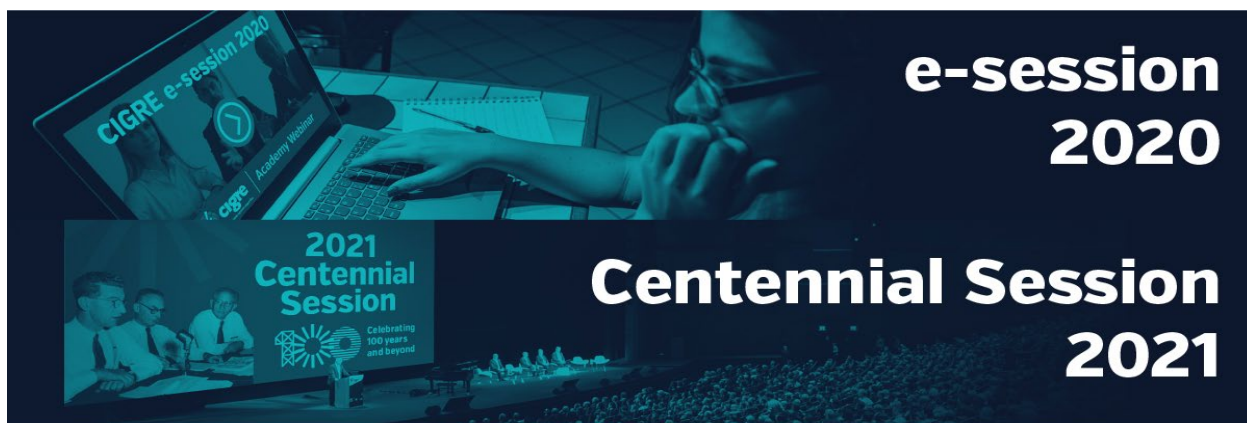




Некоммерческое партнерство «Российский национальный комитет Международного Совета по большим электрическим системам высокого напряжения» (РНК СИГРЭ)
 109074, Россия, г. Москва, Китайгородский проезд, дом 7, стр.3. ОГРН 1037704033817. ИНН 7704266666 / КПП 770401001. Тел.: +7 (495) 627-85-70. E-mail: cigre@cigre.ru



ОТЧЕТ

об участии в работе 48- ой Сессии Международного Совета по большим электрическим системам высокого напряжения (СИГРЭ) и заседаниях Исследовательского Комитета D1
 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики»

Отчет подготовил:

Славинский Александр Зиновьевич
 д.т.н., Представитель РНК СИГРЭ в
 Исследовательском Комитете D1,
 Руководитель НИК D1 РНК СИГРЭ
 «Материалы и разработка новых методов
 испытаний и средств диагностики»
 Генеральный директор ООО «Завод «Изолятор»
 Зав. кафедрой физики и технологии
 электротехнических материалов и компонентов
 ИЭТЭ НИУ «МЭИ»

Контактные данные:

e- mail: alexander.slavinskiy@mail.ru

Дата составления отчета:

22 сентября 2021 г.

Москва 2021

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	
1.1. Сессия 2020 (e-session), столетняя Сессия СИГРЭ 2021	3
1.2. Сфера деятельности ИК D1	4
1.3. Основные направления деятельности ИК D1	4
1.4. Представители от России в SC D1	5
1.5. Основные мероприятия 48- ой Сессии СИГРЭ по ИК D1	5
2. Обзор докладов	10
2.1. ПТ1: Испытания, мониторинг, диагностика	10
2.2. ПТ2: Функциональные свойства и деградация изоляционных материалов	26
2.3. ПТ3: Изоляционные системы передовых технологий	36
3.Заседание Исследовательского комитета D1«Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики»	44
4. Заключение	46

1. Введение

1.1. Сессия 2020 (e-session), столетняя Сессия СИГРЭ 2021

Из-за Covid-19 очная Сессия СИГРЭ, запланированная на 2020 год перенесена на 2021 год. Между тем в 2020 году состоялась уникальная цифровая электронная сессия. Электронная сессия СИГРЭ проходила в течение девяти дней с понедельника **24 августа по четверг 3 сентября 2020 года** и объединила более двух тысяч делегатов из 65 стран. Это беспрецедентное событие предоставило обширный опыт в энергосистеме, предоставленный в цифровом формате для всего мирового сообщества СИГРЭ. В течение двухнедельного периода прошли десятиминутные авторские презентации по более чем 800 углубленным техническим документам. Эти документы охватывали все тематические направления СИГРЭ. Вопросы авторам докладов задавались в режиме онлайн. Модератором заседания озвучивались вопросы, на которые авторы также в формате онлайн отвечали на вопросы.

Учитывая сохраняющуюся неуверенность в отношении здоровья из-за пандемии, **столетняя Сессия СИГРЭ** проходила с **18 по 27 августа 2021 года** в полностью виртуальном формате.

Групповые обсуждения (GDM) транслировались из пяти новых современных студий во Дворце конгрессов в Париже. Делегаты также могли получить доступ в цифровом формате к огромному диапазону исторических материалов, включая все предыдущие заседания Сессии с момента создания СИГРЭ.

Сессия СИГРЭ 2021 была основана на системе «Специального докладчика», т. е. отдельные доклады не представляются авторами индивидуально во время заседания дискуссионной группы, а включены в «Специальный отчет», в котором изложена суть документов. и структурирует их обсуждение в форме «вопросов», требующих участия аудитории.

1.2. Сфера деятельности ИК D1

Исследовательский комитет (ИК) D1 занимается изоляционными материалами и методиками диагностирования основного электрооборудования.

Сфера деятельности ИК D1 охватывает новые и существующие материалы, применяемые в электротехнике. Задача комитета – содействие прогрессу в технике и международному обмену информацией. Она достигается посредством анализа современных методов исследований, разработки рекомендаций, а также контроля применения новых материалов, методик испытаний и общих концепций диагностики.

1.3. Основные направления деятельности ИК D1

Основные направления деятельности ИК D1 связаны:

- с исследованием фундаментальных аспектов новых и существующих материалов для электротехники (проводящих и изоляционных материалов для электротехнического использования);
- с изучением многокомпонентных изоляционных устройств с одним или несколькими электроизоляционными материалами, используемыми совместно с соответствующими проводящими частями;
- с разработкой диагностических методов и соответствующих требований к ним;
- с созданием новых методов испытаний.

В ближайшие годы деятельность ИК D1 будет направлена на изучение новых изоляционных материалов для улучшения их технических характеристик применительно к электротехнике, а также совершенствованию методов испытаний и средств диагностики. Результаты испытаний и измерений, разработанных с использованием знаний о свойствах материалов и электроизоляционных систем при воздействии электрических, тепловых, механических, химических и природных факторов, будут применены для создания новых методов диагностики.

1.4. Представители от России в SC D1

В SC D1 CIGRE регулярным членом от Российской Федерации с 2016 года является **Александр Зиновьевич Славинский**, д.т.н., генеральный директор ООО «Завод «Изолятор», руководитель НИК D1 РНК СИГРЭ, зав. кафедрой физики и технологии электротехнических материалов и компонентов ИЭТЭ НИУ «МЭИ».

С 2020 года Т.Е. Шадриков, член НИК D1 РНК СИГРЭ, доцент кафедры высоковольтной электроэнергетики, электротехники и электрофизики ФГБОУ ВО «ИГЭУ», к.т.н. вошел в состав SC D1 от РФ дополнительным регулярным членом.

1.5. Основные мероприятия 48- ой Сессии СИГРЭ по ИК D1

Сессия СИГРЭ 2020 (e-session)

24 августа 2020 года в конференц-зале завода «Изолятор» состоялась трансляция торжественного открытия 48-й Сессии СИГРЭ. Это центральное событие в деятельности крупнейшей международной организации научно-технического обмена в электроэнергетике.

27 августа 2020 г. НИК D1 РНК СИГРЭ принял участие в он-лайн Tutorial D1, акцент которого был сделан на влиянии изоляционные материалы на срок службы силовых трансформаторов. Изоляционные материалы и медные проводники являются важными компонентами силового трансформатора не только из-за их электрических функций, но и потому, что они играют важную роль в обеспечении механической стабильности системы в течение длительного периода времени (то есть в течение всего срока службы трансформатора).

28 августа 2020 года в конференц-зале завода «Изолятор» состоялась трансляция форума «Женщины в энергетике» в рамках электронной сессии СИГРЭ 2020.

Сообщество «Женщины в энергетике» от НИК D1 РНК СИГРЭ представляли: Марина Владимирова, руководитель службы по обеспечению деятельности завода «Изолятор» и Ирина Давиденко, д.т.н., профессор

кафедры «Электрические машины» Уральского Государственного Университета им. Первого Президента РФ Б.Н. Ельцина

Форум «Женщины в энергетике» в рамках электронной сессии СИГРЭ 2020 был посвящен принятию изменений и преодолению барьеров после COVID и направлен на содействие развитию женщин-инженеров путем обмена опытом и предоставления возможностей для общения.

02 и 03 сентября 2020 года в рамках электронной Сессии СИГРЭ состоялись заседания Исследовательского комитета СИГРЭ D1 (SC D1 CIGRE) «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики», на котором Председатель SC D1 CIGRE Ральф Питч подвел итоги работы комитета и представил задачи на 2021-2022 годы.

Далее в рабочем графике заседания SC D1 были представлены презентации докладов по предпочтительным темам направления Исследовательского комитета D1. В течении двух дней работы было представлено 42 доклада.

Представление презентаций сформировано по темам. Вопросы авторам докладов задавались в режиме онлайн. Модератором заседания озвучивались вопросы, на которые авторы также в формате онлайн отвечали на вопросы.

На заседаниях SC D1 от России по тематическому направлению комитета D1 было представлено три доклада:

1. *«Особенности выбора рабочего напряжения изоляции в системах переменного тока повышенной частоты» Т.Е. Шадриков, А.М. Соколов, А.А. Дьячков, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет», Россия.*

Научным сообществом Ивановского государственного университета (ИГЭУ) предложена методика расчёта электрической прочности и рабочего напряжения изоляции кабельных линий повышенной частоты.

2. *«Новый метод для оценки степени полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов» В.К. Козлов, А. Х. Сабитов ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Россия.*

Авторами Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ) предложен способ и аппаратура для определения степени полимеризации бумажно-масляной изоляции трансформаторов без отбора образцов изоляции на длинах волн в видимой области спектра 650÷655 нм в лабораторных условиях. Методика аттестована в ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Республике Татарстан» г. Казань.

