СИГРЭ. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМИТЕТ B1 «ИЗОЛИРОВАННЫЕ КАБЕЛИ»

АВТОРЫ:

ОВСИЕНКО В.Л.
ОАО «ВНИИКП»

В августе 2012 г. в Париже прошла 44-я сессия Международного совета по большим электроэнергетическим системам CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Electriques). В рамках сессии проводятся заседания всех исследовательских комитетов (ИК) и рабочих групп СИГРЭ. В предыдущих номерах мы рассказали о деятельности пяти исследовательских комитетов: A2 «Трансформаторы», B4 «Оборудование электропередач постоянного тока высокого напряжения и мощной силовой электроники», C6 «Системы распределения электроэнергии и распределенная генерация», B2 «Воздушные линии» и B3 «Подстанции». В настоящем номере мы представляем отчет о работе ИК B1 «Изолированные кабели».

Ключевые слова: высоковольтные кабельные системы, подземные кабели, высоковольтные кабели постоянного тока с экструдированной изоляцией, реконструкция, мониторинг, измерение частичных разрядов, испытания.

На 44-й сессии Международного совета по большим электроэнергетическим системам (СИГРЭ) по тематике исследовательского комитета B1 «Изолированные кабели» было представлено 26 докладов

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМИТЕТ B1: ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Исследовательский комитет B1 «Изолированные кабели» СИГРЭ основан в 1927 г. В сфере деятельности комитета находятся вопросы, связанные с конструированием, расчетом, прокладкой и эксплуатацией изолированных кабелей.

В настоящее время председателем комитета является г-н Pierre Argaut (Франция), секретарем – г-н Alain Gille (Бельгия). По данным отчета комитета за 2012 г. в его состав входят:

- действительных членов – 24;
- членов-наблюдателей – 13.

Среди них:

- производители оборудования – 14;
- энергетические компании – 15;
- институты, университеты – 8.

Также в работе комитета принимают участие более 290 экспертов.

В данный момент работа в комитете B1 идет по следующим направлениям (см. таблицу 1).

Текущая работа и итоговая деятельность каждой рабочей группы обсуждаются на ежегодных заседаниях исследовательского комитета. Соответствующие документы публикуются в журнале Electra в виде обзоров или технических брошюр. По результатам работ за 2013 г. запланированы публикации по тематике рабочих групп WG B1.11, WG B1.23, WG B1.28, WG B1.29, WG B1.30, WG B1.31.

ОБЗОР ДОКЛАДОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА 44-Й СЕССИИ, ПО ТЕМАТИКЕ ИК B1

На дискуссионной встрече комитета B1, состоявшейся 31.08.2012, было представлено 26 докладов. Основные обсуждавшиеся темы:

1. ВНОВЬ СООРУЖАЕМЫЕ И РЕКОНСТРУИРУЕМЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ:

- конструирование, прокладка, методики расчетов, эксплуатация;
- особенности и проблемы протяженных линий.

В числе других сообщений представитель фирмы Südkabel GmbH рассказал о проекте «Кабель на напряжение 500 кВ в Сколково». Фирмой было поставлено около 70 км кабеля со 138 соединительными и 12 концевыми муфтами. Проект реализован за 17 месяцев. (Кабель с медной шестисекционной жилой сечением 2500 мм^2, толщиной изоляции 28 мм и наружным диаметром 148 мм.) Концевые газонаполненные муфты адаптированы к местным погодным условиям. Линия длиной 10,5 км испытана напряжением 320 кВ при частоте 27 Гц.

2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ В КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ: НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ, МОНИТОРИНГ, ИСПЫТАНИЯ

В рамках обсуждения данной темы рассматривались проблемы математического моделирования, расчетов, испытаний (включая измерения ЧР), температурного мониторинга, расчета токов нагрузки, а также новые технологии диагностики кабелей. Кроме того, обсуждались результаты

