



**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](mailto:cigre@cigre.ru)

Краткий обзор по докладам на 46-й Сессии СИГРЭ по Исследовательскому комитету D1 «**Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики**».

Подкомитет D1 РНК СИГРЭ. Новые материалы в высоковольтных вводах.



Отчет подготовил:

**Славинский Александр Зиновьевич**  
д.т.н., Представитель РНК СИГРЭ в  
Исследовательском Комитете D1,  
Руководитель Подкомитета D1 РНК СИГРЭ  
«Материалы и разработка новых методов  
испытаний и средств диагностики»  
Председатель Совета директоров ООО «Масса»

Москва 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
2. Обзор докладов постер-сессии	4
2.1. ПТ1 «Компактные изоляционные системы (переменного и постоянного тока)»	4
2.2. ПТ2 «Новые материалы	8
2.3. ПТ3 «Нестандартные воздействия и новые методы испытаний»	10
3. Дискуссионное заседание Исследовательского комитета D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики»	12
4. Заключение	14
5. Подкомитет D1 РНК СИГРЭ. Новые материалы в высоковольтных вводах.	14

## 1. Введение

В период с 21 по 26 августа 2016 года в г. Париж, Франция, состоялась 46-я Генеральная сессия Международного Совета по большим электрическим системам высокого напряжения (СИГРЭ).

В рамках 46-й сессии СИГРЭ по тематике Исследовательского комитета (ИК) D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики» состоялись следующие мероприятия:

- закрытое заседание ИК D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики» (23.08.2016);
- постер-сессия комитета ИК комитета D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики» (22.08.2016);
- дискуссионное заседание ИК D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики» (22.08.2016);
- заседания рабочих групп ИК D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики» (24.08.2016).

Всего в рамках комитета D1 на 46-й сессии СИГРЭ было принято 32 доклада по следующим предпочтительным темам (ПТ):

### **ПТ1: Компактные изоляционные системы (переменного и постоянного тока)**

#### **(13 докладов)**

- физические явления при высокой напряженности электрического поля;
- распределение электрического поля;
- старение и длительно протекающие процессы.

### **ПТ2: Новые материалы (8 докладов)**

- нанокompозитные материалы;
- экологически чистые материалы.

### **ПТ3: Нестандартные воздействия и новые методы испытаний (11 докладов)**

- использование под водой и в тяжелых условиях (высокое давление, коррозия и т. п.);
- новые методы диагностики;
- влияние нестандартных воздействий на материалы.

Большая часть этих докладов была представлена на постер-сессии, где имелась возможность непосредственного общения и дискуссии с авторами докладов.

## 2. Обзор докладов постер-сессии

### 2.1. ПТ1 «Компактные изоляционные системы (переменного и постоянного тока)»

**D1-101** *Solid-gas insulation in HVDC gas-insulated system: Measurement, modeling and experimental validation for reliable operation (Твердый диэлектрик-газ в изоляционной системе HVDC : Измерение , моделирование и экспериментальная проверка надежной работы)*  
R. GREMAUD - SWITZERLAND (Швейцария)

В докладе представлена экспериментальная схема проверки модели для имитации распределения электрического поля в высоковольтных системах постоянного тока с газовой изоляцией. Она основана на измерении электрических токов в твердой и газообразной изоляции, измерении распределения поверхностного потенциала эпоксидных изоляторов и определении напряжения поверхностного пробоя изоляторов под воздействием постоянного тока высокого напряжения. Временная шкала емкостно-резистивного перехода поверхностного потенциала, прогнозируемая моделью, хорошо согласуется с измеренной временной эволюцией поверхностного потенциала.

**D1-102** *Interest of simulations to assess tests to be performed on DC GIS (Моделирование для оценки испытаний DC GIS ) - A GIRODET FRANCE (Франция)*

В докладе рассмотрены диэлектрические характеристики твердого материала и SF<sub>6</sub> по отношению к КРУЭ постоянного тока. Определена зависимость проводимости твердых материалов от температуры и напряженности электрического поля. Измерены явления электропроводности газа. Представлены разные подходы к моделированию поля постоянного тока системы изоляции и применены в случае обращения полярности и наложения импульсов. Программа испытаний, включающая длительное испытание на основе ТБ 496 CIGRE с небольшими изменениями, была применена к КРУЭ 320 кВ постоянного тока.

**D1-103** *Various Characteristics of GIS Insulation Systems and Test Method of Insulating Spacers for Residual DC Voltage (Различные характеристики GIS и систем изоляции. Метод испытания изолирующими прокладками для остаточного напряжения постоянного тока)* S. OKABE - JAPAN (Япония)

В докладе описаны различные характеристики систем изоляции КРУЭ и методы оценки выдерживаемого напряжения для изолирующих прокладок как о важных факторах в проектировании изоляции и испытаниях на остаточное напряжение постоянного тока. Представлены резистивные характеристики изоляторов и поведение металлических частиц под напряжением постоянного тока. Представлен метод испытаний для оценки выдерживаемого напряжения постоянного тока изолирующей прокладки в трехфазном капсульном КРУЭ 550 кВ.

