



КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОАО «НПО «РАДИОЭЛЕКТРОНИКА» ИМ. В.И. ШИМКО»



ЛОКАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ГОЛОЛЕДА И ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

За дополнительной информацией обращаться:

Россия, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, дом 51
Телефоны: рабочий – 8-(843)-519-42-38;
мобильный – 8-906-112-97-48
(Минулин Ренат Гизатулович);
e-mail: minullin@mail.ru

МЕЖДУНАРОДНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ВЫСТАВКА
SIGRE 2014
ПАРИЖ



СОДЕРЖАНИЕ

О Казанском государственном энергетическом университете (КГЭУ).....	2
Локационное зондирование линий электропередачи.....	4
Преимущества локационного метода обнаружения гололеда.....	5
Схема устройства локационного зондирования.....	6
Схема присоединения локационного устройства к линии электропередачи.....	7
Методика обнаружения гололеда.....	8
Методика обнаружения повреждений.....	9
Аппаратура локационного зондирования.....	10
Визуализация результатов локационного зондирования.....	13
Контроль локационным методом гололедообразования на проводах линий электропередачи.....	14
Локализация участков гололедных отложений на проводах линий электропередачи...	18
Аппаратура системы мониторинга гололеда на ЛЭП на промышленных выставках....	20
Публикации и награды.....	22
Список основных публикаций.....	23





О Казанском государственном энергетическом университете



**Ректор КГЭУ, профессор —
Э.Ю. Абдулмязнов**

«Сегодня в Казанском государственном энергетическом университете обучается около 9 000 студентов и аспирантов из различных регионов Российской Федерации, стран СНГ, Азии и Африки. В университете выполняются исследования по заказам предприятий энергетической отрасли страны»

В КГЭУ большое внимание уделяется проблемам надежности и эффективности эксплуатации линий электропередачи (ЛЭП). Более 15 лет под руководством профессора Р.Г. Минуллина ведутся научно-исследовательские работы по раннему обнаружению локационным методом гололеда и повреждений на проводах ЛЭП 6–330 кВ с целью предупреждения аварийных ситуаций с обрывом проводов и поломкой опор. Исследования ведутся при поддержке ОАО «Сетевая компания» и Академии наук Республики Татарстан. По результатам исследований опубликовано 4 монографии и более 100 публикаций в России и за рубежом. Эти исследования не имеют аналогов в мире согласно патентному поиску глубиной в 40 лет.

В течение 3-х лет с помощью локационных устройств, разработанных и изготовленных в КГЭУ, успешно осуществляется в автоматическом режиме непрерывный мониторинг образования гололеда на действующих ЛЭП 110 кВ на территории Республики Татарстан. Функционируют системы локационного гололедного мониторинга в Башкортостане и на Северном Кавказе. Данные зондирования передаются по каналам GSM и Интернет на пункт управления в КГЭУ.

В настоящее время по заказу ОАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» сотрудниками КГЭУ и ОАО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко» под руководством профессора Р.Г. Минуллина и главного конструктора А.И. Борщевского разработан и изготовлен промышленный образец устройства обнаружения гололеда, готовится его промышленное тиражирование.

ОАО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко» с участием КГЭУ в технологической части готово производить это устройство по заказам предприятий, обслуживающих высоковольтные ЛЭП.



На кафедре релейной защиты и автоматизации (РЗА) КГЭУ, где ведутся разработки систем мониторинга гололеда. Слева направо: Президент Республики Татарстан М.Ш. Шаймиев; генеральный директор РАО «ЕЭС России» А.Б. Чубайс; ректор КГЭУ Ю.Я. Петрушенко; заместитель заведующего кафедрой РЗА профессор Р.Г. Минуллин; генеральный директор ОАО «Татэнерго», заведующий кафедрой РЗА профессор И.Ш. Фардиев [2006 год]



В учебно-научной лаборатории кафедры РЗА. Слева направо: Президент Республики Татарстан М.Ш. Шаймиев; ректор КГЭУ Ю.Я. Петрушенко, Премьер-министр Кабинета министров РТ Р.Н. Минниханов; генеральный директор РАО «ЕЭС России» А.Б. Чубайс. Пояснения дает заместитель заведующего кафедрой РЗА профессор Р.Г. Минуллин [2006 год]



На встрече Президента Республики Татарстан Р.Н. Минниханова и Министра спорта Российской Федерации В.Л. Мутко с молодежью Республики Татарстан

Демонстрация мобильного варианта устройства обнаружения гололеда и повреждений на проводах линий электропередачи, разработанного в КГЭУ [2011 год]



Делегация КГЭУ на открытии 14-ой Международной специализированной выставки «Энергетика. Ресурсосбережение» у локационного устройства обнаружения гололеда (г. Казань)

Слева направо: проректор по научной работе В.М. Гуреев, научный руководитель разработок локационных устройств профессор Р.Г. Минуллин, ректор КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянов, заведующий кафедрой физики В.А. Матухин [2012 год]

Локационное зондирование линий электропередачи



Изморозь



Ледяной дождь



Гололедно-изморозевая муфта



Гололед



Гололед

- Обеспечивает раннее обнаружение гололедных образований на проводах ЛЭП, начиная с толщины в 1 мм, позволяет следить за динамикой гололедообразования
- Позволяет контролировать процесс плавки гололедных образований на проводах ЛЭП
- Позволяет обнаруживать обрывы, короткие замыкания и однофазные замыкания на землю проводов ЛЭП с указанием вида повреждения и расстояния до него
- Позволяет определять наличие металлического короткого замыкания на проводах ЛЭП при срабатывании автомата повторного включения (АПВ)
- Позволяет определять место кратковременного или длительного короткого замыкания на проводах ЛЭП при срабатывании АПВ
- Позволяет обнаруживать кабельные вставки на воздушных ЛЭП и муфты на подземных ЛЭП с измерением расстояния до них
- Позволяет обнаруживать несанкционированные подключения к проводам ЛЭП
- Может выполнять роль охранной сигнализации при хищении проводов ЛЭП с указанием расстояния до места хищения
- Может функционировать при аварийном отключении питающего напряжения на ЛЭП благодаря наличию собственного генератора зондирующих импульсов, на что не способны системы релейной защиты
- Аппаратура локационного зондирования не влияет на работу аппаратуры релейной защиты, противоаварийной автоматики, телемеханики и связи



Обрыв проводов и разрушение опоры



Каскадное разрушение опор 10 кВ



Разрушенная опора 110 кВ



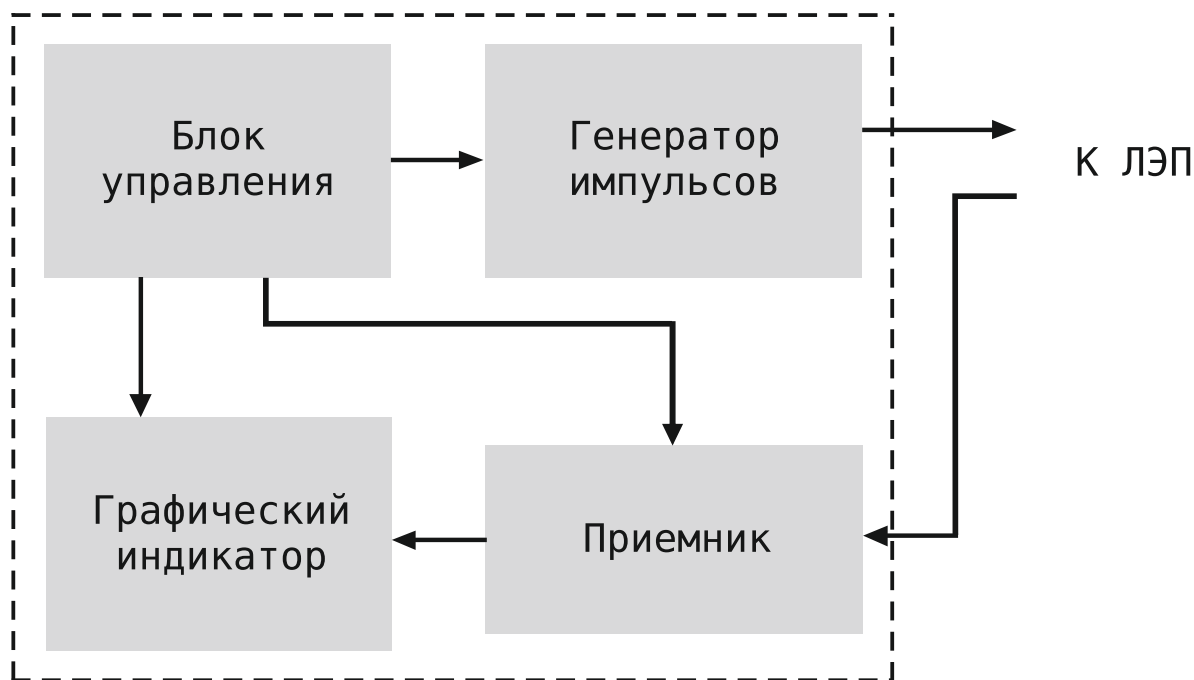
Разрушенная опора 220 кВ

Преимущества локационного метода обнаружения гололеда

перед методом взвешивания проводов

- Зондирующий импульсный сигнал является одновременно и датчиком, и носителем информации о гололедном отложении на проводе, поэтому нет необходимости в установке датчиков на проводах ЛЭП и телемеханической аппаратуре для передачи данных на диспетчерский пункт
- Осуществляется контроль всей линии, а не только одного пролета
- Имеется возможность контроля одним устройством с помощью коммутатора с любой периодичностью всех ЛЭП, отходящих с одной подстанции
- Используется меньший, более простой и дешевый состав аппаратуры
- Аппаратура локационного зондирования располагается в помещении подстанции, поэтому угроза вандализма не существует
- Не требуется вмешательства в конструкцию ЛЭП при монтаже аппаратуры локационного зондирования
- Ввод в действие аппаратуры локационного зондирования занимает несколько минут, если линия имеет высокочастотную обработку
- Данные о повреждениях и гололедных отложениях 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
- Предлагаемая система мониторинга гололеда наиболее эффективна в условиях горно-пересеченной местности и бездорожья

Схема устройства локационного зондирования



Технические параметры локационного устройства

- Форма зондирующего импульса: треугольная
- Амплитуда импульса: 40–60 В
- Длительность импульса: 1–12 мкс
- Период следования: 400–1200 мкс
- Предельная чувствительность приемника: 20 мВ
- Частота дискретизации: 100 МГц
- Диапазон зондирования по дальности: до 150 км
- Погрешность отсчета расстояния: 30–60 м
- Выходное сопротивление: 75 Ом
- Количество усредняемых рефлектограмм не ограничено

