МНОГОКАНАЛЬНАЯ ЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЕДА НА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

АВТОРЫ:

МИНУЛЛИН Р.Г.,
Д.Ф.-М.Н.,
ФГБОУ ВПО «КГЭУ»

ГОРЮШИН Ю.А.,
ПАО «ФСК ЕЭС»

БОРЩЕВСКИЙ А.И.,
ОАО «НПО «РАДИОЭЛЕКТРОНИКА» ИМ. В.И. ШИМКО»

КАСИМОВ В.А.,
ФГБОУ ВПО «КГЭУ»

ЯРУЛЛИН М.Р.,
ФГБОУ ВПО «КГЭУ»

Локационный метод обнаружения гололеда дает возможность контролировать всю линию электропередачи и в реальном времени наблюдать динамику процесса нарастания гололедных отложений и их сброс при плавке гололедной муфты. Локационный метод является самым надежным и информативным из существующих в настоящее время.

Ключевые слова: воздушные линии; локационное обнаружение гололеда; измерения; аппаратурные комплексы; результаты наблюдений.

При температуре воздуха ниже –5°С и скорости ветра 5...10 м/с на проводах и тросах ВЛ образуются гололедно-изморозевые отложения

ВВЕДЕНИЕ

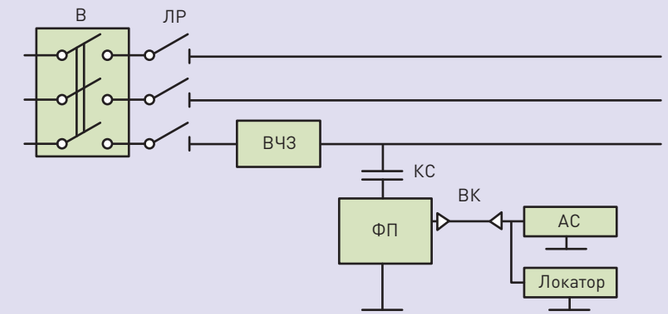
Своевременное обнаружение гололедных отложений на проводах ЛЭП с целью предотвращения гололедных аварий является насущной задачей электроэнергетиков России и стран зарубежья. Одним из способов раннего обнаружения гололеда на проводах ЛЭП является локационный метод.

В 60-х годах прошлого столетия были разработаны локационные устройства для обнаружения повреждений проводов воздушных линий электропередачи высокого напряжения как в СССР, так и за рубежом [1]. Устройство ЛИДА (СССР) имела мощность зондирующего импульса 25 кВт, устройство Р5-7 (СССР) — 7 кВт, устройство Toshiba (Япония) 10–15 кВт, устройство Ferranti (Великобритания) — 1,25 кВт [1].

Но в это время началось бурное развитие систем релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА и ПА), которые для зондирования воздушных линий электропередачи через их высокочастотные тракты использовали импульсы значительно меньшей мощности (несколько десятков ватт). В итоге локационные устройства были сняты с эксплуатации, так как они создавали непреодолимые помехи для систем РЗА и ПА.

В России удалось возродить локационное зондирование воздушных линий электропередачи благодаря использованию импульсов соизмеримой или даже меньшей мощности (менее 30 ватт), которые не способны нарушить работу систем РЗА и ПА. При этом с использованием современных методов цифровой обработки сигналов удается надежно и достоверно выделять в высокочастотном канале ЛЭП отраженные локационные импульсы, которые имеют даже

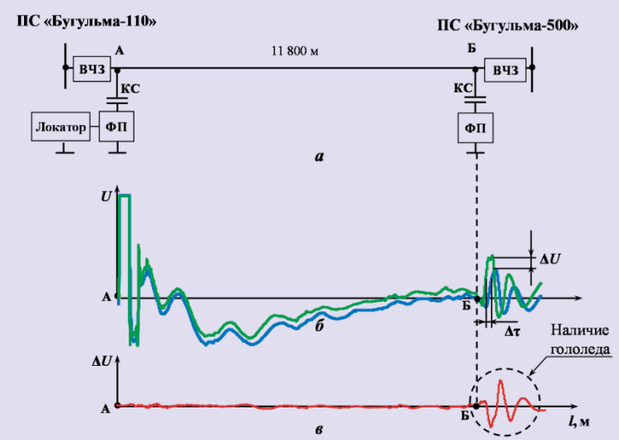
СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ЛОКАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА К ЛИНИИ, ИМЕЮЩЕЙ ЭЛЕМЕНТЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ОБРАБОТКИ



В — выключатель; ЛР — линейный разъединитель; ВЧЗ — высокочастотный заградитель; КС — конденсатор связи; ФП — фильтр присоединения; ВК — высокочастотный кабель; АС — аппаратура связи; локатор — локационное устройство

Рис. 1

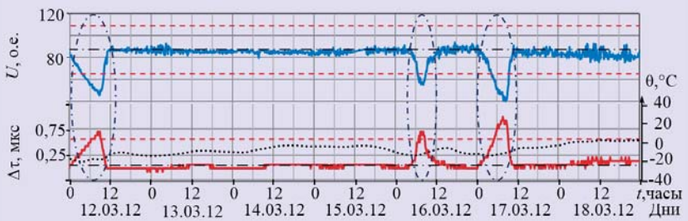
ОБНАРУЖЕНИЕ ГОЛОЛЕДА НА ЛИНИИ 110 КВ «БУГУЛЬМА-110 — БУГУЛЬМА-500»



а) схема линии; б) рефлектограммы линии без гололеда (зеленая линия) и при наличии гололеда (синяя линия); в) разность (красная линия) рефлектограмм без гололеда и при наличии гололеда с колебаниями сигнала в точке Б, обусловленными наличием гололедных отложений (обозначения показаны на рис. 1)

Рис. 2

СУТОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ТЕЧЕНИЕ НЕДЕЛИ АМПЛИТУДЫ U (ВЕРХНИЙ ГРАФИК) И ЗАПАЗДЫВАНИЯ Δτ (НИЖНИЙ ГРАФИК) ОТРАЖЕННЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ЛЭП 110 КВ «КУТЛУ БУКАШ — РЫБНАЯ СЛОБОДА»



Овалами обозначены регистрации гололедных образований [12.03–18.03.2012]

Рис. 3

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА ГОЛОЛЕДА

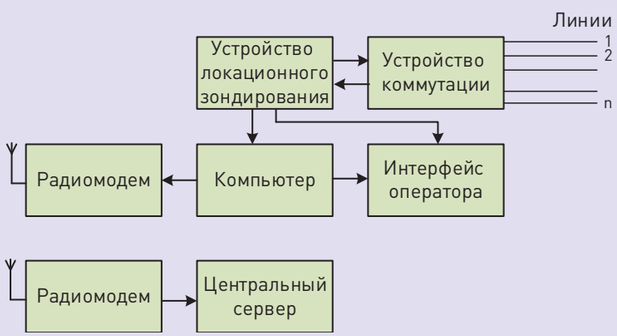


Рис. 4

меньшую амплитуду, чем сигналы РЗА и ПА [2, 3].

