



## ОТЧЕТ

об участии в работе Юбилейной 48-й Генеральной сессии Международного Совета по  
Большим Электрическим Системам (СИГРЕ) и заседаниях Исследовательского Комитета  
B2 «Воздушные линии»  
в г. Париж, Франция, с 18 по 27 августа 2021 года



Отчет подготовил:

**Ляпунов Евгений Викторович**  
представитель РНК СИГРЭ в  
исследовательском комитете B2  
«Воздушные линии»

**Жилкина Юлия Викторовна**

контактные данные:

дата составления отчета:

Москва 2021

В период с 18 по 27 августа 2021 года состоялась 48-я Генеральная сессия Международного Совета по Большим Электрическим Системам (СИГРЭ). Сессия 2021, приуроченная к 100 – летнему юбилею СИГРЭ, прошла в гибридном формате – очно в Париже (Франция) и онлайн. Впервые в истории СИГРЭ случай, когда Сессия проводилась в нечетный год и в данном формате.

Темой пленарного заседания, открывшего 48-ю Сессию, стал доклад председателя совета директоров Государственной электросетевой корпорации Китая г-на Синь Баоаня об энергопереходе с использованием стандартов в области интернета энергии. На панельной дискуссии обсудили вопросы интеграции ВИЭ в мировые энергосистемы. С докладом о роли «зеленая» генерация в достижении целей углеродной нейтральности выступил заместитель генерального директора Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) Гаури Сингх.

Россию на 48-й Сессии СИГРЭ представила статс-секретарь, заместитель Министра энергетики РФ Анастасия Бондаренко, которая выступает в рамках Форума «Женщины в энергетике» в рамках СИГРЭ. Преподаватели ведущих энергетических вузов страны, представителей инжиниринговых и инновационных компаний, специализирующихся на разработке современных решений для энергетики, и профильных ассоциаций приняли участие в исследовательских и молодежных секциях СИГРЭ.

Официальный сайт сессии: <https://session.cigre.org/>

В рамках 48-й сессии СИГРЭ по тематике Исследовательского комитета (ИК) В2 «Воздушные линии» состоялись следующие мероприятия:

- заседание рабочих групп ИК В «Воздушные линии»;
- дискуссионное заседание ИК В3 «Воздушные линии» (18-19.08.2021г.);

## **Введение**

Исследовательский комитет В2 занимается вопросами проектирования, строительства и эксплуатации воздушных линий электропередачи. Сюда входит механическое и электрическое проектирование и экспериментальная проверка компонентов новых линий (в т.ч. проводников, заземлителей, изоляторов, принадлежностей, конструкций и их фундаментов), исследование рабочих характеристик линий и оценка старых компонентов, техническое обслуживание, ремонт и увеличение срока службы линий, а также модернизация и повышение технических характеристик, существующих ВЛ.

Техническое направление работы ИК В2 включает в себя повышение допустимой токовой нагрузки существующих линий, обеспечение их надежности и экологичности, оценку линий, методов, новых инструментальных средств и материалов. Воздушные линии играют важную роль для энергосистемы будущего и решения связанных с ней задач. В состав В2 входят регулярные члены из 24 стран, 5 регулярных дополнительных членов, наблюдатели из 16 стран и 7 консультативных координационных групп.

ИК В2 отобрал три предпочтительные темы для сессии СИГРЭ в 2021 году.

### **ПТ 1: Техническое обслуживание по состоянию для повышения надежности**

- Мониторинг и моделирование
- Индекс исправности, остаточный ресурс, механизмы деградации
- Оценка рисков

### **ПТ 2: Улучшение характеристик воздушных линий**

- Инновационные конструкции и материалы, компактность, преобразование переменного тока в постоянный, повышение напряжения, повышение допустимой токовой нагрузки, оптимизация потерь и др.
- Пропускная способность по току и потери в линии
- Заземление, защита от грозových разрядов

### **ПТ 3: Условия и факторы, влияющие на процесс проектирования**

- Проектирование с учетом строительства, обслуживания, отработки и восстановления ресурса, выполнения работ на линиях под напряжением, эргономики, навыков монтажа и техобслуживания, робототехники
- Проектирование и реконструкция в меняющихся условиях среды

## **ПТ 1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПО СОСТОЯНИЮ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ**

В последние годы приобретает всё более высокую значимость тема экологии. С одной стороны, экологичность важна для общественного одобрения новых проектов; с другой стороны, экологические цели и цели устойчивого развития всё чаще становятся обязательным условием для производителей оборудования и электросетевых компаний.

