



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

117630, г. Москва, улица Академика Челомея, дом 5А

ИНН/КПП 7704266666 / 772801001. E-mail: [cigre@cigre.ru](mailto:cigre@cigre.ru)

## ОТЧЕТ

Об участии в работе 46-й Генеральной сессии Международного Совета по Большим Электрическим Системам (СИГРЭ) и заседаниях Исследовательского Комитета В1 «Изолированные кабели»

г. Париж, Франция, с 21 по 26 августа 2016 года



Отчет подготовил:

**Новопоселенских Никита Павлович**

Представитель РНК СИГРЭ в  
Исследовательском комитете В1  
«Изолированные кабели»

Главный инженер ООО «Таткабель»

Контактные данные:

e-mail: [NovoposelenskihNP@invent.group](mailto:NovoposelenskihNP@invent.group)

Дата составления отчета:

01.08.2017

## Оглавление

1. Введение.....	3
2. Закрытое заседание Исследовательского комитета В1 «Изолированные кабели» .....	3
3. Дискуссионное (планерное) заседание Исследовательского комитета В1 «Изолированные кабели».....	5
3.1. Обзор докладов.....	5
3.2. Статьи по ПТ1 «Обратная связь от вновь смонтированных или модернизированных кабельных систем» .....	5
3.3. Обсуждение ПТ1 «Обратная связь от вновь смонтированных или модернизированных кабельных систем» .....	8
3.4. Статьи по ПТ2 «Оптимальное использование существующих кабельных систем». ....	9
3.5 Обсуждение ПТ2 «Оптимальное использование существующих кабельных систем». ....	12
3.6. Статьи по ПТ3 «Изолированные кабели в энергосистеме будущего».....	13
3.7. Обсуждение ПТ3 «Изолированные кабели в энергосистеме будущего». ....	17
4. Постер-сессия комитета В1 «Изолированные кабели» .....	17
5. Техническая выставка.....	18
6 Прочие мероприятия.....	18

## 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 (СИГРЭ). В этом году сессия была рекордная по посещению - более 8000 человек из 93 стран.

На сессии СИГРЭ 2016 по тематике Исследовательского комитета (ИК) В1 СИГРЭ «Insulated Cables» (Изолированные кабели) прошли следующие мероприятия:

- закрытое заседание ИК В1 (22-23.08.2016);
- дискуссионное заседание ИК В1 (25.08.2016);
- заседания рабочих групп ИК В1 (24–26.08.2016);
- постер-сессия комитета ИК В1 (26.08.2016).

Исследовательский комитет (ИК) В1 занимается всеми аспектами систем изолированных наземных и подводных кабелей. В объем работ ИК В1 входят вопросы теории, проектирования, применения, изготовления, монтажа, проверки, эксплуатации, обслуживания и диагностики кабельных систем переменного и постоянного тока.

Четыре стратегических направления, указанных Техническим комитетом СИГРЭ, служат основой для выполняемых работ. К ним относятся: подготовка энергосистемы будущего, извлечение максимальной пользы из существующих систем, забота об окружающей среде и извещение лиц, принимающих решения, о проблемах энергосети.

Для дискуссионного заседания группы в 2016 году предложены три предпочтительные темы для обсуждения в свете указанных стратегических направлений. В общей сложности представлено 39 статей.

## 2. Закрытое заседание Исследовательского комитета В1 «Изолированные кабели»

Для новых членов Исследовательского комитета В1 «Изолированные кабели» 22.08.16 г в 10:00 было организовано специальное совещание (Introduction Meeting), на котором была представлена основная информация о СИГРЕ и Исследовательском комитете В1. Была предоставлена возможность поговорить с более старшими членами, рассмотреть различные инструменты для работы в СИГРЕ и ИК, познакомиться с деятельностью консультативных групп (Activities of Advisory Groups) и ответственными за их деятельность E. Bergin (CAG), W. Boone (TAG), M. Marelli (PAG).

Во второй части дня, а также во вторник 23 августа была проведена основная часть закрытого совещания Исследовательского комитета В1 «Изолированные кабели». На закрытом заседании комитета были рассмотрены вопросы деятельности комитета в 2015 году, готовность ряда технических брошюр, в частности финальный отчет рабочей группы WGB1.47 – Техническая брошюра «IMPLEMENTATION OF LONG AC HV AND EHV CABLE SYSTEMS» (Реализация длинных кабельных систем переменного тока

высокого и сверхвысокого напряжения). Данная работа безусловно вызывает интерес во многих странах с развитой и протяженной сетью электропередачи, таких как Россия.

Обсуждались текущие отчеты действующих рабочих групп, целевых групп.

Была рассмотрена информация о деятельности представителей комитета В1 «Изолированные кабели» с другими ИК, в частности с ИК:

- В2 Воздушные линии (Overhead Lines)
- В4 Электропередачи постоянным током высокого напряжения и силовая электроника (HVDC and Power Electronics)
- С3 Экологические характеристики работы энергосистем (System Environmental Performance)
- С4 Технические характеристики энергосистем (System Technical Performance)
- D1 Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики (Materials and Emerging Test Techniques)

Работают следующие совместные группы:

- JWG В4/В1/С4.73 Surge and extended overvoltage testing of HVDC Cable Systems (2016 – 2017)
- JWG С3/В2/В1.13 Environmental Issues of High Voltage Transmission Lines in relation to Rural and Urban Areas (2011 – 2014). Проблемы окружающей среды высоковольтных линий передачи по отношению к сельским и городским районам.
- JWG С4/В4.38 Network modelling for harmonic studies (2014 – 2017)
- JWG D1/В1.49 Basic principles and practical methods to measure the Harmonized test for measurement of residual inflammable gases (2011 – 2014)
- WG D1.54 Basic principles and practical methods to measure the AC and DC resistance of conductors of power cables and overhead lines (2013 – 2016). Основные принципы и практические методы измерения сопротивления переменного и постоянного тока проводников силовых кабелей и воздушных линий.
- WG D1.63 Partial Discharge detection under DC voltage stress. Определение частичного разряда под нагрузкой напряжения постоянного тока.

