



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 770501001. Тел.: +7 (495) 627-85-70. E-mail: cigre@cigre.ru

ОТЧЕТ

об участии в 45-й Сессии CIGRE и работе Исследовательского Комитета
**D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств
диагностики» CIGRE,**
25-29 августа 2014 года, Париж (Франция)



Отчет подготовил:

Ярмаркин Михаил Кириллович,

к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетическое оборудование электрических станций, подстанций и промышленных предприятий» (ЭЭСР) ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», наблюдательный член SC D1 CIGRE с 2010 г, член рабочих групп CIGRE D1.44, D1.45. Член-корреспондент АЭН РФ. Приказом Минэнерго России от 28.03.2014 удостоен звания «Почетный энергетик».



Контактные данные:

E-mail: yarmarkin_mk@mail.ru

Тел. +7 (812) 373-90-23 (24), 371-83-50.

Моб. +7 (921) 912-35-25.

Дата отчета:

16.09.2014

Москва, 2014 год

Оглавление

1. Введение.....	3
2. Общий обзор докладов SC D1 на Сессии.....	3
3. Предпочтительная тема 1 «Электроизоляционные системы при воздействии постоянного напряжения»	4
4. Предпочтительная тема 2 «Новые методы испытаний и средства диагностики»	5
4.1. Контроль изоляции маслонаполненного оборудования.....	5
4.2. Диагностика водных триингов в силовых кабелях	6
4.3. Испытания оборудования подстанций ультравысокого напряжения (УВН).....	7
4.4. Оценка формы импульсов высокого напряжения	7
4.5. Новые аспекты диагностики частичных разрядов (ЧР) и эксплуатационного контроля.....	7
4.6. Учёт атмосферных условий и высоты над уровнем моря, тяжёлые метеорологические условия	8
4.7. Вопросы по докладам предпочтительной темы 2.	9
5. Предпочтительная тема 3 «Свойства и возможности применения новых материалов»	9
6. Выводы.....	13
Приложение	14

1. Введение

Целью Исследовательского комитета D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики» является содействие международному обмену технической информацией в области новых материалов и новых методов контроля.

Эта деятельность относится к новым разработкам по следующим темам:

- новые и существующие материалы для электротехнологий;
- методы диагностики и соответствующие методические указания;
- новые методы испытаний, которые, как ожидается, могут оказать заметное влияние на развитие энергосистем в среднесрочной или долгосрочной перспективе.

2. Общий обзор докладов SC D1 на Сессии

SC D1 выделено три предпочтительных темы (Preferential Subject), по которым представлено 30 докладов для рассмотрения и обсуждения в рамках работы на 45-й Сессии CIGRE 2014 г.:

Предпочтительная тема 1 «Электроизоляционные системы при воздействии постоянного напряжения» (4 доклада):

- свойства материалов;
- распределение объёмных и поверхностных зарядов;
- длительная эксплуатация.

Предпочтительная тема 2 «Новые методы испытаний и средства диагностики (17 докладов):

- ультравысокое постоянное и переменное напряжение;
- учёт атмосферных условий и высоты над уровнем моря, тяжёлые метеорологические условия;
- разработка рекомендаций по применению новых методов диагностики и испытания.

Предпочтительная тема 3 «Свойства и возможности применения новых материалов (9 докладов):

- материалы для выравнивания электрического поля;
- экологичные материалы;
- сверхпроводники.

Полный перечень докладов SC D1 на 45-й Сессии CIGRE 2014 г. представлен в [Приложении](#) к настоящему Отчету. Сведения о вопросах, заданных в ходе обсуждения докладов, приведены в соответствующих разделах отчета.

3. Предпочтительная тема 1 «Электроизоляционные системы при воздействии постоянного напряжения»

Доклад D1-101.

Обсуждаются критерии выбора композитных изоляторов для работы в сложных условиях линий электропередачи постоянного/переменного напряжения. Работа выполнена в связи с необходимостью перевода существующих воздушных линий (ВЛ) электропередачи переменного тока класса 380 кВ на постоянный ток для увеличения пропускной способности в Германии.

