

Краткие обзоры докладов, представленных на 45-й сессии СИГРЭ по тематике ИК В2

На сессии в рамках Исследовательского комитета В2 «Воздушные линии» был представлен 31 доклад. В дан-



ной статье будут рассмотрены некоторые из них, представляющие наибольший интерес для специалистов электросетевого комплекса.

**Владимир ШКАПЦОВ, к.т.н.,
эксперт РНК в ИК В2 СИГРЭ**

На 45-й сессии СИГРЭ, состоявшейся в Париже, Франция, 24–29 августа 2014 г. были представлены более 500 технических докладов, сделаны десятки сообщений по проблемам развития крупных энергосистем и их интеграции, вопросам диспетчерского управления режимами работы, аварийных технологических нарушений в энергосистемах, обеспечения надёжности и безопасности энергоснабжения, новых электроэнергетических технологий, электротехнических материалов и оборудования. Основное внимание было направлено на расширение сферы интересов СИГРЭ в

сторону распределительных сетей, развитие «умных» сетей.

От РНК СИГРЭ на 45-ю сессию было представлено 10 докладов по различным направлениям всего комплекса электроэнергетики.

На церемонии открытия сессии, которая состоялась 24 августа был представлен доклад Терри Бостона, президента компании PJM Interconnection «Энергосистемы 21 века — надёжные, управляемые и гибкие».

В своей презентации он рассказал об ужесточении требований к электроэнергетическим системам и о подходах компании к работе в таких условиях. Лейтмотивом высту-



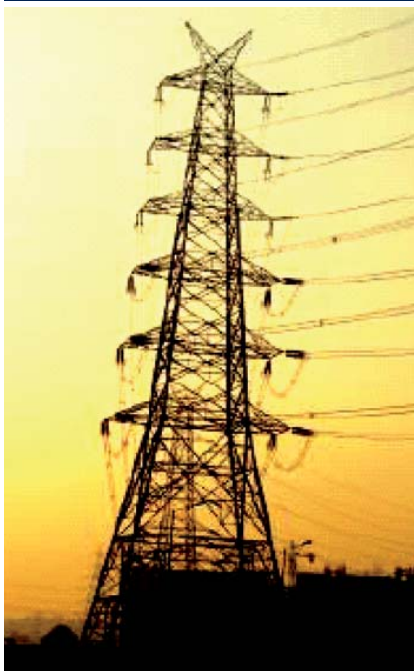
пления была мысль о неоценимой роли СИГРЭ в предвосхищении критических ситуаций и минимизации возможных последствий от применения непродуманных решений. Он отметил вклад членов СИГРЭ в просвещение и, как следствие, своевременное реагирование на всевозможные изменения.

Кроме того, Терри Бостон сообщил некоторые особенности и тенденции современного функционирования энергосистем на примере энергообъединения PJM Interconnection:

- усиливающуюся роль микросетей в распределительной части системы. По современным реалиям после глобальных природных катаклизмов развернуть микросеть и обеспечить её собственным источником питания намного быстрее, чем восстановить сеть магистральную;
- необходимость усиления системообразующей сети посредством линий постоянного тока для передачи энергии на большие расстояния от экологически чистых и относительно недорогих источников, обусловленную расположением таковых источников вдали от концентрации потребления;
- особую роль электромобилей и их двойное использование. Г-н Бостон обратил особое внимание на проблемы нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ВИЭ): нестабильность и субсидируемость. Первая проблема порождает необходимость создания и применения накопителей электрической энергии, вторая — необходимость государственной поддержки традиционных источников энергии, которые из-за существенной доли субсидий для ВИЭ и, как следствие, падения среднерыночной цены за киловатт-час, становятся неконкурентноспособными. При этом, в отсутствие решения первой задачи о «складе готовой продукции», вывод из эксплуатации традиционных источников по причине не окупаемости приводит к нарушению энергетической безопасности.

29 августа 2014 г. состоялось заседание Исследовательского комитета В2 «Воздушные линии»

Рис. 1. Четырёхцепная опора переменного тока ВЛ 400 кВ



(Overheads Lines). На заседании был представлен 31 доклад по трём предпочтительным темам (ПТ).

ПТ1 — минимизация воздействия новых ВЛ (15 докладов):

- проектирование, конструирование и функционирование;
- экология, растительность и живая природа;
- выбор трассы линии и приемлемость внешнего вида;
- проектирование и практика применения переходов к подземным секциям.

ПТ2 — надёжность и оптимизация проектирования (10 докладов):

- инструменты и методы;
- влияние различных проектных решений на первоначальную стоимость и стоимость жизненного цикла;
- стоимость воздействия на экологию, влияние регуляторов и общественности;

Рис. 2. Опытный участок ВЛ 1200 кВ



ПТЗ — провода: монтаж и долгосрочное функционирование (6 докладов):

- монтаж, техническое обслуживание и методы замены, в т.ч. на линиях под напряжением;
- вопросы ползучести и усталости для новых типов проводов;
- механические характеристики новых видов расщеплённых фаз.