3. *«Спектральное исследование состава осадков в бумажно-масляной изоляции высоковольтных вводов» С.М. Коробейников, М.Н. Лютикова, А.А. Коновалов, «ФСК ЕЭС», Россия.*

Коллегам было представлено обоснование необходимости проведения спектральных исследований состава осадков в изоляции трансформаторов и высоковольтных выводов. (М.Н. Лютикова, Рос сети (ФСК ЕЭС).

04 сентября 2020 г. в он-лайн формате состоялось заседания SC D1, на котором были представлены отчеты консультативных, рабочих групп и другие вопросы по повестке заседания SC D1.

Столетняя Сессия СИГРЭ 2021 (виртуальный формат)

20 августа 2021 года Национальный исследовательский комитет D1 Российского национального комитета СИГРЭ принял участие в торжественной церемонии открытия 48-й сессии СИГРЭ. 48-я Сессия, посвященная 100-летию юбилею СИГРЭ прошла в виртуальном формате в силу ограничений, связанных с распространением коронавирусной инфекции COVID-19.

23 августа 2021 года состоялась трансляция 5-ого форума «Женщины в энергетике». Форум призван способствовать освещению успеха женщин в сфере энергетики и повышению активности участниц сообщества в мероприятиях СИГРЭ.

23 августа 2021г. состоялась трансляция обучающей программы SC D1 «Диэлектрические испытания систем высоковольтной передачи постоянного тока с газовой изоляцией (Клаус Нойманн).

Обучающая программа (Toutoris) представлена совместной рабочей группой JWG D1/B3.57. Рассмотрены базовые явления в системах высоковольтной передачи постоянного тока с газовой изоляцией под действием постоянного тока и перенапряжения, общие методики испытаний на устойчивость к этим факторам. В частности, испытания системы изоляции необходимы для подтверждения удовлетворительных электрических параметров системы, в состав которой входят изоляторы постоянного тока с поверхностным зарядом, размещенные в изолирующей газовой среде.

Обзор всех испытаний приведен в «Рекомендациях по диэлектрическим испытаниям систем высоковольтной передачи постоянного тока с газовой изоляцией». Пользователям были предоставлены описания методик и оборудования для проведения испытаний с особым акцентом на испытания при наложении импульсов напряжения и испытания опытных установок.

Исследовательский комитет D1 РНК СИГРЭ «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики» работает в тесном сотрудничестве с ИК А2 «Силовые трансформаторы и реакторы» и ИК А3 «Оборудование для магистральных и распределительных электрических сетей». Тематика докладов по этим направлениям, представленным на Сессии СИГРЭ заинтересовала представителей НИК D1, которые приняли участие в работе вебинаров по направлению ИК А2 и ИК А3.

По тематике ИК А2 в докладах сделан акцент на повышение надежности трансформаторов (индекс исправности трансформаторов и управления активами; использования жидкостей на основе сложных эфиров для повышения надежности трансформатора, характеристики трансформатора и ремонт трансформатора в эксплуатации).

По тематическому направлению ИК А3 в докладах обсуждались темы, отражающие потребность в испытаниях новых типов оборудования.

Сессия СИГРЭ 2021 была основана на системе «Специального докладчика», т. е. отдельные доклады не представляются авторами индивидуально во время заседания дискуссионной группы, а включены в «Специальный отчет». В дополнение отчету Специальные репортеры, председатель, организаторы консультативных групп и некоторые избранные рабочие группы предоставят дополнительную, но краткую и важную информацию о своих задачах и статусе в рамках Исследовательского комитета SC D1.

Представители НИК D1 РНК СИГРЭ приняли активное участие в мероприятиях в рамках Сессии СИГРЭ.

Обзор докладов, отражающих основные направления испытания, мониторинга, диагностики, функциональных свойств и деградации изоляционных материалов, изоляционных системы передовых технологий по итогам 48-й Сессии СИГРЭ приведен ниже.

По тематике ИК D1 СИГРЭ «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики» на 48-ю сессию СИГРЭ представлено 45 работ из 21 страны: 23 статьи - предпочтительная тема ПТ 1, 12 статей – предпочтительная тема ПТ 2, 10 статей - предпочтительная тема ПТ3.

ПТ1: Испытания, мониторинг, диагностика (23 доклада)

- опыт и понимание систем мониторинга;
- надежность испытательного оборудования и систем для испытания, мониторинга и диагностики;
- аналитическая обработка данных и предварительная оценка состояния оборудования.

ПТ2: Функциональные свойства и деградация изоляционных материалов (12 докладов)

- новые нагрузки, например силовая электроника, циклическая нагрузка, более высокие температуры и компактность.

- материалы с меньшим воздействием на окружающую среду, во время производства, эксплуатации и утилизации;

- методы для проверки функциональных характеристик.

ПТЗ: Изоляционные системы передовых технологий (10 докладов)

- материалы, подверженные высоким нагрузкам, например таких как напряженность электрического поля, магнитный поток, электрический ток и частота;

- опыт и требования к новым процедурам и стандартам;

- разработка новых материалов (в том числе и в 3D представлении производственного процесса и т.д.).

Обзор докладов, представленных по тематике ИК D1

ПТ1: Испытания, мониторинг, диагностика.

D1-101 Predictive maintenance based on continuous monitoring of OLTCs electrical signatures (*Профилактическое обслуживание, основанное на непрерывном мониторинге электрических показателей устройств РПН*), A. M. Barbosa ¹; C. A. M. Gomes ¹; E. L. Nascimento²; A. B. Barnabe ²; A. Santa Rosa ², LIGHT S.E.S.A. ¹; CGTI – Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação ²; Brazil (Бразилия).

В докладе **D1-101** представлена онлайн-система мониторинга РПН, способная обнаружить отказы оборудования и износ контактов, основываясь только на электрических сигнатурах ТРС¹ и МС², с использованием методов цифровой обработки сигналов.

Сигналы поступают через датчики тока, установленные в фазах трансформатора А, В и С, а также через датчик тока двигателя РПН, как показано на рисунке 1. Кроме того, сбор данных осуществляется вне переключателя. Поэтому его можно установить в любой тип и модель

¹ ТРС (Transformer Phase Currents)- Фазные токи трансформатора

² МС (Motor Current) -Ток двигателя

устройства РПН, даже в рабочем состоянии, без необходимости прерывать его работу.

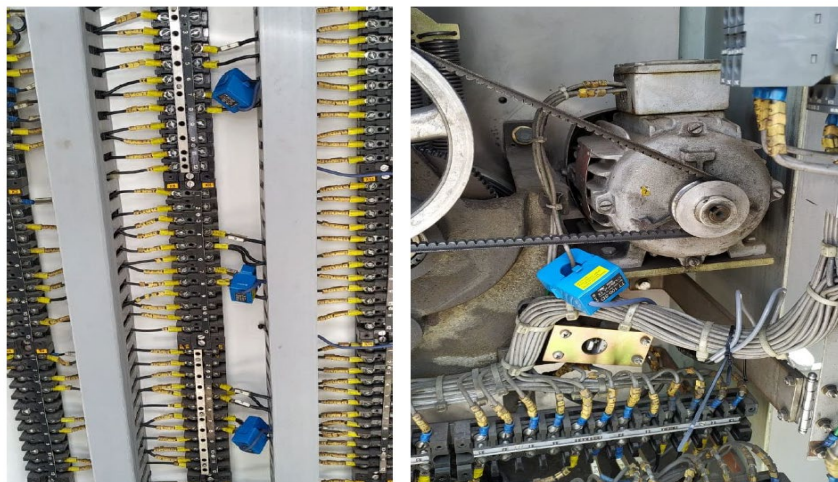


Рис.1 Регистрация ТРС (слева) и МС (справа) через датчики тока в трансформаторе

Сочетание инструментов для извлечения и классификации данных позволяет SMC диагностировать в режиме реального времени степень износа компонентов OLTC³. Исходя из этого, можно заранее точно оценить, когда РПН выйдет из строя, уменьшив объем профилактического и корректирующего обслуживания. Полученные результаты хорошо совпали с аномалиями, обнаруженными техническими специалистами по обслуживанию РПН.

Система представляет собой новый метод профилактического обслуживания РПН, который обеспечивает неинвазивную альтернативу известным методам обслуживания. С его помощью компании могут уверенно прогнозировать подходящее время для профилактического обслуживания устройств РПН.

D1 – 102 Development and implementation of partial discharges on-line monitoring module in GIS 110kV switchgears (*Разработка и внедрение модуля оперативного мониторинга частичных разрядов в КРУЭ 110кВ*)
W. Gil¹, W. Maslowski¹, P. Wronek¹, E. Jechorek², W. Sikorski³, K. Walczak³,

³ OLTC(On-Load Tap-Changer) -Устройство РПН

¹*Mikronika*, ²*Elektrobudowa Konin*, ³*Poznan University of Technology, Poland*
(Польша).

В докладе **D1 – 102** представлен недавно разработанный и применяемый модуль контроля частичных разрядов (ЧР) в трехфазных элегазовых распределительных устройствах (КРУЭ), предназначенный для работы в силовых сетях с номинальным напряжением 110 кВ. Модуль основан на наборе активных зондов ЧР, в которых антенна интегрирована с измерительным электронным и оптоволоконным интерфейсом связи. PDAР⁴ устанавливаются на поверхности выбранных изоляционных барьеров завода-изготовителя.

Цифровые данные от PDAР поступают на многоканальный концентратор данных, показанный на рисунке 2. Это специализированное модульное устройство, подготовленное для работы в условиях подстанции, оснащенное много портовыми сетевыми коммуникационными картами. Он выполняет первоначальную интеграцию данных ЧР, полученных от многих PDAР в форму, которая облегчает их передачу на сервер и выполнение онлайн изображений разрядной активности частичных разрядов PRPD⁵. Все импульсы частичных разрядов в PRPD распределении отображаются точками на двухмерной плоскости с координатами амплитуда-фаза питающего напряжения.

