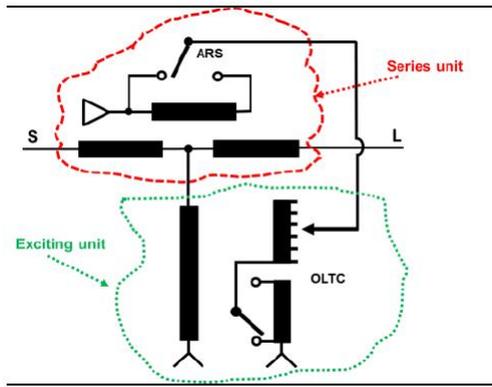


Рисунок 2.2.7 – Управляемый шунтирующий реактор напряжением 500 кВ мощностью на фазу 60 Мвар на подстанции «Нелым»

A2-207. V. Iuliani, A. Di Giulio, F. Palone, M. Rebolini, S. Zunino, M. Ubaldini, S. Badini, G. Cannavale, M. Del Carro, L. Lombini, G. Caprio, A. Vitiello, P.L. Albani, F. Ferrari (Италия). *New Phase Shifting Transformers in the Italian transmission network. Design, manufacturing, testing and electromagnetic transients modelling (Новый фазоповоротный трансформатор в магистральных сетях Италии. Проектирование, изготовление, испытание и моделирование электромагнитных переходных процессов)*

В докладе представлены основные характеристики, описание конструкций, некоторые детали моделирования и анализа конструкции двух типов фазоповоротных трансформаторов, разработанных и изготовленных для энергосистемы Италии. Первый тип трансформатора – напряжением 400 кВ проходной мощностью 1800 МВА с диапазоном регулирования фазового сдвига $\pm 17,5^\circ$, ± 33 ступени, состоит из последовательного трансформатора и трансформатора возбуждения, размещенных в двух отдельных баках (рисунок 2.2.8) с транспортной массой 290 и 295 тонн, соответственно.

Второй тип трансформатора – напряжением 230 кВ проходной мощностью 450 МВА с диапазоном регулирования фазового сдвига $\pm 54,9^\circ$, ± 33 ступени, состоит из последовательного трансформатора и трансформатора возбуждения, размещенных в двух отдельных баках (рисунок 2.2.9) с транспортной массой 325 и 310 тонн, соответственно.

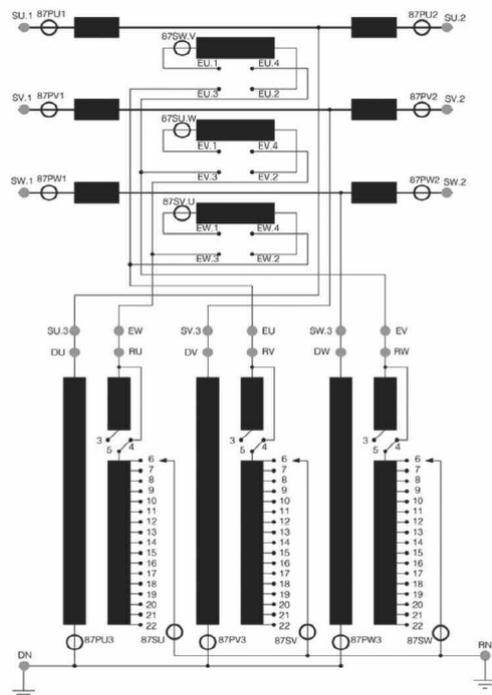


а)



б)

Рисунок 2.2.8 – Схема соединения обмоток (а) и внешний вид (б) фазоповоротного трансформатора 400 кВ



а)



б)

Рисунок 2.2.9 – Схема соединения обмоток (а) и внешний вид (б) фазоповоротного трансформатора 230 кВ

