

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

АВТОРЫ:

БУТЫМОВ А. С.,
ФИЛИАЛ
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» –
СИБНИИЭ

ГАЙВОРОНСКИЙ А. С.,
К. Т. Н.
ФИЛИАЛ
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» –
СИБНИИЭ

ПУРТОВ А. В.,
ФИЛИАЛ
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» –
СИБНИИЭ

СОЛОВЬЕВ А. Л.,
ФИЛИАЛ
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» –
СИБНИИЭ

Повреждения во время грозы происходят как вследствие воздействия грозовых перенапряжений, так и в результате непосредственного термического и механического воздействия тока молнии на элементы электротехнических устройств



Технологические сбои в работе воздушных линий (ВЛ) на объектах электрических сетей 220 кВ и выше составляют 30–40% от общего числа технологических нарушений. Аварийные отключения ВЛ связаны с повреждениями проводов, тросов, изоляции, а также внешними воздействиями (гроза, загрязнение и др.). Причина значительной доли отключений (20–40%) остается невыясненной.

В настоящее время контроль за состоянием изоляции и других элементов ВЛ осуществляется путем периодических плановых осмотров 1–2 раза в год. Такой подход не позволяет обнаружить дефекты ВЛ на ранней стадии их развития, вовремя предупредить аварийные отключения ВЛ и установить причину нарушения. Кроме того, современные средства не могут обеспечить необходимую точность определения мест

ИНФОРМАЦИЯ

УДАР МОЛНИИ В ВЛ

Удары молний могут оказывать разрушающее воздействие или вызывать нарушения в работе электроустановок, расположенных в нескольких километрах от фактического места удара молнии. По данным Национального института молниевой безопасности США потери гражданского сектора этой страны от поражения молниями составляют 4–5 млрд долларов ежегодно, из которых около 1 млрд из-за отключений электроэнергии, 125 млн от повреждений компьютерных сетей и др. Кроме того, с 1990 по 2000 годы на АЭС зарегистрировано 346 инцидентов, связанных с грозами. Во время грозы линии электропередачи могут передавать напряжения, вызываемые ударом молнии, на электроустановки, расположенные внутри зданий. При этом возможны следующие варианты:

1. Прямой удар молнии в вершину опоры;
2. Удар в трос;
3. Прорыв молнии через тросовую защиту (т.е. поражение провода).

При прямом ударе молнии в провод ток молнии «растекается» по пораженному проводу в обе стороны.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

СМГР предназначена для получения данных об ударах молнии в линию (количестве ударов и распределении их по линии) и идентификации этих ударов и (или) аварийных отключений ВЛ по дате, времени, месту удара (или КЗ), причине отключения («грозовое – негрозовое»). Область применения данной системы мониторинга – воздушные линии электропередачи напряжением 110 кВ и выше. Принцип действия СМГР основывается на регистрации импульсов перенапряжений, возникающих при ударах молнии в линию или в землю вблизи линии, а также при коротких замыканиях (КЗ) на линии (см. структурную схему на рис. 1). Основные технические характеристики СМГР приведены в таблице 1. Система состоит из двух подсистем: 1) регистраторов грозовых перенапряжений (РГПН-1 и РГПН-2), установленных на концах линии, и 2) клиентского автоматизированного рабочего места (АРМ). Все компоненты комплекса объединены единой сетью передачи данных. РГПН осуществляют синхронную запись сигналов перенапряжений в системе точного времени на базе GPS. Датчики тока, предназначенные для отбора сигналов, устанавливаются в цепь подключения конденсаторов связи к фильтрам присоединения ВЧ-связи (между выводами КС и ФП).

Запись информации о событии (возникновение перенапряжения в линии) производится в автоматическом режиме. Все данные о событиях накапливаются в памяти РГПН и передаются с помощью Интернета на вы-

повреждений. Зона осмотра ВЛ может достигать 10–20 км и более. Это осложняет поиск мест повреждений, особенно в труднодоступных районах. Зачастую поэтому место повреждения ВЛ не удается обнаружить.

Для повышения грозоупорности ВЛ и оценки эффективности новых методов молниезащиты необходима детальная информация о грозовой обстановке и аварийных отключениях ВЛ, вызванных ударами молнии в линию.

В настоящее время регистрируется только факт отключения ВЛ. Информация о грозовой обстановке на трассе ВЛ отсутствует. Причем сведения для конкретной линии, получаемые от метеорологической службы, обладают низкой достоверностью.

Современные методы оценки технического состояния и определения мест повреждений ВЛ основываются на автоматизированных системах контроля, обеспечивающих в режиме реального времени получение оперативной и высокодостоверной информации о состоянии ВЛ. Именно в этом направлении развивается диагностика сетевого подстанционного оборудования в настоящее время.