Исследования, проводимые Исследовательским комитетом В2, охватывают проектирование, строительство и эксплуатацию воздушных линий. Они включают в себя проектирование механической части ВЛ, оценки и прогнозирование электрических параметров и режимов, экспериментальное обоснование новых компонентов линии (провода, заземляющие устройства, изоляторы, линейная арматура, опоры и их фундаменты), а также анализ технологии обслуживания линий, процессов старения элементов линий, методов ремонта и способов продления сроков службы ВЛ, а также модернизации и повышения пропускной способности существующих воздушных линий.

ОБЗОР ДОКЛАДОВ ПО ПТ1 — МИНИМИЗАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НОВЫХ ВЛ

Раздел 1.1. Доклады по теме проектирование, конструирование и эксплуатация новых линий

Доклад В2-104 «Применение новых технологических решений для минимизации размеров земельных участков при создании новых линий» посвящён описанию опыта индийских специалистов, полученного при проектировании и строительстве линий сверх- и ультра-высокого напряжения. Достигнут эффект компактизации ВЛ в сочетании с высокой пропускной способностью благодаря применению четырёхцепных опор ВЛ 400 кВ переменного тока (рис. 1), двухцепных опор на линии сверхвысокого напряжения 765 кВ, а также ВЛ постоянного тока ± 800 кВ. В стадии проведения исследований и испытаний находится также ВЛ переменного тока ультравысокого напряжения 1200 кВ (рис. 2). Эффект компактизации позволяет также усилить применение при проектировании и строительстве указанных

Рис. 3. Гибридная ВЛ 400 кВ с комбинированным расположением цепей постоянного и переменного тока

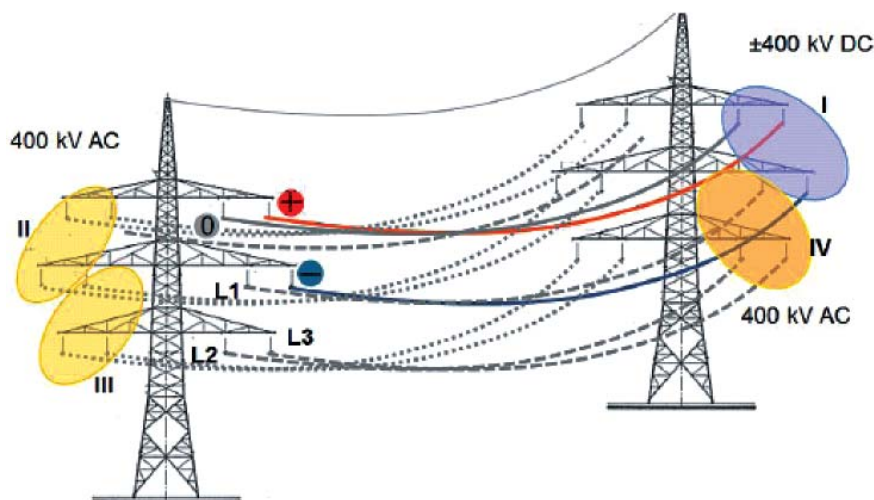
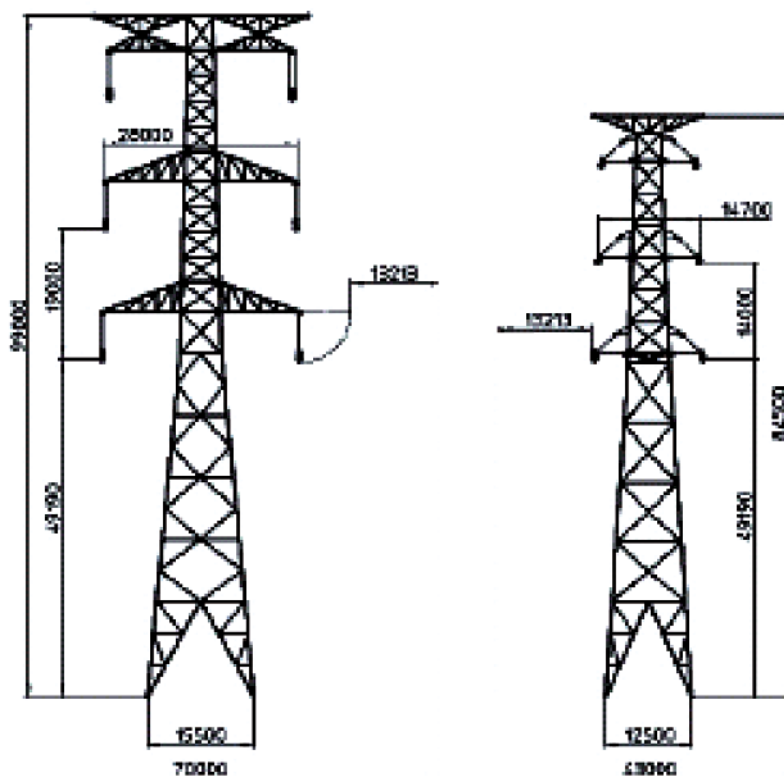


Рис. 4. Конфигурация и размеры обычной двухцепной ВЛ и компактной линии 765 кВ с V-образными изолирующими траверсами



линий высокотемпературных проводов с малыми стрелами провеса, в процессе изготовления стальных сердечников которых используется сплав инвар с большим содержанием никеля, что обеспечивает высокую коррозионную стойкость и низкий коэффициент теплового удлинения проволок сердечника. На многоцепной ВЛ 400 кВ дополнительный эффект компактизации

был достигнут путём применения расщеплённой фазы из двух проводов взамен обычно применяемой во многих странах фазы из четырёх проводов. В дискуссии по докладу было указано на высокую вероятность усиления в процессе эксплуатации стриммерной короны и акустического шума ВЛ СВН с уменьшенным числом проводов расщеплённой фазы.