**D1-104** *Evaluation of small scale testing for high field conductivity of HVDC cable materials (Оценка малого масштаба тестирования на высокую проводимость поля HVDC кабельных материалов)* S. ANDERSSON, V. ENGLUND, H. GHORBANI, C.-O. OLSSON - SWEDEN (Швеция)

В докладе обсуждена применимость уменьшенных образцов (отлитых под давлением пластин и моделей кабелей) для оценки проводимости изоляционных материалов для кабелей постоянного тока высокого напряжения. Доклад подчеркивает роль аккуратной подготовки объектов контроля и процедуры измерений для получения достоверных результатов в процессе разработки и контроля качества кабелей. Также показывается, что объекты контроля с литыми полупроводящими электродами часто

демонстрируют более высокий, хотя и в том же порядке величины, уровень проводимости, нежели те, которые измеряются в схемах с контактными электродами. Авторы указывают на необходимость разработки стандартного метода испытаний проводимости материалов, зависящей от поля, для изоляции кабелей постоянного тока высокого напряжения, включая также описание процедуры подготовки образцов.

**D1-105** *Long term performance of XLPE insulation material for HVDC cables* (Длительное воздействие на изоляционные материалы XLPE для кабелей HVDC) P.-O. HAGSTRAND, J. ANDERSSON, V. ENGLUND, V. ERIKSSON, J. JUNGKVIST, A. KONTRO, W. LOYENS, U. H. NILSSON, A. SMEDBERG – SWEDEN (Швеция)

В докладе приведены результаты исследований долговременной стабильности нового незаполненного материала из сшитого полиэтилена, одобренного для изготовления кабелей 525 кВ постоянного тока. Он отличается меньшей плотностью сшивки по сравнению со стандартными нынешними аналогами. Термоокислительные испытания были проведены на гантелеобразных образцах, приготовленных из обоих материалов (вырезанных из пластин, отлитых под давлением), и на сердечниках кабелей при 135 °C сроком до 1 года. Исследования показали, что, несмотря на меньшую плотность сшивки, новый материал проявляет удовлетворительную стабильность механических характеристик. Во время старения наблюдалось практически одинаковое изменение проводимости постоянного тока обоими материалами, т. е. оно значительно снизилось на начальном этапе старения и затем стабилизировалось.

**D1-106** *Study of dielectric properties of XLPE for HVDC cables during long-term ageing* (Исследование диэлектрических свойств XLPE для кабелей HVDC при длительном воздействии) A HASCOAT – FRANCE (Франция)

В докладе рассказывается о влиянии комбинированного термоэлектрического старения сшитого полиэтилена (стандартной марки, аттестованной для применения в кабелях до 320 кВ постоянного тока) на его диэлектрические характеристики, такие как тангенс угла потерь, объемная проводимость и накопление пространственного заряда. По словам авторов, независимо от условий старения, проведенные исследования не показали сколь-нибудь значительной эволюции тангенса угла потерь и электрической проводимости рассмотренного материала. В то же время распределение пространственного заряда в исследуемых образцах менялось, тем самым меняя внутреннее распределение электрического поля в образцах. Это изменение поля, представленное как коэффициент усиления поля, предложено считать признаком старения.

**D1-107** *ZnO stress grading tape for stator windings for electrical machines located at higher altitudes* (ZnO-лента для выравнивания напряженности в обмотках статора электрических машин расположенных на высоте) L. DONZEL – SWITZERLAND (Швейцария)

В докладе представлены исследования по оценке коронозащитного лака на основе микроваристора из оксида цинка (ZnO) и ленты для обмоток статоров больших электрических машин. При исследовании проводилось сравнение со свойствами и характеристиками традиционной ленты и лака на основе карбида кремния (SiC). Показано, что тангенс угла потерь в материалах на основе ZnO ниже, а напряжение возникновения частичных разрядов и напряжение пробоя после 1000 часов электрического старения — выше в экспериментальных стержнях, содержащих новый тип системы коронозащиты, чем в стержнях с защитой из SiC. Испытание, направленное на оценку применимости новых материалов на больших высотах (при низком атмосферном давлении), тоже дало положительные результаты.

**D1-108** *Dielectric performance by electrode surface pretreatment and multi-layer coatings in GIS (Диэлектрическое покрытие электродной предварительной обработкой поверхности и мультислоев в GIS)* J. H. SON, J. Y. SHIM, D. J. PARK - KOREA (Корея)

Доклад информирует о влиянии обработки поверхности проводников и диэлектрического покрытия проводников на диэлектрические свойства КРУЭ. Тонкие однослойные покрытия (напр., эпоксидные) и многослойные покрытия, состоящие из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ПТФЭ, исследованы на предмет снижения высокого электрического поля за счет микромасштабной шероховатости поверхности электрода и максимального электрического поля на границе раздела твердое тело-газ. Отмечено увеличение напряжения пробоя грозового импульса (отрицательной полярности) на 10 % при снижении шероховатости поверхности с 10 мкм до 1 мкм. Дальнейшие результаты испытаний показывают улучшение характеристик пробоя грозового импульса (> 30 %) для покрытых проводников.