В настоящее время рекомендуемая процедура выбора изоляторов для гибридных линий основана, главным образом, на опыте эксплуатации ВЛ как постоянного, так и переменного тока. Предлагается учитывать соотношение между постоянной и переменной компонентами воздействующего электрического поля. Если определяющим параметром является интенсивность загрязнений, то при доле постоянной компоненты более 10% выбор изоляторов должен выполняться, как при постоянном напряжении. Предложена модель электрических воздействий на изоляторы, возникающих при работе гибридных ВЛ, которая положена в основу разработки процедуры испытаний конструкции и ускоренных испытаний материалов на старение.

Доклады D1-102 и D1-103.

В докладах сообщается об исследованиях, связанных с выбором изоляции компактных высоковольтных газоизолированных установок постоянного напряжения. В докладе D1-102 описано измерение распределения потенциала и заряда вдоль изоляторов различной формы. Для различных значений объёмной и поверхностной проводимости, а также с учётом их температурных зависимостей, определены условия формирования стационарного резистивного распределения электрического поля, что открывает возможность для его контроля. Также указаны преимущества использования материалов, обладающих способностью к перераспределению электрического поля, что может послужить для дополнительного уменьшения размеров газоизолированных устройств. Кроме того, для замены газовых смесей N₂/SF₆ при постоянном напряжении обсуждается возможность использования газовых смесей, сходных с воздухом. Во втором докладе (D1-103) также обсуждаются факторы, влияющие на распределение электрического поля вдоль поверхности и внутри твердых изоляторов газоизолированных высоковольтных установок постоянного напряжения. Предложена численная модель, позволяющая предсказывать распределение электрического поля как в стационарном, так и в переходном режиме. Она учитывает экспериментально измеренные параметры твёрдой и газовой изоляции, а также явления, возникающие на границах раздела.

Доклад D1-104.

Рассмотрены требования, предъявляемые к свойствам изолирующих материалов, обеспечивающих надёжную работу кабелей постоянного напряжения при уровне напряжения свыше 320 кВ. Задача сводится к дальнейше-

му повышению электроизоляционных свойств, а также тщательному анализу их зависимости от температуры и механической нагрузки. Показано, что требуемая при постоянном напряжении низкая проводимость и высокая электрическая прочность могут быть достигнуты при повышении физической и химической чистоты, то есть при уменьшении содержания потенциальных точек внедрения заряда и свободных полярных радикалов, обеспечивающих проводимость. Важную роль, поэтому, играет способ вулканизации и удаления выделяющихся при этом продуктов. Этот подход использован для разработки нового материала для постоянного напряжения, свойства которого сопоставлены со свойствами стандартного сшитого полиэтилена.

Вопросы по докладам PS 1.

Вопрос 1.1.

На каком основании принято 10-%-ное соотношение между постоянным/переменным напряжением в качестве правила при выборе изоляции гибридных ВЛ? Существуют ли другие, альтернативные идеи?

Вопрос 1.2. (D1-102, D1-103)

Каковы оптимальная форма и электрическая проводимость изоляторов для высоковольтных газоизолированных систем постоянного напряжения (HVDC GIS/GIL) с учётом распределения поля, градиента температуры и эксплуатационных перенапряжений? Проверялись ли результаты моделирования экспериментально на реальном оборудовании? Какая процедура испытаний рассматривается как удобная для длительных испытаний газовой и твёрдой изоляции (HVDC GIS/GIL)?

4. Предпочтительная тема 2 «Новые методы испытаний и средства диагностики»

4.1. Контроль изоляции маслонаполненного оборудования.

Доклад D1-204.

Показано, что смачиваемость бумаги, определённая на основании измерения контактного угла с полярными жидкостями (формаид и дийодометан), коррелируется со степенью полимеризации бумаги. Авторы делают вывод, что измерения контактного угла могут быть использованы для определения степени старения бумаги в изоляции силовых трансформаторов.

Доклад D1-205.