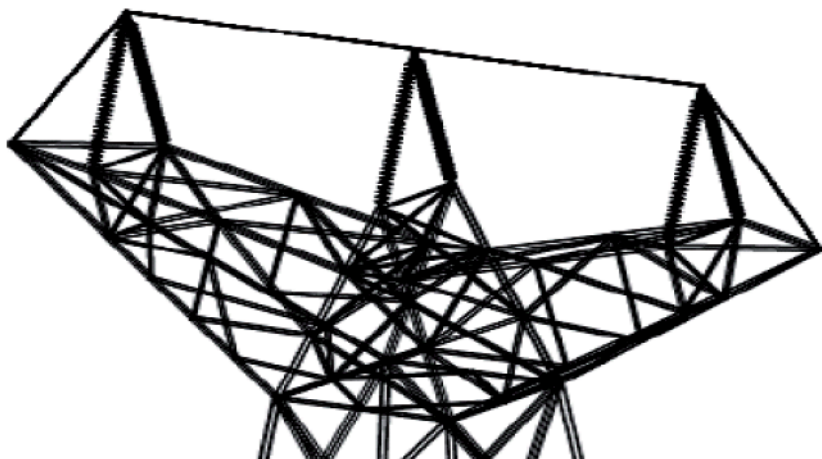
Доклад В2-105 «Преобразование многоцепной линии переменного тока в гибридную линию переменного и постоянного тока с целью снижения экологического воздействия» представлен большой группой авторов из Германии, Швейцарии и Швеции. Рассмотрено 12 вариантов размещения на опорах существующей ВЛ 380 кВ новой конфигурации цепей переменного тока 400 кВ в сочетании с цепями постоянного тока 400 кВ (рис. 3). Установлено, что при расположении проводов не ниже уровня 15 м над землёй выполняются все действующие нормативы по напряжённости электрического и магнитного полей в зоне экологического влияния данной гибридной линии.

Доклад В2-106 «Примеры конфигурации опор ВЛ и таких решений, как изолирующие траверсы для линий 765 кВ как способ минимизации воздействий вновь сооружаемых объектов сверхвысокого напряжения» подготовлен представителями США и Швейцарии и суммирует состояние вопроса в области компактизации линий с высокой пропускной способностью (рис. 4). Благодаря применению изолирующих траверс на двухцепной линии 765 кВ достигнуто уменьшение размеров отчуждаемых земельных участков на 40%.

Реализация подобного технического решения стала возможной благодаря освоению производства новых композитных опорных изоляторов повышенной прочности со стеклопластиковыми стержнями увеличенного диаметра некруглого поперечного сечения с однонаправленными волокнами. Освоение производства подобных изоляторов имеет решающее значение для формирования и реализации концепции создания компактных линий напряжением свыше 420 кВ с изолирующими траверсами.

Доклад В2-107 «Разработка изолирующих траверс для высоковольтных линий с компактными опорами решётчатого типа», подготовленный группой специалистов из Великобритании. Цель разработки состоит в том, чтобы посредством применения изолиру-

Рис. 5. Проект установки на траверсах опор решётчатого типа опорных композитных изоляторов повышенной прочности для изолированного крепления проводов



ющих траверс увеличить габариты проводов существующих линий до земли и пропускную способность линий путём перевода их на повышенное напряжение. Разработанные конструкции изолирующих траверс с применением композитных изоляторов открывают новые возможности увеличения пропускной способности существующих линий в результате замены традиционных изолирующих подвесок проводов изолирующими траверсами. Достигаемый при этом технический и экономический эффект становится тем более значительным, если при реконструкции линий применяются высокотемпературные провода с малыми стрелами провеса. В дискуссии по данному докладу авторам предложено представить результаты первого года опытной эксплуатации реконструируемых опор с траверсами из композитных изоляторов повышенной прочности на линии электропередачи 400 кВ в Шотландии.

Доклад В2-109 «Исследования возможности перевода сети линий 220 кВ Ирландии на повышенное напряжение 400 кВ» представлен рядом авторов из сетевых компаний и университета Манчестера. Быстрый рост количества генерируемой электроэнергии требует увеличения пропускной способности как отдельных линий электропередачи, так и электрических сетей Ирландии в целом. Планируется строительство новых линий, однако одним из наиболее перспективных проектов

является увеличение пропускной способности существующих линий 220 кВ, построенных в 50-х и 60-х годах прошлого века, посредством перевода их на повышенное напряжение 400 кВ. Поскольку для перевода существующих ВЛ на повышенное напряжение необходимо существенно увеличить габариты проводов до земли, рассмотрены такие альтернативы, как использование опор с изолирующими траверсами, а также вариант установки на существующих траверсах опор решётчатого типа опорных композитных изоляторов повышенной прочности (Рис. 5).