Были рассмотрены необходимость взаимодействия, имеющиеся результаты работы с другими организациями – ИЕС (ТС 20) и IEEE. Проведен анализ выпущенных совместных стандартов и необходимость новых стандартов и рекомендаций. Проведён анонс.

Была рассмотрена необходимость и планы по созданию новых рабочих и целевых групп.

Рассмотрены планы по мероприятиям на 2017 год. Ежегодное собрание и коллоквиум ИК В1 «Изолированные кабели» назначены на октябрь 2017 года в Нью-Дели, Индия.

### **3. Дискуссионное (планерное) заседание Исследовательского комитета В1 «Изолированные кабели»**

Дискуссионное (планерное) Заседание ИК В1 началось 25 августа в 8:45 в «Синем зале». Для дискуссионного заседания группы в 2016 году предложены три предпочтительные темы для обсуждения в свете указанных стратегических направлений. В общей сложности представлено 39 статей.

#### **3.1. Обзор докладов**

##### **ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНАЯ ТЕМА №1**

**ПТ1** называется «Обратная связь от вновь смонтированных или модернизированных кабельных систем». Тема охватывает все четыре стратегических направления и содержит следующие подразделы:

- Проектирование, квалификация, методы установки и эксплуатации;
- Экологические вопросы.

Эта предпочтительная тема собрала 9 докладов.

##### **ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНАЯ ТЕМА №2**

**ПТ2** называется «Оптимальное использование существующих кабельных систем». Тема прорабатывает второе стратегическое направление. Охватывает следующие вопросы:

- Оценка состояния и диагностическое испытание кабельных систем;
- Тенденции мониторинга кабелей и принадлежностей;
- Методики модернизации и имеющиеся наработки;
- Тенденции в области стратегий технического обслуживания.

Эта предпочтительная тема собрала 16 докладов.

##### **ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНАЯ ТЕМА № 3**

**ПТ3** называется «Изолированные кабели в энергосистеме будущего». Тема прорабатывает первое стратегическое направление. Охватывает следующие вопросы:

- Повышенный уровень напряжения для кабелей переменного и постоянного тока;
- Новые функциональные характеристики, ожидаемые от кабельных систем;
- Интеграция кабелей и принадлежностей в сеть;
- Инновационные типы кабелей. Эта предпочтительная тема собрала 14 докладов.

#### **3.2. Статьи по ПТ1 «Обратная связь от вновь смонтированных или модернизированных кабельных систем»**

**В1-101:** Эта статья описывает работы по укладке под землю двух 40-летних воздушных линий в теперь очень густонаселенном городском районе в Бразилии. Компании пришлось иметь дело с очень узкой полосой отвода, к тому же с нарушениями габаритов приближения в нескольких местах. Для работы потребовалось выполнить информационные запросы органов власти, включая экологическую экспертизу, меры по ослаблению воздействия электромагнитных полей, схемы движения транспорта и специальные требования касательно общестроительных работ. Авторы показали, что перенос воздушных линий под землю — процесс непростой, даже при использовании существующей полосы отвода. Процесс сбора разрешений до сих пор не завершен.

**В1-102:** В связи с Великим восточно-японским землетрясением пришлось налаживать и вводить в эксплуатацию новую подземную линию в очень сжатые сроки. Для сокращения времени монтажа на 50% в Японии впервые были применены предварительно отлитые соединения на 275 кВ. Необходимо было разработать новые методы испытаний, чтобы подтвердить надежность новых соединений, включая определение максимально допустимого размера загрязнения, возможности визуального обнаружения загрязнений с помощью устройств для сращивания проводов, а также долговременные проверочные испытания, включая измерение частичных разрядов. Новый тест на стойкость к высокому напряжению в сочетании с измерением ЧР успешно подтвердил действенность существующих методов контроля процессов. Кроме всего прочего, при прокладке кабелей пришлось решать проблемы, связанные с наличием длинного туннеля и крутого склона. Цепь была введена в эксплуатацию в 2013 году.

**В1-103:** В докладе представлен проект по повышению пропускной способности ЛЭП в Новой Зеландии. Он предусматривал проектирование системы кабелей на 220 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена, их прокладку по мосту длиной 1,4 км и внутри люков. В число задач проекта вошло уменьшение термомеханических нагрузок в соединительных отсеках, крепление и фиксация кабелей внутри конструкции моста, включая оценку и полномасштабное испытание ее термомеханических, сейсмических и вибрационных нагрузок. Конструкция приспособлений типа «змейка» для сдерживания втяжки кабеля в люки была проверена с помощью испытаний. Моделирование и испытания механизма расширения на мосту показали, что опоры позволяют горизонтальные и вертикальные движения моста, и имели целью моделирование 80 лет работы с термомеханическими изгибающими нагрузками.

**В1-104:** Обслуживание подземной кабельной сети в городе Мумбаи — сложная задача. Некоторые кабели были проложены больше 100 лет назад. Так как у системного оператора имеются газонаполненные, маслonaполненные кабели и кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, методы обслуживания различаются и адаптируются под каждый тип кабеля. В отчете представлены различные технологии и методы контроля и модернизации подземной кабельной сети в городе Мумбаи.

