

УДК 621.316

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 110-220 КВ

Ковальчук М.Д., студент гр. ЭАм-251, I курс
Научный руководитель: Захарова А.Г., д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Воздушная линия электропередачи (ВЛ) – устройство, предназначенное для передачи и распределения электрической энергии по проводам, находящимся в воздухе. По конструкции ВЛ разнообразны и их устройство зависит от функций, которые они должны выполнять, но основные требования – это надёжность передачи электроэнергии и безопасность для людей и животных [1].

Эксплуатация элементов ВЛ происходит в условиях постоянного воздействия атмосферных факторов. По данным аналитики центра исследований ФСК ЕЭС, структура причин нештатных ситуаций на линиях 110 – 220кВ распределяется следующим образом [2]: подавляющую долю (70%) составляют атмосферные перенапряжения; климатические нагрузки в виде ветра и гололеда формируют 12% инцидентов; деятельность птиц и сторонние механические воздействия – по 5% каждое; вибрационные явления – 3%; естественный износ оборудования – 2%; прочие факторы суммарно не превышают 1%.

Последствия таких аварий многообразны: от физического разрыва проводников до масштабных отключений потребителей, повреждения дорогостоящего силового оборудования и необходимости проведения продолжительных восстановительных работ со значительными финансовыми вложениями.

Современная инженерная практика предлагает широкий спектр решений для оценки технического состояния воздушных линий. Рассмотрим наиболее востребованные и технологически продвинутые подходы к диагностике.

Виды диагностики

По назначению системы мониторинга делятся на два типа:

Предупредительные (П) – сообщают о возможной аварии заранее, чтобы успеть принять меры и предотвратить её.

Обслуживающие (О) – помогают быстро найти место уже случившейся аварии, чтобы сократить время и расходы на ремонт.

Технологии распределенного мониторинга на базе оптического волокна

Использование оптического волокна в конструкции грозозащитного троса или фазного провода позволяет использовать его не только для передачи информации, но и в роли распределенного сенсора. Специализированные лазерные модули генерируют импульсы, а анализ характеристик обратного рассеяния света дает возможность распознавать внешние воздействия на всем протяжении трассы. В данной категории применяются три ключевые технологии:

DTS (Distributed Temperature Sensing) – решение для непрерывного температурного контроля. Метод основан на рассеивании Рамана, суть которого заключается в зависимости его величины от температуры внешней среды.

DAS (Distributed Acoustic Sensing) – система акустического мониторинга. Метод основан на рассеивании Релея. Основа данного метода является чувствительность к вибрациям и звуковым колебаниям в окружающей среде [2].

DSS (Distributed Strain Sensing) – технология регистрации механических деформаций. Использует метод рассеивания Бриллюэна, которое изменяет свою величину в зависимости степени растяжения оптического волокна.

Для реализации перечисленных методов применяются специализированные типы кабелей:

- ОКСН – является самонесущим оптическим кабелем;
- ОКГТ – оптический кабель, интегрированный в грозозащитный трос;
- ОКФП – внутри токопроводящей жилы устанавливается оптический кабель.

Комплекс диагностики DiLin

Данная платформа предназначена для комплексной оценки состояния ВЛ. Метод основан на анализе ВЛ за счёт:

- Волновой метод – измеряет скорость и затухание электромагнитной волны в линии;
- Рефлектометрия – фиксирует сигналы, которые отражаются от участков линии с изменёнными свойствами;

- Отслеживание разрядной активности для предотвращения импульсных процессов;
- Поиск дефектов – определяет место повреждения по разнице времени прихода сигналов к концам линии;
- Измерение температуры – использует беспроводные датчики для контроля нагрева проводов.

Система состоит из трёх частей:

- DiLin-Sensor – контрольно-измерительные приборы, устанавливаемые провода линии;
- DiLin-Observer – локальный блок, обеспечивающий сбор информации с датчиков;
- Программа «DiLin-iNVA» – система обработки и передачи информации на верхние уровни управления.