Схема присоединения локационного устройства к линии электропередачи

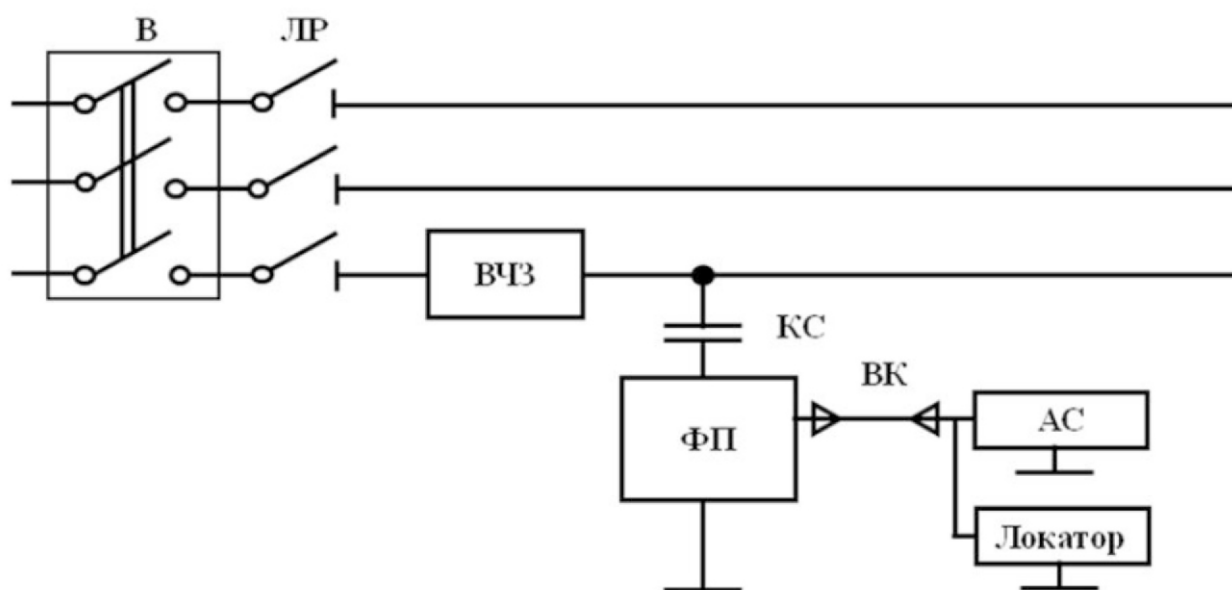


Схема линии с элементами высокочастотного канала:

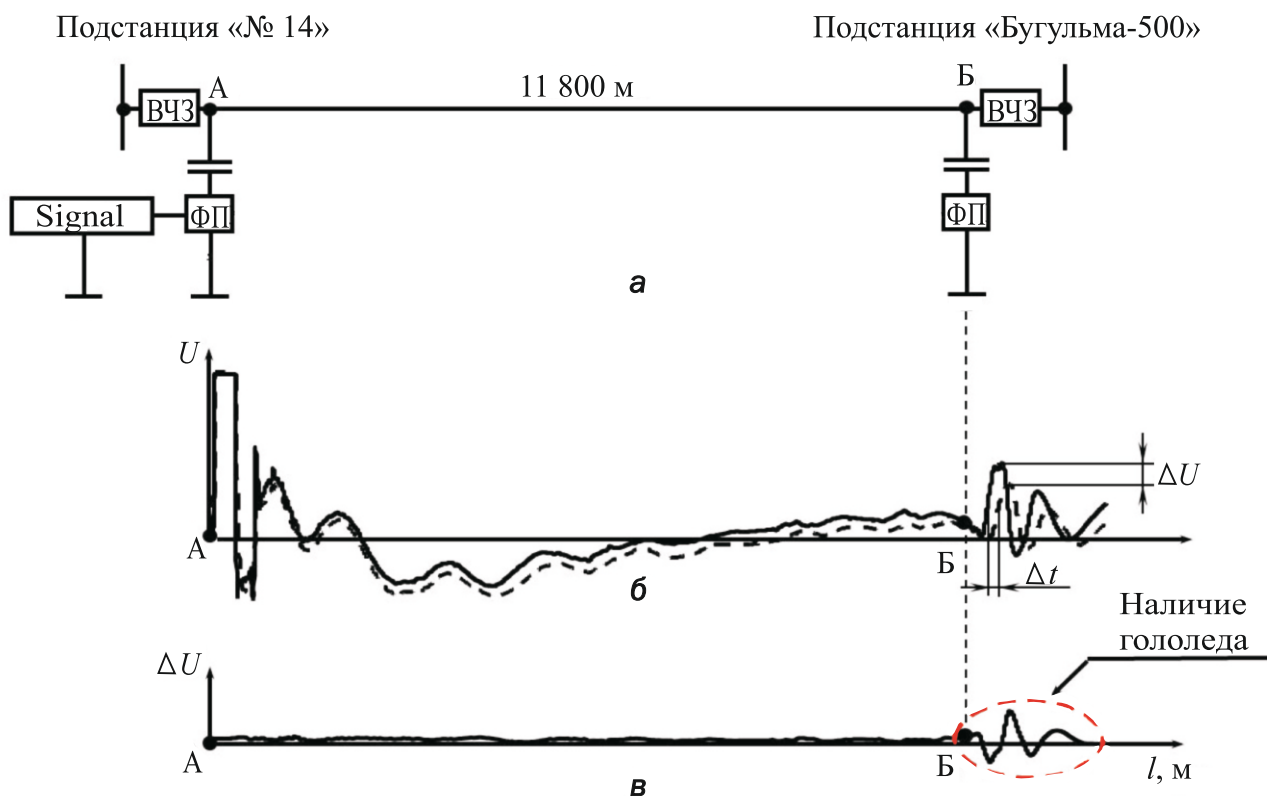
В – выключатель;
ЛР – линейный разъединитель;
ВЧЗ – высокочастотный заградитель;
КС – конденсатор связи;

ФП – фильтр присоединения;
ВК – высокочастотный кабель;
АС – аппаратура связи;
Локатор – локационное устройство