Особенности локационного зондирования ЛЭП исследуются в Казанском государственном энергетическом университете (КГЭУ) более 15 лет с 1998 г. [2]. Локационное зондирование позволяет обнаруживать обрывы и короткие замыкания проводов ЛЭП [1–6], а также наличие гололедных отложений на них [6–9].

Наиболее продуктивными оказались исследования по обнаружению гололедных образований на проводах ЛЭП, поэтому в данной статье подробно рассматриваются полученные при этом результаты теоретических и экспериментальных работ, описываются методики и аппаратура зондирования ЛЭП, обсуждаются методики интерпретации результатов зондирования, приводятся материалы многолетнего многоканального локационного контроля ЛЭП на действующих подстанциях энергосистем [2–15].

Метод локационного обнаружения гололеда на проводах ЛЭП является альтернативным методу взвешивания проводов [16–18]. Предлагаемый метод локационного обнаружения гололеда является уникальным и не имеет аналогов в мировой практике согласно информационному поиску глубиной в 40 лет.

МЕТОДИКА ЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Метод локационного зондирования заключается в подаче импульсного сигнала в контролируемую линию и определении времени, затраченного на его распространение вдоль провода в прямом и обратном направлениях после отражения от конца линии либо от высокочастотного (ВЧ) заградителя [1, 4].

При локационном способе обнаружения гололеда [7–9] информацию о появлении гололеда несут зондирующие импульсы, отраженные от любой неоднородности волнового сопротивления линии (далее — неоднородности), имеющейся на ней. Неоднородностями являются концы линий или ответвлений от них, ВЧ заградители, места присоединения ответвлений

к линии электропередачи, места соединения воздушных линий с кабельными вставками.

Схема подключения локационного устройства (локатора) к ЛЭП с использованием оборудования высокочастотного тракта показана на рис. 1 [4].

Гололедные образования на проводах представляют собой неоднородный диэлектрик, уменьшающий скорость распространения сигнала вдоль линии и вызывающий его дополнительное затухание, обусловленное диэлектрическими потерями энергии электромагнитной волны, которая расходуется на нагрев слоя гололедного покрытия. Локационный метод позволяет определять появление гололедных образований на проводах ЛЭП путем сравнения времени распространения отраженных сигналов или их амплитуд при наличии и при отсутствии гололедных образований.

При зондировании линии импульсным локатором (рефлектометром), упрощенная схема подключения которого к линии показана на рис. 2а, совокупность отраженных импульсов образует рефлектограмму. Появление гололедных отложений на линии вызывает изменения рефлектограммы. Если из штатной (эталонной) рефлектограммы (рис. 2б — зеленая линия) вычесть текущую рефлектограмму (рис. 2б — синяя линия), то разностные изменения надежно обнаруживаются по появлению сигнала, соответствующего концу линии (рис. 2в — красная линия). Чем больше волновое сопротивление линии будет изменяться под действием толщины гололедных отложений из-за изменения диэлектрической проницаемости между проводами линии, тем больше будет разность между рефлектограммами, тем больше будут уменьшение амплитуды импульса ΔU и увеличение задержки импульса Δτ (рис. 2б).

На рис. 3 представлены в качестве примера суточные изменения в течение недели амплитуды U (верхний график) и запаздывания Δτ (нижний график) отраженных импульсов на ЛЭП 110 кВ «Кутлу Букаш — Рыбная Слобода».

При появлении гололедных отложений величины амплитуды U и задержки Δτ изменяются синхронно, как это видно на рис. 3 (отмечено штрихпунктирными овалами). Использование двух критериев U (или ΔU) и Δτ повышает надежность и достоверность обнаружения гололеда на проводах ЛЭП.

На отсчеты амплитуды U и запаздывания Δτ отраженного импульса, кроме гололедных отложений, могут влиять погодные условия, изменения температуры окружающей среды (пунктирная линия на рис. 3, шкала температур с правой стороны рисунка), ветровые воздействия и т.д.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ЛОКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ГОЛОЛЕДА НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

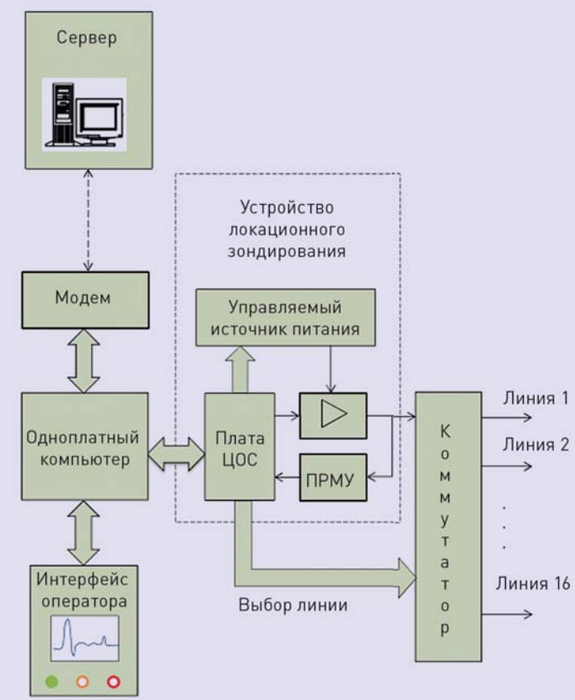


Рис. 5

АППАРАТУРНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

В программно-аппаратном комплексе системы мониторинга гололеда можно выделить основные функциональные узлы (рис. 4):

- устройство локационного зондирования;
- устройство коммутации;
- компьютер с радиомодемом и интерфейсом оператора;
- центральный сервер.

Устройство локационного зондирования системы мониторинга гололеда осуществляет следующие операции [4]:

1. генерирование и ввод в линию зондирующих импульсов;
2. прием импульсов, отраженных от конца линии;
3. выделение отраженных импульсов на фоне случайных помех и помех, вызванных работой систем связи, телемеханики, релейной защиты и автоматики;
4. определение наличия гололеда по задержке и уменьшению амплитуды отраженного импульса;
5. передача информации на сервер оператора.

Устройство коммутации предназначено для подключения к выходу/входу локационного устройства проводов одной из 16 воздушных линий подстанции.