A2-208. M. Nao, Y. Zhou, G. Chen, G. Wilson, P. Jarman (Великобритания). *Charge dynamics in oil/pressboard and HVDC converter transformer* (Динамика зарядов в системе «масло-электрокартон» и преобразовательных трансформаторах для передач постоянного тока высокого напряжения)

В докладе представлены результаты исследований динамики распределения объемного заряда в системе «масло – электрокартон» при воздействии постоянного напряжения. Исследования проведены на образцах электрокартона, пропитанного новым и полученным из эксплуатации состаренным трансформаторным маслом, отличающимся

большим в 2,5 раза влагосодержанием и почти на два порядка большей проводимостью. Представлены результаты выполненных с помощью импульсного электроакустического метода измерений изменения во времени объемной плотности заряда в сечении образца пропитанного маслом электрокартона толщиной 1 мм.

A2-209. R. Slaughter, M. Barnett, A. Reising (Великобритания–Германия). *Design recommendations arising from experience with offshore transformers (Рекомендации по конструкции на основе опыта применения трансформаторов для морских платформ)*

В докладе рассмотрены особенности применения и требования к конструкции силовых трансформаторов для морских платформ (рисунок 2.2.10), используемых в схемах выдачи мощности (рисунок 2.2.11) от морских ветровых электростанций (МВЭС) к расположенным на континенте подстанциям. Рассмотрены вопросы охлаждения трансформаторов, обеспечения пожаробезопасности, выполнения соединений между элементами трансформаторных подстанций, транспортировки, установки и ввода в эксплуатацию, обслуживания и ремонта трансформаторов для морских платформ.



Рисунок 2.2.10 – Внешний трансформаторных подстанций на закрытых (а) и открытых (б) морских платформах

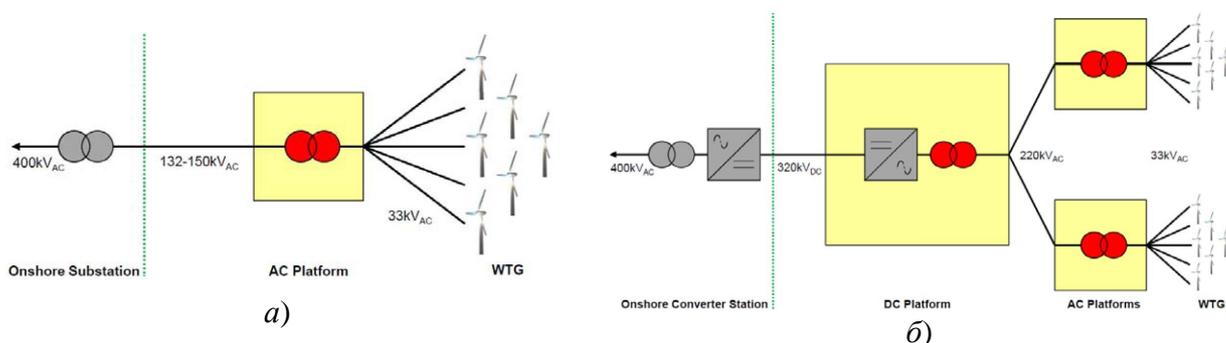


Рисунок 2.2.11 – Типовые схемы выдачи мощности морских ветроэлектростанций с использованием переменного (а) и постоянного тока (б)

A2-210. R. Ahuja, R. Del Vecchio (США). *Analysis of 2 Core Transformer Designs (Анализ конструкций трансформаторов с двумя магнитными системами)*

В докладе рассмотрены вопросы математического моделирования трансформаторов, содержащих две связанные электрически магнитные системы, как, например, в фазопоротных трансформаторах. Представлены уравнения многообмоточного трансформатора для случаев параллельного и последовательного соединения двух активных частей. Рассмотрены вопросы моделирования импульсных переходных процессов и представлены результаты сравнения расчетных и измеренных осциллограмм напряжений на переходах при воздействии напряжения грозового импульса.