Доклад В2-112 «Свойства короны на проводах расщеплённых фаз и систем их изолирующей подвески», представленный специалистами из Словении, рассматривает результаты детальных измерений интенсивности коронных разрядов и акустического шума для различных конфигураций расщеплённых фаз и систем изолирующей подвески проводов ВЛ 400 кВ. Приводится, в частности, влияние гидрофобных покрытий на снижение интенсивности коронных разрядов. Рассмотрены также особенности коронирования проводов с профилированными проволоками трапециевидальной формы по сравнению с обычными проводами из проволок круглой формы.

Доклад В2-103 «Наведённое напряжение в трубопроводах, расположенных вблизи линий элек-

тропередачи переменного тока» описывает предложенные египетскими специалистами методы расчёта ёмкостных и индуктивных наведённых напряжений в трубопроводах. Рассмотрены величины наведённых напряжений в трубопроводах, проходящих под линиями напряжением 66, 220, 380 и 500 кВ. В дискуссии по докладу обсуждались применяемые в различных странах методы снижения уровней наведённых напряжений в нефте- и газопроводах.

Раздел 1.2. Экология, растительность и воздействие на животный мир

По этому разделу было представлено всего два доклада. К сожалению, не представлено материалов по теме “vegetation management” (управление состоянием растительности), хотя в недавнем прошлом ряд крупных системных аварий был вызван недостаточно эффективным решением проблем с растительностью.

Доклад В2-102 «Оценка факторов риска экологического влияния новой линии 400 кВ, проектируемой для размещения в сложной промышленной зоне» представлен группой специалистов из Бельгии, в нём детально рассматриваются те меры, которые необходимо принять при строительстве, чтобы достичь требуемого уровня экологической безопасности данной промышленной зоны. Выполненные технико-экономические оценки свидетельствуют о необходимости таких дополнительных затрат, которые вызывают сомнения в целесообразности сооружения рассматриваемой воздушной линии. В дискуссии по докладу были высказаны соображения о целесообразности прокладки высоковольтного подземного кабеля для решения проблем эффективного электроснабжения рассматриваемой территории и расположенных на ней многочисленных промышленных объектов.

Доклад В2-113 «Взаимное влияние электрической сети и журавлей, а также других птиц» представлен специалистами из Португалии, в нём рассматриваются вопросы

жизнедеятельности птиц в непосредственном контакте с линиями электропередачи. Приведён ряд соображений об организации условий для обеспечения безопасности

птиц и безаварийной работы линий электропередачи, расположенных в местах значительной концентрации птиц. В качестве средств предотвращения столкновения летящих птиц с проводами устанавливаются яркие шары, повышающие визуальную доступность проводов (рис. 6). Плотность расположения гнёзд мелких птиц на траверсах опор ВЛ низких классов напряжения демонстрирует рис. 7. Такие крупные птицы, как аисты, в случае размещения значительного числа гнёзд на опоре ВЛ создают проблемы интенсивного загрязнения систем изолирующей подвески проводов. Для предотвращения размещения гнёзд в неподходящих местах на траверсах устанавливаются вращаемые ветром устройства (рис. 8), затрудняющие посадку аистов. На приемлемых для размещения гнёзд участках траверс размещаются удобные для формирования гнёзд платформы (рис. 9).

Применение систем мониторинга поведения птиц позволяет улучшить условия взаимного существования объектов сетевого хозяйства и популяции различных пернатых.

Раздел 1.3. Выбор трасс и визуальное восприятие ВЛ

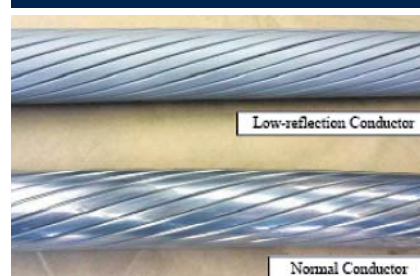
Доклад В2-108 «Минимизация экологического воздействия новых воздушных линий в Японии» представляет предлагаемые специалистами трёх энергетических компаний такие подходы к выбору трасс новых линий, такие варианты конструктивных решений, которые обеспечивают визуальную совместимость с окружающим ландшафтом. Высокая плотность населения в долинах и на равнинных территориях заставляет японских проектировщиков выбирать маршруты для трасс новых линий вблизи горных хребтов, однако ниже гребня хребта (рис. 10) по другим неудобным территориям в обход природоохранных зон и других закрытых для строительства районов. Там, где ВЛ проходят вблизи населённой местности, принимаются специальные меры для снижения заметности линий, например провода с матовой, слабо отражающей поверхностью (рис. 11).

Описаны также меры, принимаемые для снижения шума, вызываемого воздействием ветра на

Рис.10. Предпочтительное положение опор ниже гребня хребта



Рис.11. Матовые провода с низкой отражающей способностью



провода и изоляторы, а также действием коронных разрядов.

