

Киселев А. Д.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И УСТРАНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НЕПОЛАДОК ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Аннотация. В данной статье рассмотрены основные проблемы, связанные с эксплуатацией современных воздушных линий и проанализированы инновационные подходы к устранению этих проблем. На основе проделанной работы были выявлены решения в области интернет-вещей, беспилотных систем, строения электропроводов.

Ключевые слова: воздушные линии, беспроводная передача электричества, кабельные линии, интернет-вещей

Abstract. This article discusses the main problems associated with the operation of modern overhead lines and analyzes innovative approaches to eliminating these problems. Based on the work done, solutions were identified in the field of Internet things, unmanned systems, and the structure of electrical wires.

Keywords: overhead lines, wireless electricity transmission, cable lines, Internet of things

На сегодняшний день практически любая деятельность человека невозможна без применения электричества. Однако запас прочности энергетических систем практически исчерпан, по разным оценкам, от 60 до 70% основных фондов электросетевого комплекса уже давно выработали срок службы [1]. Очевидно, что замена технически и морально устаревшей и уже экономически неэффективной инфраструктуры в области электроэнергетики – это объективная потребность отрасли и общества. Устаревшие провода марки АС в существующих линиях электропередач (ЛЭП) имеют низкую проводимость, низкую механическую прочность, плохо противостоят погодным явлениям и дают большие потери при передаче.

При этом возможен вариант замены старой системы на несколько обновленную или полное обновление существующих элементов и связей между ними. Для того чтобы выбрать нужный подход, необходимо оценить возможные плюсы и минусы каждого метода, при этом отталкиваться нужно от текущих проблем.

Текущие проблемы при эксплуатации воздушных линий

Линии электропередач не могут быть полностью надёжными, т.к. в процессе длительной эксплуатации состояние проводов ухудшается – теряется их механическая и электрическая прочность.

На проводах ВЛ образуются следующие виды дефектов:

- наброс;
- наличие оборванных или перегоревших проволок;
- коррозия проводов и тросов;
- потеря несущей способности проводов и тросов;
- повреждения проводов и тросов у зажимов и дистанционных распорок;
- перегрев провода;
- дефекты сварки;
- наличие перегибов провода.

Данные дефекты становятся главной причиной обрывов проводов и грозозащитных тросов, разрушения траверс, падения опор, аварийных отключений ВЛЭП, и создают смертельную опасность для людей и животных. Энергокомпании тратят значительные денежные средства на ликвидацию аварий.

Рассмотрим более детально те проблемы, с которыми встречаются специалисты при обнаружении дефектов и их устранений.

Безопасность

При обрыве провода, находящегося под напряжением – ток растекается по земле, создавая при этом опасную зону. Опасная площадь может достигать несколько метров и ограничить доступ людей и животных в зону падения провода. К работам под напряжением допускаются специальные обученные и квалифицированные люди. Но, тем не менее, каждому члену бригады требуется строгое выполнение всех требований безопасности потому как работа требует постоянного контроля за состоянием заземляющих устройств, а также проверкой отсутствия напряжения в отключенных электрических сетях. По статистике каждый год от поражения током гибнет до 30000 человек. В подавляющем большинстве случаев эти смерти вызваны грубым нарушением техники безопасности и пренебрежением к элементарной осторожности. При этом для обеспечения безопасности сотрудников необходимо тратить некоторое время.

Контроль ситуации

Для предупреждения аварий и своевременного обнаружения дефектов требуется комплексный инженерный контроль, в том числе с верховым осмотром. Но стоимость инженерного контроля высока в связи с необходимостью отключения ВЛ в целях безопасности персонала, а сам контроль, являясь не регулярным мероприятием, малоэффективен для своевременного обнаружения критических проблем в электрических сетях и

сейчас нет эффективных средств контроля качества работы персонала в полевых условиях, как следствие невозможность обеспечить стандартное качество мониторинга электрических сетей. Визуальный монтерский осмотр, применяемый энергокомпаниями для обнаружения дефектов, не дает возможности выявить многие виды дефектов.