Сопоставлены результаты измерения влагосодержания в изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов, полученные с помощью большого количества стандартных емкостных датчиков. Целью работы была проверка точности, повторяемости и воспроизводимости, а также калибровка с использованием титрования по Карлу Фишеру (IEC 60422). Показана возможность преобразования относительного влагосодержания (в единицах емкостного датчика) к абсолютной влажности, выраженной в ppm. Этот ре-

зультат может быть использован не только для минерального масла, но также для других изолирующих жидкостей, что требует, однако, определения своего коэффициента пересчёта для каждой жидкости. Аналогичным образом, в докладе D1-215 выполнено сопоставление статистических данных по оценке влагосодержания с помощью титрования по Карлу Фишеру и по показаниям емкостных датчиков влажности, полученных в эксплуатации на большом числе мощных трансформаторов. Отмечается значительное расхождение уровней влагосодержания, оцениваемых двумя методами.

Доклад D1-207.

Представлено модернизированное устройство для лабораторного исследования разложения изолирующих жидкостей под действием ультразвуковой кавитации. При этом выделяются газообразные продукты и осуществляется их хроматографический анализ с помощью какой-либо из известных процедур (соотношение Доренбурга, соотношения Роджерса, ИЕС 60599, метод ключевого газа, метод номограмм, треугольник Дюваля). Отмечается, что приблизительно 50% газов, выделяющихся в результате разложения, не идентифицируются, что свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования оборудования.

Доклад D1-216.

Обсуждается влияние, которое оказывает тип бумаги и геометрические факторы на напряжение пробоя при импульсных воздействиях (коммутационный, грозовой) и при переменном напряжении. Использовались лабораторные модели межвитковой и межсекционной трансформаторной изоляции. Сделан вывод, что тип бумаги и форма скругления кромок оказывают незначительное влияние как из-за наличия микропустот, в то время как увеличение длины обмотки усиливает влияние этих параметров.

4.2. Диагностика водных триингов в силовых кабелях

Доклад D1-210.

Описан метод ранней диагностики водного разрушения изоляции силовых кабелей распределительных сетей в Японии. Метод, названный как «метод остаточного заряда», основан на формировании пространственного заряда в водном триинге под воздействием предварительно поданного постоянного напряжения, и последующим его распадом после заземления.

В дальнейшем, с целью освободить остаточный заряд, прикладывается переменное напряжения. В последних работах по развитию этого метода показано, что применение для зарядки и деполяризации импульсов длительностью порядка 1 мкс вместо переменного или постоянного напряжения приводит к повышению чувствительности процедуры, уменьшению длительности измерений и снижению размеров необходимого оборудования. Это позволяет также расширить диапазон испытываемых экструдированных кабелей, включив в него кабели с экструдированными полупроводящими слоями, а также кабели для присоединения газоизолированного оборудования. Сооб-

щается также об обнаруженной корреляции между величиной остаточного заряда и электрической прочностью при переменном напряжении.

4.3. Испытания оборудования подстанций ультравысокого напряжения (УВН)

Доклад D1-211.

Описано новое испытательное оборудование и методика надёжной оценки параметров изолирующего масла, основанная на экспериментальных данных и оценке уровня частичных разрядов в силовых трансформаторах УВН. Отдельно рассмотрены испытания комбинацией переменного и импульсного напряжения и приведены результаты экспериментов.

4.4. Оценка формы импульсов высокого напряжения

Доклад D1-203.

Оцениваются различия в результатах, получаемых при использовании различных процедур, описанных действующими стандартами IEC и IEEE и основанными на регистрации действительной формы импульса, а также формы, предписанной IEC. Требуется дальнейшая работа над действующими стандартами, относящимися к оценке импульсов коммутационных перенапряжений.

Доклад D1-206.

Обсуждается применение новой методики оценки формы импульсов, генерируемых при импульсных испытаниях различного силового оборудования. Показано, что для всех форм импульсов неприменима точная оценка временных параметров в соответствии с действующими стандартами IEC.

4.5. Новые аспекты диагностики частичных разрядов (ЧР) и эксплуатационного контроля

Доклады D1-202 и D1-217.

Связаны с измерениями ЧР на сверхвысоких частотах (СВЧ) для определения и локализации мест возникновения в силовых трансформаторах. В D1-202 результаты измерений на СВЧ сопоставлены с результатами обычных измерения по IEC 60270. С целью локализации ЧР использовались акустические датчики, подключаемые при возникновении СВЧ сигнала.

Доклад D1-217.