В данной статье речь пойдет о системе мониторинга грозовых разрядов и определения мест повреждений ВЛ (далее – СМГР), разработанной для ВЛ 220 кВ ЦГЭС–Ш30 Ростовского предприятия магистральных электрических сетей ПМЭС Юга в рамках инновационной программы ОАО «ФСК ЕЭС» «Молниезащита». Экспериментальный образец СМГР успешно прошел стендовые испытания и был введен в опытную эксплуатацию на ВЛ 220 кВ ЦГЭС–Ш30 14 мая 2011 г.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМГР

№ пп	Наименование параметра, характеристики	Значение
1	Динамический диапазон измерения тока на входе датчика, А	100 ÷ 2000
2	Полоса рабочих частот, МГц	0,01 ÷ 10
3	Частота дискретизации сигналов системы ввода, МГц (не менее)	5
4	Погрешность синхронизации измерений подсистем, мкс (не более)	1,0
5	Погрешность определения расстояния до места удара (отключения ВЛ), м (не более)	300

Таблица 1

деленный сервер для последующей обработки и формирования базы данных. Точное место удара молнии и (или) отключения ВЛ определяется по разнице времени поступления сигналов от РГПН-1 и РГПН-2, расположенных на концах ВЛ.

Формирование базы данных о событиях грозовых воздействий и аварийных отключений ВЛ осуществляется в автоматическом режиме на сайте <http://smgr.alwaysdata.net/>. Информация о событиях, содержащаяся в базе данных, представлена в виде двух блоков: «События на ВЛ» и «Внешние события». Блок данных «События на ВЛ» является основным. Он содержит все данные о событиях, имевших место на ВЛ, связанных с разрядами молнии и (или) аварийными отключениями ВЛ. Информация по каждому событию в базе данных состоит из:

- регистрационного номера, даты,
- точного времени наступления события,
- разницы времени прихода сигналов на подстанцию, расстояния от места удара до подстанции,
- номера опоры, ближайшей к месту удара,
- осциллограммы сигналов перенапряжений, зафиксированных РГПН.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА В 2011 ГОДУ

Объектом мониторинга была выбрана ВЛ 220 кВ, соединяющая Центральную ГЭС с подстанцией Ш30. Основные характеристики этой линии (ЦГЭС–Ш30) приведены в таблице 2. Защита ВЛ от прямых ударов молнии обеспечивается грозозащитными тросами. Однако на отдельных участках ВЛ тросы демонтированы. Общая протяженность таких участков составляет 51,9 км. На участке ВЛ протяженностью 3,1 км демонтирован 1 трос.

Экспериментальный образец СМГР был введен в опытную эксплуатацию на ВЛ 220 кВ ЦГЭС–Ш30 14 мая 2011 г. Мониторинг линии проводился с 14.05 по 30.10. 2011 г.

За указанный период система мониторинга зарегистрировала 10 событий на ВЛ 220 кВ ЦГЭС–Ш30, которые сопровождалась аварийными отключениями ВЛ. Сводные данные по этим событиям приведены в таблице 3. Как видно из таблицы, в 7 случаях из 10 ава-

рийные отключения были вызваны ударами молнии в линию; причем все грозовые отключения происходили на участках ВЛ без тросов. В 3 случаях из 10 отключения ВЛ произошли из-за перекрытия изоляции по причинам, не связанным с грозовыми воздействиями.

Каждое из событий, представленных в таблице 3, включает как минимум две последовательные регистрации на разных стадиях процесса аварийного отключения ВЛ. Первая регистрация – это сигналы, вызванные перенапряжением на линии и отключением ВЛ, вторая регистрация – сигналы, вызванные повторным включением линии в цикле автоматического повторного включения (АПВ).

На рис. 2 показаны типичные осциллограммы сигналов на примере события № 3 от 26.06.11. Начальный сигнал (1) обусловлен волной перенапряжения, набегающей с линии. Последующие сигналы (2) – это отключение ВЛ со стороны Центральной ГЭС (ЦГЭС). Сигнал перенапряжения имеет наибольший уровень на поврежденной фазе А. Сигналы от «здоровых» фаз обусловлены распространением волн в междофазовых каналах. Отличие уровней и формы сигналов на Ш30 и ЦГЭС связано с искажением волн в процессе распространения по ли-

нии и возникновением волновых процессов в схемах подстанции. Автоматическое отключение линии происходит через 100–140 мс с момента возникновения перенапряжений и КЗ на линии. Сигналы отключения (2) имеют наибольший уровень со стороны ЦГЭС и наблюдаются на поврежденной фазе в виде 2–3 импульсов с интервалом 10 мс. Предполагается, что это связано с повторными пробоями выключателя при отключении тока КЗ поврежденной фазы.