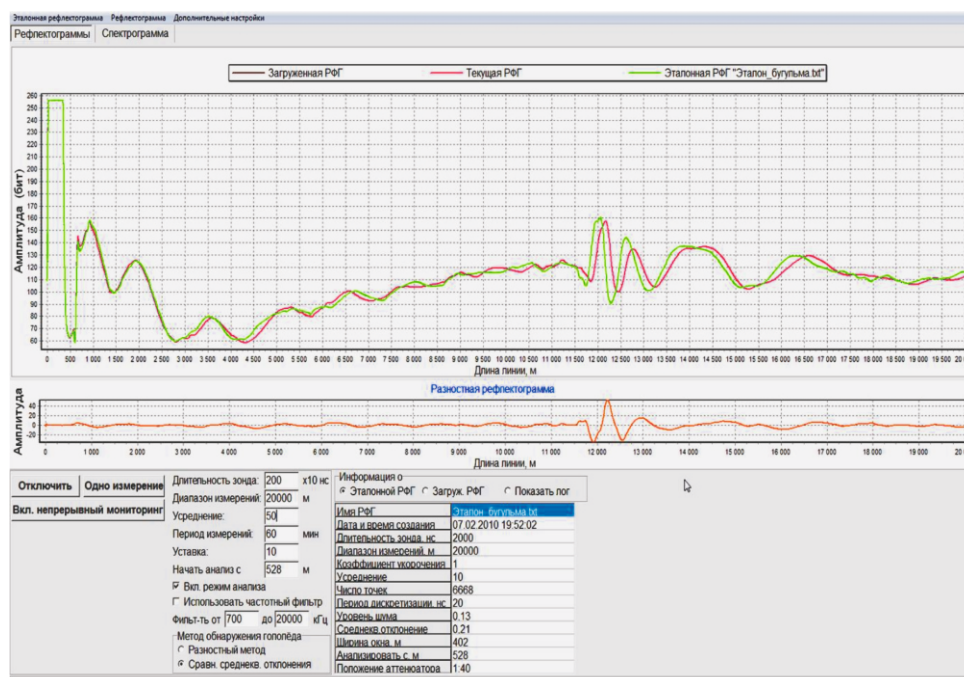


Элементы высокочастотного канала на линии электропередачи

Методика обнаружения гололеда

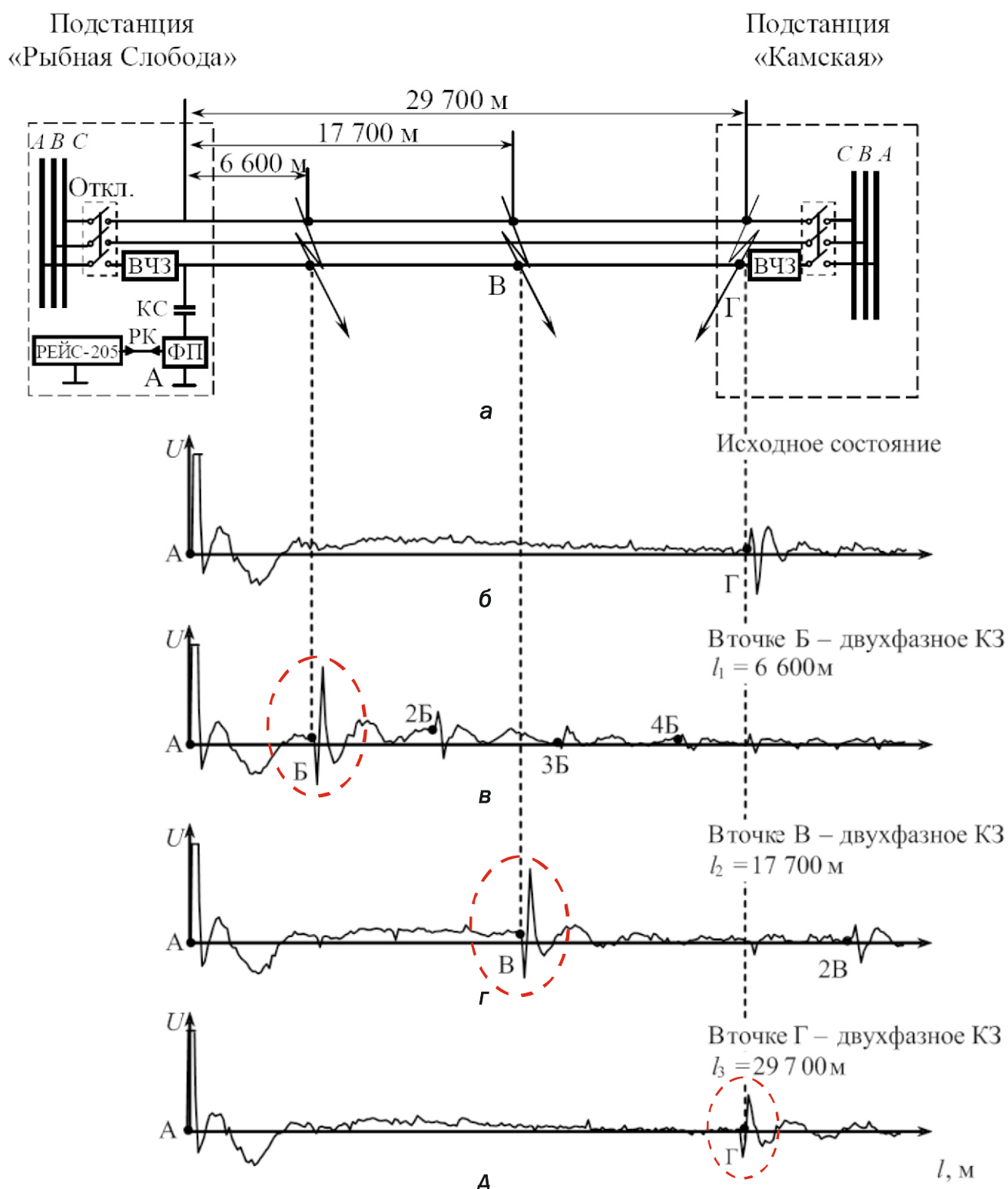


Обнаружение гололеда разностным методом на линии 110 кВ:
 а – схема линии; б – рефлектограммы линии без гололеда (—) и при наличии гололеда (- - -); в – разностная рефлектограмма (—) с сигналом в точке Б, обусловленным гололедной муфтой [2009 год]



На экране рабочего монитора иллюстрируется разностный метод обнаружения гололеда на линии 110 кВ «Подстанция № 14–Бугульма-500»:
 верхний график – рефлектограмма линии без гололеда (—) и при наличии гололеда (—); нижний график – разностная рефлектограмма (—) с сигналом на расстоянии 11 800 м, обусловленным гололедной муфтой

Методика обнаружения повреждений



Обнаружение мест двухфазных коротких замыканий на линии 110 кВ:
 а – схема линии; б – рефлектограмма линии в исходном состоянии;
 в, г, д – рефлектограммы линии при двухфазном коротком замыкании
 на расстояниях (l) 6 600, 17 700, 29 700 м от начала линии соответственно
 (2Б, 3Б, 4Б, 2В – импульсы кратного отражения) [2006 год]

Аппаратура локационного зондирования

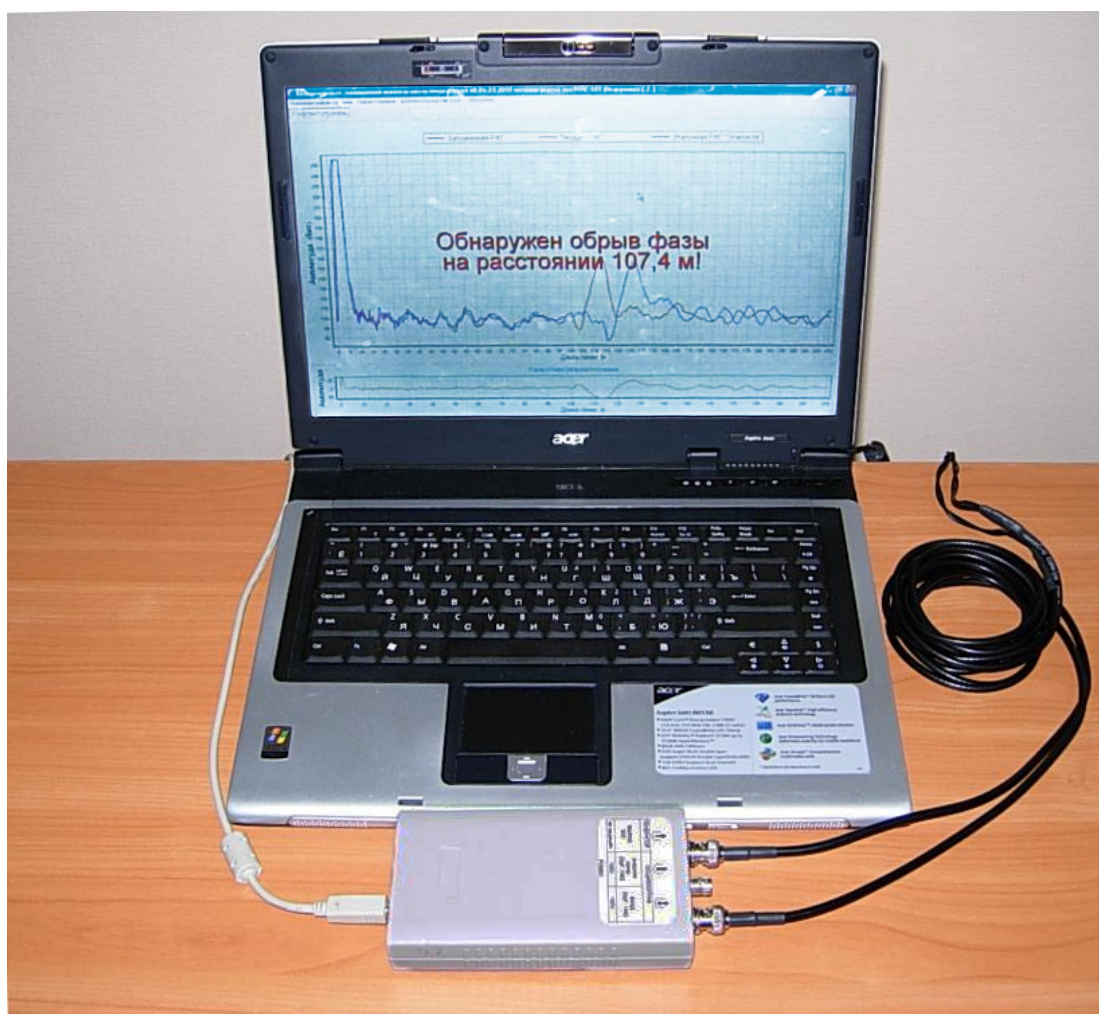


а

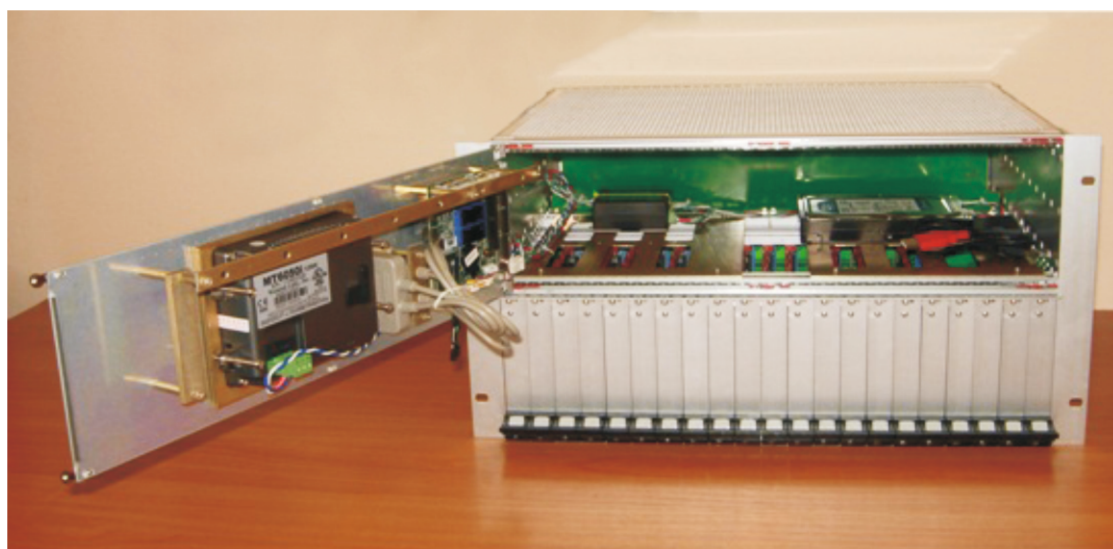


б

Локационный комплекс обнаружения гололеда на 4 канала:
а – настольный вариант; б – настенный вариант,
действующий на подстанции «Кутлу Букаш» с 2011 года,
подключен к выходу стойки ВЧ аппаратуры АВС-3 (слева)

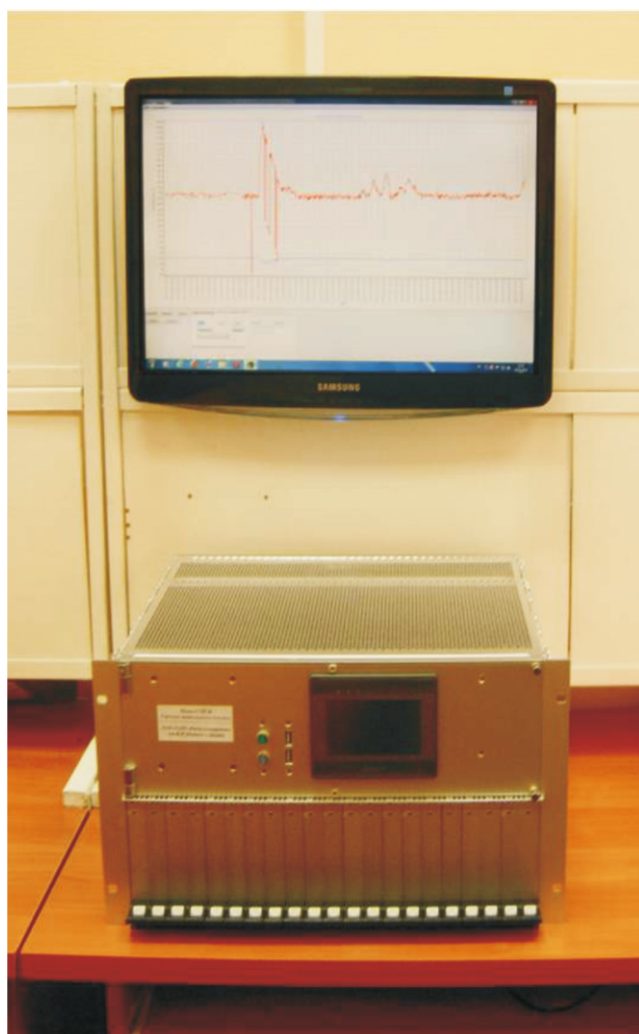


Мобильный вариант локационного устройства обнаружения повреждений на линиях электропередачи [2010 год]