A2-211. С. Bengtsson (Швеция), К. Ryen, О.А. Rui (Норвегия), Т. Olsson (Швеция). *Variable Shunt Reactors: Applications and System Aspects (Переменные шунтирующие реакторы: применение и системные аспекты)*

В докладе представлены описание конструкции, принципы регулирования индуктивности и опыт применения в сетях Норвегии переменных шунтирующих реакторов (рисунок 2.2.12) разработки компании АВВ. Особенностью конструкции реакторов данного типа является применение сетевой обмотки с большим числом ответвлений и устройства РПН для изменения индуктивности реактора. Также в докладе затронуты системные аспекты применения переменных шунтирующих реакторов, проблема непереходящего через нуль апериодического тока при коммутации реакторов совместно с линиями и меры борьбы с этим явлением.



Рисунок 2.2.12 – Активная часть переменного шунтирующего реактора напряжением 420 кВ мощностью 90 – 200 Мвар

2.3. ПТЗ «Практический опыт использования нетрадиционных материалов и технологий»

A2-301. V.G. Davydov, T. Zielinski, L. McPherson (Австралия). *Factory and Field Experience with Monitoring of Vegetable Oil Transformer (Заводской и полевой опыт мониторинга состояния заполненных растительным маслом трансформаторов)*

В докладе представлен опыт диагностики и мониторинга состояния трансформатора напряжением 33/11 кВ мощностью 10/16 МВА (рисунок 2.3.1), заполненный растительным маслом в связи с экологическими требованиями. Трансформатор оснащен системой мониторинга, датчиками влагосодержания и температуры масла. Представлены результаты тепловых испытаний и хроматографического анализа растворенных газов (ХАРГ), проведенные на заводе; результаты ХАРГ проб масла, сделанных в эксплуатации; результаты измерений влагосодержания и температуры при эксплуатации в зависимости от нагрузки трансформатора. По итогам анализа данных системы мониторинга сделан вывод о качественной сушке трансформатора при изготовлении и отсутствии поступления влаги из атмосферы в течение всего периода эксплуатации с 2005 по 2013 г.г.