Посвящён новому методу наблюдения ЧР, основанному на контроле за распространением электромагнитных волн с помощью многочисленных СВЧ датчиков. Методика локализации поддерживается компьютерным моделированием и доказана на практике с помощью новой системы СВЧ мониторинга ЧР на примере трансформатора 154 кВ.

Доклад D1-208.

Описана калибровка и указана неопределённость свойств высокочастотных трансформаторов тока в качестве датчиков при нестандартных из-

мерениях ЧР в высоковольтных кабелях. Используя предложенный метод измерения ЧР, для различных типов ЧР при различных характеристиках ВЧТТ показана неопределённость получаемых результатов.

Доклад D1-209.

Описано применение широкополосной антенны и компактной системы для измерения ЧР в диапазоне частот 0.1-100 МГц. При полевых испытаниях на результаты измерений оказывает влияние положение антенны и удаление от места измерений.

Доклад D1-214.

Указывается на важность анализа различного рода ошибок для организации эффективного управления действующими активами. Уроки, извлечённые из анализа ошибок, позволяют предотвратить их в будущем.

4.6. Учёт атмосферных условий и высоты над уровнем моря, тяжёлые метеорологические условия

Доклад D1-201.

Представлены новые результаты, касающиеся учёта высокой влажности (до 25 г/м³) при пробое воздушных промежутков. Учтено влияние, которое оказывает влажность на стримерной и лидерной фазах разряда. Ранее было показано, что это влияние максимально при положительной полярности, поэтому испытания выполнены при грозовых импульсах положительной полярности. Показано, что в диапазоне низкой и средней влажности напряжение пробоя увеличивается на величину порядка 1% на каждый г/м³ влагосодержания. При уровне влажности более 20 г/м³ информации недостаточно и требуются дополнительные эксперименты. Кроме того, большое количество экспериментов выполнено в климатических камерах в условиях, отличающихся от естественных. В докладе выполнен анализ корректирующего коэффициента при высокой влажности для импульсных напряжений, с использованием новых экспериментальных данных, полученных в естественных условиях при абсолютной влажности от 7 до 25 г/м³.

Доклад D1-212.

Описано применение модели погодных условий для оценки ESDD в условиях высокой загрязнённости. Предложена и опробована в четырёх различных местах модифицированная модель ветра. Описаны результаты проверки моделирования ESDD в различных странах.

Доклад D1-213.

На основании исследований, выполненных на высоте до 5000 м, предложена коррекция электрической прочности наружных промежутков по атмосферным условиям и высоте. Результаты представляют интерес как при выборе воздушных промежутков и чистой изоляции, так и при выборе изоляции в условиях загрязнений.

4.7. Вопросы по докладам предпочтительной темы 2.

Вопрос 1 (D1-204).

Известна чувствительность контактного угла смачивания в отношении шероховатости поверхности. Имеются ли свидетельства того, что этот фактор влияет на результаты измерений, так что необходима специальная калибровка для каждого нового типа бумаги? Ввиду высокой проникающей способности воды, влагосодержание извлечённых из трансформаторов образцов будет быстро изменяться, то есть, влагосодержание будет зависеть от способа отбора образцов. В чём преимущество измерения влагосодержания по сравнению с измерением уровня частичных разрядов?

Вопрос 2 (B1-205).

Для получения правильных результатов необходима калибровка емкостных датчиков влажности для различных типов масел. Как будет сказываться изменение свойств масел в процессе эксплуатации; потребуется ли периодическая калибровка?

Вопрос 3 (D1-207).

Интерпретация результатов анализа выделяющихся газов (DGA) рассматривается в CIGRE уже много лет. Имеется ли согласие относительно того, что дополнительные методы интерпретации действительно необходимы для учёта эффекта кавитации, как это заявлено автором доклада D1-207?

Вопрос 4 (D1-216).

Эмпирическое соотношение, использованное в докладе D1-216 для описания влияния длины обмотки на пробивную напряжённость (на лабораторных моделях) указывает на уменьшение этого параметра на 15% для длинных обмоток (500 м и 1000 м) по сравнению с короткими. Существует ли общепринятое соглашение относительно этой оценки? Имеется ли какая-либо корреляция этой оценки с наличием слабого звена, объёмными и/или поверхностными моделями?