Эффективность

На данный момент наблюдается недостаточная эффективность энергосетевых компаний, так как недостижимо выполнение полного объема работ по обслуживанию из-за высокой трудоемкости и большой протяженности линий ВЛ. Более 100 М\$ составляют общемировые затраты на эксплуатацию и ремонт электрических сетей за год.

Рассмотрение альтернативных способов передачи электроэнергии

Для того чтобы более эффективно передавать электроэнергию необходимо ликвидировать существующие проблемы в обслуживании электрических сетей. Это возможно решить двумя способами: изменить способ передачи электроэнергии или усовершенствовать существующие средства обслуживания. Сначала рассмотрим альтернативные способы передачи энергии, их преимущества и недостатки. К ним можно отнести:

1) Подземные (кабельные) ЛЭП

2) Беспроводная передача

– Кабельная линия электропередачи – линия электропередачи, выполненная одним или несколькими кабелями, уложенными непосредственно в землю, кабельные каналы, трубы, на кабельные конструкции[2].

У подземных ЛЭП есть ряд значительных преимуществ перед воздушными линиями. Из таких можно выделить:

1) Гибкость при проектировании систем энергоснабжения. Так как подземные линии электропередач можно будет использовать в местах плотной застройки, реках и сложных геологических условиях, местах, где требуется сохранение окружающей среды, ландшафтов, значимых строений, памятников искусства, местах, зарезервированных для будущего строительства.

2) Надежность при эксплуатации подземных линий электропередач. Так как такой тип передачи электроэнергии менее зависим от влияния погодных условий, и провода под землей менее подвержены износу, то воздушные линии значительно проигрывают в этом.

3) Уменьшение потерь мощности. Благодаря тому, что подземные кабели содержат большое количество меди и работают в низких температурах, потери при высоких нагрузках уменьшаются на 30%.

Основными недостатками такого типа передачи электроэнергии являются:

- Высокая стоимость. Процедура строительства новых подземных линий или перенос существующих намного дороже. Примерная средняя цена за прокладку одного метра кабеля под землю составляет 1 тыс. евро.
- Сложность ремонта. Несмотря на высокую надежность подземных кабелей, нельзя исключить. В случае воспламенения проводов под землей, устранить огонь затруднительно.

К сожалению, из-за этих недостатков проведение кабельных линий происходит на небольших участках, когда невозможно провести воздушные линии электропередач. Для того чтобы такой тип передачи электроэнергии стал массовым нужно найти методы по снижению стоимости проведения кабелей под землю.

В основе беспроводной передачи лежит преобразование электричества в другой вид энергии. На протяжении всего 20 века предпринимались попытки реализовать такой метод. Однако если кабельные ЛЭП используют в некоторых случаях, то беспроводная передача электричества практически отсутствует в промышленных масштабах. Это связано с тем, что дистанция и размеры передаваемой энергии сильно ограничены и могут использоваться только в домашних условиях. Наиболее часто применяемые способы передачи электроэнергии:

- Электромагнитная индукция. В основе лежит преобразование индукционного тока благодаря изменению магнитного поля. При таком способе передача энергии возможна на крайне малые расстояния, из-за рассеивания магнитного поля, поэтому такой способ не может быть применен для передачи электроэнергии на дальние расстояния.
- Микроволновое излучение. Основой этого метода служит уменьшение волны электромагнитного излучения, для увеличения дальности передачи энергии. Для реализации этого способа необходима диафрагма большого размера (По исследованию Наса 1978 года для микроволнового луча частотой 2,45 ГГц понадобится передающая антенна диаметром в 1 км, а приёмной ректенны диаметром в 10 км). Уменьшить эти размеры нельзя, так как более маленькие волны могут поглощаться атмосферой, а также блокироваться дождем или каплями воды. Наиболее успешный эксперимент в этой области был проведен на острове Реюньон. В ходе экспериментов достигнута передача энергии

десятков киловатт на расстояние порядка одного километра. Таким образом, текущий уровень развития в данной области не позволяет использовать этот вид передачи энергии на большие расстояния.