Доклад В2-110 «Улучшенная модель ветрового воздействия для проверки устойчивости крепления опорных изоляторов на ВЛ, выполненных по проекту Уинтрэк» представлен группой специалистов из Нидерландов. Для комбинированных многоцепных линий 380/150 кВ выбрана конструкция опор, включающая две вертикальные стойки и опорные изоляторы для крепления проводов расщеплённых фаз (рис. 12).

Для проверки устойчивости систем изолирующего крепления проводов при действии несбалансированных по длине анкерного пролёта ветровых и гололёдных нагрузок использована усовершенствованная расчётная модель. В результате выполненного математического моделирования и проведённых расчётов на прочность узлов сочленения изоляторов усилены элементы шарнирного крепления изоляторов к стойкам. Год работы подтвердил надёжность принятых решений.

Доклад В2-111 «Новый проект пилонов как способ минимизации визуального воздействия воздушных линий» представлен

Рис. 6. Устройства повышения визуальной доступности проводов ВЛ



Рис. 7. Птичьи гнёзда на траверсе опоры распределительной линии



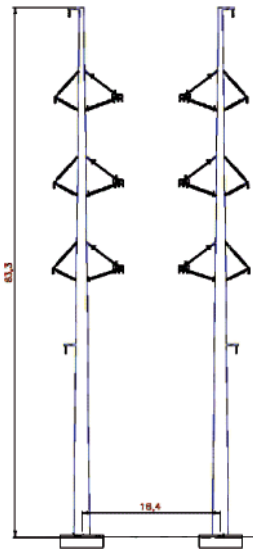
Рис. 8. Концентрация гнёзд на опоре вблизи рисового поля



Рис. 9. Вращаемое ветром устройство — помеха гнездованию, и рядом платформа для формирования гнезда



Рис. 12. Опора из двух стоек и опорные изоляторы с шарнирным креплением для подвески проводов расщеплённых фаз



большой группой авторов из Нидерландов и Австрии. Принятые в рассматриваемом проекте решения в значительной мере сходны с теми, которые представлены в докладе В2-110. Концепция разработки опор из двух пилонов и опорных композитных изоляторов состоит в том, что визуальная привлекательность конструкций, предназначенных для применения в австрийских Альпах, существенно возрастает, если вертикальные стойки (пилоны) доминируют над горизонтальными элементами изолированного крепления проводов.

Раздел 1.4. Проекты и опыт применения переходов ВЛ в подземные кабели

Доклад В2-114 «Импульсное сопротивление для систем заземления типа «А» опор ВЛ» представлен авторами из Боснии и Герцеговины и Сербии. Для выполнения заземления типа «А» в процессе сооружения фундамента опоры применяется проводящая лента, на нескольких уровнях охватывающая по периметру конструкцию фундамента. В результате достигается существенное снижение уровня сопротивления заземления опоры, что обеспечивает эффективное предотвращение обратных переключений при возникновении коротких замыканий, обусловленных грозовыми

перенапряжениями и другими эксплуатационными факторами.

Доклад В2-101 «Влияние точек перехода на характеристики систем заземления» специалистов из Австралии описывает проблемы, возникающие в зонах перехода воздушных линий в подземные кабельные линии (КЛ). Для снижения рисков возникновения аварийных ситуаций в зонах перехода от ВЛ к КЛ требуются специальные обследования и применение особых мер при выборе типа и характеристик заземляющих устройств.

ОБЗОР ДОКЛАДОВ ПО ПТ2 — НАДЁЖНОСТЬ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

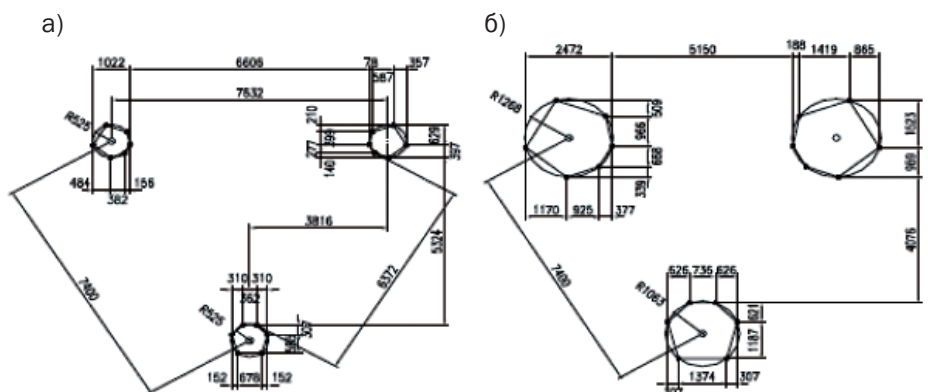
Раздел 2.1. Оптимизация линий

Доклад В2-201 «Оптимизация и проектирование двухцепной ВЛ 400 кВ, пересекающей реку Хугли в Западной Бенгалии» подготовлен двумя специалистами из Индии с участием консультанта из Канады. В данном докладе описан процесс оптимизации конструктивных элементов двухцепной линии 400 кВ. Особые сложности при проектировании были связаны с выбором конструкций опор и проводов для четырёх больших воздушных переходов с длинами переходных пролётов от 1500 до 2300 м. В результате технико-экономического сравнения ряда вариантов были выбраны конструкции опор, ранее успешно применявшиеся в Канаде. Высота поддерживающих опор 250 м, вес

каждой из опор составляет 1300 т. В ходе разработки и оптимизации элементов конструкции переходов рассматривались различные варианты компактных проводов из профилированных трапециевидных и z-образных проволок, применение которых позволяет существенно снизить ветровое давление на провода и, соответственно, нагрузки на опоры. Однако вследствие ограниченных возможностей соответствующей производственной базы и отсутствия национальных стандартов для проводов подобной конструкции они не были изготовлены и не нашли применение на данной линии.