Компьютер с радиомодемом и интерфейсом оператора управляет работой локационного устройства, обеспечивает передачу данных на центральный сервер и формирует интерфейс оператора.

Центральный сервер выполняет функции архиватора.

Аппаратура локационного зондирования обычно устанавливается на подстанции около стойки высокочастотной связи, так как подключается к его выходной клемме параллельно с высокочастотным кабелем.

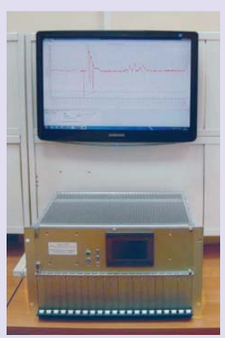
В настоящее время сотрудниками КГЭУ разработана и изготовлена малая серия локационных комплексов для зондирования ЛЭП, которая имеет несколько вариантов исполнения: настольный, настенный, мобильный. Эти комплексы успешно используются на действующих подстанциях для исследования особенностей зондирования ЛЭП при наличии и отсутствии гололеда на проводах.

В 2012 г. сотрудниками КГЭУ совместно с сотрудниками ОАО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко» по заказу ПАО «ФСК ЕЭС» разработан, изготовлен и испытан опытный образец автономной и автоматической системы мониторинга гололеда на 16 каналов [19], структурная схема которого представлена на рис. 5.

Процесс зондирования с помощью опытного образца происходит следующим образом.

Программное обеспечение одноплатного компьютера с некоторой периодичностью либо по запросу оператора подает команды на зондирование линии. При этом в плату цифровой обработки сигналов (ЦОС) передаются индивидуальные

ВАРИАНТЫ ИСПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТУРНЫХ КОМПЛЕКСОВ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГОЛОЛЕДА НА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ



а)

б)

а) настольно-настенный; б) стоечный

Рис. 6

настройки зондирования, такие как амплитуда и длительность импульса, коэффициент передачи приемного тракта, количество точек и усреднений рефлектограммы. Далее задающий генератор, сформированный программой ПЛИС, создает импульс необходимой амплитуды и длительности, а АЦП начинает цикл записи. Сформированный импульс усиливается до необходимого значения и через коммутатор поступает на фильтр присоединения, а затем на провода выбранного канала ЛЭП. После отражения от высокочастотного заградителя импульс через фильтр присоединения поступает в приемный модуль устройства (ПРМУ), в состав которого входят управляемый аттенюатор, согласующее устройство и АЦП. Далее на плате ЦОС происходит первичная обработка рефлектограммы и затем усредненный массив цифровых данных передается на одноплатный компьютер, где устанавливается факт наличия гололеда на линии электропередачи. Информацию о состоянии линии можно получить через интерфейс оператора в виде графического представления рефлектограммы линии, а также шкалы ее обледенения. Помимо этого, данные с одноплатного компьютера передаются на центральный сервер КГЭУ через модем GSM или по сети Интернет. Отправка данных для хранения осуществляется на FTP-сервер КГЭУ.

Установленная на компьютере рабочего сервера программа снимает данные с центрального сервера КГЭУ, выполняет углубленную обработку, отображает графики зависимости измеренных значений Δτ и ΔU от времени и т.д. При образовании опасной массы гололеда на экране дисплея появляется предупреждающее сообщение, которое сопровождается звуковой сигнализацией. Программа, установленная на пункте управления (подстанция), также сигнализирует о появлении гололеда с указанием номера линии, если в составе комплекса имеется коммутатор линий.

Исполнительная часть комплекса осуществляет регистрацию и архивацию полученных сведений в виде протокола измерений. Протокол содержит в себе информацию о времени и дате измерений, состоянии окружающей среды, изменении значений запаздывания Δτ и затухания ΔU импульса. Полная информация может быть представлена за разные периоды времени (сутки, неделя, месяц, квартал, год) в виде графиков зависимости исследуемого параметра от времени.

Комплекс имеет настольно-настенное (рис. 6а) и стоечное (рис. 6б) исполнения [19]. Уже выбраны промышленные предприятия, готовые его тиражировать.

УСЛОВИЯ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Испытания опытного образца комплекса мониторинга гололеда, изготовленного сотрудниками КГЭУ совместно с сотрудниками ОАО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко» по заказу ПАО «ФСК ЕЭС», происходили с 2012 г. на подстанции «Кутлу Букаш» Приволжских электрических сетей (ОАО «Сетевая компания», Татарстан).

Локационные комплексы, изготовленные в КГЭУ и в ОАО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко», установленные на подстанции «Кутлу Букаш» рядом с высокочастотной стойкой, показаны на рис. 7.

НАСТЕННЫЕ ВАРИАНТЫ ЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ МОНИТОРИНГА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Установлены на подстанции «Кутлу Букаш» (ОАО «Сетевая компания», Татарстан) рядом со стойкой высокочастотной аппаратуры, изготовленные в НПО (слева) и в КГЭУ (справа)

Рис. 7

Кроме того, с помощью локационных комплексов, разработанных сотрудниками КГЭУ, с 2009 г. на линиях 35–110 кВ подстанций «Бугульма-110» (Бугульминские электрические сети) и «Кутлу Букаш» (Приволжские электрические сети), входящих в состав ОАО «Сетевая компания» (Татарстан), ведутся исследования особенностей обнаружения гололеда на линиях

СПИСОК ЛИНИЙ, КОНТРОЛИРУЕМЫХ ЛОКАЦИОННЫМ УСТРОЙСТВОМ НА ПОДСТАНЦИИ «БУГУЛЬМА-110»

Зондируемые линии	Длина, м	Количество ответвлений	Расстояние до места ответвления, м	Название ответвления	Расстояние от места ответвления до подстанции, м
Бугульма-110–Каракашлы	42 500	2	23 700	Крым-Сарай	5 500
			35 700	Ютаза	0
Бугульма-110–Карабаш-I	22 800	2	9 675	Солдатская Письмянка	1 700
			15 800	Алкино	0
Бугульма-110–Письмянка	22 200	0	—	—	—
Бугульма-110–Бирючевка	18 350	0	—	—	—
Бугульма-110–Бугульма-500	11 200	0	—	—	—
Бугульма-110–Западная	9 020	1	4 900	Нефтяник	0
Бугульма-110–Соколка	11 460	0	—	—	—

Таблица 1

электропередачи. Результаты экспериментальных исследований используются для совершенствования аппаратуры и технологии зондирования, а также оптимизации программных продуктов.

С помощью этих комплексов с 2013 г. происходят сравнения данных локационного зондирования и данных метода взвешивания проводов на линии 330 кВ на территории подстанции «Баксан», входящей в состав ОАО «МЭС Юга» (Северный Кавказ) и на линиях 110 кВ на территории подстанции «Шкапово», входящей в состав ООО «Башкирэнерго» (Башкортостан).

