

Минуллин Р.Г., Касимов В.А., Минкин А.С.,  
Писковацкий Ю.В., Филимонова Т.К.  
(Казань, КГЭУ)

### ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЛОКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Из всех элементов энергосистемы воздушные линии являются наиболее подверженными нарушению нормального режима работы, в частности, повреждениям. Причинами повреждения воздушных линий электропередачи (ЛЭП) могут быть воздействия как природного, так и техногенного характера. К природным воздействиям относятся ветер, гололед, перепад температур, грозы; к техническим – короткие замыкания, внутренние перенапряжения, нарушения правил эксплуатации.

Применение локационного метода мониторинга состояния линий электропередачи, при котором нет влияния на процесс передачи электроэнергии, работу РЗА и автоматики, позволяет обнаруживать гололедные отложения на проводах, предупреждая развитие гололедных аварий, а в случае повреждения ЛЭП обеспечивает оперативное определение расстояния до места повреждения, тем самым, сокращает затраты на обход линий, уменьшает время ликвидации аварии, сокращает недоотпуск электроэнергии.

Низковольтная аппаратура локационной диагностики ЛЭП подключается к проводам, находящимся под высоковольтным напряжением, через высокочастотный тракт ЛЭП, организованный для передачи сигналов технологической связи. В канале ВЧ связи постоянно присутствуют создаваемые ею систематические помехи для локационных сигналов. Также в ЛЭП могут возбуждаться случайные помехи вследствие возникновения дуги короткого замыкания (КЗ), коронирования линейных проводов, влияния погодных условий (от выпадения осадков и атмосферных разрядов), частичных разрядов по поверхности изоляторов и тепловых шумов.

Для подавления помех используются методики накопления рефлектограмм и спектрального анализа [1, 2]. Методика обнаружения гололедных отложений на ЛЭП представлена на рис. 1.

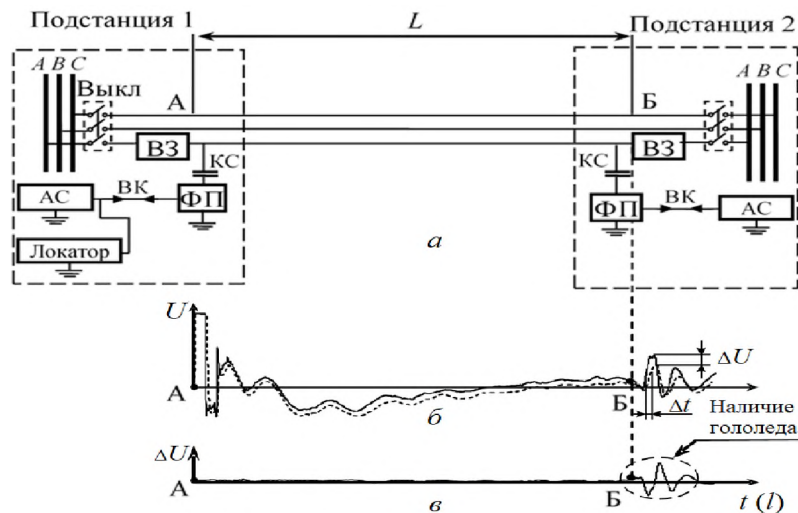


Рис. 1. Обнаружение гололеда на воздушной линии: *a* – условная схема линии; *б* – рефлектограммы линии без гололеда (сплошная линия) и при наличии гололеда (пунктирная линия); *в* – разность рефлектограмм при наличии гололеда и без гололеда с колебаниями сигнала в точке Б, обусловленными наличием гололедных отложений

Образование гололедных отложений на проводах вызывает дополнительное затухание и уменьшение скорости распространения сигналов в ВЧ тракте ЛЭП. Поэтому критериями появления гололедных отложений являются увеличения затухания  $\Delta\alpha$  и запаздывания  $\Delta t$  отраженных локационных сигналов, которые создают в конце линии явно различимый разностный сигнал при вычитании из эталонной рефлектограммы текущей рефлектограммы (см. рис. 1, *в*). При этом изменения затухания и запаздывания зависят от толщины стенки и плотности гололедных отложений, частоты сигналов и особенностей конструкции линий электропередачи.