Доклад В2-203 «Оптимизация ВЛ 500 кВ нетрадиционного исполнения» подготовлен группой из 8 представителей различных энергокомпаний Бразилии. Авторы доклада развивают идеи российского академика Г.Н. Александрова, в течение ряда лет активно сотрудничавшего с бразильскими специалистами. Представлены данные исследовательского проекта создания линии 500 кВ с высоким импедансом и повышенной пропускной способностью. С целью достижения эффекта создания линии с улучшенными электрическими характеристиками разработана и испытывается нетрадиционная конфигурация асимметричных расщеплённых фаз (рис. 13), размеры которых у опор в два с лишним раза меньше, чем в середине пролёта. Как утверждают авторы доклада, проведённые стендовые и натурные испытания

Рис. 13. Асимметричная форма расщеплённых фаз



а — уменьшение размеров пучка проводов у опор;
б — увеличение размеров пучка в середине пролёта.

демонстрируют весьма обнадеживающие результаты.

Доклад В2-205 «Повышение надёжности воздушных линий электропередачи и оптимизация их проектирования при применении проводов нового поколения» представлен группой авторов из Российской Федерации. В докладе приведён успешный опыт практического применения в сетевых предприятиях РФ проводов ACCR, разработанных и выпускаемых компанией 3M (США), провода GTACSR компании J-Power (Japan), проводов ACCC производства компании LAMIFIL (США) и результаты испытаний российского компактированного HTLS-провода с высокопрочным углеродным композитным сердечником (являющегося аналогом провода ACCC). Представлен также ряд разработанных в последние годы проектов больших переходов ВЛ через водные преграды с применением проводов нового поколения — высокотемпературных с повышенной прочностью марки ACS из стали, плакированной алюминием. Рассмотрены разработанные для достижения возможности использования большей механической прочности этих проводов и обеспечения необходимой надёжности других элементов ВЛ новые оригинальные конструкции опор, натяжных и поддерживающих зажимов, а также фундаментов. Показано, что при проектировании больших переходов через водные преграды применение высокотемпературных проводов и индивидуальных конструкций опор, фундаментов и арматуры позволяет сократить стоимость строительства перехода на 15–40%.

Раздел 2.2. Динамический рейтинг

Доклад В2-207 «Оценка динамического рейтинга повышенной пропускной способности ВЛ для интеграции источников возобновляемой энергии в национальную сеть линий электропередачи», Испания.

Технология динамического рейтинга позволяет повышать пропускную способность существующих линий посредством повышения то-

ковых нагрузок до максимального уровня, определяемого допустимым нагревом проводов в реальных метеорологических условиях. Авторы доклада описывают поведение линии с проводом OPFC (токоведущий провод с оптическим кабелем, встроенным в сердечник). Наличие оптических волокон, встроенных в провод, позволяет выполнить распределённый контроль температуры нагрева провода по всей его длине. Для контроля температуры нагрева провода она определялась расчётным путём по известной методике СИГРЭ с использованием данных 6 метеорологических станций, расположенных вдоль трассы ВЛ. Полученные результаты исследований показывают, что использование технологии динамического рейтинга позволяет повысить пропускную способность в среднем на 15%. При этом в наиболее благоприятных метеорологических условиях было достигнуто повышение пропускной способности на 100% по сравнению с данными, предписываемыми подходами на базе статического рейтинга. Использование технологии динамического рейтинга позволило повысить эффективность работы сети для выдачи мощности генераторов, использующих энергию ветра.

Доклад В2-208 «Интегрирование динамического рейтинга в систему оценки, анализа и управления в режиме реального времени процессами увеличения надёжности, управляемости и пропускной способности ВЛ», США. Рассматривается использование технологии динамического рейтинга, которая основана на данных о температуре провода в зависимости от скорости поперечной к проводу составляющей скорости ветра. Динамический рейтинг интегрирован с автоматизированной системой управления режимом работы ВЛ SCADA, что позволяет управлять процессом повышения пропускной способности линии без вмешательства операторов службы режимов. Приведены различные оценки величин токовых нагрузок при работе ВЛ в режимах динамического рейтинга, статического рейтинга и рейтинга на основе прогноза данных о состоянии окружающей среды. Эти оценки показывают, что динамический рейтинг предла-

гает возможность выбора заметно более высоких токовых нагрузок по сравнению с другими способами прямого управления линиями на базе традиционных подходов.