**В1-105:** Системы с большим числом параллельных кабелей могут представлять собой сложную сеть проводов, металлических экранов и заземлителей. В данной статье представлено моделирование взаимных индуктивных и омических влияний многофазной системы кабелей 400 кВ. Вначале дается описание параметров моделирования и расчет матрицы импедансов с учетом собственного полного

сопротивления и полного сопротивления связи. Вместе с сопротивлениями заземления построена модель цепи для расчета распределений напряжения и тока на всех доступных площадках вдоль цепи. Проведены измерения на существующей кабельной сети 400 кВ в режиме малых нагрузок. Результаты показали хорошую сходимость с моделью.

**V1-106:** Статья описывает разработку, проектирование, монтаж, наладку и полевые испытания новой системы охлаждения кабелей с помощью гравитационной воды. После монтажа новой системы кабелей 230 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена замеры температуры волоконной оптики показали, что существующее охлаждение горячих мест вокруг паропровода недостаточно, что вызывает ухудшение показателей системы СВН примерно на 20%. Расчетные исследования и математические модели показали, что система охлаждения гравитационной водой в замкнутом контуре должна быть достаточно эффективной. Такое охлаждение, почти не требующее обслуживания, должно обеспечить требуемый отвод тепла от горячих мест, что приведет к снижению температуры материала засыпки. Первые испытания показывают хорошую сходимость данных модели с фактическими замерами.

**V1-107:** Число подводных соединений переменного тока высокого напряжения растет вместе с объединением энергосистем, строительством морских ветряных электростанций и соединений с нефтегазовыми платформами. Этот доклад рассказывает о проектировании и испытании подводной кабельной системы 400 кВ переменного тока в Корее. В систему входят кабели, заводские и ремонтные соединения и оконечные устройства. Была создана программа разработки и типовых и переквалифицированных испытаний, как электрических, так и механических, на базе рекомендаций СИГРЭ. Кроме того, разработано испытание на долговременное ускоренное старение. Разработка и типовые испытания были успешно завершены. Предквалификационное испытание по графику должно закончиться в октябре 2016 г.

**V1-108:** В Технической брошюре СИГРЭ №283 рассмотрены переходные перенапряжения в связанных системах, вызываемые грозowymi импульсами. Эта испанская статья рассказывает о том, как были выведены аналитические уравнения СИГРЭ для моделирования нетрадиционного заземления поперечных соединений, а также концевых муфт внешней установки и выключателей с газовой изоляцией, защищенных ограничителями напряжения на корпусе (ОНК). Авторы также показывают, какое влияние смешанные коаксиальные и однополюсные заземляющие провода могут оказывать на запас надежности системы. Не меньшую важность при этом имеет длина заземляющего провода. Получаемые перенапряжения могут намного превосходить стойкость внешней оболочки или принадлежностей. Новые уравнения были применены к 150 цепям 220 и 400 кВ в испанской сети, что обеспечило необходимый уровень защиты для кабельных систем СВН общей длиной 392 км.

**V1-109:** Данная статья описывает процесс квалификации межсистемной связи 320 кВ постоянного тока, проходящей через Альпы между Италией и Францией. Так как международных стандартов на сегодня нет, спецификации, и требования к испытаниям были определены на базе нынешних рекомендаций ТБ СИГРЭ 496. Два сетевых системных оператора запросили дополнительные испытания сверх ТБ СИГРЭ 496, дабы удостовериться в том, что кабельная система выдержит специфические условия среды

данной конкретной установки. В состав испытаний входили измерения объемных зарядов на полноразмерных кабелях и испытания наложенными импульсными напряжениями при очень низких температурах до  $-25^{\circ}\text{C}$ . Особую сложность представляли длинные пересечения виадуков и большие длины прокладок для снижения числа стыков и необходимость применения больших барабанов. Успешное окончание квалификационных тестов вселяет уверенность в пользователей и поставщиков.

### 3.3. Обсуждение ПТ1 «Обратная связь от вновь смонтированных или модернизированных кабельных систем»

Статьи, представленные по ПТ1, отражают широкий диапазон вопросов, касающихся вновь создаваемых и модернизируемых кабельных систем во всем мире. Статьи охватывают три перекликающиеся темы:

- Увеличение пропускной способности линий передач;
- Повышение надежности;
- Новые и новаторские проектные решения, методы монтажа.

Пропускная способность увеличивается за счет установки новых систем, как, например, в Новой Зеландии, или путем замены воздушных линий в существующей полосе отвода, как было сделано в Бразилии. Чрезвычайные ситуации — как, например, сильное землетрясение в Японии — создают необходимость быстрого усиления систем, ставя под сомнение существующие правила выбора принадлежностей и монтажных процедур. Новаторская система охлаждения гравитационной водой уже сейчас эффективно справляется с горячими местами, предотвращая ухудшение рабочих характеристик системы СВН в Канаде.

Эффективность и надежность системы может быть улучшена за счет проверки конструкционных параметров. Это было продемонстрировано на примере полномасштабных механических испытаний новых типов трасс на мостах и в люках, определения и испытания критичности загрязнений в интерфейсах принадлежностей, подтверждения распределения напряжения и тока в системе с поперечными связями и оценок установленных систем. Переходные перенапряжения, которые превышают уровень стойкости изоляции кабельных оболочек или принадлежностей, могут представлять опасность. Поэтому моделирование, тестирование и реализация проектного решения для ограничения этих перенапряжений позволяют повысить надежность системы.