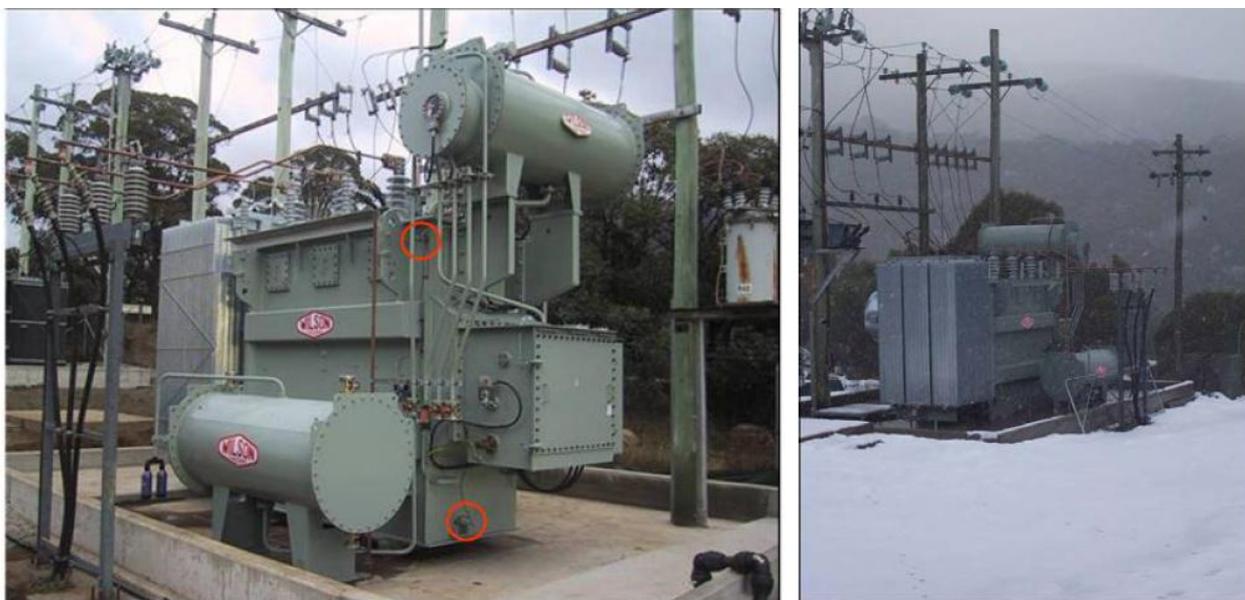


Рисунок 2.3.1 – Трансформатор напряжением 33/11 кВ мощностью 10/16 МВА, заполненный растительным маслом

A2-302. C. Perrier, M-L. Coulibaly (Франция), J. Lukic, V. Mandic (Сербия). *Ageing phenomena of cellulose/oil insulation in natural ester and mineral oil (Феномен старения целлюлозной изоляции в натуральном эфире и минеральном масле)*

В докладе рассмотрены вопросы старения целлюлозной изоляции (бумаги и электрокартона), пропитанной различными жидкими диэлектриками, такими как натуральный эфир, ингибированное и неингибированное минеральное масло. Представлены результаты исследования состояния равновесия влаги в комбинированной масло-целлюлозной изоляции при пропитке минеральным маслом и натуральным эфиром. Представлены результаты исследований устойчивости к старению образцов, содержащих

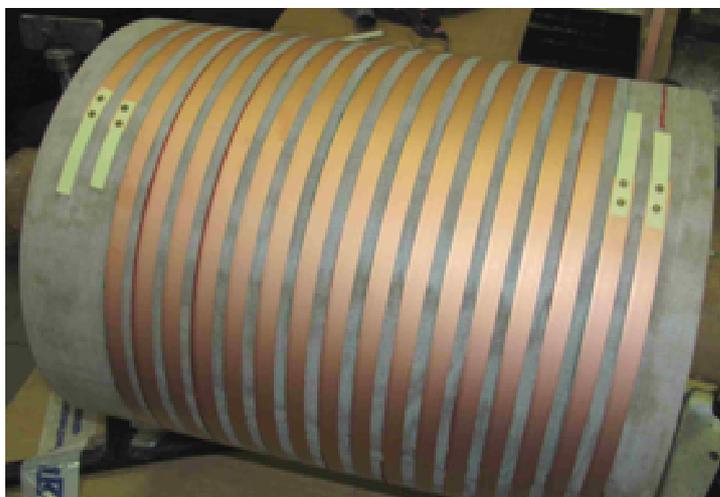
медь, бумагу, электрокартон и жидкий диэлектрик, при выдержке до 120 дней при температуре 140 °С.

A2-303. E.P. Volkov, E.A. Dzhafarov, L.S. Fleishman (Россия). *HTSC transformers with localized magnetic field (Трансформаторы с обмотками из высокотемпературных сверхпроводниковых материалов с локализованным магнитным полем)*

В докладе представлены результаты разработки трансформатора с обмотками из высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов второго поколения. Приведены краткое описание конструкции и характеристика результатов испытаний макета однофазного ВТСП-трансформатора² напряжением 1/0,04 кВ мощностью 10 кВА с магнитопроводом из аморфного сплава и обмотками из ленточного ВТСП-провода (рисунок 2.3.2).



а)



б)

Рисунок 2.3.2 – Макет ВТСП-трансформатора мощностью 10 кВА

а) общий вид макета; б) обмотка НН из ленточного ВТСП-провода.