На всех подстанциях, где проходят испытания локационных комплексов, для контролируемых линий электропередачи была выполнена предварительная диагностика их состояния, определена их конфигурация, сняты эталонные рефлектограммы, выявлены каналы и частоты мешающей высокочастотной технологической связи, определены параметры зондирующих локационных сигналов, установлены режимы зондирования, приняты меры для выделения отраженных импульсов среди помех.

В настоящее время на подстанции «Бугульма-110» локационный комплекс обслуживает семь линий электропередачи, из них шесть линий на 110 кВ и одна линия на 35 кВ. Список линий приведен в табл. 1.

Схематическое расположение контролируемых линий электропередачи по отношению к подстанции «Бугульма-110» представлено на рис. 8.

СХЕМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ СЕМИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПОДСТАНЦИИ «БУГУЛЬМА-110», КОНТРОЛИРУЕМЫХ ЛОКАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ

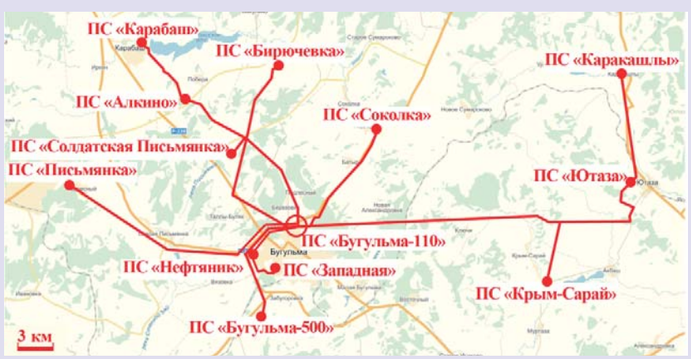


Рис. 8

На подстанции «Кутлу Букаш» аналогичный модернизированный вариант локационного комплекса осуществляет контроль четырех линий напряжением 110 кВ. Вышеупомянутые комплексы локационного обнаружения гололеда работают в непрерывном автоматическом режиме зондирования через 30 (60) мин. с передачей данных в Центр управления КГЭУ, а также дежурным операторам на местах.

ПРОЯВЛЕНИЯ ГОЛОЛЕДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ ЛОКАЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ

Случаи появления в зимний период 2010–2014 гг. гололедных отложений на проводах линии 110 кВ «Кутлу Букаш — Рыбная Слобода» в виде графиков приведены на рис. 9.
На этих графиках с привязкой к временной шкале представлены результаты измерений максимальных значений уменьшения амплитуды $\Delta U = U_{штатное} - U_{текущее}$ и увеличения запаздывания $\Delta\tau$ отраженных локационных сигналов при образовании гололедных отложений.

На рис. 9 видно, что наибольшие уменьшения амплитуды наблюдались в ноябре 2014 г. и достигли 90 относительных единиц, наибольшие задержки $\Delta\tau$ при этом составили 6,5 мкс. За все истекшие 5 лет значения ΔU и $\Delta\tau$ на линии 110 кВ «Кутлу Букаш — Рыбная Слобода» не превысили критических значе-

СЛУЧАИ АНОМАЛЬНОГО ВЗАИМНО-СИНХРОННОГО УМЕНЬШЕНИЯ АМПЛИТУДЫ СИГНАЛА $\Delta U = U_{ШТАТНОЕ} - U_{ТЕКУЩЕЕ}$ И УВЕЛИЧЕНИЯ ЗАДЕРЖКИ $\Delta\tau$ ЗА ПРЕДЕЛЫ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ИНТЕРВАЛОВ НА ЛИНИИ 110 КВ «КУТЛУ БУКАШ — РЫБНАЯ СЛОБОДА» ПОД ВЛИЯНИЕМ ГОЛОЛЕДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗА ЗИМНИЕ ПЕРИОДЫ ВРЕМЕНИ КАЖДОГО ГОДА [ФЕВРАЛЬ 2010 Г. — НОЯБРЬ 2014 Г.]

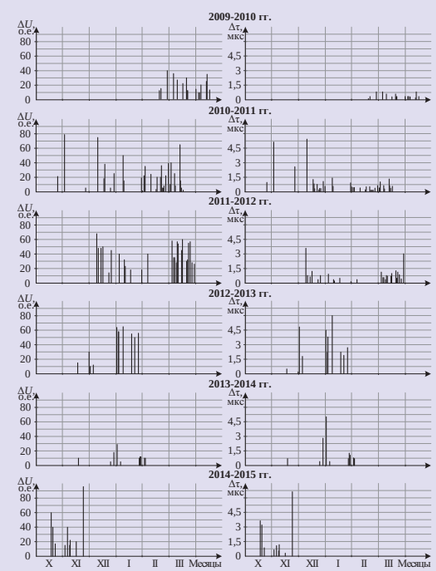


Рис. 9

ИЗМЕНЕНИЯ АМПЛИТУДЫ U И ЗАПАЗДЫВАНИЯ ΔT ОТРАЖЕННЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ГОЛОЛЕДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЛИНИИ «БУГУЛЬМА-110 — БУГУЛЬМА-500» В ЯНВАРСКИЕ МЕСЯЦЫ 2011–2014 ГГ .

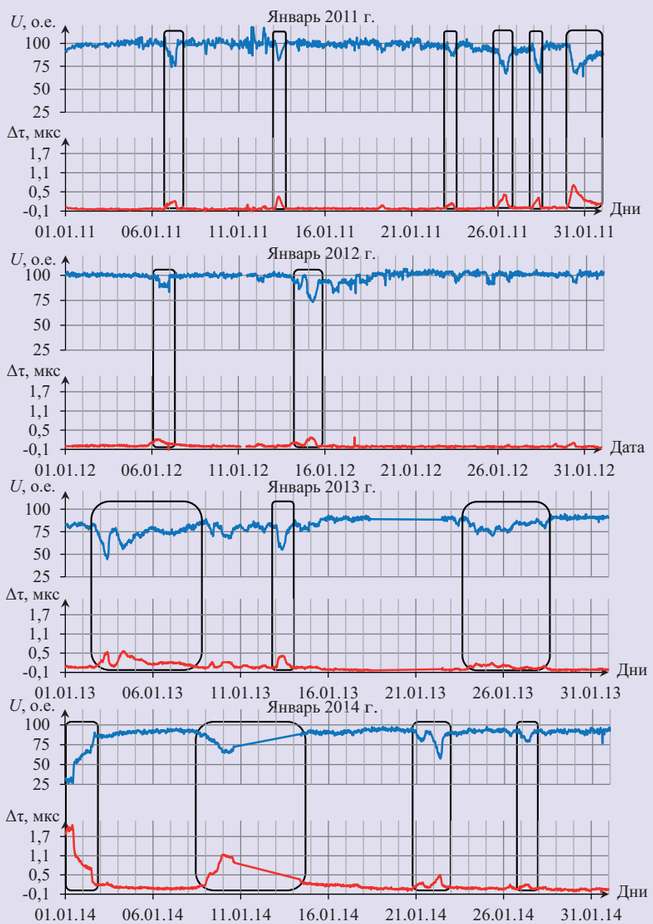


Рис. 10

ний, которые могли привести к обрыву проводов воздушной линии.