- Лазерный метод. Основан на преобразовании энергии в луч лазера и передача его на фотоэлемент приемника. Несмотря на то, что энергию этим способом можно передавать на дальние расстояния, КПД такого способа очень низкий. Связано это с помехами в атмосфере, так как лазеру для передачи большого количества энергии понадобится безвоздушное пространство. Также существует необходимость прямой видимости между передатчиком и приёмником, что не всегда возможно реализовать в обычных условиях [3].

Из рассмотренных альтернативных способов передачи электричества, в настоящее время ни один из них не может заменить воздушные линии передачи электроэнергии. Поэтому необходимо рассмотреть наиболее современные средства обслуживания уже существующих ВЛ.

Методы устранения текущих неполадок воздушных линий

Несмотря на огромное количество всевозможных дефектов современные энергокомпании не стремятся найти новые пути решения существующих проблем. Это связано с тем, что во многих странах управлением энергосетями занимается 1-2 крупные компании, которые также находятся в тесных отношениях с государственными ведомствами и внедрение в такие системы инновационных продуктов занимает большое количество времени и сил. Несмотря на многолетнюю зависимость общества от электричества, методы передачи электроэнергии и обслуживания электросетей остаются практически неизменными. В электроэнергетике кратковременные поломки на станциях или на воздушных линиях приводят к многомиллиардным потерям. Однако за последнее десятилетие наблюдается рост спроса на инновационные разработки в разных областях промышленности. Происходят кардинальные изменения в существующих отраслях и появление совершенно новых рынков, которые меняют экономическое положение, как и мелких, так и крупных компаний. Так, с недавних пор сформировалась парадигма Индустрия 4.0, в основе которой лежит сокращение участия человека в основных процессах. Это подталкивает разработчиков со всего мира создавать инновационные проекты для решения старых проблем новыми способами.

Все большую популярность набирают беспилотные авиационные системы для диагностики состояния воздушных линий. Уже существуют такие экземпляры у таких компаний как: Аэротех, Геоскан, Ростех и других. С

помощью таких устройств можно определять видимые дефекты, положения и отклонения опор, перегретые элементы и выполнять другие схожие функции. При использовании таких устройств у заказчика появляются более точные результаты о состоянии воздушных линий, при этом полученные безопасным способом, так как исключается прямое взаимодействие человека и электросетей. (картинка устройства).

Также существуют мобильные системы, которые способны проезжать по самим линиям, диагностировать и устранять локальные неполадки воздушных линий. Такие устройства поднимают с помощью крана или лебедки при отключенной ВЛ, что значительно усложняет работу с такими системами, так как не везде можно поставить кран для поднятия на провода устройства. У таких систем также существуют проблема с пролетом анкерных опор.

Однако некоторые разработчики пошли дальше и решили расширить способности существующих беспилотных систем. Уже появились устройства, способные не только диагностировать, но и ремонтировать и обслуживать воздушные линии. Например, существует российский проект «Канатоход», представляющий из себя комплекс устройств, в котором каждое устройство направлено на решение той или иной задачи. Особенностью этого проекта является совмещение принципа работы беспилотного летательного аппарата и мобильной системы, так как платформа «Канатохода» состоит из беспилотного вертолета и мобильного робота. Вертолет используется для установки и снятия мобильного робота непосредственно на силовом проводе или грозотросе ВЛ, мобильный робот перемещает диагностический модуль по силовому проводу или грозотросу ВЛ. Канатоход осуществляет контроль стального каната магнитным методом, силовых проводов – тепловизором, сканирует трассу прохождения ВЛ, строит 3д-карту, выявляет дефекты, записывает и передает данные, в случае необходимости осуществляет точечный ремонт. Таким образом, этот комплекс включает в себя сильные стороны беспилотных летательных аппаратов и мобильных систем, такие как: пролет анкерных опор, диагностика без отключения линий электропередачи, более детальное обследование ВЛ. Основной целью проекта «Канатоход» является создание автономно работающего комплекса, способного осуществлять диагностику в круглосуточном режиме двигаясь без участия человека от подстанции до подстанции. Это позволит заниматься дистанционным управлением электрических сетей в будущем. Схожие проекты существуют уже в Канаде и Швейцарии, однако проекты находятся на стадии испытаний и пока не могут выйти на широкий рынок.