A2-304. M. Carlen (Швейцария), M. Berrogain (Испания), R. Cameroni, M. Spiranelli (Италия). *Dry-type subtransmission transformer: compact and safe indoor substations (Сухой трансформатор для распределительных сетей высокого напряжения: компактные и безопасные закрытые подстанции)*

В докладе представлена инновационная разработка компании АВВ – сухой трансформатор HiDry72 с наибольшим рабочим напряжением 72,5 кВ для применения в распределительных сетях высокого напряжения. Представлены основные технические характеристики и примеры установки разработанных сухих трансформаторов, в том числе на подстанции 69 кВ (рисунок 2.3.3), расположенной под ареной стадиона Fonte Nova,

² Макет изготовлен в рамках разработки ВТСП-трансформатора напряжением 10/0,4 кВ мощностью 1000 кВА, выполняемой ОАО «ЭНИН» по заказу Госкорпорации «Росатом».

построенного в рамках проведения чемпионата мира по футболу в Бразилии. Рассмотрены вопросы создания компактных пожаробезопасных подстанций с применением сухих трансформаторов DryType и мобильных подстанций с наибольшим рабочим напряжением 72,5 кВ, а также вопросы пожаробезопасности закрытых подстанций.



Рисунок 2.3.3 – Закрытая подстанция стадиона Fonte Nova с установленным сухим трансформатором напряжением 69 кВ мощностью 25 МВА с устройством РПН

A2-306. J.G. Castellanos (Мексика). *Experience with application of natural-ester filled HV transformers in Mexico (Опыт применения в Мексике заполненных натуральным эфиром трансформаторов высокого напряжения)*

В докладе представлен опыт испытаний более 20 трансформаторов, заполненных натуральными эфирами. Представлено сравнение результатов измерений и испытаний заполненных натуральными эфирами и обычных масляных трансформаторов, включая измерения сопротивления изоляции, измерения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости, измерений влагосодержания и пробивного напряжения жидкого диэлектрика, испытаний на нагрев и хроматографического анализа растворенных газов.

A2-307. R. Osón, R. Montes, R. Liñan, A. Guzmán (Мексика). *Experience with the first 230 kV shell type autotransformer retro-filled with natural ester on mexican grid (Опыт применения в электросетях Мексики автотрансформатора 230 кВ бронированного типа, перезалитого натуральным эфиром)*

В докладе представлен практический опыт, полученный на однофазном масляном автотрансформаторе напряжением 230/115/13,8 кВ мощностью 25/33,33 МВА, который был изготовлен в 1978 году и перезалит натуральным эфиром в 2011 году. Представлены результаты анализа совместимости материалов, расчетов изоляции и тепловых расчетов, выполненных в рамках рассмотрения возможности перезаливки автотрансформатора. Представлены результаты заводских и полевых испытаний и измерений. Отмечено, что полученный опыт будет полезен для изготовителей оборудования и эксплуатирующих

организаций, поскольку было продемонстрировано, что натуральные эфиры представляют собой хорошую альтернативу минеральному маслу в трансформаторах напряжением вплоть до 230 кВ.

3. Дискуссионное заседание комитета А2 «Трансформаторы»

В ходе дискуссионного заседания были сделаны специальные сообщения, обобщающие представленные доклады и отражающие современное состояние развития трансформаторостроения. По указанным выше трем предпочтительным темам были рассмотрены следующие вопросы:

1) ПТ1 «Передовая практика управления ресурсом»:

- опыт онлайн-мониторинга состояния вводов и РПН;
- ошибочная интерпретация данных системами мониторинга и повышение надежности оценки состояния оборудования;
- длительная эксплуатация и надежность датчиков систем мониторинга;
- опыт применения и сравнения индексов состояния трансформаторов;
- объем данных, необходимый для оценки индексов состояния трансформаторов;
- проведение анализа поврежденных трансформаторов для получения ценной диагностической информации.

2) ПТ2 «Трансформаторы специального применения»:

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

3) ПТЗ «Практический опыт использования нетрадиционных материалов и технологий»:

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

4. Заседание Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы»

В рамках совместного коллоквиума 25 августа 2014 года состоялось закрытое заседание Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы». В заседании приняли участие регулярные члены комитета А2 – представители национальных комитетов стран-участников СИГРЭ, а также гости, присутствие которых было одобрено руководством комитета А2.