Промышленный образец устройства обнаружения гололеда на 16 каналов с открытой крышкой [2012 год]

Контроль
ЛЭП 110 кВ
«Кутлу Букаш-Камская»
длиной 70 км



Настольный вариант
промышленного образца
локационного устройства
обнаружения гололеда
на 16 каналов [2012 год]



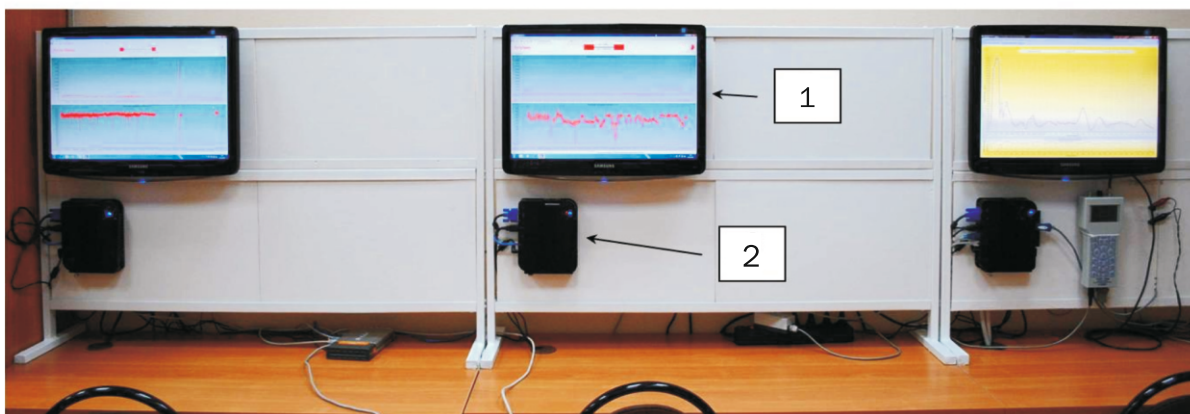
Стойечный вариант
промышленного образца
системы мониторинга гололеда
на 16 каналов [2012 год]

Визуализация результатов локационного зондирования

ЛЭП 110 кВ
«Кутлу Букаш — Рыбная Слобода»
«Кутлу Букаш — Кулуши»

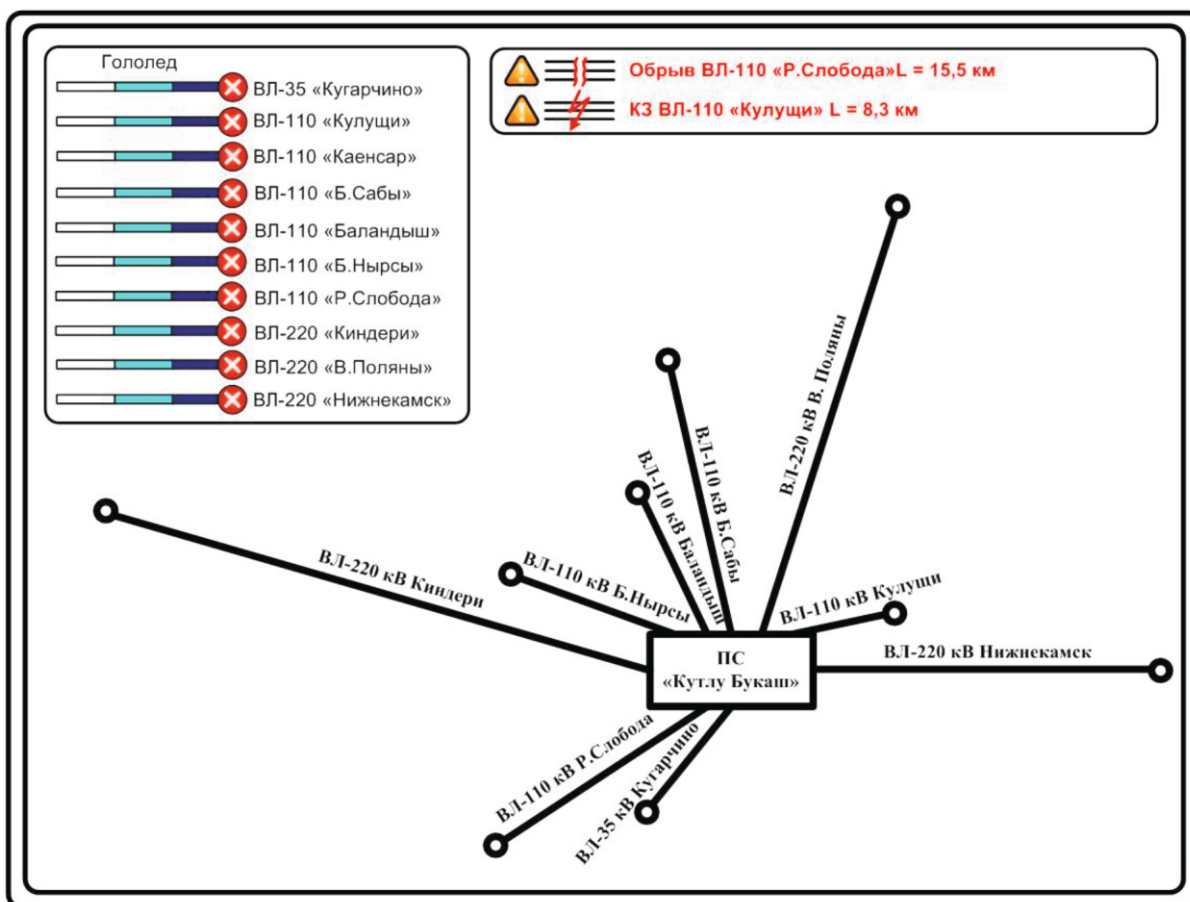
ЛЭП 110 кВ
«ПС № 14 — Бугульма-500»

Гололедный стенд
Казань, КГЭУ



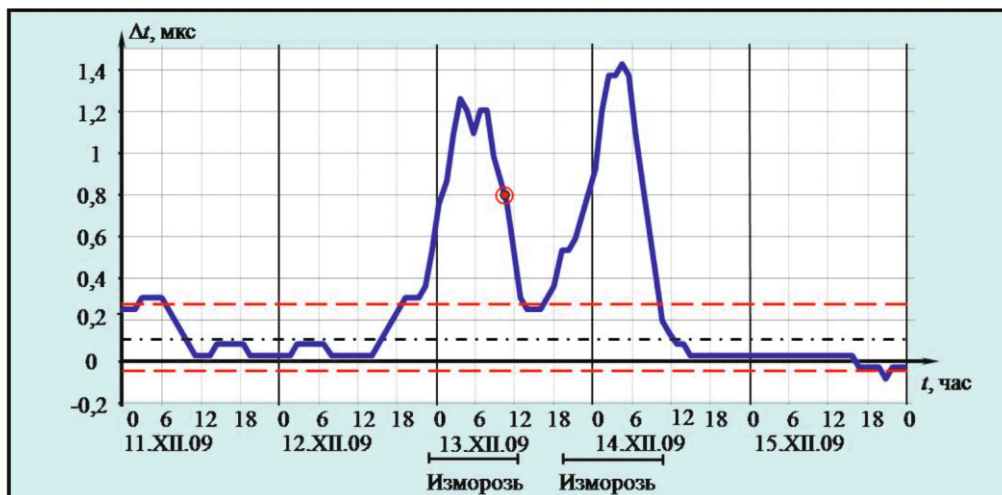
Диспетчерский пункт в КГЭУ для дистанционного
контроля состояния линий электропередачи:

1 – монитор; 2 – промышленный компьютер серии «Неттоп» [2010 год]

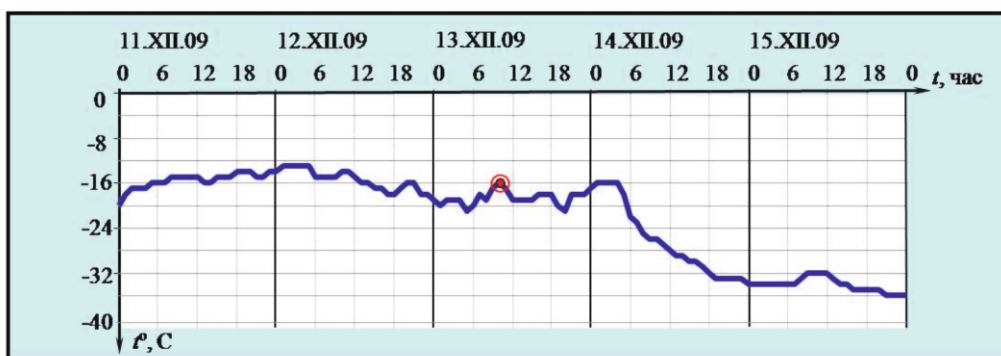


Экран монитора диспетчера подстанции
для контроля гололедных отложений на проводах линий электропередачи

Контроль локационным методом гололедообразования на проводах линий электропередачи