Однако слабостями таких устройств является ограниченное количество проблем, с которыми аппараты смогут справиться. Так как такие проекты появились относительно недавно, то их функциональные возможности ограничены и не могут справиться со всеми проблемами, обнаруживаемыми на воздушных линиях. Также из-за несформированности рынка цены не установлены и формируются непосредственно к каждому проекту, что тормозит поиск новых клиентов.

К решению проблем, связанных с обслуживанием воздушных линий, можно подойти с другой стороны. Так, например, постоянно совершенствуются провода линий электропередачи. Концерн Nexans предлагает высокотехнологичные провода AERO-Z для линий электропередачи 110 – 1150 кВ. Провод представляет собой полностью связанные между собой проводники, состоящие из одного или нескольких концентрических слоев круглых проволок (внутренние слои) и проволок в виде буквы «Z» (внешние слои). Каждый слой провода имеет скрутку по длине, выполненную с определенным шагом [1].

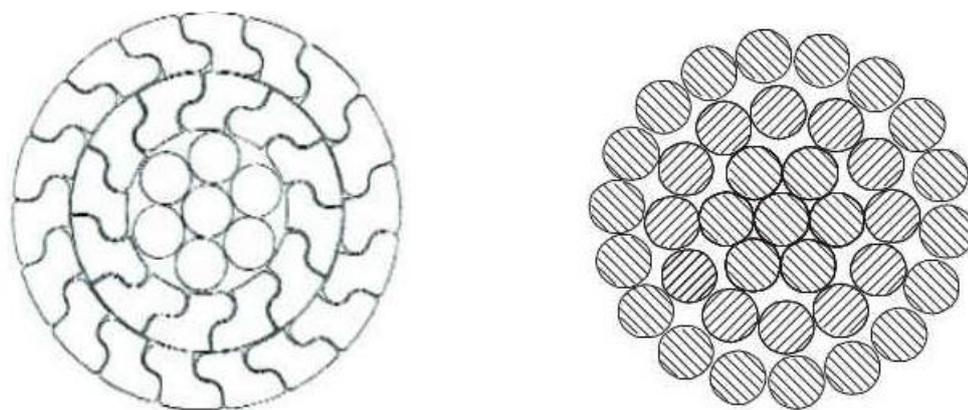


Рисунок 1 – Поперечное сечение AERO-Z (слева) и провода АС (справа)

Такие провода имеют более низкое сопротивление, массу, диаметр, а также требуют более высокое усилие на разрыв. Благодаря этим преимуществам, станет возможным:

- при том же сечении провода передавать большие токи
- снизить уровень обледенения и налипания снега на провода
- предотвращение внутренней коррозии проводов
- снизить вероятность обрыва при внешних воздействиях
- уменьшить риск обрыва от удара молнии

Однако у такого типа проводов есть свои недостатки:

- сложность ремонта из-за нестандартной формы проволок
- относительно небольшая максимальная температура эксплуатации в 90 °С

Поэтому российскими разработчиками были разработаны сталеалюминиевые неизолированные провода марки АСВП и АСВТ. Особенностью таких проводов является пластическая деформация алюминиевых проволок и проволок сердечника. Все слабости, имеющиеся в проводах АЕРО-Z, отсутствуют в отечественных вариантах, при этом превосходят французский аналог во многих других показателях: прочность, пропускная способность, сопротивление. Далее представлен график, показывающий соотношение показателей 4 проводов: АС 240/56 (традиционный провод), АСВП 277/79, АСВТ 277/79 и АЕРО-Z 346-2Z. У всех 4 видов проводов одинаковый диаметр – 22,4 мм. Одинаковый диаметр нужен для справедливого соотношения других показателей.