Для кабельных систем новой конструкции необходимы доводочные, типовые, предквалификационные и пусковые испытания. Несколько статей касаются этих требований применительно к кабельным системам СВН/ВН переменного тока и ВН постоянного тока. Технические условия испытаний определяются на основе рекомендаций СИГРЭ, стандартов МЭК и нужд заказчиков. Энергетические компании сейчас уточняют дополнительные требования для конкретных проектов, некоторые из которых могут быть впоследствии внесены в отраслевые стандарты. Кроме того, представлены новые типы монтажных методик, в том числе крепление к длинным



мостам и путепроводам, прокладка кабелей на крутых склонах или устройство гравитационной системы охлаждения с замкнутым контуром рядом с новой системой СВН.

### 3.4. Статьи по ПТ2 «Оптимальное использование существующих кабельных систем»

**V1-201:** Данная статья описывает разработку нового плана ТО для кабельных систем СВН с изоляцией из сшитого полиэтилена в Латинской Америке. Технические условия сформированы на базе ТБ 279 и ТБ 379 и подхода к техобслуживанию с ориентацией на повышение надежности. Опыт показал, что физическое местонахождение и состояние точек доступа для технического обслуживания имеют большую важность. Люки и соединительные коробки должны быть доступны и защищены от попадания воды для измерений ЧР или тока в оболочке кабеля и термографических проверок. Технические условия на люки и соединительные коробки были пересмотрены с учетом новых процедур ТО.

**V1-202:** В статье представлен метод оценки состояния кабельных систем передачи ВН и СВН на одном предприятии в США. Методика охватывает системы кабелей с экструдированной диэлектрической изоляцией и системы кабелей в трубопроводе без наполнителя. Необходимы расширенные оценки и многократные полевые исследования, чтобы обеспечить раннее выявление для надежной работы в течение расчетного срока службы в 40 лет и более. Авторы перечисляют ключевые пункты проверки, включая вероятные разрушения и возможные меры противодействия. Коррозия даже новых цепей может быть важным фактором. Также отмечается, что разные производители кабелей предусматривают разные правила техобслуживания.

**V1-203:** В докладе представлен процесс выбора оптимальной системы для полевых испытаний кабелей 115 кВ с экструдированной диэлектрической изоляцией в Таиланде. Было отмечено учащение отказов после пусковых испытаний цепей постоянного тока. В процессе выбора компания ориентировалась на местные нужды, включая портативность и потребление энергии, а также эффективность испытаний, длину кабеля и приспособляемость под измерение ЧР, хотя измерение ЧР в полевых условиях оказалось сопряжено с рядом трудностей. В конце концов, применив процесс принятия решений с учетом множества критериев, компания остановила свой выбор на системе испытаний переменного тока с демпфированием.

**V1-205:** Оперативный контроль частичных разрядов для кабельных систем среднего напряжения всё чаще применяют для обнаружения слабых мест до возникновения отказа. Эта новая технология предусматривает два датчика на обоих концах цепи, которые позволяют обнаруживать и локализовать источники ЧР. Для содействия при замере вводится импульс синхронизации времени. Система может применяться не только в радиальных системах, но и в распределительных сетях. Оперативное обнаружение ЧР представляется целесообразным, так как их появление может быть единичным и меняться по величине с течением времени. Авторы сообщают, что ЧР могут продолжаться от нескольких месяцев до нескольких лет, прежде чем случится

отказ. Нидерландские компании продемонстрировали, что данная технология может повысить их показатели надежности, в том числе средний индекс перерыва в работе системы и средний индекс частоты прерываний в работе системы.

**В1-206:** Доклад посвящен потерям в броне трехжильных подводных кабелей. ТБ 640 СИГРЭ сообщала, что потери в броне, вычисляемые по стандартам МЭК, оказываются выше фактических, что приводит к занижению оценочных характеристик. Авторы разработали систему измерений и модель для анализа потерь в броне на реальных кабелях по методу конечных элементов. Было проведено испытание и моделирование нескольких различных видов кабелей. Замеры проводились при комнатной и рабочей температуре. Испытания показали потери в броне до 60% меньше, чем значения МЭК. Метод конечных элементов в корреляции с измерениями может применяться для оценки кабелей с другими типами проводников и брони.

**В1-207:** Анализ растворенных газов (АРГ) — полезное средство для контроля аномалий в кабельных системах с жидким наполнителем или для проведения планового ТО. Вопрос в том, какой уровень обнаруженных газов является критическим и требует проведения внепланового техобслуживания. Повышение точности прогнозов — обязательное условие для проведения ремонта до отказа. Данная статья из Японии предлагает новую доработанную матрицу критериев для жидкостно-наполненных кабелей с каналом в токоведущей жиле с высокой точностью диагностики на основе анализа характерных признаков. Вторая часть статьи описывает, как анализ газов (АГ) для высоковольтных оконечных устройств жидкостно-наполненных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена может применяться для диагностического контроля разрушений между кабелем и муфтой, возникающих из-за затвердевания силиконового масла.

**В1-208:** Статья описывает разработку роботизированной системы технического обслуживания длинного кабельного тоннеля через Пиренеи между Францией и Испанией. Тоннель длиной 8,5 км и диаметром 3,5 м содержит две цепи ВН постоянного тока. Ввиду экологических ограничений, доступ к тоннелю возможен только на его концах. Нормативные ограничения определяют тоннель как доступный, но не открытый для осмотра, чем и обусловлена необходимость разработки автоматизированного мобильного робота для технического обслуживания. Этот робот способен выполнять задачи профилактического ТО без участия людей, хотя может и транспортировать рабочих в тоннель для проведения внепланового ремонта. Датчики и камеры обеспечивают безопасность и надежность работы поезда.