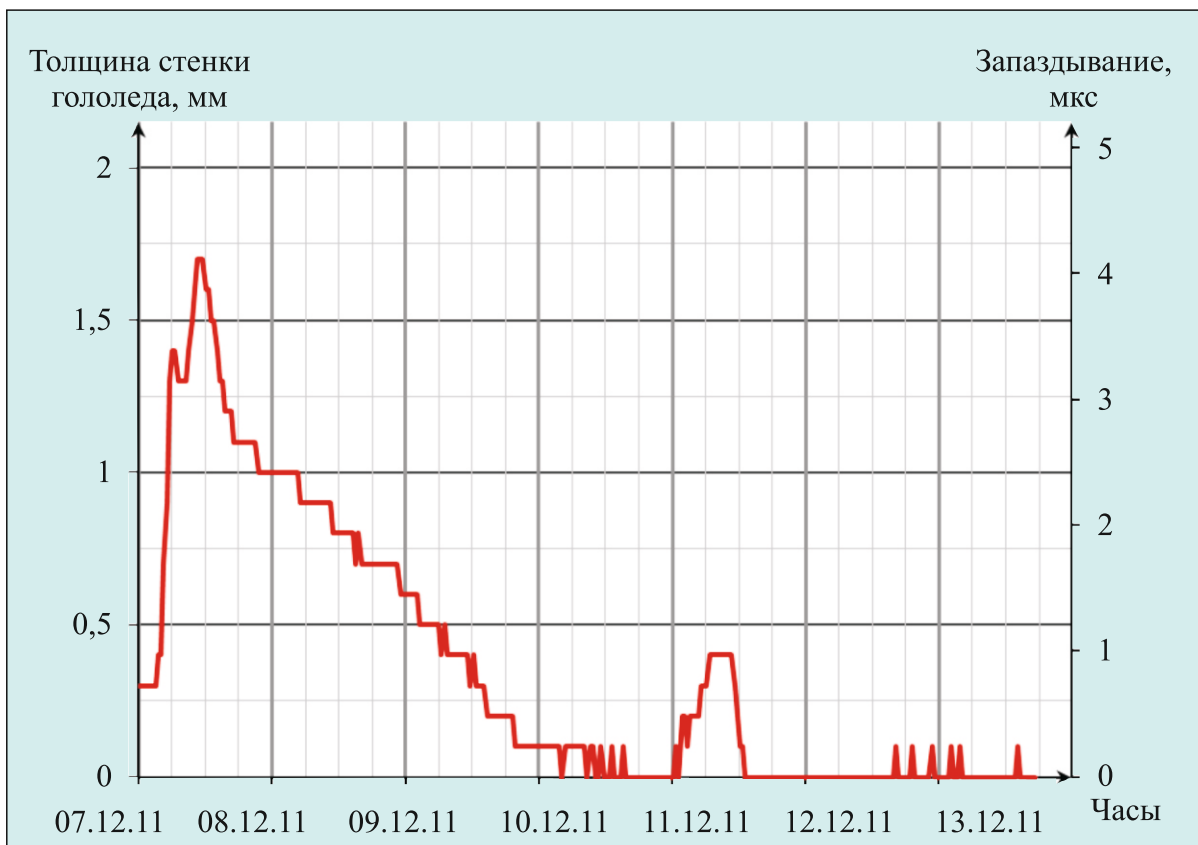
Обнаружение гололедно-изморозевых отложений по увеличению запаздывания отраженного импульса ($\Delta t > 0,3$ мкс) на проводах линии 110 кВ «Кутлу Букаш — Рыбная Слобода» длиной 40 км [11–15 декабря 2009 года]



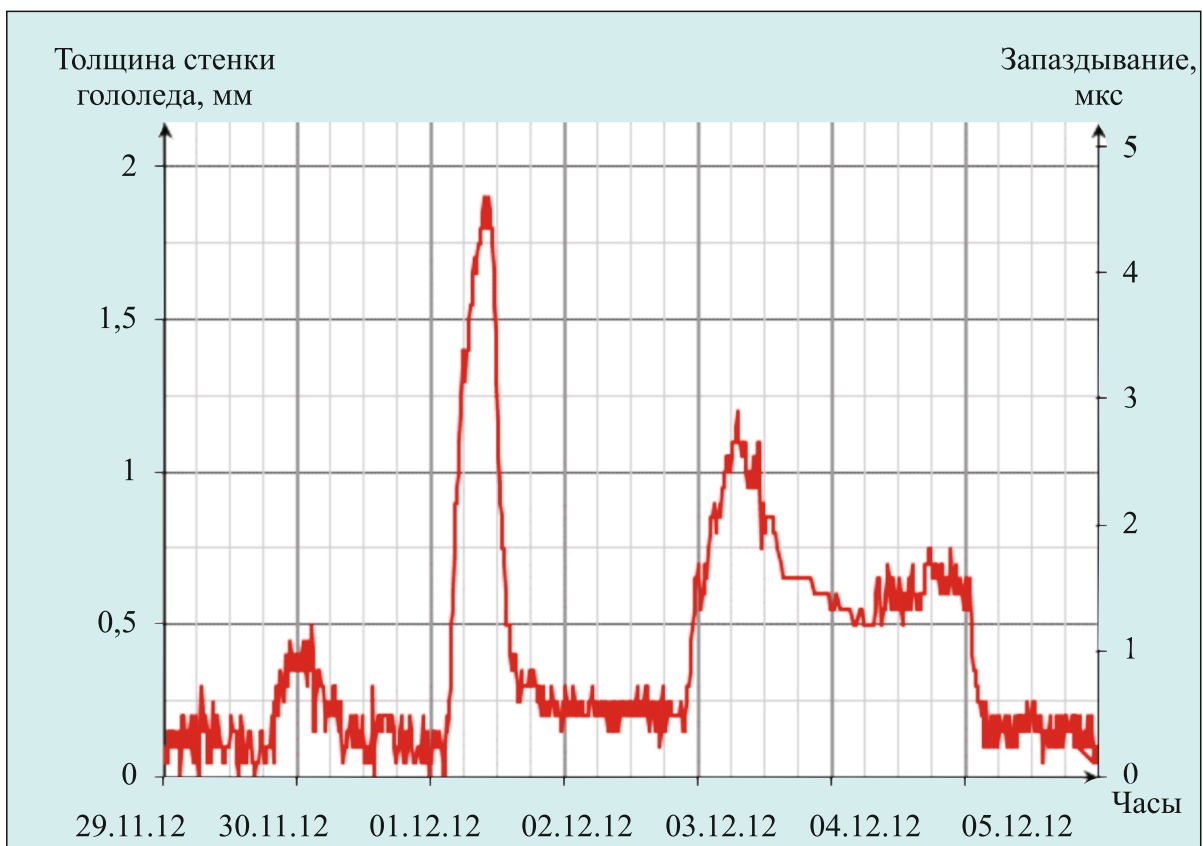
Зависимость температуры окружающей среды около подстанции «Кутлу Букаш» от времени наблюдений [11–15 декабря 2009 года]



Изморозь на проводе 13 декабря 2009 года в 11 часов 22 мин, на графиках момент фотосъемки обозначен красным кружком



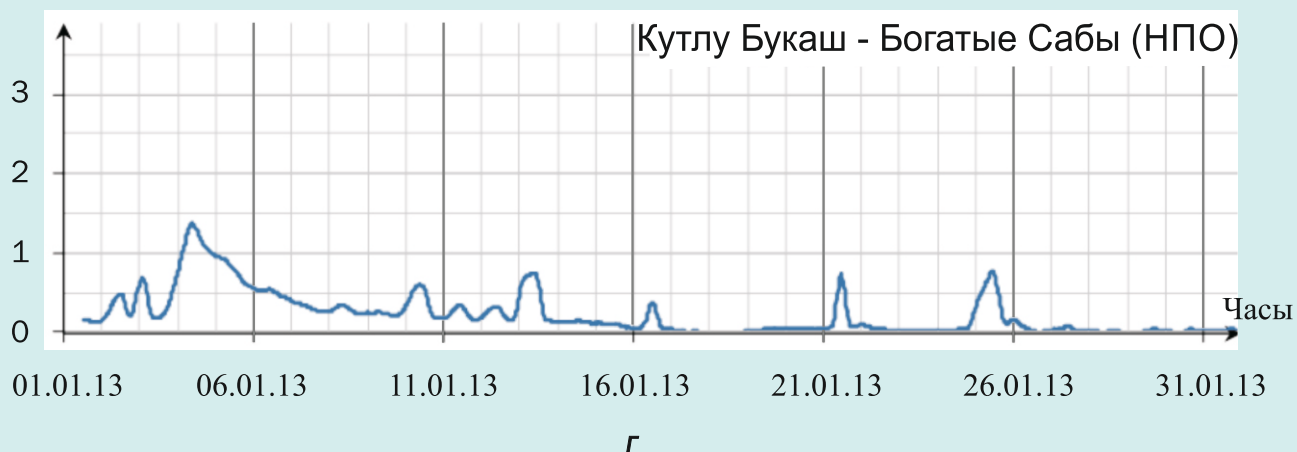
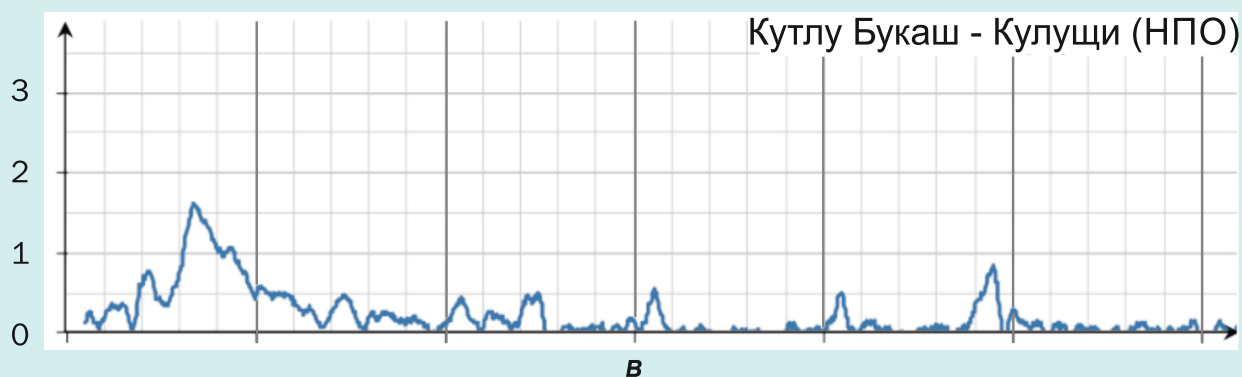
а



б

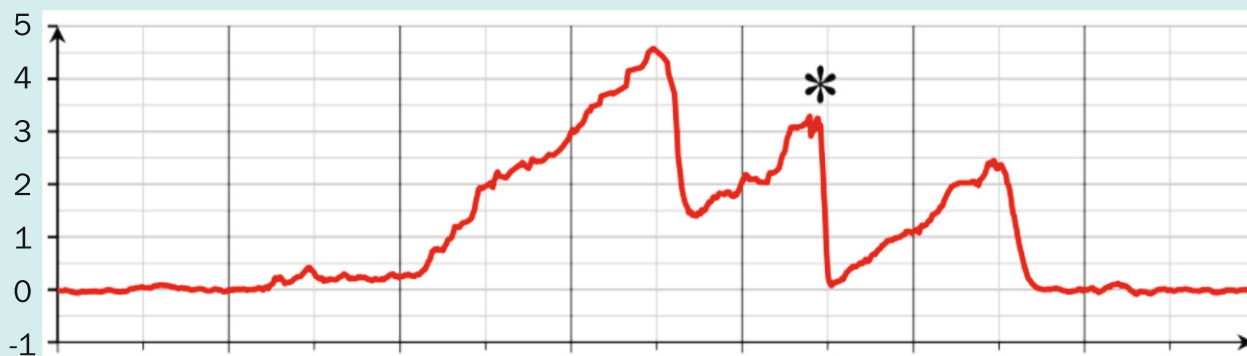
Контроль толщины стенки гололедного образования на
проводах воздушной линии 110 кВ «Кутлу Букаш – Рыбная Слобода»;
а - 7-14 декабря 2011 года; б - 29 ноября – 6 декабря 2012 года