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

4.1. Активность комитета А2 «Трансформаторы» СИГРЭ в 2013 году

Сообщено о завершении работы рабочей группы А2-С4.39 «Электрические переходные взаимодействия между трансформатором и электрической системой» (Electrical transient interaction between transformer and power system) и выходе следующих публикации:

- брошюра № 577А – «Электрическое взаимодействие между трансформатором и электрической системой. Часть 1 – Экспертиза» (Electrical interaction between transformer and the power system. Part 1 – Expertise);
- брошюра № 577В – «Электрическое взаимодействие между трансформатором и электрической системой. Часть 2 – Практические примеры» (Electrical interaction between transformer and the power system. Part 2 – Case Studies);

- Electra №273, апрель 2014 – статья «Электрическое взаимодействие между трансформатором и электрической системой» по итогам работы рабочей группы А2-С4.39.

Сообщено о публикации в журнале Electra №270, октябрь 2013 сообщения о совместном коллоквиуме ИК А2/С4 в 2013 году.

В 2014-2015 г.г. запланирована публикация брошюр и статей в Electra по следующим рабочим группам:

- А2.37 «Исследование надежности трансформаторов» (Transformer Reliability Survey);

- А2.38 «Тепловое моделирование трансформаторов» (Transformer Thermal modeling);

- А2.40 «Длительное подавление сульфида меди и оценка риска» (Copper Sulphide Long-Term Mitigation and Risk Assessment);

- А2.42 «Транспортирование трансформаторов» (Transformer Transportation);

- А2.44 «Интеллектуальный мониторинг состояния трансформаторов» (Transformer Intelligent Condition Monitoring).

4.2. Краткие сообщения о работе рабочих групп

- А2.37 «Исследование надежности трансформаторов» (Transformer Reliability Survey);

- А2.38 «Тепловое моделирование трансформаторов» (Transformer Thermal modeling);

- А2.40 «Длительное подавление сульфида меди и оценка риска» (Copper Sulphide Long-Term Mitigation and Risk Assessment);

- А2/D1.41 «Изоляция трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения – проводимость масла» (HVDC transformer insulation – Oil conductivity);

- А2.42 «Транспортирование трансформаторов» (Transformer Transportation);

- А2.43 «Надежность трансформаторных вводов» (Transformer Bushing Reliability);

- А2.44 «Интеллектуальный мониторинг состояния трансформаторов» (Transformer Intelligent Condition Monitoring);

- А2.45 «Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ» (Transformer failure investigation and post-mortem analysis);

- А2-D1.46 «Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов» (Field experience with transformer aging markers);

- D1-A2.47 «Новые возможности для ХАПГ» (New frontiers for DGA);

- А2.48 «Шунтирующие реакторы» (Shunt reactors);

- A2.49 «Оценка состояния» (Condition assessment);
- A2.50 «Эффект распределенных источников энергии» (Effect of distributed energy sources).

4.3. Краткие сообщения о новых рабочих группах, начавших работу в 2013 году

- JWG A2-D1.51 «Частичные разряды» (Partial discharge);
- JWG A2-C4.52 «Высокочастотные модели трансформаторов и реакторов» (High frequency models).

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

4.4. Сообщение о деятельности IEEE Transformer Committee

4.5. Сообщение о деятельности ТК 10 «Изоляционные жидкости» МЭК

Сообщено, что в стадии разработки находится новая редакция стандарта МЭК 60599 по хроматографическому анализу растворенных газов.

Также сообщено о разработке стандарта МЭК 62697 в трех частях по методам испытаний для количественной оценки соединений коррозионной серии в изоляционных жидкостях. В 2012 году вышла первая часть, определяющая метод количественного определения дибензилдисульфида.