**В1-209:** Доклад рассказывает о работе испанской компании в области анализа тока в оболочке кабеля для обнаружения таких явлений, как повреждение наружной оболочки, работа ограничителей перенапряжения в случае пробоев или вероятных неисправностей, неверное соединение оболочек при монтаже или изъятие заземляющих проводов вследствие кражи. Компания разрабатывает системы, которые контролируют системы соединения оболочек — в принципе, простое измерение, но обычно не применяемое — для оптимизации процесса ТО. Были проведены теоретические изыскания касательно токов в оболочках в нормальных и ненормальных условиях. Продолжаются разработки в направлении автоматического толкования контролируемых токов для оценки вероятного характера дефектов.

**В1-210:** Подключения к морским ветряным электростанциям в Германии регламентируются особым правилом, согласно которому разность температур между морским дном и поверхностью кабеля должно быть меньше 2 К. Поэтому потери в кабеле могут ограничивать пропускную способность подводных кабелей ниже их максимальной рабочей температуры. В качестве временного решения применяют параллельные кабели для создания необходимого резерва. Окончательным решением станет динамическая стратегия прогнозирования с опережением, описанная в данной статье. Алгоритм основан на метаэвристической оптимизации с учетом прогнозируемых условий слабого ветра. Предложенное решение позволит увеличить передачу энергии на 22%.

**В1-211:** Статья описывает подходы британских операторов к контролю состояния подводных кабельных систем среднего и высокого напряжения для возобновляемой морской энергетики. Раньше обычно применялось календарное техническое обслуживание (КТО), однако теперь пользователи переходят к техническому обслуживанию по необходимости (ТОН). ТБ 379 и ТБ 398 предлагают стратегии для наземных систем. В статье утверждается, что подводные кабели имеют меньший срок службы и потому требуют иного подхода к техобслуживанию, нежели наземные кабели. Статья рассказывает о применении таких методов диагностики, как оперативный контроль ЧР, тока в оболочке и качества энергии. Два рассмотренных примера показывают, что такая диагностика позволяет выявлять 90% электрических проблем.

**В1-212:** Данный доклад посвящен оценке жизненного цикла (ОЖЦ) двойной цепи 380 кВ переменного тока в Италии. ОЖЦ определяет экологические нагрузки продукта, процесса или мероприятия, количество необходимых ресурсов и загрязняющих выбросов и оценивает возможности для усовершенствований. Работа была построена на базе стандартов ИСО с применением существующих пакетов программ. Толкование результатов показало, что эксплуатационный период является доминирующим в части потерь в кабелях и занятии территории в течение 40 лет службы. Вторым по важности назван этап реализации и вопросы добычи и производства меди.

**В1-213:** Системы возобновляемых источников энергии ставят перед системными операторами новые задачи. В прошлом новые кабельные системы редко нагружались до максимальных проектных значений. Бельгийский системный оператор решил использовать систему определения допустимой токовой нагрузки по условиям нагрева (ОДТН) для более эффективного управления потокораспределением в стратегической цепи 150 кВ. Сюда входит безопасная и контролируемая перегрузка кабеля с помощью распределенного измерения температуры (РИТ) и ОДТН. Статья рассказывает об опыте системного оператора в части монтажа, типовых проблемах и итоговых рекомендациях по интеграции и перегрузочной способности. Необходимо раннее сотрудничество между экспертами по кабелям и ИТ, а также внимательный контроль действий после монтажа, перечисленных в статье.

**В1-214:** Отслеживание стандартов испытаний кабелей на горение — тема этой статьи из Китая. Она рассматривает китайские и международные стандарты с позиций актуальности и хода разработки, применяемые испытания на горение новых и старых кабелей, а также токсичность продуктов горения. Кабели становятся причиной многих пожаров в энергосетях. В Китае две трети всех пожаров в городах происходят по вине

кабелей. Авторы представляют среду тестирования кабелей на горение в лабораторных условиях на основе международных и местных стандартов. Также предлагается включить испытания на токсичность в стандарты, регламентирующие лабораторные выбросы в ходе этих испытаний.

**В1-215:** Эта статья описывает развитие новых технологий для локализации подводных кабелей. Определение правильного местоположения подводного кабеля очень важно при его укладке, обслуживании и ремонте. Для защиты от повреждений многие из этих кабелей были уложены в грунт и засыпаны, что затрудняет их поиск. Новые 3-осевые магнитометры повышают точность определения местонахождения подводных кабелей, как переменного тока, так и высокого напряжения постоянного тока. Новые технологии дополнены сложными схемами обработки и фильтрации сигналов. Рассказывается о применении этих технологий на установленных связях. Авторы также представляют новый звуковой генератор с дистанционным управлением для обнаружения и идентификации нескольких кабелей в узком коридоре.

**В1-216:** Причиной пробоев пропитанных в массе неосушенных кабелей (ПМНО) могут становиться большие пустоты в слоистом бумажном диэлектрике. Эти пустоты могут возникать вследствие чрезмерных циклических нагрузок. Изоляция ПМНО много лет была основным диэлектриком кабелей для самых высоких напряжений постоянного тока. Теперь же операторы всё чаще требуют более быстрого изменения потока распределения нагрузки для адаптации под энергосистемы на возобновляемых источниках. Данная статья описывает механизмы, которые могут приводить к избыточному образованию пустот рядом с проводником. Она объясняет, как температура проводника, температура по сечению изоляции и наружное давление способствуют образованию пустот. Приводятся параметры существующих систем.

**В1-217:** В докладе из Бахрейна рассказывается о применении диагностики ЧР на выключателях СВН с газовой изоляцией для раннего обнаружения зарождающихся дефектов. Объясняется важность измерений ЧР и описывается реальный пример периодического контроля с заблаговременным обнаружением ЧР в выключателе с газовой изоляцией мокрого типа на 220 кВ. Объясняется применение трансформаторов тока высокой частоты (ТТВЧ), подчеркиваются практические проблемы и трудности, встреченные в ходе измерений ЧР. Статья также рекомендует оперативное измерение уровня силиконового масла внутри окончных устройств.