ИНФОРМАЦИЯ

СИЛОВОЙ КАБЕЛЬ. ИСТОРИЯ

В 1882 г. Эдисон разработал конструкцию кабеля и кабельной муфты для сети первой электрической станции в Нью-Йорке. В 1884 г. в Вене был проложен кабель напряжением 2 кВ. В качестве изоляции использовали гуттаперчу и пропитанный джут. В начале 90-х годов XIX в. в кабельной технике произошли ключевые изменения благодаря вводу нового вида изоляционного материала – пропитанной бумаги взамен джута. Эта изоляция позволила повысить напряжение кабелей с 2 до 10 кВ. Для повышения механической прочности и герметичности силовые кабели стали покрывать свинцовой оболочкой. В 1908 г. появились первые трехжильные кабели на напряжение 20 кВ, с поясной изоляцией и вязкой пропиткой. Такой кабель был проложен в Баку (работает до настоящего времени). В 1910 г. в Германии между Дессау и Биттерфельдом впервые был проложен одножильный кабель на напряжение 60 кВ. Более широкое распространение силовых высоковольтных кабелей (на напряжение 35 кВ) началось после окончания Первой мировой войны.

ТЕМАТИКА ТЕКУЩИХ РАБОТ В КОМИТЕТЕ B1

Рабочая группа	Тема работы
JWG B1/B3.33	Создание соединителей «сухого типа» для газоизолированных линий и силовых кабелей на напряжение свыше 52 кВ
WG B1.11	Модернизация и обновление существующих кабельных линий
WG B1.23	Влияние электромагнитных полей на токовые нагрузки и кабельные системы
WG B1.28	Оценка уровня частичных разрядов в кабельных системах высокого и сверхвысокого напряжения
WG B1.29	Рекомендации по поддержанию работоспособности арматуры кабелей с XLPE-изоляцией
WG B1.30	Электрические характеристики кабельных систем
WG B1.31	Испытания сверхпроводящих кабельных систем
WG B1.32	Рекомендации по испытаниям кабелей постоянного тока с экструдированной изоляцией для передачи энергии напряжением до 500 кВ
WG B1.34	Механические нагрузки в системах с кабелями больших сечений
WG B1.35	Руководство по расчетам нагрузок кабелей высокого напряжения
WG B1.36	Оценка влияния «жизненного цикла» подземных кабелей на окружающую среду
WG B1.37	Рекомендации по эксплуатации кабельных систем, заполненных жидкостями
WG B1.38	Испытания кабельных систем постоянного и переменного тока после прокладки с применением новых технологий
WG B1.39 WG B1.40	Кабели для соединения прибрежных генерирующих станций
WG B1.41	Долговременные свойства грунтов и засыпок
WG B1.42	Испытания переходных муфт для кабелей постоянного тока с намотанной и экструдированной изоляцией
WG B1.43	Рекомендации по механическим испытаниям подводных кабелей
WG B1.44	Работа при индуцированных токах и наведенных потенциалах
TF B1.45	Оборудование для температурного мониторинга кабельных линий и вопросы взаимодействия «человек–машина»
TF B1.46	Соединение проводников. Механические и электрические испытания
TF B1.47	Технические вопросы, связанные с работой длинных кабельных линий сверхвысокого напряжения

Таблица 1

работы рабочих групп комитета D1 («Материалы и методы испытаний»), которые могут быть интересны комитету B1, а именно:

D1.19 «Твердая изоляция, подвергающаяся повторяющимся периодическим воздействиям»;

D1.23 «Высокое постоянное напряжение: старение и диагностика полимерных материалов»;

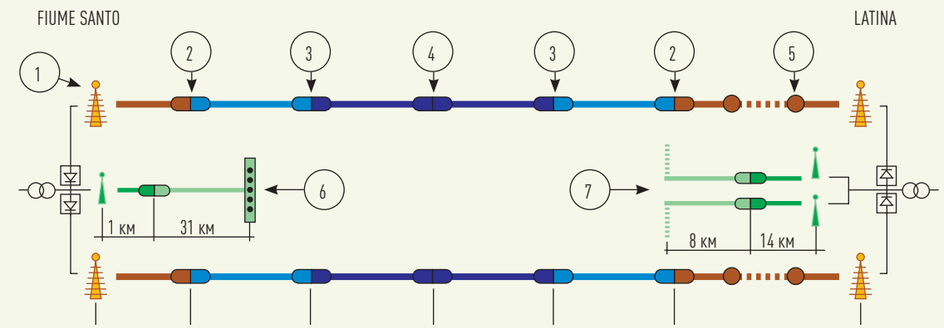
D1.34 «Изоляция с масляной пропиткой»;

D1.37 «Процедура и оценка результатов измерения частичных разрядов»;

D1.38 «Методики испытаний для высокотемпературной сверхпроводимости»;

D1.40 «Применение наноматериалов в электротехнике»;

СХЕМА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ



1 – концевые муфты; 2 – соединительные муфты «море-суша»; 3 – переходные муфты (максимальная глубина 200 м); 4 – глубоководные соединительные муфты; 5 – соединительные муфты на суше

Рис. 1

D1.48 «Свойства изоляционных материалов под воздействием напряжения сверхнизкой частоты»;

D1.49 «Разработка методики по определению хроматографическими методами выделяющихся в изоляционных материалах газов».