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

В 2014 году вышел в свет новый стандарт МЭК:

- IEC 60214-1:2014 версия 2.0 «Переключающие устройства – Часть 1: Технические требования и методы испытаний» (Tap-changers - Part 1: Performance requirements and test methods).

В стадии разработки находятся следующие стандарты МЭК:

- IEC 60076-10 версия 2.0 «Силовые трансформаторы – Часть 10: Определение уровней звука» (Power transformers - Part 10: Determination of sound levels);
- IEC 60076-10-1 версия 2.0 «Силовые трансформаторы – Часть 10-1: Определение уровней звука – Руководство по применению» (Power transformers - Part 10-1: Determination of sound levels - Application guide);
- IEC 60076-15 версия 2.0 «Силовые трансформаторы – Часть 15: Силовые газонаполненные трансформаторы» (Power transformers - Part 15: Gas-filled power transformer);
- IEC 60076-16 версия 2.0 «Силовые трансформаторы – часть 16: Трансформаторы для ветряных турбин» (Power transformers - Part 16: Transformers for wind turbine applications);

- IEC 60076-20 версия 1.0 «Силовые трансформаторы – часть 20: Энергоэффективность» (Power transformers - Part 20: Energy efficiency);

- IEC 60076-22-1 версия 1.0 «Составные части силовых трансформаторов и реакторов – Защитные устройства» Power transformer and reactor fittings - Protective devices);

- IEC 60076-22-2 версия 1.0 «Системы охлаждения силовых трансформаторов и реакторов» (Power transformer and reactor cooling equipment);

- IEC 60076-22-3 версия 1.0 «Составные части силовых трансформаторов и реакторов – Вспомогательное оборудование и составные части» (Power transformer and reactor fittings - Accessories and fittings).

- IEC 60076-57-1202 версия 1.0 «Наполненные жидкостью фазоповоротные трансформаторы» (Liquid Immersed Phase Shifting Transformers) – в рамках совместной процедуры разработки стандартов с двойной аббревиатурой IEC/IEEE;

- IEC 61378-3 версия 2.0 «Преобразовательные трансформаторы – Часть 3: Руководство по применению» (Converter transformers - Part 3: Application guide).

В 2014 году инициирована процедура пересмотра следующих стандартов МЭК:

- IEC 60076-11 версия 2.0 «Силовые трансформаторы – Часть 11: Сухие трансформаторы» (Power transformers - Part 11: Dry-type transformers);

- IEC 60076-21 версия 2.0 «Силовые трансформаторы – часть 21: Стандартные требования, терминология и методы испытаний распределительных регулировочных трансформаторов для установки на воздушных линиях и подстанциях» (Power transformers - Part 21: Standard requirements, terminology, and test code for distribution overhead and substation step-voltage regulators).

4.7. Сообщение о деятельности комитета D1 «Материалы и новые методы испытаний»

Сообщено об инициации новой рабочей группы в рамках комитетов A2 и D1 по механическим характеристикам картона. Для работы в группе требуются эксперты, специализирующиеся в механических расчетах.

4.8. Сообщение консультативной группы AG A2.5 «Трансформаторы для сетей ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока» (UHV AC & DC transformer)

4.9. Сообщение о коллоквиуме комитета A2 в 2015 году

Следующий коллоквиум комитета A2 «Трансформаторы» запланирован на период с 20 по 25 сентября 2015 года в г. Шанхай, Китай. Сообщено о следующих предварительных предпочтительных темах:

ПТ1 – Оборудование и компоненты для трансформаторов сверх- и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока:

- технические характеристики, конструирование, изготовление и испытание;
- ограничения при транспортировке, особенности установки и ввода в эксплуатацию;
- надежность, эксплуатация и обслуживание;
- особенности шунтирующих реакторов сверх- и ультравысокого напряжения.