### 3.5 Обсуждение ПТ2 «Оптимальное использование существующих кабельных систем»

Статьи, представленные в рамках Предпочтительной темы №2 Оптимальное использование существующих кабельных систем, освещают широкий ряд вопросов, касающихся эксплуатации и обслуживания существующих объектов.

Планы технического обслуживания наземных и подводных кабелей отражают различные подходы к подбору планов под конкретные нужды: по времени, по состоянию или по параметрам надежности. Доступ к инфраструктуре может стать

вопросом, для которого потребуются либо новые технические условия, либо проектирование роботизированного оборудования.

Контроль состояния кабелей должен предоставить важную информацию для необходимых корректирующих мер. Коррозия элементов инфраструктуры названа проблемой, которая встречается даже на достаточно новых установках и требует внимания к себе. Электрические измерения (например, токов в оболочке) могут дать владельцу полезные сведения и отправную точку для исследования и автоматизированного толкования результатов в будущем.

Новые методы испытаний обсуждаются в четырех статьях. Некоторые указывают на сложности испытаний в полевых условиях. Ключевой вопрос для пользователей — как новые методы могут повысить надежность системы, а также пути количественного определения преимуществ. Точность определения местоположения подводных кабелей может быть улучшена при помощи двух новых систем испытаний, причем одна статья рекомендует внести испытание на токсичность продуктов горения в международные стандарты.

Возобновляемая энергетика быстро развивается, и вместе с ней растут требования к новым кабельным технологиям. В общем плане нужно обсудить, могут ли многие параметры контроля состояния наземных кабелей быть применимы также и к подводным кабелям. С точки зрения потерь в кабеле могут быть воздействия на морскую среду. Также может быть желание обеспечить безопасную и контролируемую перегрузку кабелей, соединенных с энергоустановками на базе ВИЭ. ТБ 640 СИГРЭ указывает, что фактические потери в 3-жильных бронированных кабелях меньше расчетных, и поэтому допустимая токовая нагрузка таких кабелей может быть выше. Представлен метод контроля потерь в бронированном кабеле. Есть ли другие параметры, где спецификации слишком ограничивающие? Кабели ПМНО склонны к образованию пустот во время нагрузочных циклов, и к ним предъявляются требования о более быстрых изменениях нагрузки. Лучшее понимание механизма может помочь повысить вероятную пропускную способность.

### 3.6 Статьи по ПТЗ «Изолированные кабели в энергосистеме будущего»

**В1-301:** Кабельные системы постоянного тока с всё более высоким напряжением и передаваемой мощностью становятся важными компонентами энергосистем на базе ВИЭ. Эта шведская статья описывает успешную разработку системы кабелей высокого напряжения постоянного тока с экструдированной изоляцией из сшитого полиэтилена на 525 кВ, включая оконечные устройства без масла и фарфора, наземные и гибкие морские соединения. Новая система способна передавать на 50% больше энергии в сравнении с нынешним уровнем напряжения 320 кВ. Очерчены этапы разработки с применением нового изоляционного материала для кабелей, в том числе на базе новых и существующих технологий контроля механических напряжений в принадлежностях. В процессе разработки применялись обширные процедуры моделирования и тестирования при помощи ТБ 496 СИГРЭ.

**В1-302:** По мере роста морских ветряных электростанций некоторым странам приходится полагаться на плавучие платформы ветроустановок ввиду морских условий. Этот доклад из Японии рассказывает о разработке динамической кабельной системы на 22 кВ и 66 кВ, пригодной для соединения плавучих генераторов и подстанций. Исходя из аналитического моделирования, система была рассчитана на 20 лет службы. Сюда входил расчет на выносливость и эксперименты на реальных кабелях. Было выбрано соединение через схему с распределенной плавучестью и промежуточными буюми. Кабельная система ветровой турбины 7 МВт, как часть демонстрационного проекта, была успешно смонтирована и введена в эксплуатацию.

**В1-303:** Стоимость кабелей составляет значительную часть общей себестоимости морских энергосистем. Повышенное внимание уделяется улучшению пропускной способности межблочных и экспортных кабелей. Исследование, проведенное в Дании, показывает, что эти кабели редко достигают проектной рабочей температуры. Статья предлагает новый систематический метод, при котором профили нагрузки, функция поэтапного набора нагрузки и тепловые свойства окружающей среды выступают в качестве исходных данных для оценки параметров кабеля. Метод конечных элементов вкупе с методиками, описанными в ТБ 610, позволяет моделировать условия работы установки. Авторы предлагают применять модель термоэлектрических эквивалентов (ТЭЭ) в качестве аналитического численного решения для быстрого расчета суточных температурных характеристик на базе данных, собранных за несколько лет.

**В1-304:** Трехжильные бронированные подводные кабели — оптимальный вариант для использования в качестве блочных и передающих кабелей морских ветроустановок.

Расчеты, проводимые в соответствии с МЭК 60287, дают заниженные значения допустимой токовой нагрузки кабелей. Эта датская статья исследует влияние различных частей кабеля в отношении полных потерь, даже хотя потери на гистерезис и не учитываются. Делается вывод о том, что неточность потерь больше зависит от коэффициента потерь в экране, чем от коэффициента потерь в броне. Оценка потерь в экране определяется токами экрана. Предлагается новое исследование для улучшения расчета токов экрана и применение программ расчета переходных электромагнитных процессов для кабелей в трубопроводе, пусть даже магнитные параметры в данный момент недоступны для вычислений.