Толщина стенки
гололеда, мм



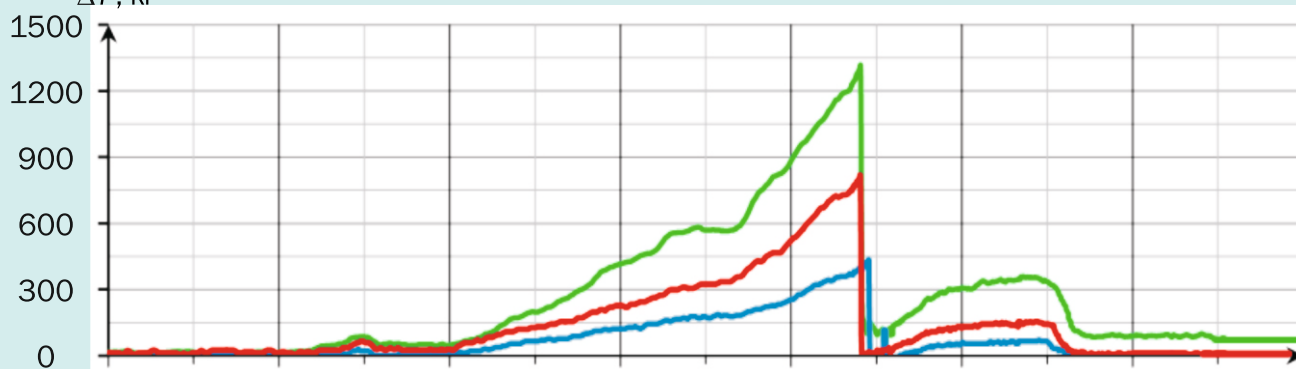
Контроль толщины стенки гололедного образования
на проводах 3-х линий 110 кВ, отходящих с подстанции «Кутлу Букаш»:
а – с помощью локационного комплекса, разработанного в КГЭУ;
б, в, г – с помощью промышленного образца системы мониторинга гололеда,
разработанного в НПО с участием КГЭУ [1 – 31 января 2013 года]

Запаздывание,
мкс



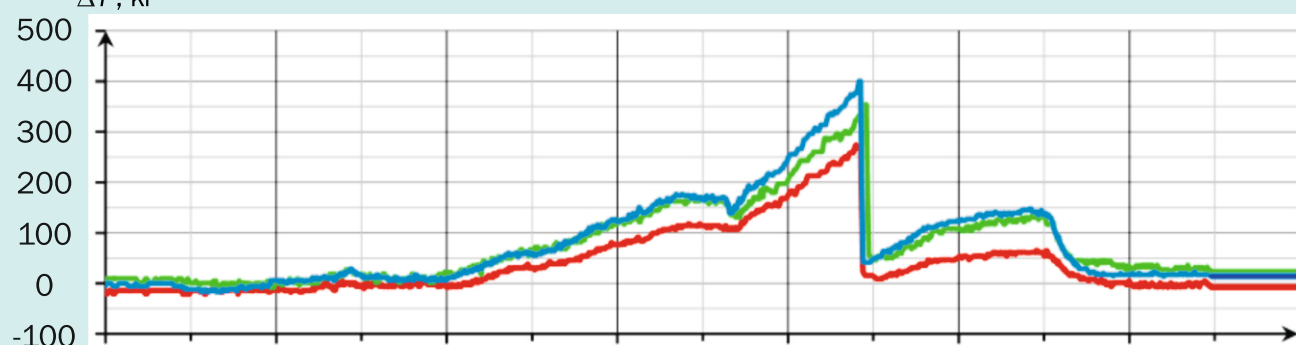
а

ΔP , кг



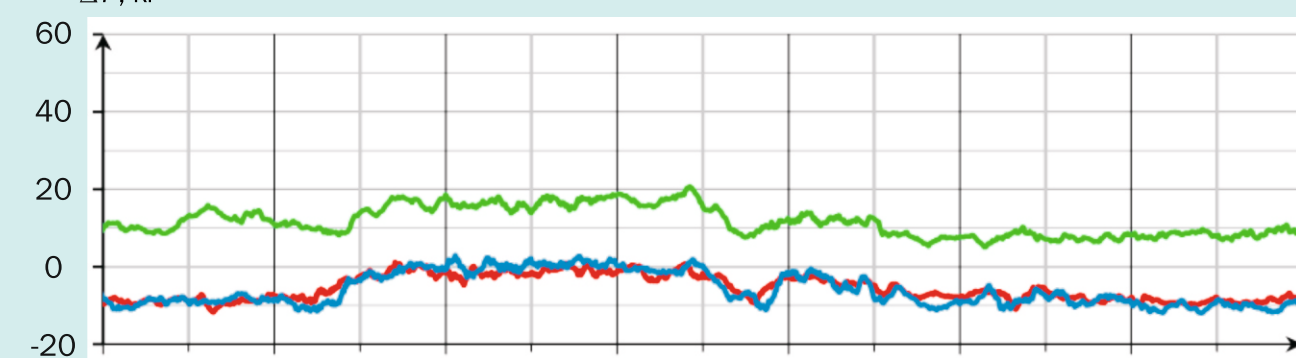
б

ΔP , кг



в

ΔP , кг



г

22.02.13 23.02.13 24.02.13 25.02.13 26.02.13 27.02.13 28.02.13 Часы

Сравнительный контроль образования гололеда и процесса его плавки
на линии 330 кВ «Баксан — Прохладная 2» (Северный Кавказ):

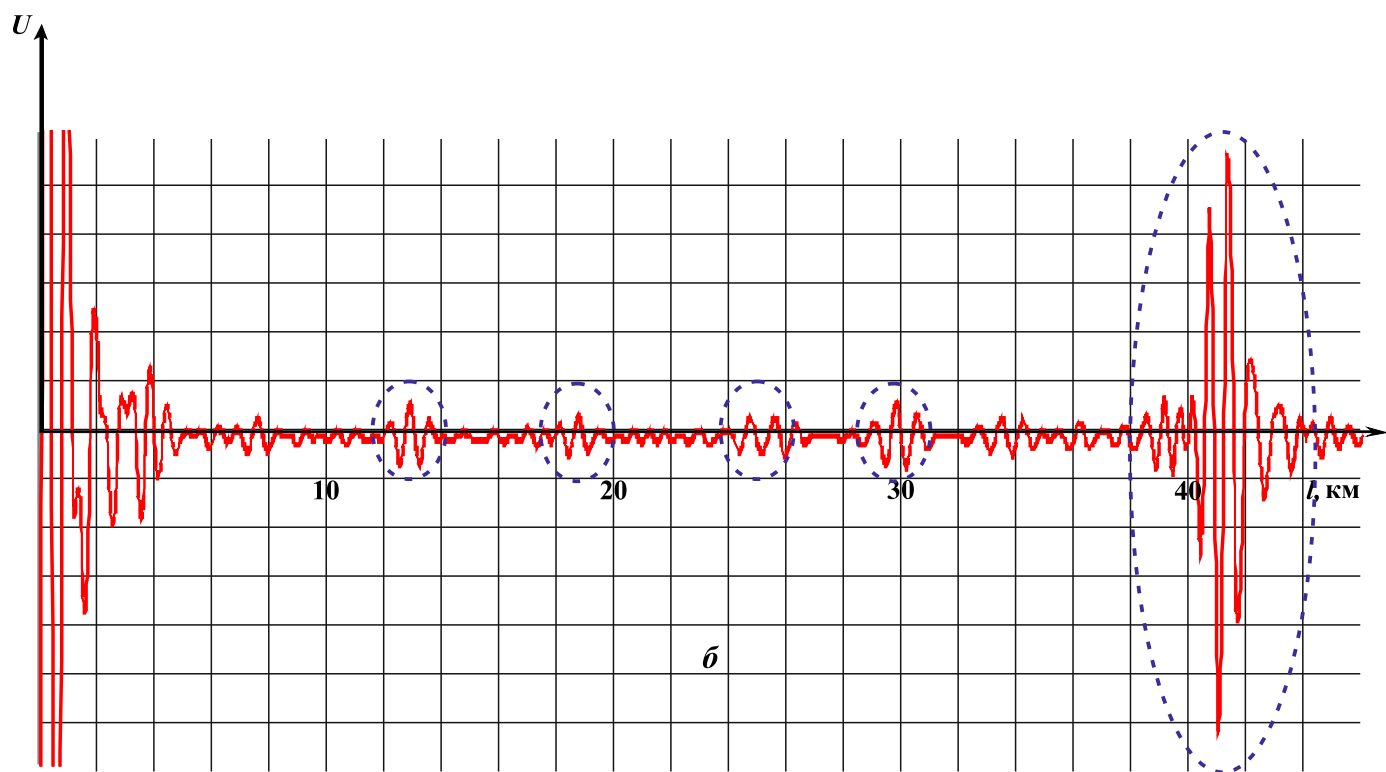
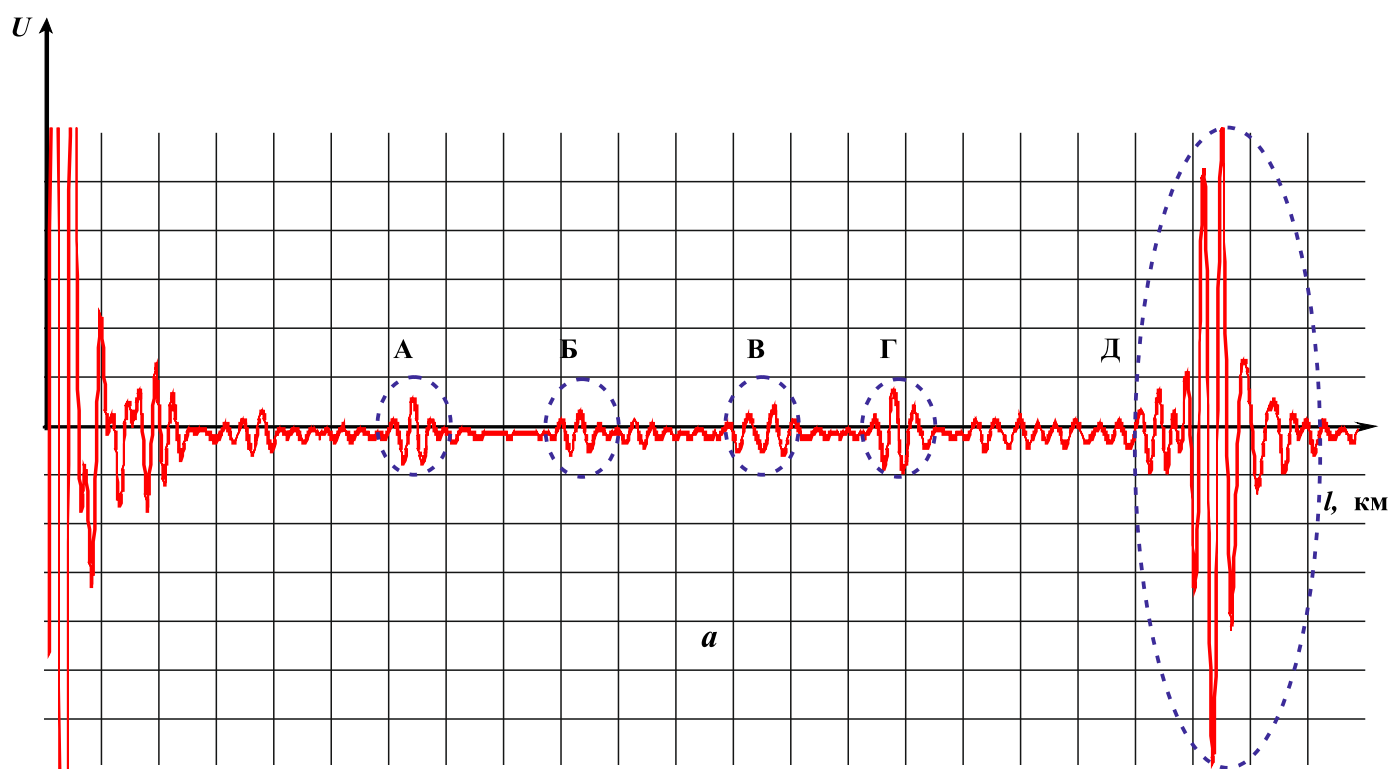
а – по запаздыванию с помощью локационного комплекса КГЭУ, подключенного к фазе А;