ПТ2 – Технологии для оборудования подстанций будущего и активно-адаптивных сетей (совместно с комитетами А3 и В3):

- оборудование высокого напряжения с использованием инновационных эффективных и экологически чистых дугогасящих сред и изоляционных материалов;
- оптимизация проектов подстанций, практики эксплуатации и обслуживания и оборудования в части эффективности, компактности, уровня шума, стоимости, низких эксплуатационных расходов;
- улучшенное управление коммутационными аппаратами и другие меры снижения воздействий в сети и взаимодействия между оборудованием высокого напряжения и электрической сетью;
- увеличение применения полупроводниковых технологий и сверхпроводимости.

ПТ3 – Лучшее использование существующего парка трансформаторов:

- техники управления ресурсом, оценки критичности, ранжирование парка трансформаторов;
- улучшение методов мониторинга состояния и диагностики и испытаний на месте установки;
- влияние более суровых погодных условий и новые экологические требования;
- методы снижения повышенных воздействий на старые трансформаторы.

Основные сроки: подача тезисов – до 20.11.2014; подтверждение участия – 20.01.2015; полный доклад – до 20.05.2015 (на заседании также обсуждалась возможность продления срока представления тезисов).

4.10. Сообщение о 46-й сессии СИГРЭ в 2016 году

Сообщено о следующих предварительных предпочтительных темах:

ПТ1 – Новые достижения в диагностике и мониторинге:

- инновационная и лучшая практика интерпретации данных и оценки состояния, как использовать результаты для прогноза, 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 систем мониторинга для обеспечения эффективного использования данных.

ПТ2 – трансформаторы ультравысокого напряжения и компоненты:

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

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

- особенности шунтирующих реакторов.

ПТ3 – обмотки трансформаторов:

- 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 практик обслуживания на характеристики обмоток.

4.11. Сообщение о коллоквиуме комитета А2 в 2017 году

От национального комитета СИГРЭ Польши поступило предложение провести коллоквиум комитета А2 «Трансформаторы» СИГРЭ в Польше.

5. Техническая выставка

В период с 25 по 29 августа 2014 года проходила техническая выставка, на которой стенды представили широко известные компании, такие как ABB, ALSTOM, Siemens, Toshiba, Haefely Test AG, MR Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Omicron electronics GmbH, Weidmann Electrical Technology AG, ENPAY, Huaming, SuperPower и др.

Также следует отметить масштабную экспозицию Министерства Энергетики РФ, на которой в том числе был представлен стенд Российской инновационной компании ЗАО «СуперОкс» – производителя ВТСП ленты 2-го поколения, предназначенной для применения в сверхпроводящих токоограничителях, кабелях, двигателях, трансформаторах, магнитах и других устройствах.

Заключение

1. По итогам 45-й сессии по комитету А2 СИГРЭ можно отметить следующие наиболее обсуждаемые ключевые вопросы:

- практика управления ресурсом трансформаторов;
- повышение надежности эксплуатируемого трансформаторного оборудования;
- применение специального трансформаторного оборудования;
- применение новых материалов с целью повышения экологической чистоты, взрыво- и пожаробезопасности и энергоэффективности.

2. В части практики управления ресурсом трансформаторов следует отметить имеющийся интерес к следующим вопросам:

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

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

- развитие систем мониторинга и повышение их эффективности;
- определение допустимых перегрузок силовых трансформаторов;
- восстановление трансформаторов после стихийных бедствий.

4. В части новых типов трансформаторного оборудования следует отметить имеющийся интерес к следующим вопросам:

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

5. В части применения новых материалов следует отметить следующие тенденции:

- применение жидких диэлектриков, альтернативных традиционному трансформаторному маслу (например, натуральных эфиров);

- повышение класса напряжения сухих трансформаторов вплоть до 110 кВ, разработка сухих трансформаторов на напряжения для применения в сетях среднего и высокого напряжения;

- применение прорывных решений по активным материалам (применение высокотемпературной сверхпроводимости).