**В1-305:** Эта статья описывает разработку переходной муфты между кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена и маслонаполненных кабелей с каналом в

токоведущей жиле для сети 132 кВ в Аргентине. Стимулами для разработки стали: сокращение времени изготовления и поставки, скорость монтажа, использование местных устройств для сращивания кабелей и создание муфты, конструкция которой позволяет удобно вставлять в нее кабели. Разработку начала местная энергетическая компания. Дизайн успешно прошел испытания в соответствии с IEEE 404. Авторы представляют процесс монтажа новой муфты в сравнении с установкой традиционной переходной муфты.

**В1-306:** Выбор оптимального материала для проводников и экранов всегда был ключом к эффективному дизайну кабелей. Учитывается вес, проводимость, объем, простота монтажа, санитарные и экологические аспекты. Для проводников выбирают алюминий или медь, для экранов — алюминий, медь или свинец. Авторы представляют свои конструктивные соображения и данные по двум ситуационным исследованиям для 380 и 150 кВ, в результате которых оптимальным материалом для изготовления и проводника, и экрана был признан алюминий. В доклад включены программы испытаний кабелей такого исполнения.

**В1-307:** Доклад рассказывает о том, какое воздействие ультрафиолетовое (УФ) излучение и песчаные бури оказывают на напряжение поверхностного пробоя окончаний кабелей из кремнийорганической резины. Эти типы окончаний всё чаще применяются в египетских распределительных сетях. После воздействия ультрафиолетом образцы подвергались испытаниям на перекрытие высоким напряжением и на токи утечки с водой переменной проводимости. Было отмечено снижение напряжения перекрытия в зависимости от интенсивности и продолжительности воздействия УФ и моделируемых песчаных бурь. Последствия песчаных бурь оказывались более сильными, чем воздействие УФ излучения.

**В1-308:** Высокотемпературные сверхпроводящие (ВТСП) кабельные системы уже давно ассоциируются с будущими решениями для передачи электроэнергии. Эта европейская статья представляет концепцию ВТСП кабельной системы 400 кВ для частично-подземных главных воздушных ЛЭП высокого напряжения переменного тока рядом с городскими районами. Разработанная система будет иметь рабочий ток в диапазоне 4 кА. Поэтому только единая кабельная система будет способна передавать ток воздушной линии. Кабели могут быть расположены близко друг к другу, поэтому для двойной цепи нужна траншея шириной 2 м, в отличие от 20 м в традиционных системах кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Потери ВТСП системы 4 кА более чем на 50% ниже, чем в системе с изоляцией из сшитого ПЭ. Представлены подходящие конструкции соединений и окончаний. Успешно проведено испытание прототипа на 220 кВ.

**В1-309:** Эта французская статья описывает пусковые испытания систем длинных кабелей постоянного тока высокого напряжения (до 400 кВ) и переменного тока высокого напряжения до 320 кВ, а также альтернативные испытания и дальнейшие перспективы. Она также затрагивает дизайн кабельных систем с особым вниманием к безопасности и рентабельности. Альтернативами традиционным тестам могут стать колебательные системы переменного тока, частичных разрядов или распределенного измерения температуры. Обсуждается адекватность испытаний постоянным или переменным током на высоковольтных кабелях постоянного тока большой длины.

Статья рассматривает французские методики, показывает опыт испытаний в нескольких недавних крупных проектах и обсуждает параметры испытаний с предложенными уровнями и продолжительностями тестов.

**V1-310:** В докладе описывается планирование, проектирование, испытание, монтаж и наладка двухконтурного подводного кабеля 400 кВ длиной 4,6 км, пересекающего пролив Дарданеллы в Турции. Проект включает в себя 6 параллельных подводных кабелей плюс один резервный. Приводится обоснование проекта с точки зрения эксплуатации системы, критерии проектирования, монтажа и испытания кабелей. Для защиты от внешних повреждений была выбрана технология укладки с вспашкой. При планировании также нужно было принимать в расчет коммутационные и кратковременные перенапряжения. Система была введена в эксплуатацию в апреле 2015 года.

**V1-311:** Тема этой китайской статьи — стратегия оптимизации конструктива брони подводных кабелей. Для анализа влияний компонентов кабеля на допустимую токовую нагрузку используется модель-программа расчета переходных электромагнитных процессов. По итогам анализа было установлено, что в оптимальном случае токи в оболочке и в броне должны быть приблизительно равны. Оптимальной представляется конструкция брони из 53 оцинкованных жил с двумя добавочными медными жилами. Приведено поперечное сечение кабеля. Оптимизированная конфигурация дает увеличение допустимой токовой нагрузки на 20%. Ввиду более высокого напряжения между оболочкой и броней требуется полупроводниковая оболочка.

**V1-312:** Статья описывает проектирование и типовое испытание нового глубоководного кабеля 420 кВ переменного тока, прокладываемого через два норвежских фьорда и имеющего суммарную длину около 32 км. Разработка и испытание системы включают в себя заводские и ремонтные соединения. Ввиду рекордной глубины укладки — 390 м — были разработаны специальные испытания, такие, как радиальные испытания на водопроницаемость соединений, продольные и радиальные испытания на водопроницаемость кабеля. Программа испытаний была составлена на основе рекомендаций СИГРЭ в ТБ 303 и ТБ 490. Обозначены трудности изготовления длинных кабелей и будущих разработок.

**V1-313:** Подводные кабели в целях защиты чаще всего укладывают в траншеях. Поэтому важно знать тепловые свойства отложений, окружающих эти кабели. В рамках проекта по прокладке высоковольтного кабеля постоянного тока NordLink между Норвегией и Германией были проведены традиционные инженерно-геологические изыскания для определения характеристик грунтов и выявления тепловых «трудных мест». Расхождения в результатах измерений теплопроводности подняли ряд вопросов о приборах, методах и обработке образцов. Эта европейская статья описывает новые измерения на местах во время повторного исследования. Местные измерения требуют внимательной оценки, но при правильном толковании могут стать полезным дополнением к традиционным методикам.