5. Предпочтительная тема 3 «Свойства и возможности применения новых материалов»

Доклад D1-301.

Обсуждается возможность применения стандарта IEC 61788-3 для определения критического тока в высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП) второго поколения. На основании выполненных экспериментов сделано положительное заключение. Отмечено, однако, что необходимы специальные меры предосторожности при монтаже и пайке проводников, также как при выборе величины и длительности тока и при измерении напряжения, в особенности, если ленты ВТСП не стабилизированы медью.

Доклад D1-302.

Представлены результаты исследований миграции влаги между целлюлозой и пропиткой в изоляции, состоящей из нейтральной стабилизирован-

ной бумаги, погружённой в натуральное масло. Выполнены исследования термического старения в лаборатории, а также в течение 30 месяцев на реальном трансформаторе с размещёнными в нём образцами бумаги. Периодически определялись влагосодержание и кислотность масла. Одновременно определялась степень полимеризации, механические свойства и инфракрасный спектр образцов бумаги. В этом случае анализы были сконцентрированы на том, происходят ли какие-либо реакции с пропиткой в процессе старения? Полученные результаты показывают сильное уменьшение степени полимеризации в нейтральной бумаге по сравнению с термостабилизированной бумагой, хотя в обоих случаях не было обнаружено никакого свидетельства химического взаимодействия бумаги с пропиткой.

Доклад D1-303.

Сообщается о влиянии наночастиц слабопроводящего TiO_2 в сильно состаренном минеральном масле на его напряжение пробоя. Старение масла выполнялось при температуре 130° в течение 36 дней до тех пор, пока кислотное число не достигало предела, допускаемого в эксплуатации (0.1 mgKOH/g). Показано, что добавление частиц существенно снижает уменьшение пробивного напряжения при переменном напряжении после старения. В то же время, имеет место увеличение импульсного напряжения пробоя на 30-40%, а также уменьшение скорости продвижения стримеров. Представлена попытка объяснения наблюдаемых эффектов с помощью изучения поведения объёмного заряда в масле. Применение техники электроакустических импульсов и термической деполяризации показало значительное уменьшение скорости распада.

Доклад D1-304.

Сопоставлены воздействия потоками воздуха с песком, промышленных загрязнений (цемент и удобрения), а также погружения в концентрированную кислоту на потерю водоотталкивающих свойств силиконовых изоляторов. Гидрофобность определялась по контактному углу смачивания. Показано, как отмечалось ранее, что все воздействующие факторы оказывают влияние на гидрофобность.

Доклады D1-305, D1-306, D1-308.

Рассматриваются возможности ограничения использования SF₆ в высоковольтном оборудовании. В D1-305 суммированы результаты исследований различных фторсодержащих молекул, выполненные за последнее время. Показано, что добавка двадцати процентов флюоронитрила (fluornitrile) к CO₂ позволяет получить пробивную напряжённость, сопоставимую с напряжённостью в чистом SF₆ при используемых в настоящее время давлениях. При этом показатель парникового эффекта смеси (GWP) составляет 2-3 % по отношению к чистому SF₆. Физические, дугогасительные и тепловые свойства этой газовой смеси также удовлетворительные. В D1-308 представлены результаты электрических испытаний смеси трифлюорйодометана (CF₃I) и CO₂ в соотношении 30:70%. Однако, низкая дугогасительная способность и высокая температура кипения ограничивают потенциальную об-

ласть применения этой смеси газоизолированными линиями. В противоположность этому, в D1-306 внимание концентрируется на попытке поиска оптимального соотношения газовых составляющих (N₂, O₂, CO₂, Ar) для использования в качестве газовой изоляции выключателей. На основе анализа макроскопических разрядных характеристик изучены различные концентрации N₂ и O₂ в бинарной смеси. Показана возможность увеличения пробивной напряжённости таких смесей на величину порядка 5% при увеличении содержания O₂.

Доклад D1-307.

Обсуждается возможность замены терморезактивных смол (как эпоксидная) на термопластичные при изготовлении изолирующих элементов в газоизолированных выключателях. В качестве кандидата на такую замену рассматривается полиэтилентерефталат (PET). Основанием для этого служат исследования его механических, электрических и тепловых характеристик, а также опыт эксплуатации герметизированного оборудования класса 72 кВ.