### **ПТ1 / группа 1 Мониторинг механических параметров, техническое обслуживание**

В докладе **В2-103** изложен анализ разработки датчиков для мониторинга нагрузок льда на воздушных линиях в условиях реального времени. Прототип такого датчика прошел испытания в лаборатории и был установлен на воздушной линии электропередачи (ВЛ).

В докладе **B2-108** представлены экспериментальное исследование и анализ механизма аномального нагрева композитных изоляторов на воздушных линиях переменного тока 550 кВ, а также проверка с помощью инфракрасного контроля композитного изолятора переменного тока 500 кВ. Изоляторы сканировались в лаборатории с помощью электронного микроскопа и рентгеновского аппарата.

Доклад **B2-117** посвящен контролю ВЛ с помощью искусственного интеллекта. Обученная система искусственного интеллекта (ИИ) может выполнять задачи с высокой достоверностью, быстротой, согласованностью результатов и экономически эффективным способом для изоляторов определенного типа.

В докладе **B2-115** изложен анализ спутникового мониторинга воздушных линий. Была проведена детальная классификация земельных участков и обнаружение возможных критических изменений. Кроме того, проведена оценка текущего состояния ВЛ и состояния древесно-кустарниковой растительности в охранных зонах ВЛ.

В докладе **B2-106** рассмотрено проведение технического обслуживания состояния опор воздушных линий электропередачи с целью оптимизации обслуживания «старой» инфраструктуры. Представлены два метода оценки распределений скорости коррозии и коррозионных факторов окружающей среды в Японии.

#### **ПТ1/ группа 2 Проектирование линий, оценка состояния**

Доклад **B2-101** проведен результат мониторинга конструкции новой линии электропередачи в течении 3-х лет. Новая конструкция опор прошла проверку и теперь будет применяться для большего числа линий в будущем.

В докладе **B2-105** предложен способ определения превышения допустимой температуры зажимов на воздушной линии 110 кВ. Результаты показывают, что испытания на тепловой цикл недостаточно надежны для оценки поведения тестируемых соединений в течение длительного времени, и что работа ветровых установок может вызывать преждевременное повышение температуры в компрессионных фитингах.

В докладе **B2-109** описывается разработка компактного детектора коррозии для диагностики изношенных проводов ЛЭП и приводятся полученные результаты. Новый метод диагностики позволяет обнаруживать КЗ на проводах ВЛ (внутри и снаружи) с помощью портативного детектора коррозии.

Доклад **B2-116** рассказывает об исследовании оценки состояния стальных опор ВЛ. В докладе представлен практический метод оценки для сбора больших массивов данных, относящихся к размеру оцинкованных слоев на стальных элементах.

#### **ПТ1/ группа 3 Индекс исправности, остаточный ресурс, механизмы деградации**

В докладе **B2-118** обсуждаются нормы измеряемой амплитуды вибрации на основе расчета усталости проводников. Результаты показывают, что процедуры проектирования, основанные на современных аналитических моделях, могут не обеспечивать достаточного запаса надежности в зависимости от диаметра троса и проводника, угла провисания и геометрии арматуры.

Доклад **B2-119** приводит результаты классификации гидрофобности композитных изоляторов с применением сверточных нейронных сетей. Точность распознавания, достигнутая лучшей из трех сетей, составила 84,29%. Преимуществами этого метода являются: простой и быстрый

процесс фотографирования, короткое время обучения сетей, удовлетворительная точность распознавания и возможность развертывания этих сетей на встроенных платформах и использования в авиационных работах для проверки композитных изоляторов на местах.