б, в, г – по весу (ΔP) с помощью датчиков на опорах № 243 ($l_1 = 1,3$ км),

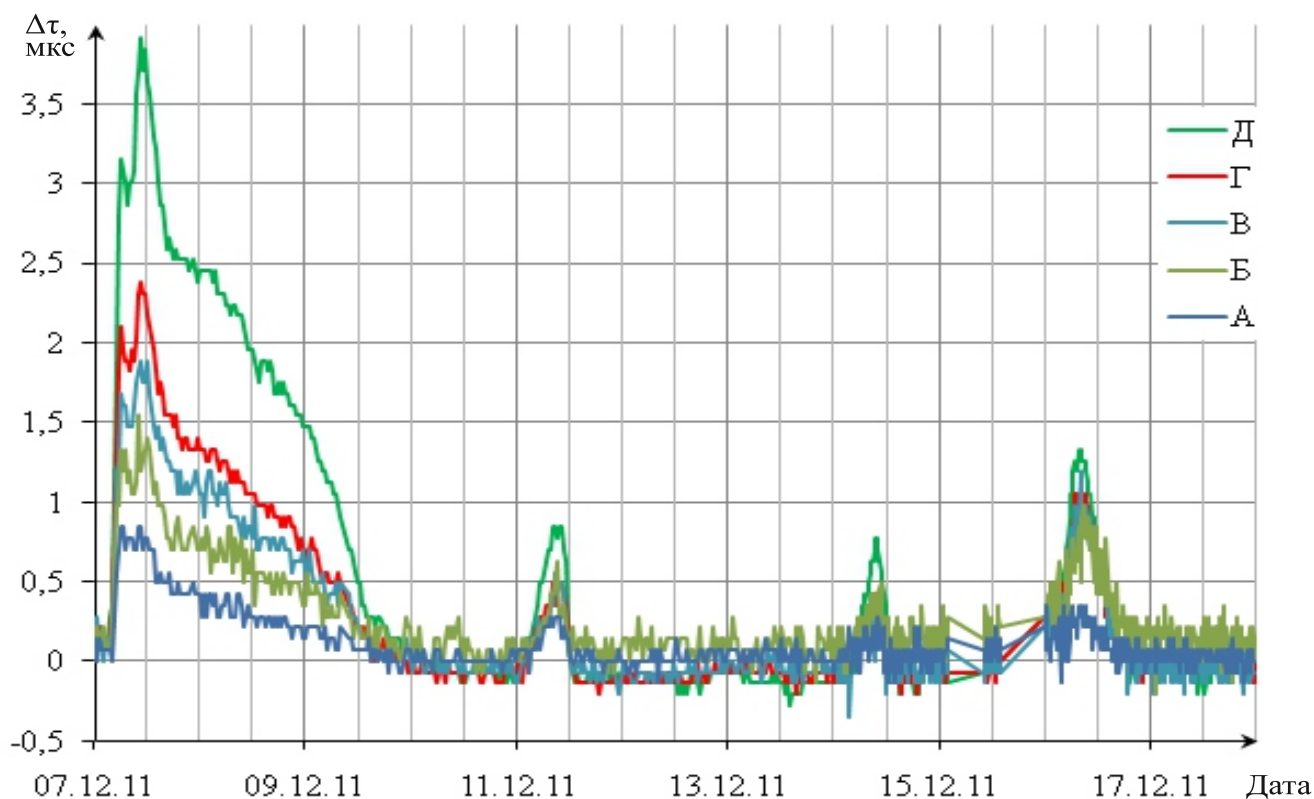
№ 240 ($l_2 = 2$ км), № 134 ($l_3 = 29,3$ км) соответственно;

— фаза А, — фаза В, — фаза С; * — начало плавки гололеда

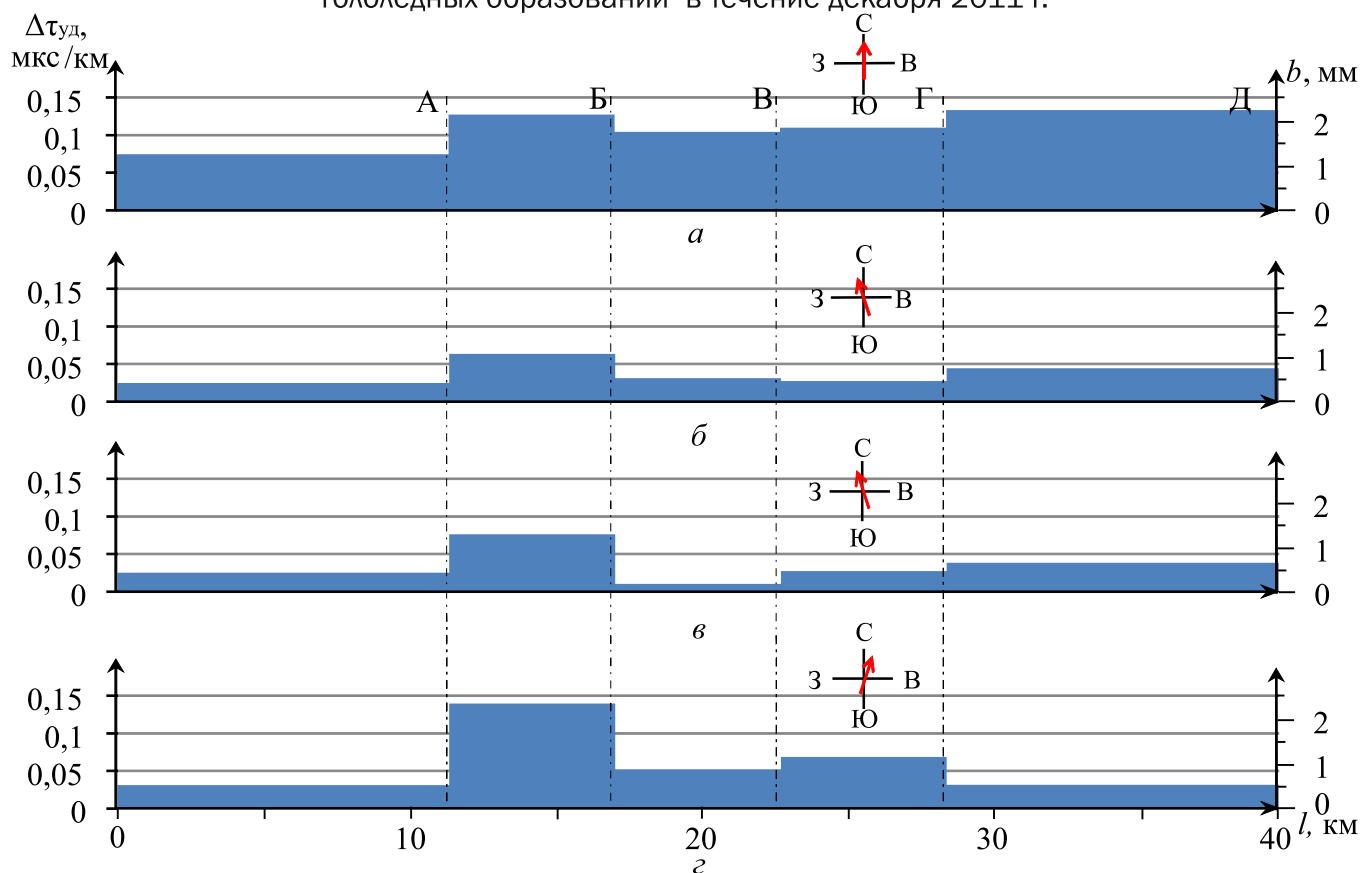
Локализация участков гололедных отложений на проводах линий электропередачи



Устойчивые отражения локационного сигнала от неоднородностей ВЛ-110 кВ
«Кутлу Букаш–Рыбная Слобода»: а–11.12.11, б –16.05.13



Временные изменения запаздываний сигналов, отраженных от различных неоднородностей на ВЛ-110 кВ «Кутлу Букаш–Рыбная Слобода» при появлении гололедных образований в течение декабря 2011 г.