При обсуждении вопросов, связанных с расчетами, многими выступающими было отмечено, что существующие инженерные методы расчетов не охватывают весь спектр современных практических задач, а предлагаемые в настоящее время методики, основанные на численных методах, трудно применять на практике.

3. БУДУЩЕЕ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

По данной теме было представлено всего четыре доклада: два сообщения касались высокотемпературной сверхпроводимости, один – обсуждения проекта по переоборудованию кабельной линии с бумажно-масляной изоляцией на 500 кВ переменного напряжения в подводной кабельной линии и один – кабеля на постоянное напряжение 80 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. В последнем докладе обсуждалось применение нанотехнологий для создания новых изоляционных материалов. Как следует из представленных фирмами KEPCO и LS Cable & System (Корея) результатов, добавка неорганических наночастиц в полиэтиленовую композицию приводит к значительному уменьшению величины накапливаемого объемного заряда.

ДОКЛАДЫ ПО ТЕМЕ «ВНОВЬ СООРУЖАЕМЫЕ И РЕКОНСТРУИРУЕМЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ»

B1–101–2012

«Создание и ввод в эксплуатацию ±500 кВ 1000 МВт линии постоянного тока между островом Сардиния и Италией» (R. Rendina, M. R. Guarniere, R. Niccolai, G. Pazienza, A. Gualano, S. Malgarotti, A. Danelli, A. Orini, F. Bocchi, S. Aleo, G. Curtotti, W. Lovison, A. Persico – Италия; B. Jansson, F. Alvarez – Швеция)

В обсуждаемых разработках принимали участие компании Terna, CESI, Prysmian – Италия, ABB AB – Швеция. В проекте использовались кабели и арматура трех конструкций для разных глубин прокладки.

На максимальной глубине (до 1620 м от поверхности воды) был проложен кабель с алюминиевой жилой сечением 1150 мм^2. Длина такого участка составила более 200 км. В кабеле, помимо алюминиевой жилы, были использованы пропитанная бумажная изоляция (специальная бумага повышенной плотности, пропитанная особо вязким составом), оболочки из свинцового сплава и полиэтилена, армирующий слой из стальной ленты, два слоя брони из плоских высокопрочных стальных проволок. Максимальная напряженность в изоляции кабеля составила 30,8 кВ/мм. Наружный диаметр кабеля – 119 мм. На мелких глубинах использовался кабель 1000 мм^2 с медной жилой. Такое техническое решение потребовало разработки специальной соединительной муфты. Другая переходная муфта была установлена в прибрежной зоне при переходе подводного кабеля 1000 мм^2 в подземный кабель с медной жилой 1400 мм^2 длиной 14 км.

Рис. 2
Вид Т-образной муфты со стороны кабеля 1200 мм²

B1–102–2012

«Снижение уровня магнитных полей в помещениях с соединительными муфтами» (R. I. Pallero, N. Villafañe, A. Medaglia – Аргентина)

Доклад посвящен проблеме снижения уровня электромагнитного поля в местах установки соединительных муфт. Описывается опыт, полученный при прокладке подземной линии 220 кВ длиной 24 км.

В работе использовались результаты расчетов и экспериментальные измерения. Для уменьшения электромагнитного влияния были рассмотрены следующие технические решения: увеличение глубины залегания, использование магнитных экранов, использование «пассивной петли». Результатом работ по снижению электромагнитного влияния стала оригинальная конструкция помещения для муфт с использованием пяти замкнутых контуров.