⁴ PDAР (Partial Discharge Active Probe) - Активный зонд частичного разряда

⁵ PRPD (Phase Resolved Partial Discharges) – амплитудно-фазовое распределение ЧР

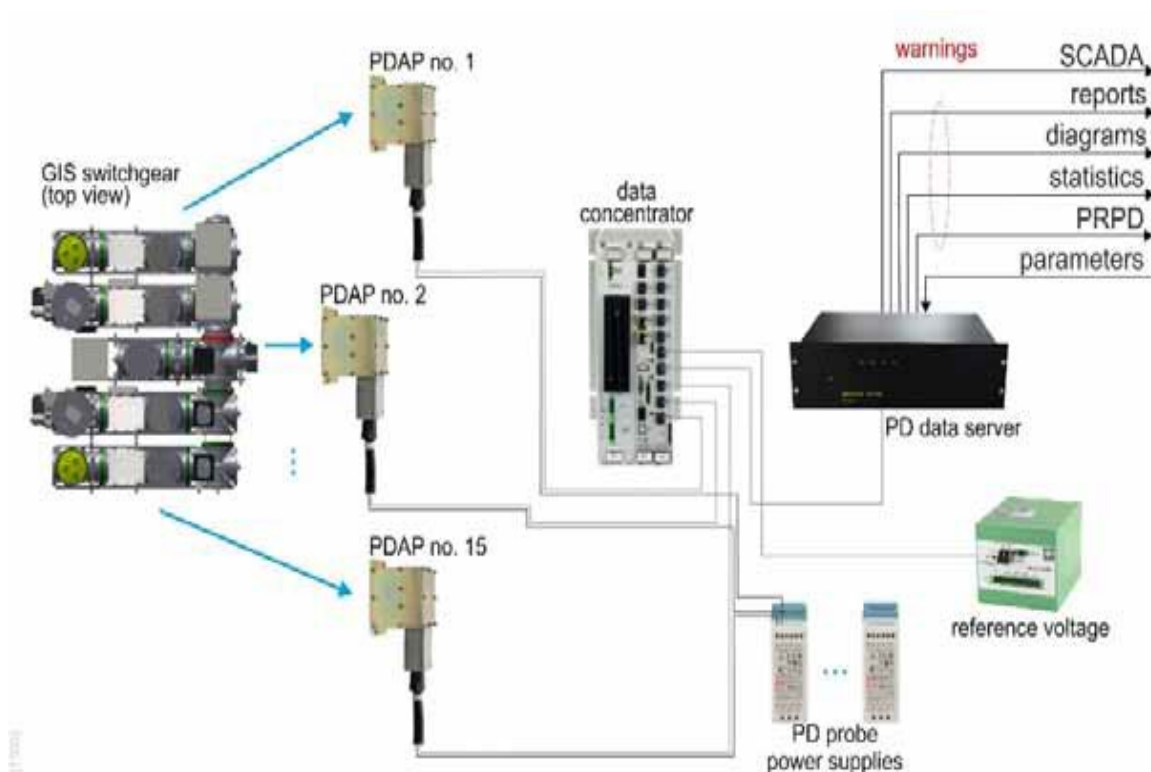


Рис. 2 Модуль онлайн-мониторинга GIS

Были проведены высоковольтные испытания модуля оперативного мониторинга. Частичные разряды измерялись в системе источника испытательного напряжения и в модуле оперативного мониторинга. Работоспособность решения проверялась при увеличении напряжения питания высокого напряжения КРУЭ.

Чувствительность измерительной электроники позволяет обнаруживать интенсивность частичных разрядов ниже допустимого уровня 5пКл.

Модуль мониторинга работает с июля 2020.

D1-103 Identification and Improved Quantification of Inhibitors in Mineral Insulating Oils using FTIR Spectroscopy and Partial Least Squares Regression (Идентификация и улучшенная количественная оценка ингибиторов в минеральных изоляционных маслах с использованием FTIR спектроскопии и частичной регрессии наименьших квадратов) P Ågren¹, T Lillhonga², L Melzer³, ¹Hitachi ABB Power Grids Finland, ²NOVIA University of Applied Sciences, ³Hitachi ABB Power Grids Sweden,^{1,2}Finland (Финляндия), ³Sweden (Швеция)

Диэлектрические жидкости трансформаторов подвергаются как физическим, так и химическим нагрузкам в течении их срока службы. Минеральные масла в целом можно разделить на две группы по защите от окисления масла, то есть ингибированные и неингибированные трансформаторные масла. Обычно концентрация ингибитора окисления снижается в течение срока службы трансформатора. Наиболее распространенным методом определения содержания ингибитора в минеральном масле является инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье. Другой метод количественной оценки - это газовая хроматография-масс-спектрометрия (GC-MS⁶), которая обычно считается наиболее точным методом.

Результаты исследований, представленные в докладе **D1-103**, ясно показывают, что разработанная модель PLSR⁷ имеет повышенную точность определения содержания примесей в минеральном масле. Кроме того, новая модель может отдельно определять содержание двух разных ингибиторов, а также может быть указано содержание продукта разложения ингибитора. Модель PLSR может применяться в наиболее распространенном программном обеспечении FTIR⁸, которое идет в комплекте с прибором.

D1-104 Influence of temperature variation on transformer bushing monitoring (*Влияние колебаний температуры на мониторинг проходных вводов трансформатора*) N. Abeywickrama, T. Bengtsson, F. Penayo, J. Kanje-Nordberg, Hitachi ABB Power Grids, Sweden (Швеция).

В докладе **D1-104** обсуждается влияние изменения температуры на мониторинг проходных изоляторов трансформатора. Обычно используемые изоляционные материалы ввода (бумага, пропитанная маслом и т. д.) имеют температурную зависимость их диэлектрических характеристик. Порядка 0,3–0,5% на 10 ° C для емкости проходного изолятора. Более 0,1% изменения коэффициента диэлектрических потерь (tgδ) в нормальных условиях

⁶ GC-MS (Gas chromatography-mass spectrometry)- газовая хроматография-масс-спектрометрия

⁷ PLSR – (Partial Least Squares Regression) – Частичная регрессия наименьших квадратов

⁸ FTIR - Fourier-transform infrared spectroscopy - инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье

эксплуатации трансформатора. На контролируемые параметры в каждом методе контроля ввода прямо или косвенно влияют температурно-зависимые диэлектрические характеристики.

D1-105 A new partial discharge measuring system in HV GIS based on magnetic field antennas. (*Новая система измерения частичных разрядов в высоковольтной КРУЭ на основе антенн магнитного поля*), A. Rodrigo-Mor, F. Munoz- Munoz, L. C. Castro-Heredia, A. Nayak, Delft University of Technology The Netherland (Нидерланды)

В докладе **D-105** представлена новая система измерения частичных разрядов в системах с газовой изоляцией (КРУЭ). Измерительная система основана на магнитных антеннах, настроенных на высокочастотный диапазон, в котором импульс частичных разрядов распространяется согласно теории линий передачи. Измерительная система состоит из трех магнитных антенн, развернутых в ГИС, усилителей тока, высокоскоростной системы сбора данных и метода последующей обработки для оценки кажущегося заряда и местоположения источника. Изучались характеристики магнитной антенны, чувствительность измерительной системы, оценка заряда и возможности локализации.

D1-106 Challenges for space charge measurements with the PEA technique in the thick insulation of HVDC Cables (*Проблемы измерения пространственного заряда с помощью метода PEA в толще изоляции кабелей постоянного тока*) M. Albertini, S. Franchi Bononi, Prysmian SpA, Italy D. Pini, Prysmian PowerLink, Italy G. Mazzanti, University of Bologna, Italy P. Romano, A. Imburgia, E. Riva Sanseverino, G. Rizzo, G. Ala, University of Palermo, Italy (Италия)

Целью работы, изложенной в докладе **D1-106**, предоставить производителям кабелей полезную информацию, чтобы избежать неправильной оценки значений пространственного заряда, измеренных

методом РЕА⁹. С этой целью в лаборатории высокого напряжения по производству кабеля было проведено экспериментальное испытание, учитывающее процедуру измерения, предложенную стандартом IEEE Std 1732-2017.

Кроме того, в докладе также приводится описание поведения акустической волны в многослойной конфигурации с встроенным воздушным дефектом.

D1-107 Cigré Prototype Installation Test for Gas-Insulated DC Systems Testing a Gas-Insulated DC Transmission Line (DC-GIL) for ± 550 kV and 5000 A under Real Service Conditions (*Испытание прототипа установки для систем постоянного тока с газовой изоляцией - Испытание линии передачи постоянного тока с газовой изоляцией (DC-GIL) на ± 550 кВ и 5000 А в реальных условиях эксплуатации*) M. Hallas¹, V. Hinrichsen¹, C. Neumann, M. Tenzer², B. Hausmann², D. Gross³, T. Neidhart⁴, M. Lerch⁴, D. Wiesinger⁴

¹ Technische Universität Darmstadt, High Voltage Laboratories, ² Siemens Gas and Power, Erlangen³, Power Diagnostix, Aachen, ⁴ Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Geotechnics

Germany^{1, 2, 3, 4} (Германия)

Все больше и больше объектов генерации устанавливаются вдали от центров нагрузки. Таким образом, требуется передача на большие расстояния, и в этом отношении системы передачи постоянного тока представляют особый интерес. Помимо кабелей постоянного тока, интересным вариантом являются DC GIL. Накоплен большой опыт обслуживания AC GIL, но пока нет опыта обслуживания с DC GIL. Чтобы восполнить этот пробел и исследовать долговременные характеристики, в настоящее время исследуется прототип GIL с напряжением ± 550 кВ постоянного тока с допустимой нагрузкой по току 5000 А на испытательном

⁹(РЕА) Pulse Electro-Acoustic

стенде HVDC, как в подземной, так и в наземной установке. Процедура испытаний соответствует рекомендациям по длительным испытаниям систем с газовой изоляцией, которые разработаны Cigré JWG D1 / B3.57. В докладе **D-107** представлен отчет об измерениях и испытаниях в реальных условиях эксплуатации.

D1-108 Evaluation of dynamic loading capability for optimal loading strategies of power transformers (*Оценка способности к динамической нагрузке для оптимально нагруженных силовых трансформаторов*) I. Lupandina¹, W. Gawliki¹, M. Schrammel¹, A. Ilgevicus², M. Kurten¹, K. Viereck²
¹TU Wien, Austria (Австрия), ² Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Germany (Германия)

В докладе **D1-108** исследуется способность силовых трансформаторов к динамической нагрузке с использованием динамически вычисляемого и постоянно обновляемого начального теплового состояния, предварительно установленных тепловых пределов и динамической тепловой модели, предложенной в стандарте IEC 60076-7: 2017.

D1-109 Partial Discharge Analysis in Gas-Insulated HVDC Systems Using Conventional and Non-Conventional Methods (*Анализ частичных разрядов в системах HVDC с газовой изоляцией с использованием обычных и нетрадиционных методов*) T. Gotz¹, P. Wenger², M. Beltle², K. Backhaus¹, S. Tenbohlen², U. Riechert³, ¹Technische Universität Dresden, Germany (Германия), ²University of Stuttgart, Germany, (Германия), ³HITACHI ABB Power Grids Switzerland Ltd, Switzerland (Швейцария)

В докладе **D1-109** представлен анализ измерений частичных разрядов в системах HVDC с газовой изоляцией с использованием традиционных и нетрадиционных методов.