На рис. 10 в качестве примера представлены изменения параметров ΔU и Δτ на линии «Бугульма-110 — Бугульма-500» за январские месяцы 2011–2014 гг.

По данным рис. 10, наибольшие гололедные образования наблюдались 1 января 2014 г., когда U уменьшилось до 25 относительных единиц, а Δτ увеличилось до 2 мкс. Значения U и Δτ были ниже критических, как и все остальные, поэтому плавка гололеда на линии электропередачи «Бугульма-110 — Бугульма-500» в рассматриваемые периоды времени не производилась.

Так как локационные измерения являются интегральными, то в одинаковой гололедной обстановке на длинных линиях значения ΔU и Δτ оказываются завышенными по отношению к коротким линиям. Поэтому более объективными параметрами являются удельные значения затухания δK (дБ/км) и запаздывания δτ (мкс/км), приведенные к единице длины линии, в данном случае к длине линии в 1 км.

Примеры результатов многоканального зондирования на подстанции «Бугульма-110» за период ноябрь — декабрь 2014 г. с измерениями удельных значений δK и δτ приведены на рис. 11 и 12 соответственно.

Согласно данным рис. 11 и 12, наибольшие гололедные отложения имели место на линии «Бугульма-110 — Западная», где для предотвращения обрыва проводов была произведена 18 декабря 2014 г. плавка гололеда (отмечено *) при значениях δK = 1,2 дБ/км и δτ = 0,48 мкс/км.

В это время удельные затухания, равные δK = 0,6 дБ/км, были зарегистрированы на линиях электропередачи «Бугульма-110 — Карабаш»

и «Бугульма-110 — Бугульма 500», удельные запаздывания достигали δτ = 0,3 мкс/км на линии «Бугульма-110 — Карабаш» и δτ = 0,2 мкс/км на линиях электропередачи «Бугульма-110 — Письмянка», «Бугульма-110 — Бирючевка» и «Бугульма-110 — Бугульма-500». На остальных линиях эти параметры имели меньшие значения.

Небольшие гололедные отложения обнаруживались на линиях «Бугульма-110 — Каракашлы» и «Бугульма-110 — Соколка». Линия «Бугульма-110 — Каракашлы», в отличие от других, находится по отношению к подстанции «Бугульма-110» на северо-востоке, где гололед образуется редко и не очень интенсивно. Линия «Бугульма-110 — Соколка» является самой нагруженной, и поэтому самой устойчивой к гололедообразованию. На рис. 13 приведен фотоснимок изморозевого образования на проводах линии электропередачи «Бугульма-110 — Карабаш» 1 декабря 2014 г. в 10 ч 16 мин., которому соответствовали δK = 0,3 дБ/км и δτ = 0,1 мкс/км (момент фотосъемки отмечен на рис. 11 и 12 крестиком). Естественно, что такое изморозевое образование не могло вызвать обрыва проводов линии электропередачи.

Особый интерес представляют регистрации динамики изменений уменьшения амплитуды ΔU и увеличения запаздывания Δτ отраженных локационных сигналов во время повышенных гололедных образований.

В начале декабря 2010 г. наблюдались аномальные погодные явления. 5 декабря 2010 г. выпал мокрый снег, который интенсивно осаждался на проводах воздушных линий. Сильный снегопад наблюдался на территориях Чистопольских, Альметьевских и Набережночелнинских электрических сетей Татарстана, который вызвал пляску проводов и их обрыв под тяжестью снеговых масс. Было повреждено большое

ПРИМЕР ИЗМЕНЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЗАТУХАНИЯ ОТРАЖЕННЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ГОЛОЛЕДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА КОНТРОЛИРУЕМЫХ ЛИНИЯХ ПОДСТАНЦИИ «БУГУЛЬМА-110» (01.11–22.12.2014 Г.)

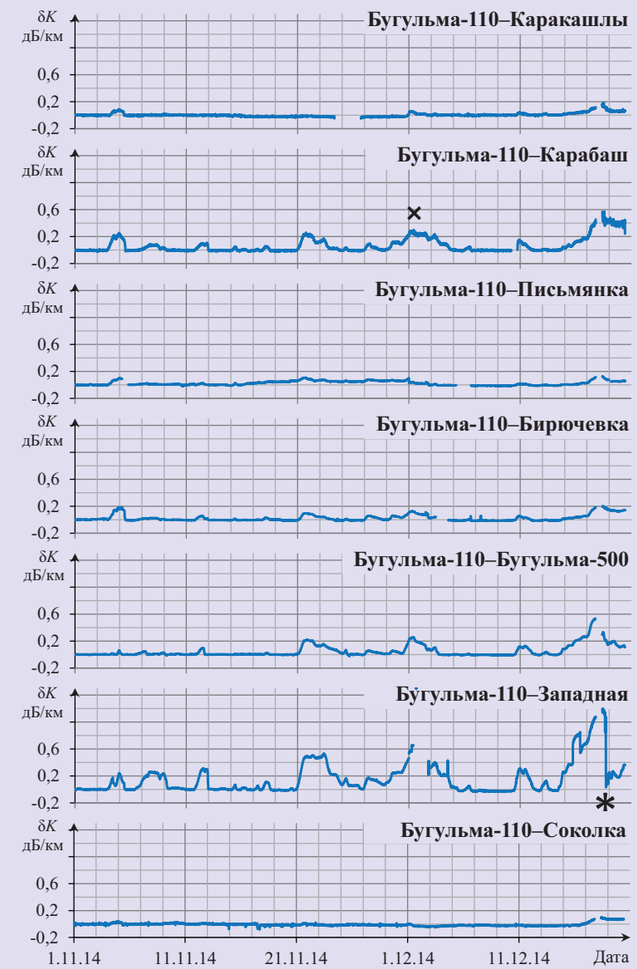


Рис. 11

ПРИМЕР ИЗМЕНЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ ОТРАЖЕННЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ГОЛОЛЕДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА КОНТРОЛИРУЕМЫХ ЛИНИЯХ ПОДСТАНЦИИ «БУГУЛЬМА-110» (01.11–22.12.2014 г.)