Раздел 2.3. Обслуживание систем изолирующей подвески проводов

Доклад В2-206 «Общая политика обслуживания изоляторов компании Рэд Электрика» представлен испанскими специалистами. Описывается практика инспектирования и замены как стеклянных, так и композитных изоляторов, благодаря которой за последние 10 лет почти в 8 раз снизилось число аварийных отключений ВЛ. Этому также способствовала практика активного применения композитных изоляторов в прибрежных районах, для которых характерны более высокие уровни загрязнения. К настоящему времени на линиях компании установлено 110 тысяч композитных изоляторов. Для обследования стеклянных изоляторов применяется практика работ под напряжением. Обследование композитных изоляторов выполняется на отключённых линиях электропередачи. Отмечается значительный положительный эффект применения силиконового покрытия стеклянных изоляторов. В результате проведённых обследований сформирована обширная актуализированная база данных о применяемых на линиях компании изоляторах, включающая данные о типах изоляторов, местах их установки и ожидаемых сроках службы.

Международный доклад В2-209 «Влияние качества стеклянных изоляторов на стоимость их жизненного цикла и предложения по отбраковочным испытаниям» представлен большой группой авторов из Норвегии, Швеции, Чехии и Финляндии. В докладе описывается вид дополнительных испытаний стеклянных изоляторов. Причина появления подобного предложения состоит в том, что наблюдается заметное снижение качества производства, в результате чего растёт повреждаемость изоляторов даже в тех случаях если они прошли испытания в соответствии со спецификациями МЭК. Предлагается програм-

Рис. 14. Усиленное основание фундамента опоры в зоне изменения русла Дуная



ма дополнительных испытаний на интенсивность радио- и телевизионных помех, на воздействие импульсных электрических и механических нагрузок. Для выявления факторов риска предлагается проводить испытания для партий из 10 изоляторов. Это обеспечит относительно невысокую стоимость испытаний и вместе с тем позволит выявить, пригодна ли партия изоляторов для практического применения или нет.

Раздел 2.4. Смягчение последствий стихийных бедствий

Доклад В2-204 «Исследования и инженеринговые решения, направленные на преодоление последствий масштабной гололёдной аварии» представлен группой специалистов из сетевых компаний Китая. Описываются мероприятия, предпринятые для смягчения аварийных ситуаций, вызванных интенсивными гололёдообразованиями на элементах конструкций ВЛ. Анализируются данные системы мониторинга размеров гололёда на проводах и изоляторах. Описываются устройства плавки гололёда постоянным током, успешно применяющиеся в сетях для предотвращения повреждений проводов.

Доклад В2-210 «Защита фундаментов опор ВЛ 400 кВ от разрушения вследствие изменения русла реки Дунай» подготовлен двумя представителями польской проектной фирмы. Во время неод-

нократно происходивших в последние годы наводнений Дунай меняет русло, в результате чего появляются новые протоки, пролегающие в непосредственной близости от фундаментов опор ВЛ.

Для предотвращения размывания и разрушения фундаментов разработаны конструкции массивных оснований фундаментов (рис. 14). Одним из важных условий выполнения разработки являлись приемлемые ценовые показатели и продолжительность сооружения конструкций. Возведение массивных стенок вокруг фундамента опоры, формирующих основание в форме куба, оказалось наиболее рациональным решением. Предложено также альтернативное решение, предусматривающее усиление фундамента опоры посредством забивания четырёх свай, накрываемых массивной крышкой из заливаемого на подготовленную конструкцию бетона. В дискуссии по докладу в качестве альтернативы усиления фундаментов было предложено рассмотреть варианты укрепления берега реки либо изменения трассы ВЛ.

Раздел 2.5. Стрелы провеса проводов

Доклад В2-202 «Анализ соотношений между стрелами провеса в пролётах с одинаковым и разными уровнями точек крепления проводов к опорам (в пролётах с наклоном)», Венгрия. Рассматриваются уравнения для определе-

ния положения провода в пролёте на ровной и плоской территории в сравнении с подобными уравнениями для холмистой местности. Сопоставляются результаты расчёта стрел провеса с использованием уравнения для кривой провисания провода на базе параболических функций по сравнению с кривой провисания, описываемой параболой. Предложена уточнённая параболическая форма кривой провисания. Рассмотрены значения стрел провеса проводов, рассчитанных разными методами, из анализа которых следует, что представление кривой провисания параболой даёт значительные погрешности при определении стрел провеса провода в пролётах с существенной разницей высот крепления провода в начале и в конце пролёта.

ОБЗОР ДОКЛАДОВ ПО ПТЗ — ПРОВОДА: МОНТАЖ И ДЛИТЕЛЬНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Раздел 3.1. Установка, обслуживание и способы замены, включая выполнение работ под напряжением

Доклад В2-304 «Выявление дефектов грозотросов ВЛ с применением видеосъёмки», Япония. Описывается программное обеспечение, разработанное для автоматизированной обработки данных видеосъёмки грозозащитных тросов, выполняемой с применением видеокамеры, установленной на борту вертолёта либо на специализированном транспортёре, перемещающемся вдоль грозотроса. Программное обеспечение имеет два последовательных уровня обработки: на первом происходит выявление кадров съёмки, содержащих вид дефектов. На втором уровне кадры, зафиксировавшие участки троса в нормальном состоянии, удаляются, а те, на которых обнаружены отклонения от нормального состояния, более тщательно обрабатываются. Таким образом, с высокой эффективностью выявляются зоны воздействия разрядов и повреждённые проволоки троса (рис. 15).