Особенностью локационного метода обнаружения гололедных отложений является то, что при определении размеров отложений используются интегральные по длине линии изменения затухания и запаздывания отраженных сигналов, поэтому наиболее объективно метод действует при равномерном отложении гололеда по всей длине линии. Однако при неравномер-

ном отложении гололеда линия может быть разделена на отдельные локационные участки реперными точками, при этом становится возможным определение толщины отложений отдельно на каждом из участков. Реперными точками при этом служат естественные неоднородности волнового сопротивления линий электропередачи (места присоединения ответвлений и транспозиции проводов, анкерные опоры и др.) и искусственные неоднородности (заградительные фильтры).

Исследования по локационному обнаружению повреждений на проводах ЛЭП были начаты в Казанском филиале Московского энергетического института под руководством профессора Р.Г. Минуллина в 1995 году. Начиная с этого времени были разработаны и испытаны десять модификаций локационных комплексов. Последние из них, установлены на шести подстанциях РФ (рис. 2) и обеспечивают круглогодичный повседневный оперативный мониторинг линий, отходящих от этих подстанций, в автоматическом режиме зондирования (через 15–60 минут) с передачей визуализированных данных в диспетчерские пункты соответствующих подстанций и по GSM связи в Центр мониторинга «КГЭУ».

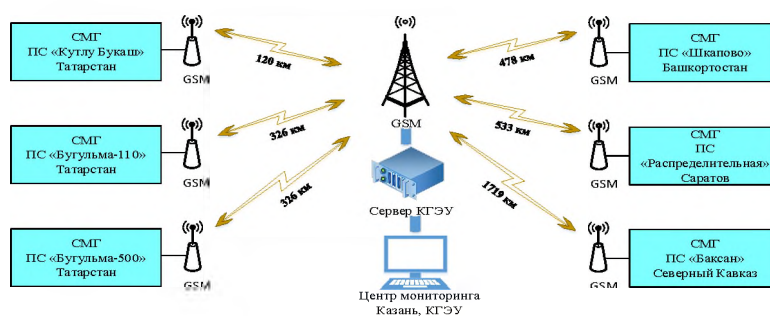


Рис. 2. Условная схема размещения локационных комплексов серии СМГ на территории России

Замыкают линейку локационных комплексов разработанные и изготовленные в рамках «Федеральной целевой программы-2017» в сотрудничестве ФГБОУ ВО «КГЭУ» с ООО «Пром-энерго»» (г. Каменск-Уральский) опытный образец программно-

аппаратного локационного комплекса в промышленном исполнении СМГ-8, реализующий функции обнаружения гололеда и повреждений (рис. 3), и специализированный испытательный стенд СМГ-11 [3] для проверки его работоспособности в стационарных и полевых условиях.



Рис. 3. Внешний вид опытного образца локационного комплекса СМГ-8 в промышленном изготовлении

Этот локационный комплекс вобрал в себя последние аппаратные наработки и развитое программное обеспечение обработки сигналов, способ визуализации результатов измерений, современную элементную базу и конструкторские решения, позволяющие его тиражирование с выходом на рынки России и зарубежья.

Экземпляр этого локационного комплекса установлен и функционирует на линиях электропередачи напряжением 110 кВ на подстанции «Распределительная» (г. Саратов).

#### Литература

1. Распознавание сигналов локационного зондирования в высокочастотном тракте линии электропередачи методом спектрального анализа / Р. Г. Минуллин [и др.] // Электротехника. 2011. № 7. С. 47–51.
2. Распознавание сигналов локационного зондирования в высокочастотном тракте линии электропередачи методом усреднения / Р. Г. Минуллин [и др.] // Электротехника. 2012. № 1. С. 30–35.
3. Locational sensing equipment for detecting ice and damage on transmission lines / V. A. Kasimov [и др.] // Proceedings 18th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS-2019). (Iceland, Reykjavik. 23–28 June 2019) Abstr. 26. PP. 1–3.