**D1-109** *Tracking and Erosion Tests for SR Composite Insulators under DC Voltage (Тесты на эрозию дорожек в композитных SR изоляторах под DC-напряжением)* X.D. LIANG, S.H. LI, Y. CHEN, Y. YIN, Z.Y. LI – CHINA (Китай)

В докладе представлены результаты «испытания материалов» в наклонной плоскости постоянного тока сравниваются с результатами «испытаний изоляторов», включавших в себя испытание колесной нагрузкой, испытание на соль в течение 1000 часов и испытание на переменную нагрузку в течение 5000 часов. Общей чертой всех испытаний было то, что интенсивность разрядов, образующихся на поверхности образцов материалов и изоляторов, была выше, чем во время эквивалентных испытаний переменным током. Большое влияние также имеет полярность испытательного напряжения, противоположная в двух типах испытаний. Авторы предлагают учитывать эти эффекты при оценке различных конструктивов изоляторов и отмечают, что по итогам описанных работ некоторые новые методы были внесены в соответствующий стандарт Китая.

**D1-110** *Long-term performance of composite station insulators with larger diameters: laboratory tracking and erosion tests vs. service experience (Длительное воздействие эрозии на композитные изоляторы большого диаметра. Опыт эксплуатации)*

I. GUTMAN, M. GULLO, M. GÅRDESTEDT, J.F. GOFFINET, J. SEIFERT, F. SCHMUCK – SWEDEN (Швеция)

В докладе рассматриваются с другой стороны последствия лабораторного теста с переменной нагрузкой продолжительностью 5000 часов с прямым орошением (IEC/ TR 62730) для стационарных изоляторов больших диаметров и сравнивает результаты с эксплуатационными данными аналогичных изоляторов в естественных условиях. Говорится о специально разработанном 5000-часовом испытании изоляторов с разными диаметрами (22 мм и 136 мм), в котором последние показали себя гораздо хуже из-за неравномерного распределения солевого тумана, т. е. имели сильную эрозию. Так как схожие результаты были получены и в других лабораториях, авторы предлагают пересмотреть применение метода испытаний с прямым орошением, особенно для изоляторов больших диаметров. Статья D1-110 также поднимает вопросы испытаний на трекинг и эрозию композитных изоляторов для работы с постоянным током, для которых пока что нет стандарта. Предполагается, что модифицированные испытания переменной нагрузкой на 1000 или 5000 часов без прямого орошения и снижение испытательного напряжения до 70 % соответствующего действующего напряжения переменного тока могут стать осуществимыми альтернативами.

**D1-111** *The Effect of Bird Streamers on the Insulation Strength of HVDC Lines ( Влияние птичьих стримеров на изоляционную прочность HVDC линий)*  
NISHAL, N MANATHO - SOUTH AFRICA (Южная Африка)

В докладе проведен анализ условий, при которых птицевозащитные устройства могут вызывать перекрытие изоляции на гирляндах стеклянных тарельчатых изоляторов на ЛЭП высокого напряжения постоянного тока. В ЮАР перекрытия изоляции из-за птицевозащитных устройств являются причиной 38 % КЗ на ЛЭП высокого напряжения переменного тока. Однако вероятность таких событий на линиях постоянного тока еще требует подтверждения. Поэтому была создана специальная программа испытаний, включая лабораторное моделирование, в ЮАР и в США, птицевозащитных устройств в промежутках между опорами ЛЭП,

**D1-112** *Performance of polymeric insulators in hybrid AC/DC overhead lines under polluted conditions (Поведение полимерных изоляторов в гибридных воздушных линиях переменного / постоянного тока в загрязненных условиях)* A. WAGNER - GERMANY (Германия)

В докладе акцентируется внимание на продолжении исследований, проводимых в Германии на композитных изоляторах в гибридных линиях переменного/постоянного тока. Первый отчет об этой работе активно обсуждался на заседании CIGRE в 2014 году и вызвал самые разные мнения о предложенном тогда применении принципа разработки постоянного тока, если компонент поля постоянного тока на изоляторе больше 10 %. Проведенные дополнительно исследования последствий электрических полей в гибридных ЛЭП переменного/постоянного тока включали в себя испытания на перекрытие высоким напряжением и испытания колесной нагрузкой и показали, что классических критериев проектирования переменного тока для изоляторов цепей переменного тока и критериев проектирования постоянного тока для изоляторов цепей постоянного тока вполне достаточно. Никаких значительных (и конкретно — негативных) изменений уровня пробивного напряжения и степени эрозии не обнаружено, что говорит о необязательности модификаций существующих методов испытаний. Отсюда следует вывод, что прежний критерий применимости принципа проектирования постоянного тока, если компонент постоянного тока превышает 10 %, можно изменить, и предлагается новый порог в 50 %.