Доклад В2-303 «Изменение положения фаз как перспективный способ модернизации ВЛ в пределах существующей трассы», США

и Канада. Рассматриваются варианты повышения эффективности использования существующих линий электропередачи и их передающей способности: перевод ВЛ 23 кВ на повышенное напряжение 345 кВ, перевод на постоянный ток. В целях снижения ущерба, причиняемого потребителям во время проведения работ по реконструкции линии, включающих работы по изменению конфигурации расположения фаз на опорах и увеличению высоты подвески проводов, предлагаются различные варианты реализации неполнофазных режимов с выводом в ремонт одной фазы и передачи энергии потребителям по двум другим фазам.

Раздел 3.2. Ползучесть и усталостные повреждения проводов новых типов

Доклад В2-301 «Полевые испытания различных высокотемпературных проводов с малыми стрелами провеса», Германия. Рассматривается влияние скорости ветра, температуры воздуха и токовой нагрузки на температуру провода. Результаты измерения тяжения, выполненные с применением измерительных устройств в местах крепления проводов ВЛ 220 кВ к натяжным зажимам (рис. 16), позволили получить данные о ползучести провода АССС (выпускаемого компанией 3М США), алюминиевого провода с композитным сердечником АССС и термостойкого прово-

да НАСIN со стальным сердечником из сплава ИНВАР, содержащим высокий процент никеля и потому имеющим малый коэффициент температурного удлинения.

Отмечается, что при токовой нагрузке 1450 А (что составляет 88% от предельно допустимого уровня) температура проводов не превышала 50°C при достаточно высоких скоростях ветра. При низкой скорости ветра 0,1 м/с температура провода может достигать 70°C при токовой нагрузке 1000 А (что составляет 60% от предельно допустимого уровня). Таким образом, применение высокотемпературных проводов позволяет существенно увеличить пропускную способность ВЛ благодаря повышению токовых нагрузок до 1000–1450 А в зависимости от метеорологических условий. Измерения показали также, что температура элементов линейной арматуры не превышает тех значений, при которых может происходить температурное старение применяемых при изготовлении материалов.

Доклад В2-302 «Ползучесть высокотемпературных проводов с малыми стрелами провеса» подготовлен пятью авторами из Италии. Исследованы характеристики ползучести проводов, подвергаемых предварительным растягивающим нагрузкам (престрессингу). Установлено, что результат длительной вытяжки проводов не зависит практически от последовательности прилагаемых нагрузок, а зависит главным образом от начального удлинения проводящих элементов провода. На основании этих данных делается утверждение, что конечное удлинение провода при любой истории нагружения зависит только от величин тех нагрузок (перегрузок), которые превышают заложенные в проект расчётные значения механических нагрузок от интенсивного гололёда или штормового ветра, а также от продолжительности этих экстремальных воздействий.

Доклад В2-305 «Предельные значения токовых нагрузок ВЛ с проводами из алюминиевых проволок, усиленных стальным сердечником, а также проводов из алюминиевых проволок, усиленных композитным сердечником,

для специфических климатических условий Словакии». Проведены исследования для определения максимально допустимой пропускной способности существующих линий электропередачи. Установлено, что для сохранения безопасных габаритов проводов нижних фаз до земли в летнее время уровень допустимых токовых нагрузок сталеалюминиевого провода, максимальная температура нагрева которого не должна превышать 80°C, составляет 772,5 А, а в зимнее время — 976,8 А. Ожидается, что применение проводов типа АССС с композитными сердечниками позволит снизить потери при передаче электрической энергии и повысить пропускную способность линий благодаря сохранению безопасных габаритов нижних проводов до земли при более высоких токовых нагрузках.

Доклад В2-306 «Ползучесть и усталость медного микросплава для воздушных линий электропередачи», Испания. Отмечается, что такие медные сплавы, как бронза и латунь, давно известны и получили широкое применение в различных областях техники, однако вследствие низкой проводимости мало использовались при производстве проводов. В настоящее время изучаются возможности использования новых микросплавов с содержанием 99,9% меди, что обеспечивает высокую электропроводность, и 0,1% добавок, позволяющих улучшить механические свойства материала, приблизив их к характеристикам бронзы. При этом для меди характерным является достаточно высокий уровень ползучести и снижение механических свойств при температуре свыше 100°C. Новый микросплав не подвержен значительной ползучести при температурах до 250°C и отжигу при нагреве до 350°C. Этот сплав обладает высокой прочностью (предел прочности 480 МПа), высокой стойкостью к усталости при воздействии циклических напряжений и высокой коррозионной стойкостью, что делает его перспективным для изготовления высокотемпературных проводов с малыми стрелами провеса, выполненных из одного материала. 

Рис. 15. Видеоизображение повреждённых проволок грозотроса



Рис. 16. Датчики для измерения тяжения проводов ВЛ 220 кВ