Авторами сделан существенный вклад в лучшее понимание частичных разрядов в КРУЭ при напряжении постоянного тока за счет стратегического анализа сильных и слабых сторон каждого метода обнаружения.

D1-110 Spectral measurement of the precipitations composition in OIP insulation of the highvoltage bushings (*Спектральное исследование состава осадков в бумажно-масляной изоляции высоковольтных вводов*) S. Korobeynikov¹, M. Lyutikova², A. Konovalov², ¹ *Novosibirsk State Technical University*, ² *Federal Grid Company of Unified Energy System, Russia (Россия)*

В докладе **D1-110** показана актуальность внедрения спектрального метода в практическую диагностику высоковольтного оборудования с жидкими диэлектриками на примере изучения элементного состава осадков в бумажной изоляции высоковольтных герметичных вводов. Разобраны конкретные случаи из практики эксплуатации герметичных вводов, которые были отбракованы по результатам хроматографического анализа растворенных в масле газов. Кроме того, проводилось исследование состава слоев бумажной изоляции высоковольтных вводов на предмет содержания в них элементоорганических примесей.

D1-111 A measurement system for insulator puncture test with short front impulse voltage (*Измерительная система испытаний изолятора с коротким фронтом при импульсном напряжении*) Y. Li, W. Yan

National Measurement Institute, Australia (Австралия)

В докладе **D1-111** авторами описывается недавно разработанная система измерения вместе с оценкой как ошибок измерения, так и компонентов неопределенности измерения, а также было показано, что при измерении импульсов короткого фронта влияние полосы пропускания делителя на 350 кВ было основным источником ошибок.

D1-112 Extended Frequency Range Testing of HV Cables (*Испытания высоковольтных кабелей в расширенном диапазоне частот*) D.J. Tusek¹, *Verico AIS, Australia (Австралия)*

В докладе **D1-112** рассматриваются существующие разногласия в стандартах, относящихся к допустимым частотам испытаний высоковольтных кабелей.

Авторы предлагают увеличить допустимую частоту, диапазон для уменьшения мощности, необходимой для испытания.

D1-113 PD Testing Setup Composed by GIS, Cable and Power Transformer to Compare Different PD Monitoring Technologies (*Установка для испытания частичных разрядов, состоящая из КРУЭ, кабеля и силового трансформатора для сравнения различных технологий мониторинга частичных разрядов*) A. Sanchez¹, F. Garnacho², P. Simon², T. Garcia², J. Ortego³, J. J. Garcia⁴, S. Martin⁵, ¹REE, ²LCOE-FFII, ³DIAEL, ⁴GE, ⁵QUALITROL, SPAIN (Испания)

В докладе **D1-113** описывается конфигурация испытательной установки, разработаны испытательные ячейки в воздушной, элегазовой и масляной диэлектрических средах, в которых воспроизводились характерные дефекты. Описана процедура испытания, используемые критерии оценки. Представлены основные выводы, полученные при сравнении трех различных технологий, работающих в диапазонах от высокой до ультравысокой частоты. Испытательная установка показана на рисунке 3.



Рис.3 Общий вид испытательной установки.

D1-114 On-Line Diagnosis Methods for Transformer Winding Deformation Based on Running Voltage and Current Correlation Mining (*Методы оперативной диагностики деформации обмотки трансформатора на основе корреляции рабочего напряжения и тока*), Y. Zheng¹, W. Wang¹, H. Yao², C. Li¹, X. Sun¹, L. Liu¹, W. Du¹, D. Wen¹

¹*State Grid Zhejiang Electric Power Research Institute*

²*State Grid Zhejiang Electric Power Co. LTD, China (Kumai)*

Когда трансформатор подвергается короткому замыканию или транспортировке, обмотки могут деформироваться под действием электроэнергии или механической силы. Чтобы повысить точность и эффективность диагностики деформации обмотки, в докладе **D1-114** предложен интерактивный интеллектуальный метод диагностики деформации обмотки. Алгоритм машинного обучения автоматически изучает логику диагностики по признакам неисправности, чтобы реализовать интеллектуальную диагностику деформации обмотки. В рамках данного исследования были проведены обучение и тестирование реальных рабочих данных 29 трансформаторов. Достоверная частота диагностики деформации составила 93,10%, а достоверная частота диагностики конкретных положений деформации достигла 88,89%. В этом докладе проверяется эффективность модели онлайн-диагностики и масштабируемость между различными типами трансформаторов.

D1-115 Development of Online Monitoring Equipment for Transformer Bushing (*Разработка оборудования для онлайн-мониторинга трансформаторных вводов*) L. Zhang, Y. Han, S. Wang, J. Wu, A. Guo, C. Guo
State Grid Shaanxi Electric Power Research Institute, China (Kumai)

В докладе **D1-115** представлен комплект оборудования для многопараметрического онлайн-мониторинга для вводов трансформатора на основе растворенного H₂, температуры и давления в масле.

D1-116 Proposal of a Calibration Methodology of UHF Partial Discharge Measurements for Power Transformers (*Предложение по методике калибровки измерений частичных разрядов UHF для силовых трансформаторов*), S.Coenen¹, M.Siegel², M.Beltle³, S.Tenbohlen³, S.Hoek⁴, P.Fehlman⁵, R.Schwarz⁶, T.Linn⁷, U.Kemp⁸, M.Weber⁹, J.Fuhr¹⁰

¹*University of Applied Science Karlsruhe*, ²*BSS Hochspannungstechnik GmbH*, ³*University of Stuttgart*, ⁴*Omicron Energy Solutions GmbH*, ⁵*FKH*

Fachkommission für Hochspannungsfragen, ⁶*Siemens Energy GmbH*, ⁷*Qualitrol LLC*, ⁸*GE Grid GmbH*, ⁹*Siemens Energy GmbH*, ¹⁰*AF Engineers + Consultants*
^{1, 2, 3, 4, 8, 9}*Germany (Германия)*, ^{5,7,10}*Switzerland (Швейцария)*, ⁶*Austria (Австрия)*.

Непрерывная бесперебойная работа электрических сетей зависит от надежности их активов, например, силовых трансформаторов. Местные дефекты изоляции могут привести к сбоям в обслуживании, например, поломкам с серьезными последующими затратами. Предотвращение таких событий имеет решающее значение. В докладе **D1-116** предлагается процедура калибровки измерений частичных разрядов ультравысокой частоты для силовых трансформаторов. Процесс калибровки необходим для обеспечения как воспроизводимости, так и сопоставимости измерений: только калиброванная процедура измерения может быть введена в дополнение к IEC 60270 при приемочных испытаниях силовых трансформаторов.

D1-117 A new method for evaluating the degree of polymerization of paper insulation of power transformers (*Новый метод для оценки степени полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов*) *V.K. Kozlov, A. Kh. Sabitov, Kazan State Power Engineering University, LLC«SPC«Sakosa» Russian Federation (Россия)*

В докладе **D1-117** представлен новый метод для оценки степени полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов.

По полученным результатам измерений были получены графики зависимости коэффициента отражения от степени полимеризации бумажно-масляной изоляции трансформаторов.

Разработанная методика измерений распространяется на бумажную изоляцию трансформаторов и устанавливает требования к содержанию и выполнению работ при измерении степени полимеризации бумажной изоляции оптическим методом. Оценка производится для трансформаторов 110 кВ и выше.

Для энергетических компаний создан инструмент, позволяющий в считанные минуты определять состояние бумажной изоляции силовых трансформаторов не затрачивая время и средства на данный анализ в химических лабораториях.

D1-118 Field Experience in Oil-filled Power Transformers Fault Diagnosis by Frequency Response of Stray Losses (FRSL) *«Диагностика неисправностей масляных силовых трансформаторов по частотной характеристике паразитных потерь (FRSL) в эксплуатации» Pongpon SINGKHWAT, Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT), Thailand (Таиланд)*

В докладе **D1-118** представлены два тематических исследования. В первом случае используется однофазный автотрансформатор 333,3 МВА 525 кВ. Этот трансформатор работал в нормальном режиме до тех пор, пока периодический тест DGA¹⁰ не показал перегрев при высокой температуре и искрение. Любые обычные электрические испытания показали бы приемлемые результаты, и поэтому, исходя из нашего опыта, необходимо выбрать специальный тест, а именно FRSL¹¹. Результаты теста FRSL показали отклонение от нормы.

Автор надеется, что этот документ поможет испытателям лучше понять тест FRSL и поможет его использовать при анализе любой неисправности силового трансформатора.

D1-119 «Analysis of puncture breakdown characteristics according to inner defect types of GIS epoxy insulator *(Анализ характеристик пробоя по типам внутренних дефектов GIS эпоксидного изолятора) J.J. Kim, S.J. Han, T.H. Kim, HYOSUNG Corporation, Republic of KOREA (Корея)*

В докладе **D1-119** была предложена методика моделирования дефекта внутри прокладки, а затем были проанализированы характеристики диэлектрического пробоя в зависимости от типа дефекта. Сначала были

¹⁰ DGA-анализ растворенного газа

¹¹ Frequency Response of Stray Losses (FRSL) - частотная характеристика рассеянных потерь

определены типы дефектов, такие как трещина, воздушное включение, которые могут возникнуть в эпоксидном изоляторе. Затем была разработана методика моделирования дефектов в прокладке и проверено их влияние на пробой. Наконец, с помощью реальной прокладки, используя эту методику, было проведено испытание переменным напряжением с целью вызвать пробой и были проанализированы характеристики пробоя для каждого типа дефектов.

D1-120 Oxidative degradation of mineral oils in power transformers over service time. Effect of the economic owner on maintenance strategies.

«Окислительное разложение минеральных масел в силовых трансформаторах в течение срока службы. Влияние экономического фактора на стратегии обслуживания» А. ZAYA-JIMENEZ⁽¹⁾, L. ARBELAEZ-OROZCO², ¹Endesa Ingeniería-Spain, ²E-Distribución-Spain (Испания)

Целью исследования доклада **D1-120** является проверка взаимосвязи между деградацией минеральных масел в силовых трансформаторах из-за кислотности масла и времени эксплуатации, а также , как эта взаимосвязь влияет на экономическую целесообразность методов регенерации.

Результаты особенно полезны, потому что они позволяют обнаружить аномальное старение трансформаторов, проработавших несколько лет. Кроме того, установлены критерии применения регенерационных обработок к диэлектрическим маслам.

На основании результатов и в отношении процедур регенерации было изучено, как разработка различных стратегий технического обслуживания влияет на экономическую рентабельность трансформатора.