Доклад D1-309.

Представлены результаты интенсивных исследований по разработке материалов для распределения электрического поля с различной диэлектрической проницаемостью (ϵ) для изготовления изоляторов газоизолированных систем (ГИС). Эффект перераспределения электрического поля была достигнута путём центрифугирования опорных и дисковых изоляторов после добавки различных окислов металлов в качестве наполнителя на различных стадиях изготовления эпоксидной отливки. Применение таких изоляторов позволит лучше контролировать распределение электрического поля вдоль изолятора, то есть увеличить напряжение перекрытия и уменьшить эффект старения силовых аппаратов. Авторы предлагают также концепцию управления распределением электрического поля вдоль изоляторов ГИС путём нанесения на поверхность изолятора тонкого слабопроводящего слоя с точно контролируемой проводимостью и длиной.

Вопросы по докладам PS 3.

Вопрос 3.1 (D1-301).

Ранее сообщалось об интенсивной разработке высокотемпературных сверхпроводников (ВТС) на основе композиции висмут-стронций-кальций-оксид меди (BSCCO) и иттрий-барий-оксид меди (YBCO), каждая из которых обладает определёнными достоинствами и недостатками. Каковы были наилучшие параметры ВТС 1-го и 2-го поколения, учитывая уровень критического тока, величину параметра n , потери на переменном токе, стабильность механических свойств, однородность и т.д. Что можно сказать относительно трудоёмкости изготовления и доступной длины ВТС при их использовании в реальных аппаратах?

Вопрос 3.2 (D1-302).

В силовых сетях делается всё более и более популярным применение трансформаторной изоляцией из бумаги, пропитанной натуральными или

© Ярмаркин М.К., НП «РНК СИГРЭ», 2014

синтетическими жидкостями. Каков опыт применения такой изоляции по сравнению с традиционной изоляцией на базе бумаги, пропитанной минеральным маслом, учитывая факторы надёжности и старения?

Вопрос 3.3 (D1-303).

Возможность сохранения или даже улучшения сопротивления изолирующих жидкостей при добавлении нано-частиц очень привлекательна. Имеются ли примеры такого рода на изоляции эксплуатируемых трансформаторов и в чём заключается подобный опыт?

Вопрос 3.4 (D1-304).

В литературе широко освещается воздействие различных естественных загрязнителей на гидрофобность силиконовых изоляторов. Остаются, тем не менее, вопросы, связанные с испытаниями погружением в кислую среду. Имеются ли какие-либо доказательства того, что такие испытания действительно воспроизводят условия окружающей среды при эксплуатации?

Вопрос 3.5 (D1-305, D1-306, D1-308).

При попытках уменьшить использование SF₆ в высоковольтном оборудовании рассматриваются два альтернативных решения. Одно из них заключается в применении газовых смесей с пониженным содержанием фторсодержащих молекул, в то время как другое рассматривает компоненты воздуха. Имеются ли примеры практической реализации газоизолированных систем или линий, которые показали бы превосходство одной технологии над другой?

Вопрос 3.6 (D1-307).

Один из известных из литературы механизмов разрушения твёрдой изоляции газоизолированных систем связан с образованием трека. Существует ли необходимость контроля трекинго- и эрозионной стойкости таких изоляторов?

Вопрос 3.7 (D1-309).

Считается, что использование в газоизолированных системах изоляторов, обладающих способностью к ϵ - или σ -перераспределению электрического поля, может позволить упростить конструкцию, уменьшить стоимость и потери электроэнергии. Имеются ли примеры, когда такие решения были использованы и каково их влияние на указанные факторы?

6. Выводы

1. Исследовательским комитетом D1 рассмотрены 30 докладов, полно представляющих направления развития мировой электроэнергетики в области создания новых электротехнических материалов и разработки новых методов контроля.

2. В представленных докладах рассматриваются проблемы использования новых материалов в системах высокого напряжения при постоянном напряжении, включая гибридные воздушные линии электропередачи, сочетающие постоянное и переменное напряжение, материалы для компактных газоизолированных систем, а также изоляцию кабелей постоянного напряжения.