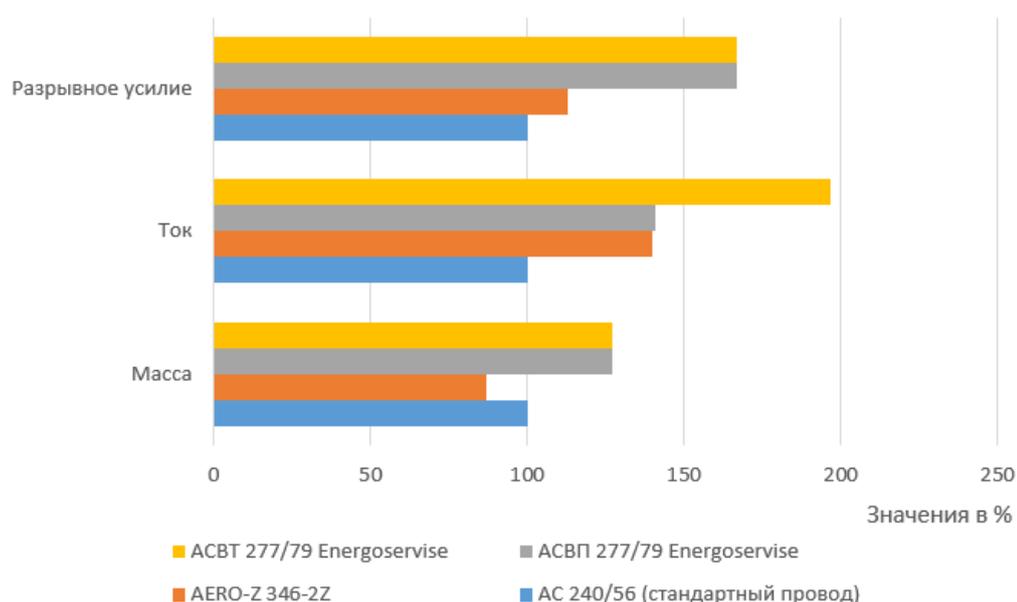


Рисунок 2 – Сравнение показателей инновационных проводов со стандартным

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о сильных и слабых сторонах видов проводов. Так, наиболее прочными из представленных оказались отечественные марки АСВТ 277/79 и АСВП 277/79, так как для них наблюдается наиболее высокое разрывное усилие. Исходя из значений по показателю тока можно сделать вывод, что наиболее мощным является провод АСВТ 277/79, что говорит о высокой эффективности использования такого типа провода. Стоит заметить, что наиболее легким является провод АЕРО-Z 346-2Z, достоинства которого указаны выше.

Стоимость проводников АСВП, АСВТ и реконструкции ВЛ с этими проводниками не выше, чем с обычными проводами, а в расчете на жизненный цикл даже ниже, но увеличение мощности (несколько десятков процентов для

АСВП и до 80–100% для АСВП) нивелирует любую разницу в цене, снижение же нагрузок на опоры уменьшает растягивающие нагрузки, нагрузки от ветра и мокрого снега, и в конечном счете повышает надежность воздушной линии [7].

Ещё одним перспективным направлением в области предотвращения перегрузов электросетей может стать активное развитие интернет-вещей. Удаленное отслеживание за основными показателями при передаче энергии и их регулировка может повысить уровень надежности электропередачи. Нельзя не отметить тот факт, что технологии IoT в электроэнергетике окажут стимулирующее воздействие на развитие в России конкурентного розничного рынка электроэнергии, в рамках которого потребители смогут выбирать поставщика услуг. Экономический эффект от внедрения IoT в электроэнергетике до 2025 года, по оценкам rwc, составит около 532 млрд рублей [4].