D1-121 Development of OF Cable Insulation Deterioration Diagnosis Technique Using Support Vector Machine *(Разработка методики диагностики износа изоляции кабеля с помощью опорных векторов) H.J. PARK*, B.S. KWAK, T.H. JUN, A.R. KIM, Korea Electric Power Corporation Research Institute, Republic of Korea (Корея)*

В ходе данного исследования была разработана SVM¹² модель, которая подходит для условий OF кабеля, используемого в работе КЕРСО¹³. Кроме того, разработанный алгоритм повысил надежность диагностики в соответствии с условиями на объекте. В частности, результаты визуального осмотра были введены в качестве значений результатов оценки алгоритма. Однако в данном исследовании были разработаны улучшенные алгоритмы путем анализа степени полимеризации, считающейся показателем срока службы OF кабеля, и введения результатов в SVM. Разработанный алгоритм может быть применен к программам на основе графического интерфейса пользователя, предоставляющим информацию об аномальном состоянии и детали действий, и, как ожидается, еще больше повысит удобство использования в условиях эксплуатации.

На рис. 4 показан пример демонтажа и осмотра кабеля OF. В большинстве образцов не наблюдалось карбонизации или парафинирования бумаги или масла. Однако на некоторых образцах изоляционной бумаги наблюдались складки и порезы.



Рисунок 4. Демонтаж и осмотр кабелей.

D1-122 Monitoring of active part drying for instrument transformers by dielectric measurements (*Контроль сушки активной части измерительных трансформаторов путем диэлектрических измерений*), C. Perrier, Z. Roman, Y. Kieffell, GE Grid Solutions, France / United States

¹² Support Vector Machine (SVM)-машина опорных векторов

¹³ Korea Electric Power Corporation (KERCO) - Коре́йская электроэнергетическая корпорация

Системы изоляции в силовых трансформаторах состоят из жидкости (либо газа) вместе с твердыми материалами. Три основных фактора влияют на процесс старения масляных целлюлозных изоляционных систем. Температура является основной движущей силой химических реакций, вызывающих старение. Другими важными факторами являются присутствие воды и кислорода. Эти факторы инициируют три процесса разложения: гидролиз, окисление и пиролиз.

Доклад **D1-122** посвящен гидролизу и, в частности, тому, как контролировать и уменьшить причину этого явления, то есть присутствие воды в начале производственного процесса в непропитанной целлюлозе. Первая часть посвящена некоторым напоминаниям о влиянии воды на изоляцию трансформатора, а также различным методам её измерения. Во второй части представлены исследования, проведенные в лабораторном масштабе для оценки содержания влажности в активных частях измерительных трансформаторов с помощью измерений диэлектрической частотной характеристики.

D1-123 Measurement and behaviour of partial discharge for SF6 substitute gases in HVDC GIS/GIL (*Измерение и поведение частичных разрядов для замещающих газов SF6 в HVDC GIS / GIL*)

C. Toigo, T. Vu-Cong, M. Dalstein, F. Jacquier, A. Girodet, SuperGrid Institute, France (Франция), A. Rodrigo-Mor, L. C. Castro-Heredia, F. A. Munoz-Munoz, TU Delft, The Netherlands (Нидерланды)

В докладе **D1-123** представлен обзор различных систем измерения частичных разрядов, включая традиционный и сверхвысокочастотный (UHF) метод и альтернативные методы измерения, такие как световое излучение, а также новый метод, в частности разработан для КРУЭ высокого напряжения постоянного тока на основе измерения наведенного импульсного тока частичных разрядов на корпусе КРУЭ датчиком магнитного поля.

ПТ2: Функциональные свойства и деградация изоляционных материалов

- новые нагрузки, например силовая электроника, циклическая нагрузка, более высокие температуры и компактность.
- материалы с меньшим воздействием на окружающую среду, во время производства, эксплуатации и утилизации;
- методы для проверки функциональных характеристик.

D1-202 Proposal of test method for evaluating the induction time (IT) of natural ester insulating oils (*Предложение по методу испытаний для оценки времени индукции (IT) изоляционных масел на основе натуральных эфиров*) A. C. P. Martins ¹; L. Chaves ¹; H. Wilhelm ²; ¹Cemig; ²Vegoor, Brazil (Бразилия)

Основная цель работы доклада **D1-202** - представить результаты применения различных существующих методов для оценки устойчивости натуральных изолирующих эфирных жидкостей к окислению. Работа была выполнена с использованием четырех имеющихся природных изолирующих сложных эфиров, три из которых мононенасыщенные с низким содержанием олеиновой кислоты и один мононенасыщенный с высоким содержанием олеиновой кислоты. В докладе авторы представляют описание методологии, полученные результаты и влияние кислорода на процесс окисления различных сложных эфиров.

D1-203 LCA and Smoke Test of Dielectric Fluids based on Natural Esters (*LCA (Оценка жизненного цикла) и испытания на задымление диэлектрических жидкостей на основе природных сложных эфиров*) F. Scatiggio ³, E. Breda ¹, L. Calcara ², G. Campi ³, L. Parodi ³, R. Pedriali ³, M. Pompili ²

¹ Terna Rete Italia, ² University of Roma "La Sapienza", ³ A&A Fratelli Parodi Spa, Italy (Италия)

В докладе **D1-203** представлены результаты сравнительного анализа минеральных масел и жидкостей с натуральными эфирными маслами с точки зрения испытаний на задымление и исследований анализа жизненного цикла.

Результаты, полученные в результате сравнительных испытаний на задымление, показали, что натуральные эфирные жидкости производят меньшее количество загрязняющих веществ, чем минеральное масло. Следовательно выбросы, образующиеся при сжигании жидкости из природных сложных эфиров в случае возгорания значительно снижают воздействие вредных веществ как на окружающую среду, так и на здоровье человека.

Другой целью этого исследования была оценка воздействия на окружающую среду, продуктов на основе натуральных эфиров, используемых в трансформаторах, в основном полученного из высокоолеинового подсолнечного масла.

D1-204 Investigation into the effect of cold temperature on the physical properties of dielectric liquids (*Исследование влияния низкой температуры на физические свойства диэлектрических жидкостей*), P.M. Livesey¹, J. Malde²,

¹M&I Materials Ltd, ²M&I Materials Inc, ¹UK (Великобритания),
²USA(США)

В докладе **D1-204** авторы представляют результаты исследования синтетических и натуральных сложных эфиров при низких температурах, чтобы лучше понять конструкцию трансформатора и работоспособность при низких температурах.

Увеличение использования трансформаторов, заполненных жидкостью на основе сложного эфира, в связи с высокой пожарной безопасностью, экологичностью и более длительным сроком службы, подталкивает к исследованиям в области эксплуатации трансформаторов в экстремальных климатических условиях. Выбор различных типов натурального и синтетического эфира позволяет конечному пользователю принять

обоснованное решение о том, какие температурные требования предъявляются к типу жидкости, которую они выбирают для своих трансформаторов. Универсальность сложных эфиров для работы при высоких и экстремально низких температурах делает их идеальными для распределительных и силовых трансформаторов.

D1 - 206 Characterization of pressboard mechanical properties for understanding the dynamic behaviour of transformer winding clamping pressur» (*Определение механических свойств прессованного картона для понимания динамического поведения при давлении на обмотки трансформатора*). С. Ekanayake¹, L. Naranpanawa¹, H. Mai, T. K. Saha¹, G. Russell², M. Pannu³

¹*The University of Queensland, ² Powerlink Queensland*

³*Formerly with Wilson Transformer Company Pty Ltd*

Механическая деформация обмотки трансформатора и ее прессовочной конструкции, в результате короткого замыкания, является одной из основных причин отказов трансформатора. Из-за деформации в процессе эксплуатации и старения твердой изоляции давление прессовки обмотки силового трансформатора постепенно снижается и в конечном итоге может достигать уровня, при котором обмотка не может выдерживать фактическую работу в условиях механических воздействий.

Существующие методы оценки давления прессовки обмотки трансформатора являются менее перспективными из-за отсутствия понимания поведения системы прессовки обмотки в условиях эксплуатации. В докладе **D1-206** представлен количественный анализ механических свойств прессованного картона и влияния состояния прессованного картона на давление прессовки обмотки. Посредством серии лабораторных экспериментов исследованы зависимости сжимаемости прессованного картона от влажности, температуры и старения.

D1-207 A new type of failure of composite insulators: service experience, degradation characteristics, root cause, and countermeasures

(Новый тип отказа композитных изоляторов: опыт эксплуатации, характеристики деградации, первопричина и меры противодействия)

X. Liang¹, Y. Gao², W. Bao³, S. Li¹

¹ Tsinghua University, ² State Grid Jibei Electric Power Co. Ltd. Research Institute, ³ China Electric Power Planning & Engineering Institute, China (Китай), I. Gutman⁴, C. Ahlholm⁴, ⁴ Independent Insulation Group, Sweden (Швеция), M. Radosavijevic⁵, W. Vosloo⁶, ⁵ Svenska kraftnät, ⁶ESKOM South Africa (Южная Африка)

В докладе **D1-207** объединен опыт исследовательских групп в разных странах в отношении обслуживания, исследований после обслуживания, анализа первопричин отказа композитных изоляторов и контрмер для устранения этого типа отказа. Данные представлены пошагово. Во-первых, подробный опыт обслуживания представлен, проанализирован и проиллюстрирован. Далее представлены и сопоставлены результаты лабораторных анализов из разных стран. Затем анализируется возможная первопричина отказа на основе комплексного результата тестов. Наконец, предлагаются основные контрмеры и предлагаются более глубокие исследования в будущем. На рисунке 5 приведены наблюдения повреждений изоляторов.



а) проникновения влаги



б) Вспышка на проводящем стержне к корпусу

Рис.5 Примеры повреждения

D1-208 «Investigations of long-term transition processes on solid-gas insulated HVDC bushings under high thermal and electrical stress»
(Исследование длительных переходных процессов на вводах постоянного тока высокого напряжения с твердо-газовой изоляцией при высоких тепловых и электрических напряжениях), M. Scheler, M. Rossner, Coburg University of Applied Sciences and Arts, Germany (Германия); F. Berger, Technische Universität Ilmenau, Germany (Германия); U. Prucker, Trench Germany GmbH, Bamberg, Germany (Германия)

Представленная в докладе **D1-208** работа фокусируется на эффектах перехода с технологии переменного на постоянный ток для высоковольтных вводов HVDC. Различия между поведением при переменном и постоянном токе исследуются на конденсаторных вводах с твердо-газовой изоляцией, а также на образцах материалов. Это особенно важно, поскольку исследованные вводы до сих пор используются только для переменного тока и планируется использовать для постоянного тока. Поскольку на эффекты проводимости сильно влияет температура, очевидно, что влияние градиента температуры на вводы для приложений постоянного тока представляет значительный интерес.