B1–103–2012

«Проект 220 кВ кабеля в бухте Корк (Ирландия)» (R. Donaghy, B. Mullins – Ирландия; B. Knutsen – Норвегия; C. Wolff – Германия)

Доклад представили фирмы Nexans и nkt cables. Речь в докладе шла о подводной и подземной КЛ 220 кВ. Подводные участки 3,3 и 4,6 км были изготовлены с заводскими соединительными муфтами. Кабельная система прошла испытания в соответствии с рекомендациями рабочей группы СИГРЭ WG B1.27 «Рекомендации по испытаниям протяженных подводных кабелей с экструдированной изоляцией на напряжение 150–500 кВ».

После прокладки линия была испытана напряжением $1{,}4U_0$=178 кВ с помощью мобильной резонансной установки.

B1–104–2012

«Наличие рисков и их оценка в кабельных магистральных сетях на напряжение 380 кВ» (S. Meijer, J. P.W. de Jong, J. J. Smit, B. W. Tuinema – Нидерланды; H. Lugschitz, G. Svejda, M. Klein – Австрия; W. Fischer, C. G. Henningsen – Германия; A. Gualano – Италия)

Доклад подготовлен представителями сетевых компаний Нидерландов, Австрии, Германии и Италии. Появление доклада связано с планами строительства в Нидерландах КЛ на напряжение 380 кВ общей пропускной способностью 5270 МВА. В Европе достаточно ограниченный опыт использования кабелей на такой класс напряжения. Это причина того, что авторы смогли проанализировать только восемь известных случаев повреждений. В качестве вывода отмечено, что надежность ВЛ в таком проекте будет выше надежности КЛ. Для повышения конкурентности КЛ необходимо улучшить качество и провести полный комплекс испытаний, а также усовершенствовать организацию резервирования мощностей и проведения восстановительных работ в случае повреждений.

B1–105–2012

«Выбор соединителей оболочек в передающих и распределительных сетях высоковольтных подземных кабелей» (F. Garnacho, A. Khamlichi, P. Simon, A. González – Испания)

Доклад посвящен достаточно актуальной проблеме выбора надежных в эксплуатации устройств заземления и транспозиции кабельных металлических оболочек (экранов) для кабелей на напряжение 45–220 кВ. Авторы подчеркивают, что подбор таких устройств зависит как от конструкции металлических оболочек, так и от конфигурации сети. Авторы предлагают пакет программ для расчета напряжения на соединителях в режимах КЗ и руководство по выбору данной арматуры.

B1–106–2012

«Модернизация «Мансанильо I» – крупнейшей в Мексике передающей сети 400 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Конструирование и сооружение» (F. G. Ibarra Romo, C. F. Fuentes Estrada, J. T. Arriaga Flores – Мексика; M. Mammeri – Франция)

Для прокладки обсуждаемой сети 400 кВ были использованы кабели фирмы CILEC (Франция) с сечениями 2000 и 1000 мм². Всего было проложено 14 цепей, что потребовало установки 42 концевых муфт наружного размещения и 42 –

Рис. 3
Вид Т-образной муфты со стороны кабеля 1600 мм²

внутреннего. Толщина изоляции кабеля – 27–28 мм. После прокладки линия была испытана с помощью испытательной резонансной установки в течение одного часа напряжением 260 кВ.

B1–107–2012

«Связь между воздушными и кабельными линиями: технические рекомендации в Бразилии» (N. H. G. R. de Louredo, R. O. C. Moreira, E. K. Filho, M. Coelho, J. C. R. Lopes, C. D. Peixoto, P. A.M. do Vale, J. M. Camargo – Бразилия)

В докладе обсуждается применение рекомендаций технической брошюры ТВ 250 «Общее руководство по интеграции новых кабельных линий в сеть».

B1–108–2012

«Проектирование и сооружение одной секции подземной кабельной линии 138 кВ Anhanguera – Casa Verde с использованием специальных Т-образных муфт» (E. F. Karabolad, R. D.Jr. Thomaz, N. H. G. R. de Louredo, I. P. Souza, G. C. Silvestre – Бразилия)

Линия была выполнена из кабеля с сечением медной жилы 1600 мм² и двух кабелей с алюминиевыми жилами 1200 мм². Для соединения этих кабелей использована специально разработанная Т-образная муфта.