Уже предпринимаются попытки интеграции инновационных технологий в устоявшиеся системы передачи электроэнергии. Компания «Интерсвязь» реализует масштабный проект по подключению различных общедомовых счетчиков к единому центру сбора данных. В перспективе подключение других общедомовых приборов учета. Опрос устройства производится через технологию LoRa. Теперь у потребителей, подключенных к серверу приложения, будут передаваться автоматически следующие данные: число импульсов, заряд батареи, температура счетчика и номер пакета. По сетевому серверу можно отследить выход модуля на связь, стабильность прохождения пакетов, уровень сигнала. Сами же показания в удобной форме передает сервер приложений клиентам и провайдеру. [5]

АО «ЭР-Телеком Холдинг», национальный оператор информационно-коммуникационных услуг, подписал соглашение с ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Урала» о запуске на базе «Пермэнерго» и «Челябэнерго» опытной зоны тестирования решений в области промышленного интернета вещей. Соглашение предусматривает тестирование телекоммуникационных технологий на базе LoRaWAN и интеграцию компонентов автоматизированных систем сбора и контроля технологической информации (систем сбора данных приборов учета электроэнергии, телеметрической информации и т.п.) [6]. Это позволит повысить эффективность, контролируемость и надежность действующей инфраструктуры, обеспечит рост показателей качества электроснабжения и будет в дальнейшем способствовать улучшению общей операционной эффективности. Однако недостатками таких технологий является наличие только функции сбора информации, при этом отсутствует возможность

изменения нужных параметров сети. Но тем не менее, такие решения способствуют началу формирования системы «Умные сети», которая позволит удаленно управлять гибкой, экономичной и надежной энергосистемой.

Несмотря на то, что эти компании вводят такие технологии в B2C сегмент, такой уровень заинтересованности в интернет-вещах говорит об актуальности этого направления и возможном его внедрении в область B2B.

Таким образом, выявленные инновационные методы повышения уровня качества материала, ремонта, диагностики воздушных линий постепенно внедряются в глобальную систему электропередачи за счёт более низкого уровня издержек и высокого качества обслуживания. Также использование этих решений позволяет увеличить безопасность энергосистем, а также стабильность подачи электроэнергии.

Библиографический список

1. Васильева Е. Smart Grid в России: практика и перспективы / Е. Васильева // Rational Enterprise Management : информ.-аналит. журн. – URL: https://borlas.ru/press/533_document.pdf (дата обращения: 17.06.2020).
2. ГОСТ 24291–90. Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения. : межгос. стандарт – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-24291-90> (дата обращения: 17.06.2020).
3. Передача электроэнергии без проводов – от начала до наших дней. – URL: <https://habr.com/ru/post/373183/> (дата обращения: 17.06.2020).
4. «Интернет вещей» (IoT) в России Технология будущего, доступная уже сейчас. – URL: <https://www.pwc.ru/ru/publications/iot/iot-in-russia-research-rus.pdf> (дата обращения: 17.06.2020).
5. Плотников О. Что такое LoRaWan / О. Плотников // Хабр : русскояз. сайт новостей и блогов. – URL: <https://habr.com/ru/company/nag/blog/371067/> (дата обращения: 17.06.2020).
6. «ЭР-Телеком Холдинг» предоставил решение по цифровизации электроэнергетики на базе IoT для МРСК Урала. – URL: <http://www.tadviser.ru/a/442604> (дата обращения: 17.06.2020).
7. Курьянов В. Н. Инновационные высокоэффективные провода для линий электропередачи / В. Н. Курьянов, М. М. Султанов, В. А. Фокин // Энергия единой сети. – 2016. – № 4 (27). – С. 72–73.