Были исследованы высоковольтные вводы с полимерной изоляцией при высоких тепловых и электрических нагрузках. Представленные исследования показали, что после подачи постоянного напряжения на термически напряженный ввод, стационарное распределение поля достигается через несколько дней. Причина в слабой поляризации и низкой проводимости полимерной изоляции, что приводит к длительному переходному периоду. Это было подтверждено упрощенным численным подходом с использованием зависимых источников тока, а также методом конечных элементов. На основе исследования материалов было описано поляризационное поведение ввода. Для численного подхода ввод был разделена на 6 однородных сегментов. Несмотря на это упрощение, результат

совпадает с выполненным моделированием методом конечных элементов. Кроме того, измерение показывает, что установившееся состояние достигается раньше, чем это прогнозировалось при моделировании. Это может указывать на возникновение эффекта, который еще не рассматривается. Следовательно, необходимы дальнейшие исследования для подтверждения этого.

D1-209 «The Electrical Characteristics of Low Current Surface Discharges with Liquid Electrodes and the Adaption of Test Parameters for a DC Inclined-Plane-Test» (*Электрические характеристики слаботоковых поверхностных разрядов с жидкими электродами и адаптация параметров испытаний на наклонной плоскости постоянным током*), S. Kuehnel¹, S. Kornhuber¹, C. Baer², J. Lambrecht³

¹University of Applied Sciences Zittau/Goerlitz, Germany (Германия),

²PFISTERER Switzerland AG, Switzerland (Швейцария),

³Wacker Chemie AG, Germany (Германия)

В докладе **D1-209** рассматриваются исследования по модификации испытаний на наклонной плоскости постоянным током путем расчета измененных испытываемых параметров.

D1-210 «Analysis of stray gas according to oil characteristics and vacuum process conditions of insulation oil in power transformer» (*Анализ посторонних газов в соответствии с характеристиками масла и условиями вакуумирования изоляционного масла в силовом трансформаторе*), J.H.Song, K.H.Lee, J.T.Kim, J.W.Lee, D.H.Kim, Hyundai Electric & Energy System CO., LTD.

Republic of Korea (Корея)

Изоляционное масло обычно используется в силовых трансформаторах для улучшения характеристик изоляции и охлаждения. Но если в силовом трансформаторе возникают какие-либо тепловые или электрические повреждения, изоляционное масло разлагается под действием энергии повреждения, и образуются различные растворенные газы.

В докладе **D1-210** представлены исследования, подтверждающие образование газа, при нормальном рабочем состоянии (температуре) без каких-либо электрических неисправностей. Испытания проводились в зависимости от типа масла, температуры, наличия ингибитора или материалов трансформатора.

Авторами было сделано экспериментальное подтверждение, что газ может вырабатываться при нормальных условиях эксплуатации без каких-либо электрических и тепловых неисправностей в трансформаторе. По мере увеличения температуры масла количество посторонних газов также увеличивается. Добавление изоляционных материалов также увеличивает количество газов. Если принять во внимание условия вакуумного процесса, соотношение состава газа может быть изменено.

D-211 «Analysis of 400 kV Failed Silicone Rubber Insulators: Role of Micro-Cracks in Glass Fiber Rod and Electric Field Distribution in Failure Mechanism – Case Study» (*Анализ вышедших из строя изоляторов из силиконовой резины на 400 кВ: роль микротрещин в стекловолоконном стержне и распределение электрического поля в механизме отказа - тематическое исследование*), *N.R. Shingne, S.J. Barot, U.N. Puntambekar; S.H. Chetwani, Electrical Research and Development Association (ERDA), Vadodara 390010, India (Индия); J. M. Thakkar, S. Shah, A. Sadaria, Adani Transmission Ltd., Ahmedabad 382421, India (Индия)*

В докладе **D-211** представлен анализ первопричин выхода из строя композитных изоляторов. Вышедшие из строя изоляторы были установлены на линии электропередачи переменного тока напряжением 400 кВ, расположенной в западной части Индии. В ЛЭП протяженностью 282 км часто выходили из строя композитные изоляторы со сроком службы 8 лет. Исследование отказов проводилось с использованием различных методов определения характеристик материалов и испытаний. Стереомикроскопический анализ показал, что вышедшие из строя изоляторы имели микротрещины в стержне из стекловолоконного композита, что делало

их восприимчивыми к частичным разрядам. Трещины в композитных стержнях были более заметными на конце линии, чем на конце башни. Анализ изоляторов указывал на сочетание повышенного электрического напряжения на изоляторах и микротрещин в стержне стекловолоконного композита, которые приводят к частичным разрядам в композитном изоляторе. Локальный нагрев из-за частичных разрядов приводит к пробоем в силиконовой оболочке, разрушению стержня и возможному выходу из строя изолятора.

D-212 «Implementation of space charge measurement using the Pulsed Electro-Acoustic method during ageing of HVDC model cable» (*Выполнение измерения пространственного заряда импульсным электроакустическим методом при старении модели кабеля HVDC*), L. Berquez, J. Cenes, G. Teyssedre, S. Leroy Laplace, CNRS and University of Toulouse, France (Франция),

P. Honda, V. Eriksson, M. Bailleull, C. Moreau, RTE BOREALIS (Suède) EDF France (Франция)

Благодаря высоким диэлектрическим характеристикам сшитый полиэтилен является одним из предпочтительных материалов для изоляции кабелей постоянного тока высокого напряжения. Однако полимерные изоляционные материалы имеют тенденцию накапливать электрические заряды, которые возмущают электрическое поле внутри материала и могут в конечном итоге привести к структурному изменению полимера, способствуя его старению. Такое ухудшение изоляции может привести к снижению ожидаемого срока службы кабелей.

В настоящее время проводится множество исследований для получения знаний о механизмах разрушения полиэтилена. Действительно, лучшее понимание поведения зарядов позволяет лучше коррелировать измерения со старением материала. Однако часто невозможно измерить диэлектрические характеристики (ток, объемный заряд) во время старения, и, как правило, это нужно делать апостериори. Доклад **D1-212** рассматривает применение

импульсной электроакустической техники (PEA) к кабелям HVDC, в этом случае важно следить за старением. Для этого были разработаны и реализованы на практике два подхода, подробное описание которых авторы указывают в докладе.

Первый подход основан на адаптации метода импульсных электроакустических измерений (PEA) к уже заряженному модельному кабелю, подвергнутому термоэлектрическому старению.

Второй подход сосредоточен на онлайн-измерении объемного заряда в лабораторном масштабе с использованием метода ПЭА на модельных кабелях в течение длительных периодов времени.

D-213 «Low temperature behaviour and dielectric performance of Fluoronitrile/CO₂/O₂ mixture» (*Низкотемпературные свойства и диэлектрические характеристики смеси фторнитрил / CO₂ / O₂*)

Michael M. Walter¹, Diana Leguizamon¹, Louis Maksoud¹, Thomas Berteloot¹, Yannick Kieffel¹, Maxime Perret¹, John Owens), Ang Xiao², Jason Bonk² and Mike Delorme²

¹General Electric, ²3M

В докладе **D-213** представлены стандартизированные смеси g3 для различных применений и продуктов, которые имеют одинаковый минимум рабочих температур.

Поскольку сжижение является ключевым параметром для выбора стандартной смеси, в докладе также делается акцент на демонстрации с помощью расчетов и экспериментов следующего:

- температура сжижения в зависимости от давления, которая определена для предлагаемого стандарта смеси. Температура сжижения зависит от полного состава смеси, а не только от отношения C4FN.

- модель, основанная на уравнениях состояния реального газа в сочетании с измерениями, была разработана для определения состава газа и жидкости ниже температуры сжижения. Он позволяет оценить

диэлектрическую прочность оставшейся газовой фазы, а также количество жидкости.

В результате исследования разработанная модель показывает, что испытания выдерживаемым напряжением диэлектрика при минимальном давлении по-прежнему представляют собой наихудшие условия для высоковольтных изделий, как и для изделий с элегазом SF₆, даже если имеется небольшое количество жидкости при номинальном давлении.

D-214 «Degradation of insulating gases with low environmental footprint in operation» (*Деградация изоляционных газов с низким воздействием на окружающую среду при эксплуатации*)

L. Fave¹, S. Scheel¹, J. Carstensen¹, C. Stoller¹, C. B. Doiron²

¹Hitachi ABB Power Grids Switzerland Ltd., ²ABB Switzerland Ltd. Switzerland

Смеси перфторкетона C5, O₂ и CO₂ или N₂ представляют собой перспективную альтернативу SF₆ в качестве изолирующей и прерывающей ток среды в распределительных устройствах с газовой изоляцией высокого напряжения. Важно, чтобы коммутационные перенапряжения, частичные разряды и несовместимость материалов не приводили к деградации таких газовых смесей с течением времени. В докладе **D1-214** показано, что ускоренное старение в течение всего срока службы в сочетании с газовой хроматографией –масс-спектрометрией и инфракрасной спектроскопией с преобразованием Фурье может быть использовано для экранирования материалов. Материалы, совместимые со смесями перфторкетона C5, легко найти для всех компонентов распределительных устройств с газовой изоляцией. Разложение из-за частичных разрядов не ограничивает срок службы электрооборудования, заполненного смесями перфторкетона C5. Авторами разработано новое испытательное устройство для ускоренных измерений частичных разрядов, которое еще лучше имитирует условия в реальном оборудовании. На основе проведенных исследований авторы делают вывод: ни несовместимость материалов, ни частичные разряды, ни

разложение в дугах выключателей не ограничивают срок службы высоковольтного электрооборудования, заполненного газовыми смесями на основе перфторкетона C5.

ПТЗ: Изоляционные системы передовых технологий

- материалы, подверженные высоким нагрузкам, например таких как напряженность электрического поля, магнитный поток, электрический ток и частота;

- опыт и требования к новым процедурам и стандартам;

- разработка новых материалов (в том числе и в 3D представлении производственного процесса и т.д.).