**D1-113** *GCCIA POLLUTION TEST STATION: An Optimizing Tool for Pollution Site Severity & Selection of Optimum Insulators Profile In Eastern KSA AHMED AL-THAGAFI - GULF STATES COMMITTEE (GCCIA ЗАГРЯЗНЕНИЯ испытательная станция: Оптимизация установки испытательного оборудования для испытаний на степень загрязнения и выбор оптимального профиля изолятора в Восточной KSA Ахмед аль-Thagafi - GULF STATES КОМИТЕТ)*

Доклад касается необходимости повышения надежности сети электропередачи 400 кВ в странах Персидского залива путем улучшения характеристик наружной изоляции в весьма жестких условиях среды: пустыня, море, промышленное загрязнение. С этой целью доклад приводит предварительные результаты проверки загрязненности и испытаний изоляторов на избранных линиях, а также на недавно построенной пилотной станции контроля загрязнения Аль-Фадхили. Сейчас изучаются характеристики керамических тарельчатых изоляторов (фарфоровых и стеклянных), покрытых герметиком, вулканизирующимся при комнатной температуре, с разными дизайнами юбок, и проводится оценка изменений гидрофобности поверхности, а также эффективности оцинковки креплений.

## 2.2. ПТ1 «Новые материалы»

**D1-201** *Electrical and thermal behaviour of synthetic transformer liquids (Электрические и теплофизические свойства синтетических трансформаторных жидкостей)* Q LIU, Z WANG, P JARMAN, G WILSON, R HOOTON, D WALKER, P DYER, CH KRAUSE, PWR SMITH, A GYORE, R MARTIN, P MAVROMMATIS, J NOAKHES - UNITED KINGDOM (Великобритания)

В докладе приведено сравнение электрических, тепловых свойств и сопротивления старению жидкого синтетического эфира, минерального масла и жидкого нефтепродукта, представляющего собой новую разработку технологии превращения жидкости в газ. Обсуждаются преимущества и недостатки рассмотренных свойств и применимость «новых» жидкостей, указываются возможные области применения эфирных и синтетических углеводородных жидкостей.

**D1-202** *Preliminary study for use of vegetable esters in big power transformers (Предварительное исследование использования растительных сложных эфиров в больших силовых трансформаторах)* F SCATIGGIO, M. REBOLINI, C. SERAFINO, A. VALANT - ITALY (Италия)

В докладе отмечено что, несмотря на весьма долгий и позитивный опыт использования минеральных масел одной итальянской энергетической компанией, новый регламент по охране окружающей среды требует ввести сложные эфиры на растительной основе в системы изоляции больших силовых трансформаторов. В соответствии с этим требованием была начата исследовательская программа, результаты которой показывают, что обычные эфиры могут применяться как альтернативная изолирующая и охлаждающая среда, хотя при этом нужно будет пересмотреть ряд проектных и эксплуатационных условий.

**D1-203** *Molecular Simulation and Experiment of Transformer Cellulose Insulation Paper Modified by Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Молекулярное моделирование и экспериментальное исследование целлюлозной бумажной изоляции трансформатора, модифицированной под Нано Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)* C. TANG, S. ZHANG, Q. ZHOU, X. LI - CHINA (Китай)

В докладе приведены результаты молекулярного моделирования изоляционной бумаги, модифицированной добавлением наночастиц Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Модели показывают, что энергия связи между целлюлозной основой и наполнителем возрастает с размером решетки последнего. Также сообщается об экспериментах, подтверждающих пользу от добавления наночастиц в изоляционную бумагу для ее диэлектрической проницаемости (в смысле снижения) и варьирования прочности на разрыв при термическом старении.

**D1-204** *Characteristics of fluoronitrile /CO<sub>2</sub> mixture-an alternative to SF<sub>6</sub> (Характеристики флуоронитрильной смеси / CO<sub>2</sub> – альтернатива SF<sub>6</sub>)* K. POHLINK - SWITZERLAND (Швейцария)

В докладе сообщается об основных характеристиках смеси фторнитрил/CO<sub>2</sub>, которая может — при температурах выше –30 °С — быть альтернативой SF<sub>6</sub> в высоковольтной технике. Результаты испытаний подтверждают рабочие качества примененной экологически чистой газовой смеси с точки зрения экологии, охраны труда и безопасности, совместимости и стабильности материалов и герметичности.



**D1-205** *Validation method and comparison of SF6 alternative gases( Обоснование метода и сравнение альтернативных SF6 газов) C PREVE – FRANCE (Франция)*

В докладе приведено сравнение альтернативных газов с SF6 и предлагает метод оценки главных кандидатов для применения в распределительных устройствах среднего напряжения. Отмечается, что все рассмотренные фторсодержащие варианты могут использоваться в качестве диэлектрической среды. Токсичность и количество побочных продуктов после пробоя очень высоки, и поэтому пробоев в этих газах следует избегать в целях обеспечения безопасности людей.