Доклад **V2-102** представляет подход к обеспечению надежности опор при проектировании воздушных линий. Новшество заключается в анализе надежности конструкций путем моделирования методом Монте-Карло.

В докладе **V2-111** приведены результаты построения геоинформационной системы грозовой активности на базе имеющегося комплекса распределительных сетей 6-110 кВ с использованием устройств определения поврежденного участка воздушной линии.

#### **ПТ1/ группа 4 Оценка рисков, техническая надежность**

В докладе **V2-113** рассматривается нормативная база и стратегии, касающиеся устойчивости электрических объектов при лесных пожарах. Предлагается системный подход для проведения количественной оценки работы энергосистемы во время и после лесного пожара.

Доклад **V2-114** обсуждает результаты инспектирования воздушных линий лидаром с помощью беспилотных летательных аппаратов. Основная цель – нормативная проверка соблюдения расстояний в коридорах воздушных линий электропередачи.

## **ПТ 2. УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ**

#### **ПТ2/группа 1 Провода воздушных линий**

В докладе **V2-203** описывается конструкция и характеристики специального провода относятся к категории, известной как высокотемпературные провода с малыми стрелами провеса (HTLS) и проблемы, которые были преодолены при его установке на переходе линии в порту Антверпен в Бельгии.

В докладе **V2-211** сообщается о полевых испытаниях, проведенных на проводнике HTLS в Ирландии, и рассматриваются критерии, применяемые для отбора испытательных пролетов. Представлены результаты их данных и последующего анализа.

В докладе **V2-220** рассматриваются разработка и характеристики алюминиевого уплотненного проводника, а также его преимущества и условия применения в России.

#### **ПТ2/группа 2 Конструкции воздушных линий**

В докладе **V2-204** представлены подходы к проектированию, проверке и утверждению композитных конструкций, используемых на линии 420 кВ в Норвегии.

Доклад **V2-209** описывает опыт германского ССО в части проектирования, монтажа и контроля эксплуатации конструкций компактных воздушных линий, которые охотнее воспринимаются общественностью.

#### **ПТ2/группа 3 Изоляторы воздушных линий**

В докладе **V2-206** описывается исследование, проведенное на стеклянных колпачковых и штыревых изоляторах с покрытием RTV различной толщины, и сообщается о методах испытаний, использованных для сравнения эксплуатационных характеристик.

Доклад **V2-208** приводит детальный отчет о проведенных испытаниях и полученных

результатах на изоляторах с покрытием RTV, состаренных по месту эксплуатации (снятых после 7, 8 и 9 лет работы) и в лаборатории.

В докладе **V2-218** сообщается об исследованиях, проведенных на двух испытательных станциях во Франции и ЮАР на композитных, стеклянных изоляторах, с подробным анализом наблюдаемых характеристик тока утечки.

Доклад **V2-221** сообщает о проведенной оценке контакта стержня с корпусом в композитных изоляторах, о влиянии электромагнитных полей на целостность изоляторов и об эффектах воздействия азотной и серной кислот на корпус изолятора. Для юбилейной сессии СИГРЭ 2021 года была получена отредактированная версия доклада V2-221. В него включены дополнительные результаты испытаний на множественные воздействия (с сочетанием воздействия азотной кислоты, тестов на трекинг и эрозию), проведенных авторами доклада.

#### **ПТ2/группа 4 Моделирование, характеристики и оптимизация работы воздушных линий**

В докладе **V2-202** рассказывается о том, как незначительные различия некоторых переменных могут существенно влиять на точность расчета номиналов линий применительно к высокотемпературным проводникам. Отредактированный доклад V2-202 включает дополнительную информацию о коррелированных значениях поглощения и излучательной способности. Также он проясняет вопрос о температурах проводников, используемых при анализе чувствительности переменных.