Система мониторинга «CAT-1»

Система CAT-1 – одно из первых решений для мониторинга ЛЭП. Она отслеживает погодные условия и натяжение проводов в местах крепления к опорам. Главный модуль устанавливается на опоре. Для измерения натяжения используются тензодатчики из нержавеющей стали, которые ставятся между изолятором и опорой. Основной блок размещён во влагостойком алюминиевом корпусе, внутри находится электроника, модем, антенны для связи и крепления [2].

Несмотря на простое устройство, благодаря специальным алгоритмам система может рассчитывать дополнительные параметры ВЛ: стрелу провеса, допустимую токовую нагрузку и наличие гололеда на проводах.

OTLM – Бесконтактные измерители тока и температуры провода

Другой распространённый подход реализован в системах OTLM (Overhead Transmission Line Monitoring). Они предназначены для контроля пропускной способности линии. Датчик OTLM устанавливается прямо на высоковольтный провод. Измерение тока и питание устройства работают без прямого контакта – энергия снимается с провода через токовый трансформатор. Система измеряет температуру и ток проводов в реальном времени [3].

Применение беспилотных авиационных систем (БАС) для мониторинга ЛЭП

Беспилотные летательные аппараты используются для разных задач: плановые проверки, обследование после аварий и съёмка местности. Дроны позволяют облетать и фотографировать линии на разной высоте, проверять

состояние охранных зон, находить повреждения и нарушения габаритов. Важное преимущество – возможность работать в любую погоду и ночью (с тепловизором или подсветкой).

В таблице 1 представлено сравнение различных систем мониторинга состояния ВЛ.

Таблица 1 – Сравнительный анализ систем диагностики состояния ВЛ

№	Мониторинг	Система								Тип кабеля			Тип си- стемы
		БАС	«Смарт- провод»	OTLM	CAT-1	DiLin	DTS	DAS	DSS	OKTT	OKCH	OKФП	
1	Контроль температуры при плавке гололёда на грозозащитном тросе	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	П
2	Контроль температуры фазного провода	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	П
3	Контроль состояния изоляторов ВЛ	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	О
4	Обнаружения места удара молнии	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	О
5	Обнаружения места КЗ на ВЛ	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	О
6	Обнаружения активности вблизи ВЛ	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	П
7	Контроль начала гололёдообразова- ния	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	П
8	Расстояние применения, км	-	-	-	-	200	100	50	75	-	-	-	-
9	Стоимость, тыс. руб.	2000	1000	-	-	1100	П.Д.*	П.Д.*	П.Д.*	1185/км	49/км	2765/км	-

*П.Д. – стоимость системы определяется по договоренности при покупке.

Сравнение показывает, что оптоволоконные технологии (DTS, DAS, DSS) наиболее перспективны по своим возможностям. При этом российские системы (например, DiLin и ОТЛМ) сейчас более доступны по цене и проще в установке.

Использование систем диагностики помогает вовремя находить и устранять аварийные режимы работы линий электропередач. Вовремя локализованная авария уменьшает время простоя, а также сокращает экономические потери, связанные с ремонтом и обслуживанием, тем самым повышается надёжность энергетической системы. Мониторинг ВЛ должен быть постоянным, а данные – точными. Развитие этого направления повышает надёжность и гибкость работы энергосистемы.

Список литературы:

1. Правила устройства электроустановок [Текст]: утверждено Министерством энергетики РФ 08.07.2002. – 6-е и 7-е изд. (все действующие разделы). 2009. – 853 с. – Текст: непосредственный.

2. НОВЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ / А.С. Тимофеев, М.Д. Макарец Иркутский национальный исследовательский технический университет. – URL: <http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2024/02/Timofeev.pdf> (дата обращения: 23.03.2026). – Текст: электронный.

3. ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ / А.И. Хальясмаа, Д.И. Близнюк, А.М. Романов – Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. – URL: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/74130/1/10.14529-power150407.pdf> (дата обращения: 23.03.2026). – Текст: электронный.