B1–109–2012

«Технология прокладки сверхвысоковольтных кабелей в тоннелях и каналах Японии» (S. Tsuchiya, T. Iida, Y. Morishita, T. Nakajima, Y. Akiya, T. Kurata – Япония)

Доклад посвящен использованию имеющейся инфраструктуры и старых тоннелей, применявшихся ранее для маслонаполненных кабелей. Отмечается, что основными проблемами стали стесненные условия при прокладке кабеля и необходимость выдержки допустимых радиусов изгиба. Для прокладки использовался кабель типа «триплекс».

ДОКЛАДЫ ПО ТЕМЕ «СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ В КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ: НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ, МОНИТОРИНГ, ИСПЫТАНИЯ»

B1–201–2012

«Недавний опыт испытаний при вводе в эксплуатацию и измерении частичных разрядов на кабельных системах с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 69 кВ и выше» (M. Fenger, M. Credland, H. Sedding – Канада)

ИНФОРМАЦИЯ

МАРКИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Маркировка электрического кабеля указывается на внешней изоляции и повторяется через равные промежутки длины. Каждая буква и цифра в маркировке несет важную информацию.

Буквы обозначают материал, из которого сделана изоляция, область применения и особенности его конструкции. Первая буква обозначает материал проводника в кабеле. Вторая буква характеризует провод по области его применения: М – монтажный; П, У или Ш – установочный; МГ – гибкий. Третья буква указывает на материал изоляционного слоя: В или ВР – поливинилхлорид; П – полиэтилен; Р – резина. Четвертая буква указывает на конструктивные особенности кабеля: О – в оплетке; Г – гибкий; Т – для прокладки в трубах; Б – бронированный.

Цифры обозначают количество жил в кабеле и их сечение. Первая цифра указывает количество жил в многожильном кабеле. Вторая цифра – сечение жил. Электрические кабели иностранного производства имеют другую, отличную от нашей маркировку.

ПРИМЕР ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ НА НАПРЯЖЕНИЕ 145 КВ

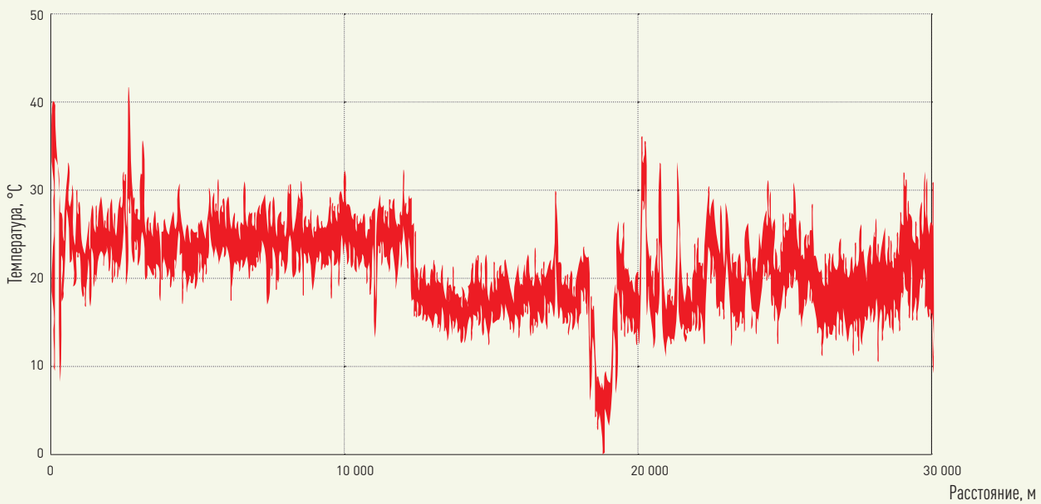


Рис. 4

Локальные увеличения температуры обусловлены наличием переходов с использованием труб, а также высыханием грунта

В докладе обобщен опыт испытаний, проведенных на более чем 2 тыс. км кабелей высокого и сверхвысокого напряжения. Отмечается дороговизна и техническая сложность выполнения таких испытаний для линий на напряжение свыше 220 кВ. Авторы запланировали повторные исследования через пять лет. Они проанализируют изменение характеристик частичных разрядов за это время, чтобы определить, развиваются ли процессы электрической деградации в изоляции, с целью анализа тенденций развития дефектов на линии.