D-301 Byproduct-free curing of a highly insulating polyethylene copolymer blend: an alternative to peroxide crosslinking (*Отверждение смеси высоко изолирующего полиэтиленового сополимера без побочных продуктов: альтернатива сшиванию пероксидами*)

M. Mauri¹, A. Peterson², A. Senol², K. Elamin², A. Matic², A. Gitsas³, T. Hjertberg³, T. Gkourmpis³, O. Prieto³, C. Muller²

Nexans Norway AS¹, Chalmers University of Technology², Borealis AB³

Norway¹ (Норвегия), Sweden^{2,3} (Швеция)

Наблюдается беспрецедентный рост рынка возобновляемых источников энергии как с точки зрения инвестиций, так и с точки зрения мощности, что позволяет большинству стран достичь более диверсифицированного энергобаланса. Для удовлетворения быстро растущего спроса на энергию критически важно беспрепятственно интегрировать энергию, вырабатываемую с помощью установок возобновляемых источников, в электрическую сеть. Это стимулирует исследование новых концепций ключевых компонентов альтернативных сетей, таких как высоковольтные силовые кабели. В частности, в настоящее время большое внимание уделяется разработке новых изоляционных материалов для кабелей постоянного тока высокого напряжения (HVDC). В

самой современной технологии производства силовых кабелей используется изоляция из сшитого полиэтилена (XLPE). Доклад **D1-301** сообщает о новом методе сшивания, который позволяет устранить необходимость отверждения и дегазации, делая производство кабеля более быстрым и энергоэффективным, сохраняя при этом преимущества сшитого конечного продукта.

D-302 «Replacement of area substation transformers with flexible units with reduced footprint and increased overload capability» (Замена трансформаторов подстанций гибкими блоками с уменьшенной занимаемой площадью и повышенной перегрузочной способностью)

R. Szewczyk, J.-C. Duart, DuPont, Poland (Польша), Switzerland (Швейцария); A. O'malley, Consolidated Edison Co. of NY, USA(США); K. Kaineder, E. Schweiger, Siemens Gas and Power, Austria (Австрия), Germany (Германия)

Регулярная плановая замена трансформаторов подстанций является частью обычной практики управления активами. Замена трансформаторов дает возможность установить более производительные блоки с меньшими потерями. Это дает возможность повысить номинальную мощность подстанции в ответ на растущую потребность в нагрузке сети. Модернизация трансформаторов и подстанций также может быть направлена на повышение устойчивости сети. В этом последнем случае трансформаторы могут быть рассчитаны на перегрузку выше номинальной. Установка трансформаторов с более высокой номинальной мощностью обычно требует модификации подстанции для установки более крупного оборудования. Эта модификация обычно занимает много времени, требует больших затрат и снижает доступность энергии от данной подстанции.

В докладе **D-302** описывается разработка и реализация концепции модернизированных и более гибких блоков силовых трансформаторов, которые были разработаны для минимизации работы на подстанции. Гибкие трансформаторы подстанций могут сочетать обычные изоляционные

материалы с высокотемпературной изоляцией. На рисунке 6 представлены трансформаторы для компактных подстанций.

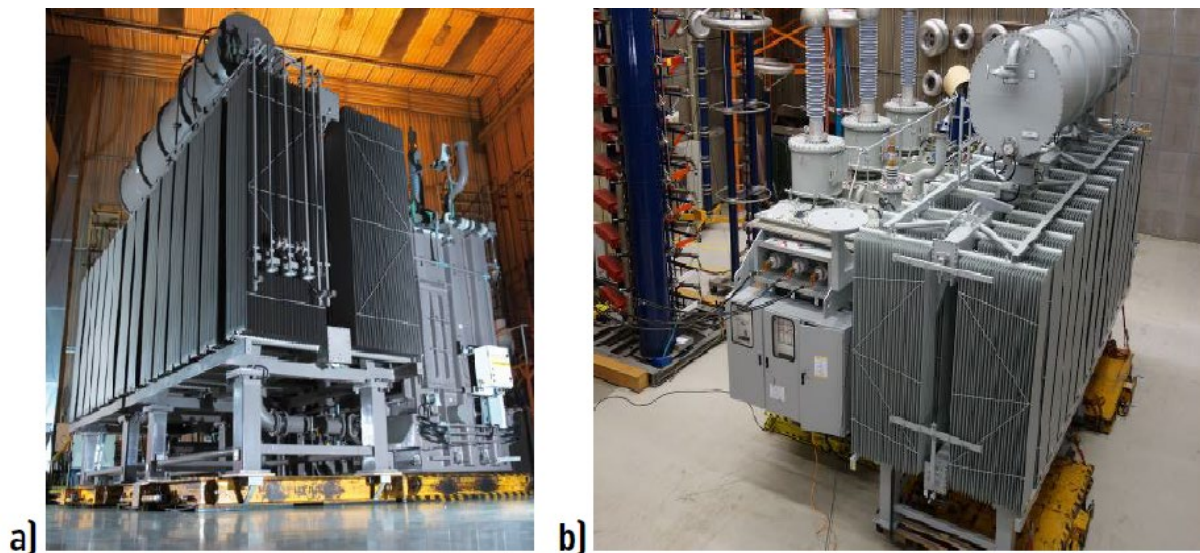


Рисунок 6 - Трансформаторы для компактных станций, тип 2:

а) с минеральным маслом, б) с жидким синтетическим эфиром Midel® 7131 (фото: Siemens)

Использование сложноэфирных жидкостей позволяет повысить рабочую температуру трансформатора. Это позволяет дополнительно оптимизировать конструкцию для уменьшения размера и веса или для обеспечения устойчивости к перегрузкам. Текущие разработки трансформаторов с высокотемпературной изоляцией и жидкостями на основе сложных эфиров требуют разработки новых изоляционных деталей.

Такие технологии, как описано в докладе, позволяют разрабатывать приложения для быстрого развертывания в областях устойчивости сетей.

D1-303 New test procedure intended to evaluate adhesion of core/housing interface of composite insulators (*Новая процедура испытания, предназначенная для оценки адгезии поверхности раздела сердечник/корпус композитных изоляторов*)

C. Ahlrot, E.ON, Sweden (Швеция), P. Aparicio, Red, Eléctrica, Spain (Испания), A. Berlin, Vattenfall, Sweden (Швеция), T. Condon, ESB, Ireland

(Ирландия), J -F. GOFFINET, Elia Group, Belgium (Бельгия), I. Gutman I²G Sweden (Швеция), K. Halsan, Statnett, Norway (Норвегия), M. Radosavljevic Svenska kraftnät, Sweden (Швеция), K. Varli, Amprion, Germany (Германия), K. Valimaa, Fingrid, Finland (Финляндия).

Опыт эксплуатации композитных изоляторов во всем мире в целом положительный. Однако полимерные (композитные) изоляторы могут быть разного качества. Анализ отказов подтвердил, что основной причиной была плохая адгезия на границе раздела между сердечником из стекловолокна и корпусом из силиконовой резины. Группа из девяти европейских энергетических компаний провела совместное исследование, направленное на разработку новой надежной и эффективной процедуры испытаний для объективной оценки уровня адгезии. Доклад **D1-303** предлагает новый метод оценки сцепления на границе раздела между сердечником и корпусом композитного изолятора. Эта работа выполнена семью странами является хорошим примером того, как отказы в процессе эксплуатации приводят к новым знаниям и, в конечном итоге, к новым методам оценки.

На рисунке 7 приведены примеры повреждения изоляторов.



Рис. 7 Примеры повреждения корпуса (или пробоя) на разных изоляторах.

D1-304 «Measurement and simulation of transient field stresses and impacts on advanced insulation design and new test procedures for HVDC components» (*«Измерение и моделирование переходных напряжений и*

воздействий поля на усовершенствованную конструкцию изоляции и новые процедуры испытаний компонентов HVDC»)

I. Wirth, A. Reumann, M. H. Zink, A. Kuchler, Hochschule Würzburg-Schweinfurt, Germany (Германия), T. Schnitzler, A. Langens, B. Heil, HSP Hochspannungsgeräte GmbH, Germany (Германия), F. Berger, Technische Universität Ilmenau, Germany (Германия).

В докладе **D1-304** описывается универсальный подход моделирования переходных напряжений методом конечных элементов, который позволяет реализовать отдельные поляризационные процессы и любые желаемые суперпозиции с помощью физически обоснованных дифференциальных уравнений. В результате переходные механизмы поляризации и изменения электрического поля могут быть вычислены гораздо точнее, и могут быть учтены многие зависимости параметров.

Сравнение измеренных и смоделированных распределений электрического поля постоянного тока и переходных процессов показали хорошее совпадение.

Представленные новые модели материалов могут быть использованы для улучшения конструкции систем изоляции HVDC, поскольку они более точно описывают переходные процессы при напряжении HVDC.

D1-305 «3D Printed Solid Insulator: Possibilities and Challenges»
(*Твердый изолятор с 3D-печатью: возможности и проблемы*)

M. Kurimoto, Y. Suzuoki, K. Uchida, Nagoya University Aichi Institute of Tech. Chubu Electric Power Co., Japan (Япония)

Высококачественный твердый изолятор может быть получен за счет использования нового материала, а также за счет улучшения производственного процесса. Трехмерные (3D) принтеры могут производить твердые изоляторы, имеющие форму и различные функции, которые не могут быть достигнуты с помощью обычных методов.

3D-принтер - устройство, используемое в аддитивном производстве, которое следует за процессом соединения материалов обычно слой за слоем,

чтобы создать объект из данных 3D-модели. Напечатанные на 3D-принтере твердые изоляторы в электрических силовых устройствах, например, смоляной изолятор в автоматическом выключателе или резиновый изолятор в кабельном вводе, решают некоторые технические проблемы, такие как разъяснение эффекта ламинированного интерфейса, свойственного 3D. Напечатанная 3D структура твердого изолятора, диэлектрическая прочность на пробой и другие электрические характеристики, дают возможность использования функционально дифференцированных материалов.

В докладе **D1-305** представлено влияние слоистых интерфейсов на диэлектрическую пробивную прочность твердых изоляторов с 3D-печатью. Авторы предлагают необходимость дальнейших исследований и экспериментальной проверки практической применимости твердых изоляторов с 3D-печатью к электроэнергетическому оборудованию.

D1-306 «Features of the choosing insulation voltage of AC systems under increased frequency» (*Особенности выбора рабочего напряжения изоляции в системах переменного тока повышенной частоты*)

T.E. Shadrikov, A.M. Sokolov, A.A. Dyachkov, Ivanovo State Power University, Russia

В докладе **D1-306** рассматривается методика выбора рабочего напряжения и рабочей напряженности электрического поля в изоляции высоковольтной кабельной линии с напряжением повышенной частоты. Такие кабельные линии высокого напряжения могут быть успешно использованы в составе локальных электротехнических комплексов повышенной частоты, предназначенных для централизованного питания термических установок специального назначения (например, устройства электротепловой обработки бетонных и железобетонных изделий) с рабочей частотой от 10 кГц. Представлен пример использования этой методики и сделаны предварительные выводы о степени влияния различных факторов на величину рабочего напряжения изоляции кабельной линии повышенной частоты.

Методика выбора напряжения основана на предположении о том, что для наиболее распространённых твердых диэлектрических материалов соблюдается правило: неизменному значению произведения частоты воздействующего напряжения и времени пробоя соответствует неизменное значение электрической прочности при этой частоте.