**V1-314:** Доклад представляет ситуационное исследование по оценке теплового эффекта, который водопроводы могут оказывать на допустимую токовую нагрузку кабелей. Кабель 380 кВ переменного тока в Саудовской Аравии часть пути проходит



параллельно с магистральным водопроводом. Усовершенствованное применение широко известного метода конечных элементов показывает различные зависимости характеристик прокладки, грунта и засыпки, а также удельного теплового сопротивления. Наибольшее влияние оказывает температура водопроводной трубы.

### 3.7 Обсуждение ПТЗ «Изолированные кабели в энергосистеме будущего»

Было представлено большое число статей по теме Изолированные кабели в энергосистеме будущего. Как и во многих других статьях в этом году, в центре внимания — подводные кабели для возобновляемой энергетики.

Стоимость и эффективность — еще одна ключевая тема заседание СИГРЭ в этом году.

Главная задача — монтировать новые системы быстрее и с меньшими затратами. Одним из рассматриваемых вариантов является оптимальный выбор материала проводников.

Новые системы кабелей высокого напряжения постоянного тока с экструдированной изоляцией с усовершенствованными материалами и высоким рабочим напряжением могут значительно повысить пропускную способность. Новые разработки высокотемпературных сверхпроводящих кабелей имеют целью самые высокие напряжения в ЛЭП и передачу мощности не хуже ВЛ.

Конструктив брони подводных кабелей оптимизируется для повышения передачи энергии путем частичной замены стальных жил медными.

Хотя ветрогенераторы, закрепленные на дне моря, сегодня явление обычное, новые разработки нацелены на участки моря, где могут устанавливаться только плавучие устройства, испытывая на прочность надежные технологии соединения кабелей. Сокращение стоимости подводных кабелей и применение подводных кабелей для соединительных устройств, блочных или передающих линий являются темами четырех статей.

Другая группа статей посвящена использованию существующих кабельных систем для новых применений, включая подводные кабели для больших глубин, пересечение загруженных водных путей и новые переходные муфты.

Тестирование и системное моделирование позволит получить новые решения и системы для будущего, будь то пусковые испытания высоковольтных систем переменного и постоянного тока большой длины или тепловые условия среды подводных или наземных трасс.

## 4. Постер-сессия комитета В1 «Изолированные кабели»

Постер-сессия Исследовательского комитета В1 «Изолированные кабели» состоялась в пятницу 26 августа 2016, где были представлены постеры принятых к 46-й сессии докладов и имелась возможность задать вопросы непосредственно авторам докладов.

## **5. Техническая выставка**

Основной целью выставки является ознакомление профессионального сообщества инженеров, специалистов, ученых, экспертов, менеджеров и инвесторов, а также делегатов СИГРЭ с передовыми достижениями мировой науки и техники в электроэнергетике. Это площадка для демонстрации новейших технологий, оборудования, продуктов и решений в области электрических систем высокого напряжения и обмена научно-технической информацией.

На выставке свои стенды представили широко известные компании современного электротехнического высоковольтного оборудования, такие как ABB, Siemens, GE Grid Solution, NR Electric Co, TERNА и др.

В рамках Сессии прошла техническая выставка, на которой впервые был представлен офис Российского национального комитета на коллективном стенде. На выставке были показаны передовые достижения мировой науки и техники в электроэнергетике, презентованы новейшие разработки, технологии, а также инновационные решения в области электрических систем высокого напряжения от ведущих мировых производителей.

На технической выставке «СИГРЭ 2016» ряд коллективных членов РНК СИГРЭ, заинтересованных в расширении внешнеэкономических контактов, представили на индивидуальных стендах информацию о производимых ими товарах, рассказали о работах, услугах и применяемых технологиях. В числе экспонентов - ЗАО «РТСофт», ООО «Энергосервис», Холдинг Global Insulator Group («Глобал Инсулэйтор Групп»), АО «НТЦ ФСК ЕЭС», ЗАО "ЮМЭК", завод «Таткабель» и ЗАО «СуперОкс».

Достижения России по программе «Молодежная секция РНК СИГРЭ» был представлен на стенде молодежных объединений СИГРЭ.

## **6. Прочие мероприятия**

23 августа 2016 года ПАО «ФИЦ» и завод «ТАТКАБЕЛЬ» заключили соглашение о стратегическом сотрудничестве и взаимодействии в рамках реализации проекта по созданию Федерального испытательного центра. Документ подписали исполняющий обязанности генерального директора ПАО «ФИЦ» Александр Дюжинов и генеральный директор завода «ТАТКАБЕЛЬ» Виктор Миллер на стенде Российского Национального Комитета СИГРЭ.

Соглашение предусматривает проведение совместных испытаний электротехнического оборудования, разработку методов и методик проведения испытаний, участие в создании национальной ассоциации испытательных центров, развитие кабельной промышленности, подготовку квалифицированных кадров в сфере испытаний и диагностики оборудования.

Документ подписан на 46-й сессии СИГРЭ, основная цель которой – координация исследований, обмен опытом и научно-технической информацией по вопросам функционирования электроэнергетических систем. Завод «ТАТКАБЕЛЬ» – ведущий научно-технический партнер РНК СИГРЭ. На его базе создан Подкомитет В1 РНК

СИГРЭ «Изолированные кабели», кроме того завод обладает самой мощной испытательной станцией в России для испытания кабельной продукции с возможностью поднятия напряжения до 700 кВ и с резонансной мощностью 28 000 кВА.