B1–202–2012

«Пневматические испытания изоляции низковольтных подземных кабелей» (J. Tarnowski, J. Côté, A. Gaudreau, P. Gingras – Канада)

В докладе отмечается, что электрические методы тестирования низковольтной изоляции подземных кабелей в большинстве случаев неэффективны. В компании Hydro-Québec ежегодно вводится в эксплуатацию около 200 км низковольтных кабелей. Предлагается проверять целостность кабелей сжатым воздухом. Рекомендации подтверждены лабораторными исследованиями, в которых моделировались различные механические повреждения.

B1–203–2012

«Параметрически чувствительный анализ для экструдированных кабелей постоянного напряжения» (M. Marzinotto, G. Mazzanti – Италия)

В докладе рассмотрено влияние значения параметра формы распределения Вейбулла и температуры проводника на снижение электрической прочности при увеличении длины кабеля по сравнению с длиной образца при испытаниях.

B1–204–2012

«Увеличение и оптимизация уровня нагрузки для систем испытаний на основе дифференциально-резонансной технологии для испытания особо длинных высоковольтных и сверхвысоковольтных кабелей» (P. Mohaupt, H. Geyer, W. Kemmetmüller, S. Eberharter, A. Kugi – Австрия; B. A. Bergman, S. Bergman, A. E. Bergman – Швеция)

Описывается дифференциально-резонансная технология, позволяющая испытывать длинные кабельные линии на напряжение до 200 кВ частотами 0,1–50 Гц.

B1–205–2012

«Опыт определения текущего температурного состояния кабеля» (E. Jacobsen, J. F. Nielsen, S. T. Salwin, P. E. Pedersen – Дания; K.-H. Cohnen, A. Mohrs – Германия)

Доклад посвящен актуальной теме – управлению нагрузкой кабеля с использованием данных системы распределенных оптоволоконных датчиков, получаемых в реальном времени. Обобщается опыт использования данного оборудования на линии 145 кВ, соединяющей офшорную платформу ветрогенераторов в Nysted, Дания.

Из-за неблагоприятных условий теплоотвода в грунте на части линии была выполнена транспозиция для снижения токов в экранах. Измерения показали, что температура на практике не превышала 85 °С.

B1–206–2012

«Использование диагностики, основанной на измерениях частичных разрядов, для оценки технического состояния бумажной пропитанной изоляции кабелей среднего напряжения» (S. Noske, A. Rakowska – Польша)

Обсуждается опыт обследования 590 км кабельных линий среднего напряжения в период 2005–2010 гг. Анализ проводился по величине кажущегося заряда, напряжениям зажигания и погасания частичного разряда (ЧР) и тока ЧР. Подчеркивается, что для повышения эффективности диагностики необходим постоянный совместный анализ информации по результатам диагностики, по статистике отказов с учетом технических особенностей каждой линии.

B1–207–2012

«Условия оценки синтетической изоляции и арматуры, работающей более 20 лет, во французских сетях» (P. Hondaa, L. Benard, M. Mammeri, D. Meurice, F. Peurton – Франция)

Доклад посвящен изучению старения полимерной изоляции, оболочек и металлических элементов высоковольтных кабелей и арматуры, эксплуатирующихся длительное время. Оценка велась по следующим критериям: механические характеристики (прочность на разрыв, продавливание при повышенной температуре); электрические характеристики (сопротивление, электрическая прочность); химические изменения состава (десорбция низкомолекулярных компонентов); изменения морфологии, окисление, влажное старение (развитие водных триингов); коррозия металлов; характеристики полномасштабного кабеля (уровень диэлектрических потерь, электрическая прочность на переменном и импульсном напряжении).

B1–209–2012

«Термическое динамическое моделирование изолированных кабелей» (F. M. Echavarren, L. Rouco, A. González – Испания)

В докладе предлагается моделировать изолированный кабель с помощью электротепловой аналогии. Кабель заменяется на отдельные кольцевые элементы, для которых рассчитываются эквивалентные теплоемкости и теплопроводности. Методика расчета проверена на образцах кабеля 20 и 45 кВ.

B1–210–2012

«Определение состояния и остаточного ресурса кабелей с намотанной изоляцией в распределительных сетях разрушающими и неразрушающими методами на образцах в экс-

ИНФОРМАЦИЯ

РОССИЙСКИЙ КАБЕЛЬ

Российский кабель ведет свою историю с 1878 г., когда инженер-технолог М. М. Подобедов наладил в Санкт-Петербурге первые кустарные мастерские для производства проводников с шелковистой и хлопчатобумажной изоляцией.