3. Наиболее интересные разработки представлены в докладах D1-303, D1-305-308 и D1-309. Они посвящены применению наночастиц для восстановления свойств масляной изоляции, поискам альтернативы для SF₆ в высоковольтном оборудовании, а также разработкам новых конструкций твёрдых изоляторов для герметизированных аппаратов высокого напряжения. Найденные технические решения (применение флюорнитрилов, применение структурированного твёрдого материала для принудительного формирования электрического поля и др.) могут быть использованы в будущем для создания новых, более совершенных высоковольтных устройств и аппаратов.

Приложение

Перечень докладов, представленных на 45 Сессии СИГРЭ 2014 г. по направлению SC D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики»

PS1 «Электроизоляционные системы при воздействии постоянного напряжения»

- D1-101. Характеристики изоляторов гибридных линий электропередачи постоянного/переменного напряжения.
J. KNAUEL, A. WAGNER, R. PUFFER, J.M. SEIFERT, S. LIU, M. BRÜCKNER, B. RUSEK, S. STEEVENS, A. GRAVELMANN, K.KLEINEKORTE.
- D1-102. Твёрдые и газовые изоляционные системы для компактных высоковольтных устройств постоянного напряжения.
A. WINTER, J. KINDERSBERGER, M. TENZER, V. HINRICHSEN, L. ZAVATTONI, O. LESAIN, M. MUHR, D. IMAMOVIC.
- D1-103. Твёрдая изоляция для газоизолированных устройств постоянного напряжения.
B. GREMAUD, F. MOLITOR, C. DOIRON, T. CHRISTEN, U. RIECHERT, U. STRAUMANN, B. KÄLLSTRAND, K. JOHANSSON, O.HJORTSTAM.
- D1-104. Характеристики возможных материалов для следующего поколения высоковольтных кабелей постоянного напряжения с экструдированной изоляцией.
V. ENGLUND, J. ANDERSSON, J.-O. BOSTRÖM, V. ERIKSSON, P.-O. HAGSTRAND, J. JUNGQVIST, W. LOYENS, U.H. NILSSON, A. SMEDBERG.

PS2 «Новые методы испытаний и средства диагностики»

- D1-201. Учёт атмосферных условий при импульсных высоковольтных испытаниях в условиях высокой влажности. R.R.DIAZ, A.A.SEGOVIA.
- D1-202. Применение техники СВЧ для обнаружения и локализации частичных разрядов в маслонаполненных трансформаторах.
S. НОЕК, M. KRÜGER, S. KÖRBER, A. KRAETGE
- D1-203. Сопоставление численных процедур анализа высоковольтных импульсов, описанных новыми стандартами IEC и IEEE. Y.LI, W.YAN.
- D1-204. Измерения контактного угла смачивания как возможность контроля условий эксплуатации электроизоляционной бумаги.
D. VRSALJKO, V. HARAMIJA, V. DURINA, M. POLJAK, B. MUSULIN, M. LESKOVAC.