**D1-206** *Thermoplastics for LV Switchgear Application (Применение термопластиков для низковольтных выключателей ) VEEMA THANGARAJAN R, S.H. SHETWANI - INDIA (Индия)*

В докладе обсуждены качества термопластичных изоляционных материалов для распределительных устройств низкого напряжения. Лабораторные испытания и модели выключателей в формованном корпусе подтвердили применимость термопластичного изоляционного материала (алифатические полиамиды). Рассмотренный материал должен повысить возможности переработки компонентов РУ.

**D1-207** *Preparation of Thermal Conducive Insulating Composite Material Using Electrostatic Adsorption Method (Получение теплопроводящего изоляционного композитного материала используя метод электростатической адсорбции)Y. MURAKAMI – JAPAN (Япония)*

В докладе сообщается о разработке новой экономически эффективной технологии, основанной на электростатической адсорбции, для улучшения теплопроводности и распределения наполнителя в изоляционных составах на основе частиц полиметилметакрилата (ПММА) и нитрида бора (BN). Последние были приготовлены в разных формах: пластинки, смесь пластинчатого агломерата и пластинок, сферические агломераты, агломераты низкой плотности. Распределение частиц в композитах определялось при помощи растрового электронного микроскопа (РЭМ) и экспериментов, включавших определение их теплопроводности и пробивной прочности. Было установлено, что оба эти параметра зависят от ориентации частиц BN.

**D1-208** *Comparative Investigation on Ester Insulating Liquids for High Voltage Applications (Проведено сравнительное исследование по Ester изолирующей жидкости для применения в высоковольтной технике)I. HOENLEIN-ATANASOVA - GERMANY (Германия)*

В докладе приведены результаты сравнительных исследований изолирующих жидкостей на основе обычных и сложных синтетических эфиров при помощи нового метода испытания на стойкость окислению, которая часто ограничивает их применение в открытых трансформаторах со свободным газообменом. В основе метода лежит использование хроматографического флакона с определенным количеством воздуха и проверяемой жидкости с вставленным кусочком медной пластинки, который выдерживают при повышенной температуре в течение определенного времени. Он комбинирован с методом на основе жидкостной хроматографии высокого давления для определения содержания добавок (ингибиторов и пассиваторов) в проверяемых жидкостях. На основе анализов, проведенных с помощью разных методов, предложены пределы для важных эксплуатационных параметров.

### **ПТЗ: Нестандартные воздействия и новые методы испытаний**

**D1-301** *Developments for Frequency Response Analysis Automation ( Разработки частотного анализа для автоматизированного контроля )* D TUSEK, J WELSH, S WOLINSKI - AUSTRALIA (Австралия)

В докладе речь идет о попытках автоматизировать оценку результатов анализа частотных характеристик (АЧХ) обмоток силового трансформатора. Поскольку практически получаемые спектры АЧХ зависят от многих факторов, включая тип используемых приборов, конфигурацию тестового контура и кабельной схемы, представленная работа имела целью снизить долю влияния индивидуальных операторов в толковании результатов. Авторы утверждают, что спектры АЧХ можно параметризовать с помощью разработанного ими алгоритма базовых функций частотной локализации (БФЧЛ) в информативной системе идентификации отказов, и предлагают включить его в соответствующие стандарты.

**D1-302** *Diagnostic control of oil-paper insulation based on method of "direct" measurement of paper moisture content ( Диагностический контроль бумажно-масляной изоляции на основе метода "прямого" измерения содержания влаги в бумаге)* L.A. DARIAN, A.A. KOZLOV, A.V. KOZLOV, V.P. POLISTCHOOK, A.V. SHURUPOV, N.A. MATVEEV - RUSSIA (Россия)

В докладе представлено устройство для оперативного мониторинга содержания влаги в твердой части изоляционной системы силовых трансформаторов. В отличие от устройств, используемых сегодня, оно измеряет изменения емкости чувствительного конденсатора с куском пресс-шпана в качестве диэлектрического слоя между его электродами. Доклад приводит результаты лабораторных испытаний разработанного устройства.

**D1-303** *Development of anew spectrophotometric method for analysis of 2-furfuraldehyde in transformer oil asan indicator of paper degradation (Новая разработка спектрофотометрического метода для анализа 2- фурфуральдегида в трансформаторном масле как индикатора деградации бумаги )* J. JIMÉNEZ, B. REMARTÍNEZ – SPAIN (Испания)

В докладе продемонстрированы возможности абсорбционной спектрофотометрии в ультрафиолетовой (УФ) и видимой области спектра для оценки содержания 2-фурфуральдегида (фурфуrola) в минеральном трансформаторном масле. Описана принятая методика испытаний и представлены результаты анализа в сравнении с результатами, полученными с помощью обычного метода жидкостной хроматографии высокого разрешения (ЖХВР).

**D1-304** *Dissolved Gas Analysis Applied to on Load Tap-Changers(Анализ растворенных в масле газов в переключающих устройствах под нагрузкой)* C.D. SESSA, A.C.P MARTINS, L.M.M CHAVES, D.J. VASSALO, M.J. PROENÇA – BRAZI (Бразилия)

В докладе речь идет о реальных случаях применения анализа растворенных газов (АРГ) для прогнозного мониторинга устройств регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) в Бразилии. В этих случаях рассматривались РПН без прямого контакта их масла с маслом в баке трансформатора, и представленные результаты подтверждают, что применение уже утвержденных критериев (ТБ 443 CIGRE) достаточно надежно для выполнения оценочных задач.