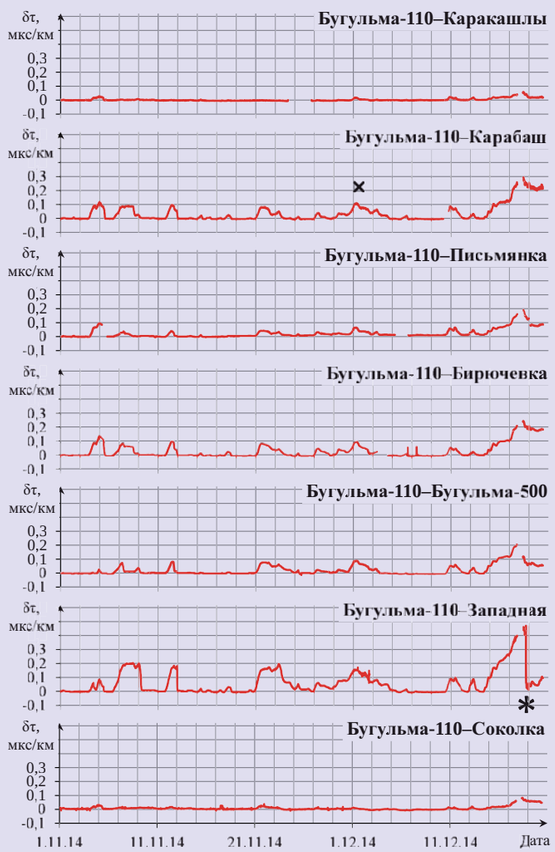


Рис. 12

количество опор линий электропередачи. Такое же бедствие постигло Ульяновскую и Самарскую области.

Однако гололедные аварии не затронули линии электропередачи, которые контролировались локационными устройствами на территориях Приволжских и Бугульминских электрических сетей, хотя там тоже наблюдались повышенные гололедные отложения на проводах.

На рис. 14а видно, что 5 декабря 2010 г. на линии «Кутлу Букаш — Рыбная Слобода» произошло резкое уменьшение амплитуды отраженного импульса U (со 120 о.е. до 30 о.е.), а на рис. 14б видно резкое возрастание его запаздывания Δτ (с 0 мкс до 5 мкс). Такое состояние устойчиво длилось до 10 декабря 2010 г. при температуре воздуха, близкой к 0° С. Затем пошел дождь, вызвавший дополнительные уменьшение U и увеличение Δτ. Через некоторое время дождь смыл снег с проводов воздушных линий, и параметры U и Δτ вернулись к исходным значениям.

ПЕРЕСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ТОЛЩИНУ СТЕНКИ ГОЛОЛЕДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Разработана методика и компьютерная программа пересчета регистрируемых параметров локационного зондирования: амплитуды U и запаздывания Δτ отраженных импульсов в толщину стенки гололедных образований [20]. Пример определения стенки гололедных отложений на проводах линии «Кутлу Букаш —

ИЗМОРОЗЕВОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НА ПРОВОДАХ ЛИНИИ «БУГУЛЬМА-110 — КАРАБАШ» 1 ДЕКАБРЯ 2014 Г. В 10 Ч 16 МИН, КОТОРОМУ СООТВЕТСТВОВАЛИ ΔК = 0,3 ДБ/КМ И ΔТ = 0,1 МКС/КМ. (МОМЕНТ ФОТОСЪЕМКИ ОТМЕЧЕН НА РИС. 11 И 12 КРЕСТИКОМ)

Рис. 13

Рыбная Слобода» путем пересчета значений Δτ (ось ординат справа) в толщину стенки гололеда (ось ординат слева) по данным измерений в течение 29.11 — 5.12.2012 г. представлен на рис. 15.

Максимум гололедного образования толщиной в 2 мм наблюдался 1 декабря 2012 г. Масса этих гололедных отложений не представляла угрозы целостности проводам воздушных линий.

Пример контроля динамики изменения толщины стенки гололедных отложений на проводах нескольких линий в течение января 2013 г. показан на рис. 16.

На трех линиях «Кутлу Букаш — Рыбная Слобода» (см. рис. 16б), «Кутлу Букаш — Кулущи» (см. рис. 16в), «Кутлу Букаш — Богатые Сабы» (см. рис. 16г), которые контролируются локационным комплексом, изготовленным сотрудниками ОАО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко» вместе с сотрудниками КГЭУ по заказу ПАО «ФСК ЕЭС», максимальная толщина стенки гололеда наблюдалась 4 января 2013 г. Моменты достижения толщиной стенки гололеда максимального значения на всех линиях совпадают. Процессы образования гололеда на всех линиях коррелированы между собой, при этом локальные максимумы гололедообразования также совпадают во времени. Но максимальные значения толщины стенки на разных линиях различны из-за особенностей этих линий. Данные гололедные отложения не превысили нормативных значений.

Было осуществлено сравнение результатов измерений (и пересчета) в толщину стенки гололеда, полученных в одинаковых условиях на линии «Кутлу Букаш — Рыбная Слобода» с помощью локационных комплексов, изготовленных в КГЭУ (см. рис. 7, справа) и в ОАО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко» (см. рис. 7, слева). Как видно из рис. 16 а, б, оба графика изменения толщины стенки гололеда со временем практически совпадают, коэффициент взаимной корреляции равен 0,9. Мелкие несовпадения графиков объясняются разной частотой квантования амплитуды отраженных импульсов сравниваемых комплексов. Таким образом, можно считать, что локационные комплексы, изготовленные сотрудниками КГЭУ и НПО, адекватны друг другу и дают практически совпадающие значения измерений.

Локационный метод обнаружения гололеда перед методом взвешивания проводов, который применяется в ограниченном количестве на некоторых линиях электропередачи, имеет следующие преимущества (подробнее см. 9, 13, 16–18, 21):

1. обеспечивается контроль всей линии, а не только одного пролета;
2. используется меньший, более простой и дешевый состав аппаратуры, так как зондирующий импульсный сигнал одновременно выполняет функции датчика и носителя информации о гололедном отложении на проводе, поэтому нет необходимости в установке отдельных гололедных датчиков на проводах ЛЭП и телемеханической аппаратуры для передачи показаний этих датчиков на диспетчерский пункт;
3. при монтаже локационного устройства не требуется

ИЗМЕНЕНИЯ АМПЛИТУДЫ U (А) И ЗАПАЗДЫВАНИЯ ΔT (Б) ОТРАЖЕННОГО ИМПУЛЬСА НА ЛИНИИ 110 КВ «КУТЛУ БУКАШ — РЫБНАЯ СЛОБОДА», А ТАКЖЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Θ ВО ВРЕМЯ АНОМАЛЬНОГО ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ (01.12–12.12.2010 Г.)