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ

Все зарегистрированные события были разбиты на группы. Каждой группе соответствовала общая для группы причина, вызвавшая перекрытие изоляции и аварийное отключение ВЛ. Рассматривались два основных типа событий: грозовое отключение при ударе молнии в линию (провод, трос или опору); отключение, вызванное перекрытием изоляции при рабочем напряжении по причинам, не связанным с грозовыми воздействиями. Для анализа использовались информация о событиях, содержащихся в базе данных СМГР, исходные осциллограммы сигналов с регистраторов на ЦГЭС и Ш30 и восстановленные по ним осциллограммы напряжения на конденсаторах связи. Кроме того, учитывались данные системы дистанционной пеленгации (СДП) «Вайсала» и сведения об отключениях ВЛ по данным эксплуатации. В качестве характерных признаков грозовых и негрозовых отключений были приняты параметры импульсов напряжения, регистрируемых на КС (полярность, амплитуда и форма импульса), а также факт совпадения (или несовпадения) времени наступления события по данным СМГР и времени разряда молнии по данным дистанционной пеленга-

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА, ПОЯСНЯЮЩАЯ РАБОТУ СМГР

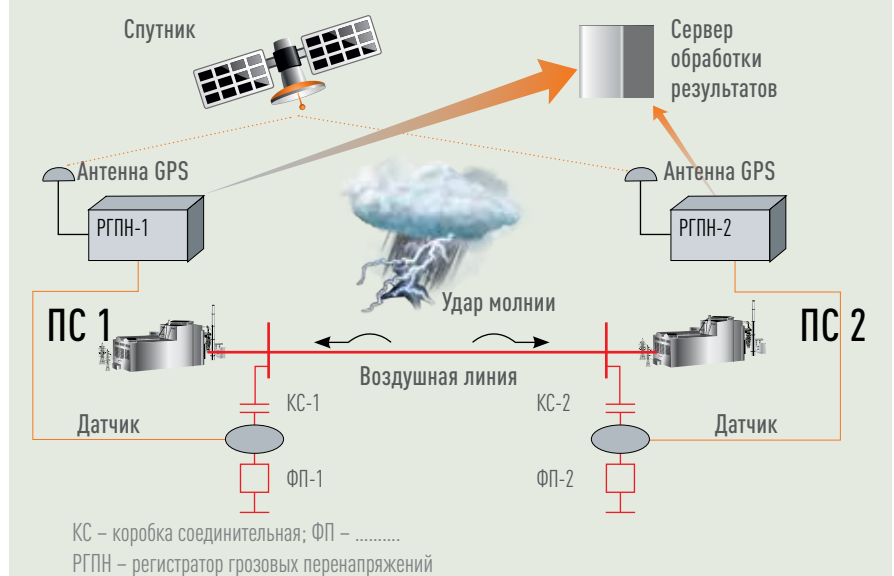


Рис. 1

ции. Типичные осциллограммы напряжений на КС, полученные путем интегрирования токовых сигналов, записанных РГПН-1 и РГПН-2 на ПС, показаны на рис. 3, 4 (напряжение на соединительной коробке КС определялось как отношение интегрального тока к емкости КС).

ГРОЗОВЫЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ

По совокупности признаков события №№ 1–6 и 8 были отнесены к грозовым отключениям. Все они

произошли на участках ВЛ без тросов, где удары молнии в провод наиболее вероятны, причем в крайние фазы. Время наступления события по данным СМГР совпадает со временем регистрации разрядов молнии по данным дистанционной пеленгации.

Характер изменения напряжения на КС также указывает на принадлежность этих событий к грозовым отключениям (см. рис. 3). Как видно из рисунка, импульсы

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЛ 220 КВ ЦГЭС–Ш30

Наименование характеристики	Значение
Протяженность ВЛ, км	141,2
Количество цепей	1
Количество опор	470
Типы промежуточных опор (основные)	ПМТ, П_МОД1, ПСБ220-11, ПБ500-7Н

Таблица 2

СВОДНЫЕ ДАННЫЕ ПО АВАРИЙНЫМ ОТКЛЮЧЕНИЯМ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫМ СМГР НА ВЛ 220 КВ ЦГЭС–ШЗО