**D1-305** *A study of liquid-immersed transformer reference insulation systems used to determine thermal class ( Исследования жидкостно-погруженных трансформаторных систем изоляции для определения термического класса стойкости)* H.M. WILHELM, L. LANGER, G. DAL PONT, P.O. FERNANDES, L.G. FEITOSA, R.P. MAREK, L. GALHARDO, E. WANG – BRAZIL (Бразилия)

В докладе сообщается об обширных исследованиях, предпринятых лабораториями в Бразилии и США, которые направлены на оценку процедуры, описанной в стандарте IEEE C57.100 и определяющей «Метод термической оценки систем изоляции для распределительных и силовых трансформаторов с жидким наполнителем». Цель стандарта — позволить оценку новой системы изоляции путем сравнения с уже известной. Доклад уделяет особое внимание параметрам контрольной «проверенной системы», включая термически улучшенную крафт-бумагу, целлюлозный пресс-шпан и минеральное масло, которые не получили точного определения в стандарте и поэтому могут быть представлены продуктами, полученными от разных производителей.

**D1-306** *A development of DCPD pattern recognition method using Modified CAPD together with PD founding for Gas insulated apparatus under DC voltage (Развитие метода измерения кажущегося заряда ЧР при DC с использованием модифицированных CA PD совместно с обнаружением ЧР для газоизоляционной аппаратуры изоляцией при DC напряжении)* IJ SEO YJ LEE, W ЧОЙ, BW Lee, JY KOO КИМ JT - КОРЕЯ  
I. J. SEO, Y. J. LEE, W. CHOI, B. W. LEE, J. Y. KOO, J. T. KIM - KOREA (Корея)

В докладе рассказывается о распознавании образов ЧР постоянного тока и локализации ЧР для оборудования с газовой изоляцией. Искусственные дефекты могут выявляться с помощью модифицированного хаотичного анализа ЧР (ХАЧР). Локализация ЧР с помощью направленных датчиков и с учетом полярности сигнала выглядит довольно эффективным методом. Дискретное преобразование элементарных волн используется для очистки сигналов ЧР от шумов

**D1-307** *Signal processing and study of the ripple influence in PD patterns for measurements under HVDC stress (Процесс исследования сигнала волнового эффекта в образцах PD для измерения напряжений при HVDC)* M.A. SÁNCHEZ-URÁN, F. GARNACHO, F. ÁLVAREZ, G. DONOSO, J. ORTEGO – SPAIN (Испания)

В докладе показано влияние пульсации постоянного тока на образцы ЧР, которые возникают на основании различий времени появления ЧР ( $A_t$ ) и амплитуд ( $A_Q$ ) между последовательными импульсами. Результаты лабораторных испытаний показывают влияние пульсаций напряжения на возникновение ЧР. Для диагностики применено программное обеспечение, выполняющее 3-мерную группировку ЧР на основании анализа формы пульсовой волны.

**D1-308** *A Review of Dielectric Strength with Distorted Lightning Impulses (Оценка электрической прочности изоляции при воздействии искаженных грозовых импульсов)* R. DÍAZ, J.N. SILVA - ARGENTINA (Аргентина)

В докладе приведен обзор диэлектрической прочности при искаженных грозовых импульсах. Оценка параметров от искаженного ГИ со стандартизированной процедурой одиночного k-фактора (МЭК 60060 – 1: 2010 и IEEE 4, 2013) обсуждается подробно. Экспериментальная работа показала разные значения k-фактора для воздушных зазоров; предлагается обобщенная функция k-фактора.

**D1-309** *Insulation Evaluation of High-voltage Insulation Systems for Actual Overvoltage Waveforms and Practical Field Conditions (Оценка изоляции высокого напряжения для фактических осциллограмм перенапряжений в практических полевых условиях)* S. OKABE – JAPAN (Япония)

В докладе рассказывается об испытании ГИ и длительном испытании на ЧР переменного тока как основе для проектирования изоляции высоковольтной изоляционной системы. Характеристики изоляции для нестандартных форм волны ГИ, наложенных напряжений ГИ и напряжений переменного или постоянного тока, а также трапецеидального сигнала исследуются для КРУЭ и изоляции трансформаторов с практической точки зрения. На основе экспериментальных данных была выработана новая функция k-фактора и предложена для оборудования УВН.

**D1-310** *Correcting the Errors of Large Impulse Ultra High Voltage Dividers with the Deconvolution Method (Коррекция ошибки больших импульсных ультра высоковольтных делителей напряжения с деконволюционным методом)* Y LI – AUSTRALIA (Австралия)

В докладе проведено обсуждение коррекции ошибки времени нарастания импульса (T1) больших импульсных делителей ультравысокого напряжения (УВН) по методу обращения свертки, который восстанавливает записываемые формы волны с помощью измеренного ответа делителя на импульс. Результаты экспериментов на емкостном импульсном делителе напряжения 2400 кВ с демпфированием показывают эффективность применения предложенного метода обращения свертки.