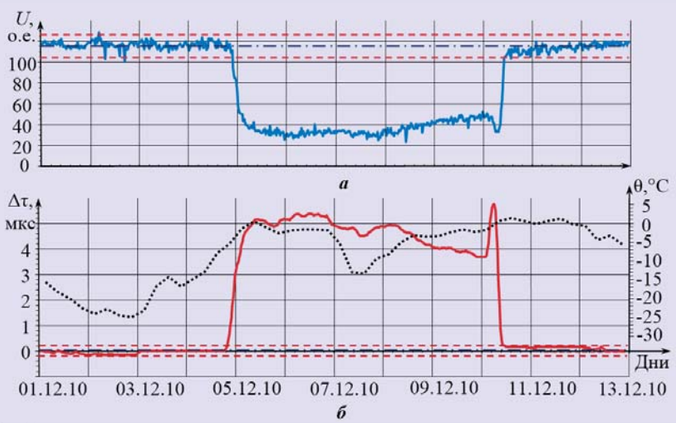


Рис. 14

вмешательства в конструкцию ЛЭП;

4. простота обслуживания аппаратуры и ее высокая надежность, так как вся локационная аппаратура располагается около начала или конца линии электропередачи в производственных помещениях подстанции.

Локационное зондирование может осуществляться на ЛЭП, находящихся под напряжением, и на отключенных линиях, а также на грозотросах, т.е. на любых металлических проводниках. Локационное устройство может функционировать при аварийном отключении питающего напряжения на ЛЭП, благодаря наличию собственного генератора зондирующих импульсов, на что неспособны системы релейной защиты и автоматики.

Специальными измерениями, выполненными нами, доказано, что сигналы локационного зондирования не влияют на работу аппаратуры релейной защиты, противоаварийной автоматики, телемеханики и связи. В то же время при определенной цифровой обработке эти сигналы перестают быть помехами сигналам локационного зондирования.

Данные о гололедных отложениях и повреждениях могут передаваться через GSM-канал или Интернет на рабочее место диспетчера без ограничения расстояния, обеспечивая в удобном интерфейсе наблюдение за динамикой гололедообразования на проводах ЛЭП и освобождения проводов от гололедных покрытий при их плавке.

Подведем итоги. В настоящее время разработаны и внедрены в эксплуатацию локационные комплексы по обнаружению гололедных образований на воздушных линиях электропередачи 35–330 кВ. Комплексы позволяют следить за динамикой обледенения проводов и четко определять время плавки гололедных отложений. Своевременное обнаружение появления гололедно-изморозевых отложений является весьма актуальной проблемой для электроэнергетики нашей страны при решении задач энергосбережения.

Локационный метод дает возможность контролировать всю линию электропередачи и в реальном времени наблюдать динамику процесса нарастания гололедных отложений и их сброс при плавке гололедной муфты. Локационный метод является самым надежным и информативным из существующих в настоящее время [9, 13, 21, 22].

На сегодняшний день метод локационного обнаружения гололеда [22] нигде в мире не реализован, наши исследования и их результаты не имеют аналогов в мире и являются уникальными.

Аппаратура системы мониторинга гололеда демонстрировалась на многочисленных выставках и презентациях: в 2013 г. на Международной промышленной выставке «Hannover Messe-2013» в Ганновере (Германия) с показом Министру науки и образования Ливанову Д.В.,

на Международном форуме «Россия и СИГРЭ: объединяя опыт и инновации» в рамках программы 126-го заседания Административного совета по большим электрическим системам высокого напряжения — СИГРЭ (Казань, КГЭУ), на Промышленной выставке в Казани с участием вице-премьера РФ Рогозина Д.О.; в 2014 г. была показана Министру энергетики РФ Новаку А.В. при его посещении КГЭУ.

Исследования и разработка аппаратуры обнаружения гололеда на линиях электропередачи выполнены в 2010–2012 гг. при финансовой поддержке ПАО «ФСК ЕЭС», в 2013–2014 гг. при технической поддержке ООО «Башкирэнерго» (Башкортостан), в предыдущие и последующие годы — при финансовой и технической поддержке ОАО «Сетевая компания» (Татарстан) и Академии наук Республики Татарстан.

Исследования осуществлены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 15-48-02243.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шалыт Г.М. Определение мест повреждений линий электропередачи импульсным методом. М.: Энергия, 1968.
2. Минуллин Р.Г., Закамский Е.В. Определение мест повреждения в электрических сетях напряжением 6–35 кВ импульсным методом. // Доклады Российского национального симпозиума по энергетике, 3-го Международного симпозиума по энергетике, окружающей среде и экономике. Казань: КГЭУ, 2001. Т. 2. С. 62–64.
3. Минуллин Р.Г., Закамский Е.В., Андреев В.В. Исследования условий отражения импульсных сигналов в распределительных электрических сетях с древовидной топологией. // Электротехника. 2003. № 10. С. 39–44.
4. Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш. Локационная диагностика воздушных линий электропередачи. Казань: КГЭУ, 2008.
5. Минуллин Р.Г. Локационная диагностика повреждений линий электропередачи. // Энергетика Татарстана. 2014. № 1 (33). С. 32–42.
6. Минуллин Р.Г. Обнаружение гололеда и повреждений на воздушных линиях электропередачи локационным методом. // Энергетика Татарстана. 2011. № 2 (22). С. 15–17.
7. Минуллин Р.Г. и др. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием. Казань: КГЭУ, 2010.
8. Минуллин Р.Г., Лукин Э.И., Сухомяткин М.О. и др. Особенности обнаружения гололедных отложений на проводах линий электропередачи локационным зондированием. // Электротехника. 2011. № 5. С. 6–12.
9. Минуллин Р.Г. Локационный метод обнаружения гололеда на проводах воздушных ЛЭП. // Электроэнергия. Передача и распределение. 2014. № 1(22). С. 74–82.
10. Минуллин Р.Г., Касимов В.А., Яруллин М.Р., Филимонова Т.К. Исследование параметров высокочастотного тракта линии электропередачи локационным методом в штатных условиях при отсутствии гололеда. // Энергетика Татарстана. 2012. № 4 (28). С. 44–50.
11. Минуллин Р.Г., Касимов В.А., Филимонова Т.К., Яруллин М.Р. Стабильность параметров отраженных локационных сигналов в высокочастотном тракте линии электропередачи в режиме ожидания повреждений и гололедных отложений. Ч. 1. Амплитуда отраженных сигналов. // Известия ВУЗ. Проблемы энергетики. 2014. № 5–6. С. 74–84.
12. Минуллин Р.Г., Касимов В.А., Филимонова Т.К., Яруллин М.Р. Стабильность параметров отраженных локационных сигналов в высокочастотном тракте линии электропередачи в режиме ожидания повреждений и гололедных отложений. Ч. 2. Запаздывания отраженных сигналов. // Известия ВУЗ. Проблемы энергетики. 2014. № 7–8. С. 32–42.
13. Минуллин Р.Г., Касимов В.А., Филимонова Т.К., Яруллин М.Р. Локационное обнаружение гололеда на воздушных линиях электропередачи. Ч. 1. Способы обнаружения гололеда. //