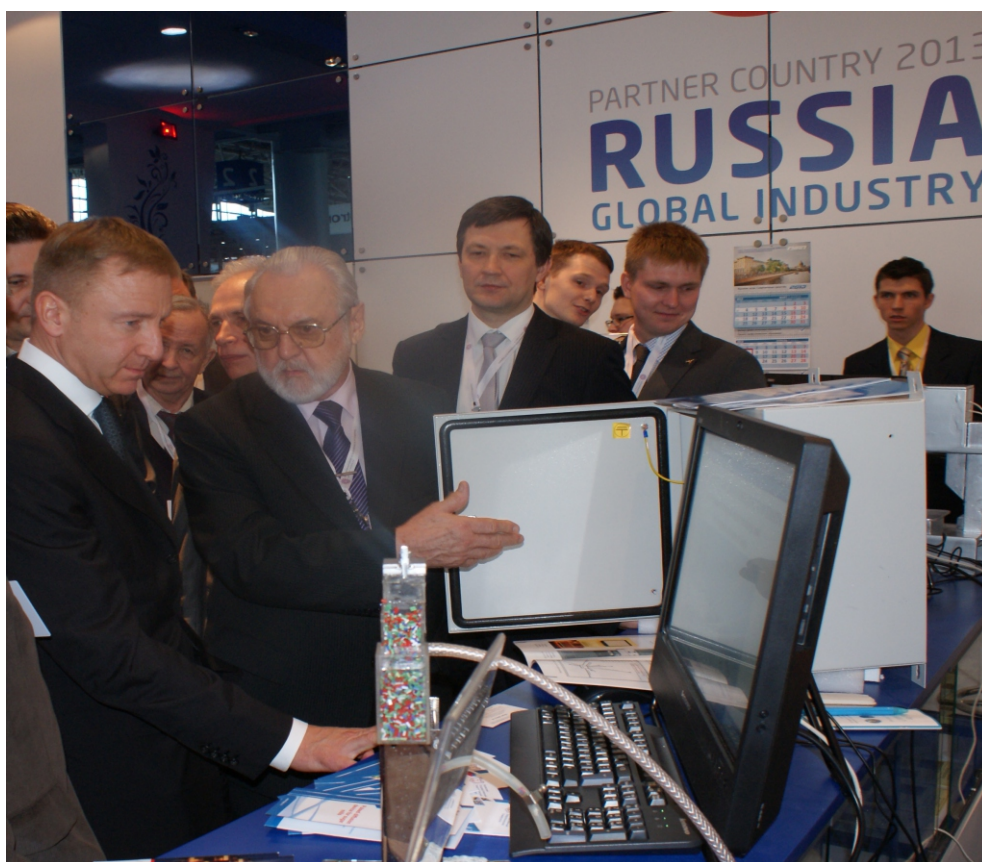


Удельное запаздывание отраженного сигнала $\Delta\tau_{уд}$ и толщина стенки гололеда b на различных участках ВЛ-110 кВ «Кутлу Букаш–Рыбная Слобода» и вектор направления ветров: а – 7 декабря 2011 г.; б – 11 декабря 2011 г.; в – 14 декабря 2011 г.; г – 16 декабря 2011 г.

Аппаратура системы мониторинга гололеда на ЛЭП на промышленных выставках



Аппаратура системы мониторинга гололеда на ЛЭП, разработанная в КГЭУ, экспонировалась на Международной промышленной выставке в Ганновере (Германия) «Hannover Messe-2013»



Научный руководитель проекта профессор Р.Г. Минуллин демонстрирует Министру образования и науки Российской Федерации Д.В. Ливанову систему мониторинга гололеда на ЛЭП на Международной промышленной выставке «Hannover Messe-2013» в Германии, 8-12 апреля 2013 г.



Экспозиция вариантов системы мониторинга гололеда на ЛЭП на выставке при 126 заседании Административного совета СИГРЭ в КГЭУ, 25 сентября 2013 года, слева направо: настенный, стоечный, мобильный, настольный варианты



Научный руководитель проекта профессор Р.Г. Минуллин демонстрирует заместителю председателя Правительства Российской Федерации Д.О. Рогозину систему мониторинга гололеда на ЛЭП на Промышленной выставке в г. Казани, 24 октября 2013 года

Публикации и награды



Публикации научных трудов в российских и зарубежных изданиях по проблеме обнаружения локационным зондированием гололеда и повреждений на проводах линий электропередачи



Патенты на изобретения, свидетельство и дипломы, полученные за исследования по проблеме обнаружения локационным зондированием гололеда и повреждений на проводах линий электропередачи

Список основных публикаций

Монографии

1. Минуллин Р.Г., Закамский Е.В. Обнаружение повреждений в электрических распределительных сетях локационным методом. Казань: ООО «ИЦ Энергопрогресс», 2004. 127с.
2. Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш. Построение электрических распределительных сетей нового поколения. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2005. 192 с.
3. Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш. Локационная диагностика воздушных линий электропередачи. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008. 202 с.
4. Минуллин Р.Г. и др. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 208 с.

Статьи

1. 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.
2. 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.
3. Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш. Диагностика локационным методом состояния электрических кабельных линий при их прожиге. // Электротехника. 2006. № 6. С. 50–58.
4. Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш., Петрушенко Ю.Я., Мезиков А.К., Коровин А.В. и др. Локационный способ обнаружения появления гололеда на проводах линии электропередачи. // Электротехника. 2007. № 12. С. 17–23.
5. Minullin R.G., Fardiev I.Sh., Petrushenko Yu.Ya., Mezikov A.K., Korovin A.V. et al. Location Method for the Detection of the Appearance of Glaze Ice on the Wires of Power Transmission Lines. // Russian Electrical Engineering. New York: Allerton Press, Inc., 2007. Vol. 78 (№ 12). P. 644–648.
6. Минуллин Р.Г., Петрушенко Ю.Я., Фардиев И.Ш., Лукин Э.И., Лукина Г.В. Обнаружение локационным методом однофазных замыканий проводов линий электропередачи на землю. // Электротехника. 2008. № 12. С. 20–28.
7. Minullin R.G., Petrushenko Yu.Ya., Fardiev I.Sh., Lukin E.I., Lukina G.V. Ways to Detect Single - Line - to - Ground Faults in Electricity Transmission Lines using the Location Method. // Russian Electrical Engineering. New York: Allerton Press, Inc., 2008. Vol. 79 (№ 12). P. 655–663.
8. Минуллин Р.Г., Петрушенко Ю.Я., Фардиев И.Ш., Лукин Э.И. Обнаружение локационным методом обрывов и двухфазных коротких замыканий проводов воздушных электролиний. // Электротехника. 2009. № 2. С. 33–44.
9. Minullin R.G., Petrushenko Yu.Ya., Fardiev I.Sh., Lukin E.I. Detection of Disconnection Faults and Double - Phase Short Circuits in the Wires of Overhead Transmission Lines by the Location Method. // Russian Electrical Engineering. New York: Allerton Press, Inc., Vol. 80 (№ 2). 2009. P. 91–101.
10. Минуллин Р.Г. Обнаружение гололеда и повреждений на воздушных линиях электропередачи локационным методом. // Энергетика Татарстана. 2011. № 2 (22). С. 15–17.
11. Минуллин Р.Г., Лукин Э.И. и др. Распознавание сигналов локационного зондирования в высокочастотном тракте линии электропередачи методом спектрального анализа. // Электротехника. 2011. № 7. С. 47–51.

12. Minullin R.G., Lukin E.I. et al. Recognition of Location-probing signals in High-Frequency Path of Power-Transmission Line Using Spectral Analysis. // Russian Electrical Engineering. New York: Allerton Press, Inc., Vol 82 (№ 7). 2011. P. 383–387.
13. Минуллин Р.Г., Лукин Э.И., Шайхутдинов Ф.Т., Халилов Р.Г. Распознавание сигналов локационного зондирования в высокочастотном тракте линии электропередачи методом усреднения. // Электротехника. 2012. № 1. С. 30–35.
14. Minullin R.G., Lukin E.I., Shaikhutdinov F. T., Khalilov R. G. An Averaging Method for Identification of Location Probing Signals in the High-Frequency Channel of Transmission Lines. // Russian Electrical Engineering. New York: Allerton Press, Inc., Vol 83 (№ 1). 2012. P. 30–35.
15. Минуллин Р.Г., Абдуллазянов Э.Ю. Перспективы повышения надежности электрических сетей. // Энергетика Татарстана. 2012. № 4 (28). С. 37–43.
16. 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. С. 44–50.
17. Минуллин Р.Г., Абдуллазянов Э.Ю., Касимов В.А., Яруллин М.Р. Современные методы обнаружения гололеда на проводах воздушных линий электропередачи. // Известия ВУЗ. Проблемы энергетики. 2013. Часть 1. № 7-8. С. 68–78. Часть 2. № 9-10. С. 50–58.
18. Минуллин Р.Г. Локационный метод обнаружения гололеда на проводах воздушных ЛЭП. // Электроэнергия. Передача и распределение. 2014. № 1(22). С. 74–82.
19. Минуллин Р.Г. Локационная диагностика повреждений линий электропередачи. // Энергетика Татарстана. 2014. № 1 (33). С. 32–42.
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. Яруллин М.Р., Минуллин Р.Г. Оптимизация формы импульсных сигналов при локационном зондировании линий электропередачи. // Энергетика Татарстана. 2014. № 2 (34). С. 62–65.

Патенты

1. Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш., Петрушенко Ю.Я., Мезиков А.К., Коровин А.В. и др. Способ обнаружения появления гололеда на проводах линии электропередачи. М. Кл. H02 G7/16. Патент на изобретение № 2287883. Приоритет 15.04.2005. Патентообладатели: авторы.
2. Минуллин Р.Г., Мустафин Р.Г. и др. Устройство для обнаружения гололедных отложений на проводах линии электропередачи. МПК H02 G7/16. Патент № 112524. Приоритет 16.03.2011. Патентообладатели: ОАО «ФСК ЕЭС» и ГОУ ВПО «КГЭУ».
3. Минуллин Р.Г., Лукин Э.И. и др. Устройство для импульсной локации проводов линии электропередачи. МПК H02G 7/16. Патент № 110555. Приоритет 13.05.2011. Патентообладатели: ОАО «ФСК ЕЭС» и ГОУ ВПО «КГЭУ».
4. Минуллин Р.Г., Мустафин Р.Г. Устройство локационного зондирования линии электропередачи. Патент № 126216. Приоритет 23.10.2012. Патентообладатели: ОАО «ФСК ЕЭС» и ФГБОУ ВПО «КГЭУ».
5. Минуллин Р.Г., Касимов В. А., Яруллин М.Р. Устройство для обнаружения сигналов о появлении гололеда на проводах линии электропередачи. Патент № 126875. Приоритет 19.11.2012. Патентообладатели: ОАО «ФСК ЕЭС» и ФГБОУ ВПО «КГЭУ».

Автор и составитель: проф. Р.Г. Минуллин
Корректоры: В.А. Касимов, М.Р. Яруллин
Дизайнер: Ю.Ф. Мухаметшина

ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»
Научно-исследовательская лаборатория
«Локационная диагностика состояния линий электропередачи»
(НИЛ «ЛДС ЛЭП»)