**D1-311** *Investigation of mechanical strength for station post composite insulators subjected to variable loads (Исследование механической прочности композитных станции опорных изоляторов с переменными нагрузками)* J WANKOWICZ, J BIELECKI – POLAND (Польша)

В докладе рассказывается о разработке испытательного оборудования и методики для оценки усталостной прочности композитных станционных опорных изоляторов. Переменная нагрузка при эксплуатационных условиях представлена в разработанном испытании циклическим качанием консоли изолятора. Доклад также описывает модель, учитывающую снижение усталостной прочности изолятора при таких условиях. Представленные результаты показывают, что примененная консольная методика испытаний оказывает большое влияние на механическую прочность композитных станционных опорных изоляторов, так как переменная консольная нагрузка может повредить изолятор при меньшем изгибающем усилии, чем статическая прочность, и в некоторых случаях даже меньшем, чем заявленная производителями максимальная расчетная консольная нагрузка (МРКН) или номинальная консольная нагрузка (НКН).

### **3. Дискуссионное заседание Исследовательского комитета D1**

#### **«Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики»**

В ходе дискуссионного заседания были сделаны специальные сообщения, обобщающие представленные доклады и отражающие современное состояние применения новых материалов, новых методов испытаний и средств диагностики в электротехнике. По указанным выше трем предпочтительным темам были рассмотрены следующие вопросы:  
**1) ПТ1: Компактные изоляционные системы (переменного и постоянного тока)**

- доминирующие явления и влияющие факторы для распределения электрических полей в системах постоянного тока в рабочих условиях;

- методы испытаний для проверки долговременных характеристик компактных систем постоянного тока высокого напряжения с газовой изоляцией;
- передовые технологии доступны для оптимизации диэлектрических характеристик систем постоянного тока высокого напряжения с газовой изоляцией;
- термоокислительное старение для оценки свойств материала в изоляции кабелей высокого напряжения постоянного тока, так как условия эксплуатации таких кабелей предполагают отсутствие доступа кислорода и влаги, а также ограничение рассеяния побочных продуктов сшивки;
- опыт пользователей различного оборудования, содержащего элементы коронозащиты на основе микрочастиц оксида цинка ZnO, в части их характеристик при длительном воздействии факторов среды;
- общие требования к материалам для распределения электрического поля, в частности, при высокой рабочей напряженности;
- испытаний на полевых станциях, по сравнению с устоявшимися методами лабораторных испытаний на трекинг и эрозию;
- информация о перекрытиях изоляции из-за птицезащитных устройств на ЛЭП постоянного тока;
- попытки регламентировать расчет гибридных систем переменного/постоянного тока.

## **2) ПТ2: Новые материалы**

- разработки рекомендаций для успешного решения экологических и технических вопросов, связанных с заменой минеральных масел в силовых трансформаторах жидкими эфирами;
- возможное преимущество использования жидкого нефтепродукта с точки зрения воздействия на окружающую среду;
- улучшения свойств традиционных изоляционных материалов за счет нанонаполнителей или новых технологий для более эффективного контроля дисперсии и распределения наполнителя в композитах;
- характеристики экологически чистых материалов (напр., альтернативных газов, твердых материалов на опыте пилотных установок).

## **3) ПТ3: Нестандартные воздействия и новые методы испытаний**

- основные тенденции повышение точности диагностических методов оценки состояния систем пропитанной изоляции;
- существующие стандарты термической оценки изоляционных систем, основанные на определении механических или электрических параметров, которые могут сильно зависеть от типа изолирующей жидкости;
- измерение ЧР и диагностика напряжения постоянного тока важны для управления оборудованием постоянного тока;
- оценка искаженных грозовых импульсов при тестировании оборудования УВН.

## **Заключение**

По итогам 46-й сессии по комитету D1 СИГРЭ можно отметить следующие наиболее обсуждаемые ключевые вопросы:

- долговременной стабильности нового незаполненного материала из сшитого полиэтилена, одобренного для изготовления кабелей 525 кВ постоянного тока.
- применение систем постоянного тока HVDC;
- оценка изменений гидрофобности поверхности изоляторов;
- экологии, в частности применение альтернативных смесей SF<sub>6</sub>;
- применение новых материалов с целью повышения экологической чистоты, взрыво- и пожаробезопасности и энергоэффективности.;
- применение растительных масел взамен минеральному трансформаторному маслу;
- локализация ЧР с помощью направленных датчиков и с учетом полярности сигнала довольно эффективный метод. Дискретное преобразование элементарных волн я для очистки сигналов ЧР от шумов;
- разработки испытательного оборудования и методики для оценки усталостной прочности композитных станционных опорных изоляторов;
- диагностики высоковольтного оборудования.

Общим итогом работы объединенной российской делегации на 46-й Сессии CIGRE и всех состоявшихся встреч стали расширение международных связей по научно-техническому обмену, результативный диалог по актуальным вопросам развития мировой электроэнергетики, формирование договоренностей и планов дальнейшего сотрудничества.