D1-307 «Electric Field Relaxation by Functionally Graded Insulating Materials in GIS» (*Релаксация электрического поля с помощью функционально-градуированных изоляционных материалов в ГИС*)

*D. J. Park, J. Y. Shim, J. H. Son, Hyosung Corporation, Republic of Korea
J. Deitschun, V. Zoellmer, Fraunhofer IFAM, Federal Republic of Germany (ФРГ)*

Новые технологии производства, такие как 3D-печать и литье, субтрактивное производство или ламинирование-все это предлагает средства для создания компонентов новыми способами или контроля свойств материалов на очень локализованной основе. Это открывает перспективу создания новых компонентов с высоко контролируемыми свойствами, которые варьируются в трех измерениях. Такие компоненты, вероятно, потребуют новых методов оценки и испытания

D1-308 «Erosion Performance of Boron Nitride filled Silicone Rubber Composite as Outdoor Insulator Weathershed Material» (*Эрозионные характеристики наполненного нитридом бора силиконового резинового композита в качестве наружного изоляционного материала для защиты от атмосферных воздействий*), *A V Baby Sindhu, M Joy Thomas, Indian Institute of Science, Bangalore, India (Индия)*

Наружные изоляторы являются важными компонентами высоковольтных линий электропередачи, и их характеристики играют важную роль в определении надежности линий электропередачи. Для линий электропередачи сверхвысокого напряжения и ультравысокого напряжения работоспособность изоляторов во влажных и загрязненных условиях играет ключевую роль при выборе изоляторов. Установлено, что полимерные или композитные изоляторы обладают лучшими эксплуатационными

характеристиками, чем керамические изоляторы, во влажных и загрязненных условиях, поскольку их поверхность более гидрофобна по своей природе. Но срок службы композитных изоляторов связан с их эффективностью отслеживания эрозии в загрязненной среде. В докладе **D1-308** приведены исследования характеристик полимерного композитного материала, обладающего улучшенной теплопроводностью, и, таким образом, изучается его пригодность для использования в качестве наружного изоляционного материала для защиты от атмосферных воздействий. Для исследуемого полимерного композита в качестве основного полимера выбран силиконовый каучук, а в качестве наполнителя выбран нитрид бора.

Из приведенного исследования авторы делают вывод, что эрозионные характеристики наполненного нитридом бора композита силиконового каучука микронного размера с очень низкой загрузкой наполнителя намного лучше по сравнению с силиконовым каучуком без наполнителя. Обработка микрокомпозитов проще, чем нанокомпозитов, и, поскольку необходимая загрузка наполнителя очень мала, это не повлияет существенно на другие электрические и механические свойства. Следовательно, этот новый композитный материал является лучшим вариантом в качестве материала корпуса для наружных композитных изоляторов.

D1-309 «Dielectric stress on and design of GIS support insulators for HVDC-applications» (*Диэлектрическое напряжение и конструкция опорных изоляторов ГИС HVDC*)

U. Straumann¹, U. Riechert¹, R. Gremaud², K. Johansson³, N. Lavesson³

¹Hitachi ABB Power Grids Switzerland; ²ABB Switzerland Ltd; Switzerland (Швейцария) ³Hitachi ABB Power Grids Sweden, Sweden (Швеция)

Доклад **D1-309** представляют измерения и улучшенные имитационные модели для расчета электрических полей для компонентов HVDC, таких как вводы или прокладки.

Заседание Исследовательского комитета D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики»

Заседание исследовательского комитета D1 состоялось в онлайн формате.

02 и 03 сентября 2020 года в рамках электронной Сессии СИГРЭ состоялись заседания Исследовательского комитета СИГРЭ D1 (SC D1 CIGRE) «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики», на котором Председатель SC D1 CIGRE Ральф Питч подвел итоги работы комитета и представил задачи на 2021-2022 годы. В рамках проведения виртуальной Сессии СИГРЭ 2021 Ральф Питч, Председатель SC D1 CIGRE ознакомил с организационными и структурными вопросами комитета.

В SC D1 CIGRE работает **23 регулярных члена, 6 дополнительных членов, 12 наблюдательных членов, 5 консультативных рабочих групп, 26 рабочих групп (WG)**, включая совместные WG (3 JWG D1/ B1, 1 JWG D1/ B3, 2 JWG D1/ A2+1JWG D1/ B1/ B3). В 26 рабочих группах ИК D1 работают представители 39 стран. В 4 международных рабочих группах экспертами работают представители НИК D1 РНК СИГРЭ, включая две совместные рабочие группы JWG B1/D1.75 и JWG B1//B3/D1.79. Всего в мире по тематическому направлению D1 работает порядка 450 экспертов.

Фокус деятельности рабочей группы «Испытания и диагностика высокого напряжения и высокого тока» изменился за последние 10 лет, а именно наблюдается довольно сильный рост тем, касающихся DC. Это включает в себя обсуждение и определение того, как испытывать КРУЭ постоянного тока, исследование активности частичных разрядов при постоянном токе, поверхностные разряды при постоянном токе, методы измерения сопротивления постоянному и переменному току проводов кабелей и воздушных линий, и оценка динамической гидрофобности полимерных изоляционных материалов при напряжении постоянного и переменного тока.

Кроме того, акцент в SC D1 смещается на испытание и диагностику: с 7 рабочих групп в 2009 году до 11 рабочих групп в 2019 году. И, наконец, количество рабочих групп с B1 увеличилось в 2020 году.

Техническая брошюра СИГРЭ была опубликована в 2020 г.:

- CIGRE TB 794 «Полевая оценка в системах электроизоляции» (РГ D1.56), март 2020 г.

Планируется доработать и опубликовать результаты рабочих групп:

- рабочая группа D1 / B3.57

- рабочая группа D1.59

Кроме того, SC D1, среди других 15 исследовательских комитетов, подготовил главу для очень уникальной Зеленой книги «Системы электроснабжения будущего», опубликованной в августе 2020 года. Клаус Нойманн руководитель JWG D1 / B3.57, написал небольшую статью для 4-го информационного бюллетеня «Будущие соединения» под названием «Диэлектрические испытания систем с газовой изоляцией HVDC - Основы для будущего стандарта». В журнале ELECTRA № 312 был опубликован справочный документ SC A2 и SC D1 с заголовком «Изменение свойств новой неиспользованной изоляционной крафт-бумаги во время сушки. - Влияние на степень полимеризации».

Исследовательский комитет D1 работает в тесной связи с другими Исследовательскими комитетами CIGRE, такими как:

SC A1 «Вращающиеся электрические машины»

SC A2 «Силовые трансформаторы и реакторы»

SC A3 «Оборудование для магистральных и распределительных электрических сетей»

SC B1 «Изолированные кабели»

SC B2 «Воздушные линии»

SC B3 «Подстанции и электроустановки»

SC D1 стремится установить и поддерживать хорошие отношения с внешними организациями, такими как IEC, IEEE и CIGRE.

Основные партнеры в IEC: ТК 2 «Вращающиеся электрические машины», ТК 10 «Жидкости для электротехнических применений», ТК 14 «Силовые трансформаторы», ТК 36 «Изоляторы», ТК 42 «Методы испытаний высокого

напряжения и тока», ТК 90 «Сверхпроводимость», ТК 99 «Координация изоляции и системное проектирование» и ТК 112 «Оценка и квалификация электроизоляционных материалов и систем». SC D1 также поддерживает хорошие отношения с соответствующими организациями IEEE. С некоторыми техническими комитетами этих организаций SC D1 установил официальные связи.

SC D1 разработал набор учебных пособий по конкретным темам в своей сфере деятельности. Список руководств (в настоящее время 25) доступен в системе CIGRE KMS. В 2020 году были проведены или запланированы на следующие месяцы следующие учебные курсы

и семинары:

- Учебное пособие «Механические свойства изоляционных материалов и проводников для силовых трансформаторов», Ларс Шмидт, Электронная сессия СИГРЭ 2020, 27 августа 2020 г.
- Учебное пособие «Высоковольтные испытания в эксплуатации с измерением частичного разряда», Ральф Питч, Online Cigre Colloquium India, 23 октября 2020 г.
- Учебное пособие «Рекомендации по коррекции показателей загрязнения изоляторов по высоте», Игорь Гутман, Online Cigre Colloquium India, 3 ноября 2020 г.
- Учебное пособие «Руководство по применению для обнаружения частичных разрядов в КРУЭ с использованием УВЧ или акустических методов», Уве Шихлер, Online Cigre Colloquium, Индия, 2 декабря 2020 г.
- Учебное пособие «Методы диэлектрической характеристики полимерных изоляционных материалов для наружного применения», Йенс Зайферт, Online Cigre Colloquium India, 12 декабря 2020 г.

Заключение

По итогам 48-й сессии по Исследовательскому комитету D1 СИГРЭ можно отметить следующие наиболее обсуждаемые ключевые вопросы:

- онлайн-системы мониторинга РПН;
- методы улучшения знаний о состоянии актива и стратегии обслуживания;
- оперативного мониторинга частичных разрядов в КРУЭ 110кВ;
- новые задачи по разработке кабеля, испытания и, в конечном итоге, ввода в эксплуатацию;
- более высокие напряжения и новые материалы, необходимы инструменты для исследования динамики заряда в изоляции, не только на лабораторных образцах, но также и полноразмерных кабелях или DC-GIL;
- исследование и сравнение поведения частичных разрядов новых газов в HVDC GIS & GIL;
- новый и редкий вид разрушения композитных изоляторов при напряжении переменного тока;
- улучшение экологии за счет введения новых материалов, например замена SF₆;
- испытания высоковольтных кабелей в расширенном диапазоне частот;
- новые технологии производства, такие как 3D-печать и литье;
- новый метод оценки сцепления на границе раздела между сердечником и корпусом композитного изолятора;
- измерение и моделирование переходных напряжений и воздействий на усовершенствованную конструкцию изоляции и новые процедуры испытаний для компонентов HVDC.
- разработка и реализация концепции модернизированных и более гибких блоков силовых трансформаторов;
- модели для расчета электрических полей для компонентов HVDC.

Основной задачей Сессии СИГРЭ является обмен техническими знаниями и информацией между инженерным персоналом, учеными и техническими специалистами всех стран в области генерации, передачи и распределения электроэнергии.

В век цифровых технологий и сложившейся эпидемиологической обстановки в мире Сессии СИГРЭ 2020 - 2021 предложили мировому сообществу уникальную возможность обмена знаниями, дискуссий, общения с авторами, получения ценной информации в области развития электротехники и мировой энергетики в целом.