Через пару лет небольшие мастерские были объединены в «Русское производство проводов электрических Подобедовых, Лебурде и К°», преобразованное в 1888 г. в завод «Русское производство проводов электричества М. М. Подобедова».

В это же время приступили к выпуску кабелей в России и братья Сименс (торговый дом «Сименс и Гальске»). 25 октября 1879 г. они получили свидетельство на производство работ в построенном ими заводе по изготовлению изолированной проволоки и телеграфных проводов в Васильевской части Санкт-Петербурга.

В 1918 г. завод был национализирован и получил наименование Северный кабельный завод, впоследствии переименован в «Севкабель».

СХЕМА ПЕРЕУСТРОЙСТВА МАСЛОНАПОЛНЕННОГО КАБЕЛЯ 500 КВ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В КЛ ПОСТОЯННОГО ТОКА

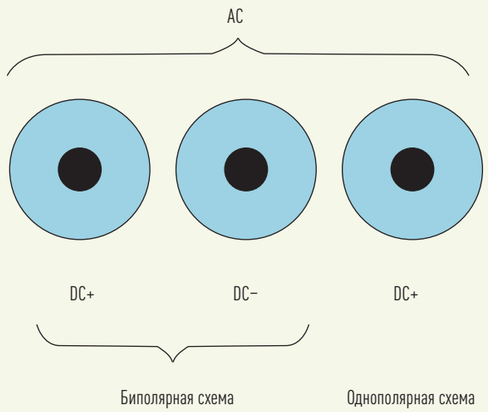


Рис. 5

плуатации и выведенных из эксплуатации» (N. Singh, S. K. Singh, R. Reyes, T. Zhao, R. Ghafurian – США)

Рассмотрены кабели с бумажной (ламинированной) пропитанной изоляцией на напряжения 69–345 кВ, эксплуатирующиеся в США от 40 лет и менее. В качестве неразрушающего метода используется хроматографический анализ растворенных в пропитывающей жидкости газов. Были исследованы механические свойства лент, степень полимеризации бумаг, содержание влаги. Проводился также визуальный осмотр на предмет наличия следов разрядов. Отмечается высокая эффективность данных методов диагностики.

B1–211–2012

«Типовые и преквалификационные испытания кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена с арматурой на напряжение 400 кВ и сечением жилы 2500 мм^2» (Y. B. Kim, J. H. Ryu, K. J. Park, B. S. Han, S. H. Lee – Корея)

В докладе приведена информация об успешных испытаниях кабельной системы на напряжение 400 кВ по стандарту МЭК 62067. Полученные результаты будут использованы при разработке кабеля на напряжение 500 кВ.

B1–212–2012

«Управление в энергетических кабельных системах. Оптимизация затрат на основе применения диагностики» (T. Nishikawa, Y. Sudoh, S. Tsuchiya, D. Shimohiro, T. Iida, K. Watanabe – Япония)

Доклад посвящен проблеме эффективной организации эксплуатации энергетических кабелей старше 30 лет. Авторы – на примерах маслонаполненных кабелей с алюминиевой и свинцовой оболочками, а также с изоляцией из сшитого полиэтилена – проанализировали вероятности отказов, затраты на диагностику, ремонт и восстановление линий при повреждениях.

B1–214–2012

«Корреляция между расчетной пропускной способностью и фактической» (D. Wald, H. Nyffenegger – Швейцария; V. Sváda, D. Rúžek, M. Geldon – Чехия; U. Keppler – Германия)

Исследования проводились на кабеле напряжением 110 кВ с использованием распределенного оптоволоконного датчика температуры, расположенного на поверхности оболочки. Заказчик отказался от использования интегрированного датчика по причине усложнения монтажа.

В результате исследований были уточнены тепловые параметры грунта и расчетные температуры окружающей среды. В итоге точность расчетов была доведена до уровня ±4 °C.