В докладе **V2-219** рассмотрена система моделирования воздушных линий, которая учитывает климатические условия, параметры проводов и проектные характеристики профиля линии для оптимизации ее работы.

В докладе **V2-224** рассматривается применение динамической оценки параметров линий в Индии, а также дается анализ проблем и рекомендаций по применению этого метода в условиях тропического климата.

В докладе **V2-205** описывается проведенный авторами анализ конфигураций пучков фазных проводников различной конструкции с целью снижения джоулевых потерь в линии.

Доклад **V2-222** описывает исследование по вопросу коронных разрядов на проводниках в условиях испытаний на воздействие таких погодных условий, как дождь, туман и роса, подчеркивая важность изменений погоды для формирования короны.

Доклад **V2-216** рассказывает о характеристиках двухполюсной линии 500 кВ постоянного тока в Корее в условиях переходных перенапряжений, а также о влиянии оконечных кабельных устройств по длине трассы.

В докладе **V2-217** приводится пример проекта повышения мощности, включающего замену проводников в Индии, который представлял особые трудности с точки зрения препятствий в полосе отвода и необходимости организации работы под напряжением.

В докладе **V2-223** описаны и представлены результаты работы системы измерения и мониторинга конструкций опор воздушных линий электропередачи, которая позволяет лучше понять механическое использование и эксплуатационные характеристики опор.

### **ПТ 3. УСЛОВИЯ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Реконструкция существующих линий под новые стандарты, проектирование новых линий с

учетом изменения окружающих условий, повышение безопасности работ под напряжением – десять докладов, отобранных Исследовательским комитетом В2 по предпочтительной теме № 3, предлагают широкий ряд новаторских материалов по проектированию воздушных ЛЭП. Избранные материалы разделены по трем основным рубрикам: ПТЗ/группа 1 - 3.

### ПТЗ/группа 1: Повышение безопасности воздушных линий

Доклад **В2-302** демонстрирует целесообразность использования портативных ОПН для защиты персонала во время работы на линии под напряжением. Данный инструмент позволяет проводить работы на опорах с уменьшенными зазорами на линиях, где работа под напряжением ранее была невозможна.

Доклад **В2-304** предлагает детальный анализ рисков, связанных с возможным воздействием на работников электрических и магнитных полей на двухцепной линии 100 кВ. Авторы представляют методику, которая показывает, что работы на пассивной цепи можно проводить безопасным образом, пока вторая цепь остается активной.

Наконец, в докладе **В2-312** объясняется, как использование изоляционной фольги на основаниях опор может уменьшить повышение потенциала земли. Показано, что данный подход снижает потенциал напряжения вокруг опоры и к тому же замедляет рост кустарников возле ее основания.

### ПТЗ/группа 2: Проектирование линий с учетом изменений экологических нормативов?

Доклад **В2-311** рассказывает об опыте Перу в части проектирования линии 500 кВ на высоте до 4500 м над уровнем моря. Воздушные зазоры рассчитывались по методам ИЕС и ИЕЕЕ, хотя поправочные коэффициенты для таких высот не стандартизированы. Вычисления были дополнены моделированием с помощью ЕМТР.

Доклад **В2-309** описывает новый тип трубчатой опоры, разработанный для упрощения ее перевозки в отдаленные районы. Конструкция основана на применении соединений внахлест и вертикально разделенных модулей.

Автор доклада **В2-307** предлагает рекомендации по выбору оборудования для воздушных линий на основании расчетов эмиссии CO<sub>2</sub>.

### ПТЗ/группа 3: Новые инструментальные средства для технического обслуживания и реконструкции линий

Доклад **В2-303** касается разработки робота для быстрой и безопасной установки маркеров. Робот ставится на линию при помощи вертолета. На сегодняшний день с помощью этой технологии установлено уже более 400 маркеров.

Темой доклада **В2-308** является поведение дронов при работе поблизости от воздушных линий.

Доклад **В2-305** приводит результаты исследования акустического шума проводов с учетом старения и различных видов обработки поверхности. Было показано, что старение проводников снижает уровень акустических шумов.