КОНТРОЛЬ ЛОКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ В ТЕЧЕНИЕ 7 ДНЕЙ ПРОЦЕССА НАРАСТАНИЯ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ГОЛОЛЕДНОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ ЛИНИИ 110 КВ «КУТЛУ БУКАШ – РЫБНАЯ СЛОБОДА» (29.11–5.12.2012 Г.)

Рис. 15

ИЗМЕНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ГОЛОЛЕДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ПРОВОДАХ ЛИНИЙ 110 КВ ПОДСТАНЦИИ «КУТЛУ БУКАШ», КОНТРОЛИРУЕМЫХ (А) ЛОКАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ КГЭУ И (Б-Г) ЛОКАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ НПО (01.01-31.01.2013 Г.)

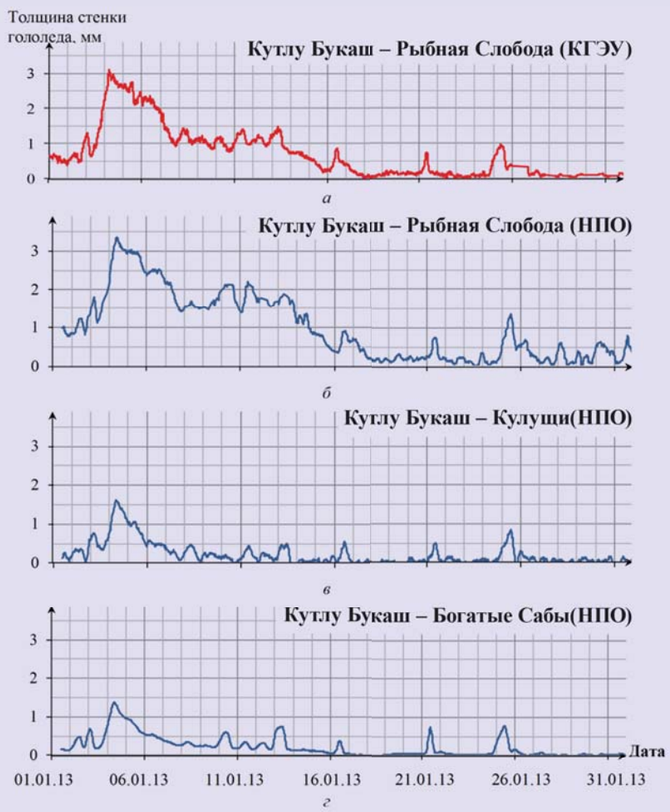


Рис. 16

Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Серия «Информатика. Телекоммуникации. Управление». 2014. № 2 (193). С. 61–73.

14. Минуллин Р.Г., Касимов В.А., Филимонова Т.К., Яруллин М.Р. Локационное обнаружение гололеда на воздушных линиях электропередачи. Ч. 2. Предельная чувствительность и выбор уставок. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Серия «Информатика. Телекоммуникации. Управление». 2014. № 2 (193). С. 74–84.

15. Яруллин М.Р., Минуллин Р.Г. Оптимизация формы импульсных сигналов при локационном зондировании линий электропередачи. // Энергетика Татарстана. 2014. № 2 (34). С. 62–65.

16. Дьяков А.Ф. Эксплуатация ВЛ 330–500 кВ в условиях интенсивных гололедно-ветровых воздействий. Внедрение системы автоматического наблюдения за гололедом. // Энергетик. 2005. № 6.

17. Левченко И.И., Засыпкин А.С., Аллилуев А.А., Сацук Е.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах. Учеб. пособие. М.: Изд. дом МЭИ, 2007.

18. Костиков И. Система мониторинга «САТ-1» — эффективная защита ВЛЭП от гололеда. // Электроэнергия. Передача и распределение. 2011. № 1. С. 32–35.

19. Минуллин Р.Г., Борщевский А.И., Четвергов А.Б., Касимов В.А., Яруллин М.Р., Бикмаметов А.Д., Лютик К.П., Масленников Г.Г., Невметов М.М., Каримов Д.О. Программно-аппаратный комплекс локационного мониторинга гололеда на линиях электропередачи. // Энергетика Татарстана. 2014. № 2 (34). С. 48–55.

20. Касимов В.А., Минуллин Р.Г. Методика определения толщины стенки гололедных отложений вдоль проводов воздушных линий электропередачи при их локационном зондировании. // Энергетика Татарстана. 2014. № 2 (34). С. 56–61.

21. Минуллин Р.Г., Аскаров Р.Р., Касимов В.А., Яруллин М.Р., Елизврьев А.Ю., Семенов О.Е., Салимгареев А.И. Обнаружение локационным зондированием гололеда на воздушных линиях Республики Башкортостан. // Энергетика Татарстана. 2014. № 3–4 (35–36). С. 42–46.

22. Proc. 16th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Uppsala, Sweden. June 2015.

ОРГАНИЗАТОР
МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ARMY
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ

6 – 11 сентября 2016
КВЦ Патриот
Московская область, г. Кубинка

РАЗДЕЛ «ЭНЕРГЕТИКА»

Ключевые темы:
• Технологии интеллектуальных энергосистем;
• Перспективные источники электрогенерации;
• Водородная энергетика;
• Технологии сверхпроводимости;
• Системы накопления энергии;
• Кибернетическая безопасность систем энергоснабжения;
• Системы электроснабжения переменного и постоянного тока. Электрооборудование;
• Автономные и резервные системы электроснабжения;
• Электротранспорт и инфраструктура;
• Силовая электроника. Преобразователи энергии;
• Оборудование первичной и вторичной коммутации;
• Трансформаторное оборудование;
• Воздушные и кабельные линии электропередачи;
• Ситуационно-аналитическое обеспечение управления и моделирование в энергосистемах.

www.rusarmyexpo.ru

Проводится в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 июня 2015 года No1140-р

ПАРТНЕР РАЗДЕЛА «ЭНЕРГЕТИКА»
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР
МКВ
Международные конгрессы и выставки

реклама