### **Подкомитет D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики»**

Предметная область деятельности Подкомитета D1 установлена решением Технического комитета РНК СИГРЭ и охватывает вопросы, связанные с разработкой новых методов испытаний и средств диагностики электроизоляционных материалов в электротехнических изделиях:

- новые и существующие материалы для электроэнергетического комплекса;
- технологии диагностики материалов в электросетевом комплексе;
- технологии испытания материалов.

Направление деятельности Подкомитета распределено по направлениям:

- изоляционные жидкости и трансформаторные масла, в том числе и компрессионные гели;
- твердые и полимерные диэлектрики;
- диагностика силовых трансформаторов и высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110–220 кВ;

- Изоляторы и высоковольтные вводы.

Таким образом, деятельность тематического направления D1 и подкомитета непосредственно связана с вопросами теоретических исследований в области электроизоляционных материалов и их применении в высоковольтном оборудовании.

В планы подкомитета D1 на 2016 год включено информирование отечественных специалистов о деятельности Исследовательского комитета D1 СИГРЭ и подкомитета D1 РНК СИГРЭ, и с этой целью планируется участие представителей подкомитета на проходящих в России и за рубежом международных выставках и конференциях.

Результат во многом определен подходом к работе. Цели и задачи подкомитет видит в увеличении авторитета Российского национального комитета СИГРЭ не только по нашему направлению, но и по работе других подкомитетов, близких к нашей тематике. Надо совместными усилиями вывести работу на качественно новый уровень в интересах всех участников и развития электроэнергетики нашей страны в целом.

ООО «Масса» - Ведущий научно-технический партнер Российского Национального Комитета СИГРЭ. ООО «Масса» - завод «Изолятор» - высокотехнологичный комплекс последнего поколения площадью около 20 тыс. кв. м по производству современного высоковольтного оборудования.

За более чем 120-летнюю историю предприятием выпущено более 570 тысяч высоковольтных вводов, несущих службу на подавляющем большинстве энергообъектов России и стран СНГ, а также в 26 странах мира.

Основной продукцией предприятия является производство высоковольтных вводов, в том числе на сверхвысокие напряжения до 1200 кВ.

Освоено производство вводов с твердой RIP и RIS изоляцией.

RIS – (бумага на основе синтетического волокна).

RIP - (крепированная бумага пропитанная эпоксидной смолой).

В настоящее время вводы с RIS – изоляцией на напряжение 110 кВ проходят опытную эксплуатацию в Московском регионе.

Внутренняя твердая RIP-изоляция (Англ. resin impregnated paper — бумага, пропитанная смолой) является главной конструктивной частью высоковольтного ввода и представляет собой остов, который формируется намоткой на центральную трубу крепированной электроизоляционной бумагой с последующей термовакуумной сушкой и пропиткой специальным эпоксидным компаундом. Последующее отверждение под давлением полностью вытесняет из изоляции газовые включения.

В процессе намотки в остов закладываются конденсаторные обкладки для выравнивания электрического поля. Преимущества RIP-изоляции: надежность, безопасность, технологичность, долговечность, экологичность, отсутствие необходимости в обслуживании, простота и легкость эксплуатации. Вводы с RIP-изоляцией поставляются в Индийскую государственную электросетевую компанию Power Grid Corporation of India Limited. Расширяется рынок поставок в страны Азии и Западной Европы.

Уже сегодня завод располагает уникальным оборудованием, позволяющим серийно производить вводы с RIP-изоляцией на классы напряжения до 1150 кВ переменного тока и до 800 кВ постоянного тока.

Все выпущенные вводы на напряжение постоянного тока для трансформаторов эксплуатируются в Китае и Индии.

Следует отметить, что постоянный ток в ближайшее время будет востребованным и в России. Для справки: Первая в мире вставка постоянного тока была реализована на Волгоградской ГЭС ±400 кВ.

Не менее важное направление работы - поиск новых материалов с целью повышения надежности и снижения себестоимости изделий.

Несмотря на хорошие диэлектрические свойства маслонаполненных вводов, их эксплуатация всегда связана с потенциальной опасностью пробоя, возможной утечкой масла и возникновением в связи с этим пожара. К этому следует добавить и реальную опасность загрязнения окружающей среды. Поэтому, в последнее время наметилась тенденция постепенного ухода от трансформаторного масла там, где это возможно, и замена его на другие типы изоляции, например компрессионный гель UNILITE-EXP888/60 разработан специально для заполнения высоковольтных вводов и совместим с большинством полимеров, смол, клеев.

Высокие рабочие характеристики геля подтверждены в ходе специальных испытаний в профильных исследовательских лабораториях Великобритании.

В поиске новых материалов с целью повышения надежности изделий, в качестве основной изоляции ввода рассматривается применение нетканого полимерного материала взамен крепированной бумаги, благодаря чему можно повысить влагостойкость изоляции в сложных условиях эксплуатации и сократить цикл производства.