B1–215–2012

«Комплексная разработка и оценка новых термопластов для высоковольтных силовых кабельных систем» (M. Fairhurst, A. Gowadia, G. Stevens, B. Philpot, J. Thomas, J. Pilgrim, P. Lewin – Великобритания)

Доклад посвящен проводимым в Великобритании работам по созданию термопластичных материалов с рабочими температурами до 150 °C. В статье рассматриваются экономические и экологические аспекты и показано потенциальное преимущество использования таких материалов по сравнению со сшитым полиэтиленом. Основные недостатки пероксидной технологии сшивания – высокая стоимость, трудоемкость, необходимость последующей дегазации, сложность последующей утилизации. Использование термопластичных материалов избавляет производство от этих недостатков.

ДОКЛАДЫ ПО ТЕМЕ «БУДУЩЕЕ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ»

B1–301–2012

«Сверхпроводящие кабели на среднее напряжение для питания городских нужд как альтернатива установкам на напряжение 110 кВ» (A. Breuer, M. Noe, B. R. Oswald, F. Schmidt, F. Merschel, W. Goldacker, L. Hofmann, M. Stemmle – Германия)

На примере центральной части города Эссена (Германия) дана оценка технической и коммерческой целесообразности использования сверхпроводящих кабелей. Пилотный проект показывает преимущества использования сверхпроводящих вставок кабелей 10 кВ.

B1–302–2012

«Сверхпроводящий кабель высокого напряжения постоянного тока для системы конвертирования напряжения» (M. Stemmle, E. Marzahn, B. West, F. Schmidt, K. Schippl – Германия)

Анализируется область применения сверхпроводящих кабелей в системах конвертации напряжения. Это направление в настоящее время активно развивается в связи с растущим использованием возобновляемых источников энергии. Из-за удаленности таких источников от населенных пунктов для передачи электроэнергии используются кабели постоянного напряжения. Именно в этой зоне применение сверхпроводящих кабелей, по мнению авторов доклада, представляется технически целесообразным.

B1–303–2012

«Исследования технической схемы по переустройству маслонаполненного кабеля 500 кВ переменного напряжения в кабель постоянного тока на проекте «Хайнан» (Y. Liu, X. Cao, J. Li, J. Chen – Китай)

Цель данного проекта – увеличение пропускной способности линии.

Существующая одна цепь кабеля переменного тока заменяется двумя контурами постоянного: одним биполярным и одним монополярным. Схема биполярного контура состоит из двух кабелей: постоянного тока (DC) плюс и DC минус, а монополярная схема состоит из одного кабеля (обратный ток замыкается через коаксиальную металлическую оболочку кабеля). По расчетам авторов пропускная способность линии должна возрасти в два с половиной раза.

B1–304–2012

«Разработка кабельной системы на постоянное напряжение ±80 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена и монтаж на испытательном стенде в Корее» (T. H. Lee, J. W. Choi, E. H. Jung, J. H. Nam, J. N. Kim, I. H. Lee, S. I. Jeon, D. H. Kim, H. S. Park, J. W. Kang – Корея)

Задача авторов состояла в уменьшении объемного заряда, который накапливается в полиэтиленовой изоляции при работе кабеля на постоянном напряжении. Традиционно эта проблема решается добавлением в изоляционную композицию проводящих неорганических наполнителей или полярных неорганических наполнителей. Авторы доклада разработали неорганические наносоединения для использования в изоляционных композициях на основе сшитого полиэтилена. Предлагаемый метод успешно проверен на образце кабеля с сечением жилы 400 мм^2 и толщиной изоляции 4 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы 44-й сессии свидетельствуют о следующих тенденциях в области изолированных кабелей:

- продолжается развитие систем непрерывного контроля (онлайн-мониторинг) кабелей и арматуры. При этом основными проблемами являются отсутствие развитой нормативной базы, относительно небольшой опыт диагностики кабелей сверхвысокого напряжения, дороговизна методов, высокие требования к квалификации персонала;
- активно развивается разработка кабелей, обеспечивающих передачу электроэнергии от возобновляемых источников (ветрогенераторы, морские платформы), а также кабельных линий переменного напряжения большой протяженности с использованием компенсаторов реактивной мощности;
- сохраняется интерес к т. н. Y-муфтам и переходным муфтам, предлагаются новые технические решения в этом направлении;
- продолжает развиваться направление, связанное с высокотемпературной сверхпроводимостью;
- активно создаются новые кабельные материалы, в частности, объявлено о создании изоляции для кабелей постоянного напряжения с использованием нанотехнологий.