- D1-205. Оценки влагосодержания в маслонаполненном оборудовании с помощью емкостных датчиков и титрованием по Карлу Фишеру – одинаковы ли?
I. ATANASOVA-HOEHNLEIN, U.SUNDERMANN, M.KUFFEL, ST.ETTL.
- D1-206. Исследования применимости метода k-фактора для оценки формы импульсов при испытаниях трансформаторов и реакторов.
A. PRADEEP, M.M. BHAWAY, S.V.N. JITHIN SUNDAR.
- D1-207. Диагностика процессов кавитации в высоковольтном маслонаполненном оборудовании. L.A. DARIAN.
- D1-208. Калибровка и неопределённость свойств высокочастотных трансформаторов тока при эксплуатационных и лабораторных измерениях частичных разрядов в изоляции высоковольтных кабелей.
A. RODRIGO, P. LLOVERA, V. FUSTER, A. QUIJANO.
- D1-209. Процедуры испытаний при использовании беспроводной системы измерения частичных разрядов в высоковольтных сетях.
R. CANDELA, A. DI STEFANO, G. FISCELLI, S. FRANCHI BONOMI, G.C. GIACONIA, A. GUALANO.
- D1-210. Фундаментальное исследование метода остаточного заряда при импульсном напряжении в кабелях с полиэтиленовой изоляцией при наличии водных триингов. T. KURIHARA, T. OKAMOTO, T. TSUJI, K. UCHIDA, M.H. KIM, N. HOZUMI.
- D1-211. Испытания изоляции оборудования подстанций УВН на переменном напряжении – Частичные разряды и комбинированные импульсные испытания. S. OKABE, T. TSUBOI, G. UETA, T. KOBAYASHI, H. KOYAMA, H. WADA.
- D1-212 Моделирование погоды для оценки ESDD в условиях высокой загрязнённости. I. GUTMAN, C. AHLHOLM, K. HALSAN, R. EIDE, L. CARLSHEM, W.L. VOSLOO, J-F. GOFFINET
- D1-213. Корректировка по атмосферным условиям и высоте для воздушных промежутков, чистых и загрязнённых изоляторов: состояние дела в IEC и CIGRE. I GUTMAN, A PIGINI, J. RICKMANN, J. FAN, D. WU, E. GOCKENBACH.
- D1-214. Критическая роль анализа ошибок при управлении активами.
A. AL-HADABI, A. JOHNSON, K. AL-ROMAIMI, J. WETZER, A. SHARMA.
- D1-215. Оценка влагосодержания в маслонаполненных трансформаторах: опыт эксплуатации.
T. GRADNIK, B. ČUČEK, M. KONČAN-GRADNIK.
- D1-216. Описание электрических характеристик обмоток маслонаполненных трансформаторов на базе моделирования межвитковой и межсекционной изоляции.

Y.J. LEE, J.H. LEE, I.J. SEO, J.Y. KOO, S.J. CHO Y.H. KIM, B.Y. SEOK.

- D1-217. Новый метод локализации частичных разрядов в силовых трансформаторах, основанный на характеристиках распространения электромагнитной волны.
K.R. HWANG, J.R. JUNG, Y.M. KIM, H.J. YANG.

PS3 «Свойства и возможности применения новых материалов»

- D1-301. Применение документа IEC 61788-3 для определения критического тока высокотемпературных сверхпроводников при постоянном токе в распределительных сетях.
A. POLASEK, R. DIAS, O. ORSINO FILHO, F. SASS, P. BARUSCO, F.G.R. MARTINS, A.C. FERREIRA, R. DE ANDRADE JR., F.J.M. DIAS, D.H.N. DIAS, G.G. SOTELO.
- D1-302. Химические реакции и миграция влаги между изолирующей бумагой и пропиткой на базе натурального кукурузного масла.
H.M. WILHELM, A. CABRINO, L.L. SILVA, D. SILVA, H. HOSSRI, C. GALDEANO, M.M. SILVA JR., P.O. FERNANDES, H.P. SILVA.
- D1-303. Влияние слабопроводящих наночастиц на изоляционные свойства термически состаренного трансформаторного масла.
Y.Z. LV, C.R. LI, Q. WANG, W. WANG, Y.F. DU.
- D1-304. Потеря и восстановление гидрофобности силиконовых изоляторов при различных климатических условиях в Египте.
B.A. ARAFA, A. NOSSEIR.
- D1-305. Замена элегаза для высоковольтных выключателей.
Y. KIEFFEL, A. GIRODET, F. BIQUEZ, PH. PONCHON, J. OWENS, M. COSTELLO, M. BULINSKI, R. VAN SAN, K. WERNER.
- D1-306. Измерения критической напряжённости и эффективного коэффициента ионизации в смесях водород-кислород различной концентрации. P. HÄFLIGER, S.M. FRANCK.
- D1-307. Экологичные твёрдые изоляторы для газоизолированных систем. K. POHLINK, F. MEYER, D. GAUTSCHI, Y. KIEFFEL.
- D1-308. Газ CF₃I и его смеси: возможности для электрической изоляции. M.S. KAMARUDIN, L. CHEN, P. WIDGER, K.H. ELNADDAB, M. ALBANO, H. GRIFFITHS, A. HADDAD.
- D1-309. Технологии распределения электрического поля в силовых аппаратах с применением специальных материалов.
N. HAYAKAWA, K. KATO, H. OKUBO, H. HAMA, Y. HOSHINA, T. ROKUNOHE.