№ пп	Дата	Время	Зарегистрированный процесс	Место возникновения на линии			Примечание	
				Расчетное расстояние, км		Опора		
				от ШЗО	от ЦГЭС			
1	10.06.2011	19:50:58	Перенапряжение, отключение ВЛ				Участок без троса	
		19:51:02	Повторное включение со стороны ШЗО	86,20	55,04	269-271		С крайняя
		19:51:06	Повторное включение со стороны ЦГЭС					
2	25.06.2011	17:09:36	Перенапряжение, отключение ВЛ	101,54	39,70	319-320	А крайняя	Участок без троса
		17:09:41	Повторное включение со стороны ШЗО					
3	26.06.2011	22:07:23	Перенапряжение, отключение ВЛ	80,74	60,5	256-257	А крайняя	Участок без троса
		22:07:27	Повторное включение со стороны ШЗО					
4	26.06.2011	22:09:44	Перенапряжение, отключение ВЛ	77,84	63,4	250-251	А крайняя	Участок без троса
		22:09:48	Повторное включение со стороны ШЗО					
5	30.06.2011	15:03:46	Перенапряжение, отключение ВЛ	49,14	92,1	170-171	А средняя	Участок без троса
		17:29:44	Повторное включение со стороны ШЗО					
6	18.08.2011	15:03:46	Перенапряжение, отключение ВЛ	78,66	62,58	251-252	А крайняя	Участок без троса
		15:03:51	Повторное включение со стороны ШЗО					
7	25.08.2011	07:46:52	Перенапряжение, отключение ВЛ	115,63	25,62	91-92	А крайняя	Участок без троса
		07:46:56	Повторное включение со стороны ШЗО					
8	01.09.2011	16:06:13	Перенапряжение, отключение ВЛ	86,32	54,93	270-271	В крайняя	Участок без троса
		16:06:18	Повторное включение со стороны ШЗО					
9	08.09.2011	06:31:17	Перенапряжение, отключение ВЛ	67,07	74,17	224-225	В средняя	Участок без троса
		06:31:22	Повторное включение со стороны ШЗО					
10	26.09.2011	06:56:46	Перенапряжение, отключение ВЛ	92,7	48,5	291-292	В крайняя	Участок с тросом
		06:56:51	Повторное включение со стороны ШЗО					

Таблица 3

РЕГИСТРАЦИЯ СОБЫТИЯ №3 – 26.06.2011 (22:07:23)

Сигналы перенапряжения (1) и отключения ВЛ (2)

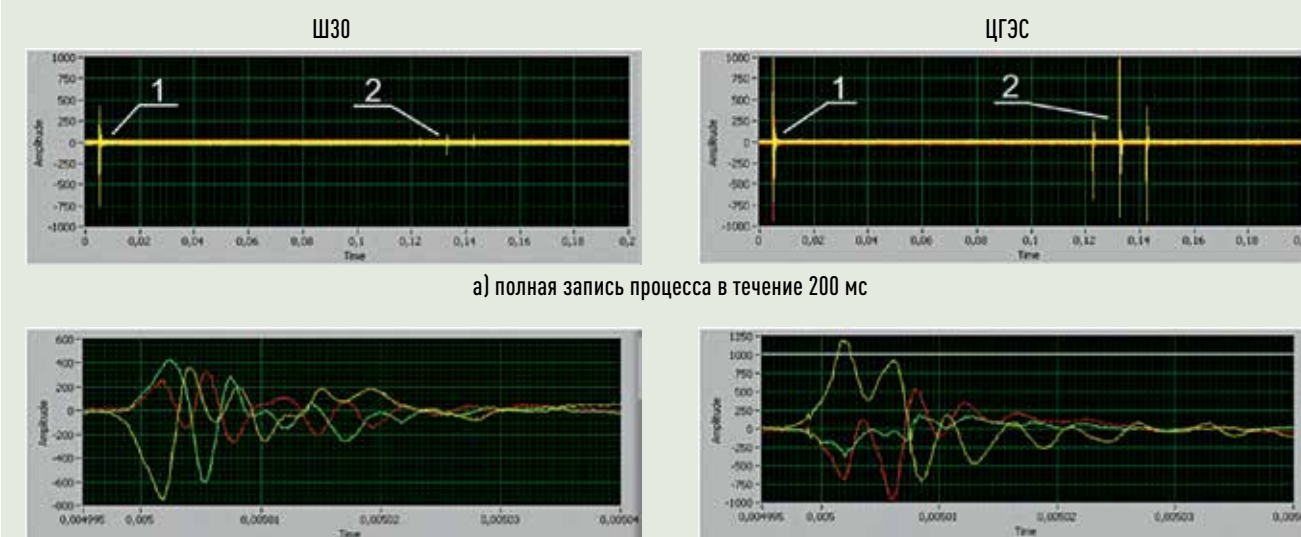


Рис. 2

б) сигналы перенапряжения (1) в развернутом виде (полярность сигнала на ЦГЭС искусственно перевернута)

напряжения на поврежденной фазе имеют отрицательную полярность, а форма импульсов близка к биэкспоненциальной с фронтом 7–12 мкс и длительностью импульса по полуширине 20–60 мкс. Наибольшая амплитуда импульсов напряжения наблюдается на ЦГЭС и составляет 150–380 кВ. Импульсы напряжения на «здоровых» фазах имеют противоположную (положительную) полярность и существенно меньшую амплитуду. Такой тип осциллограмм характерен для грозового отключения.

ОТКЛЮЧЕНИЯ ВЛ ИЗ-ЗА ПЕРЕКРЫТИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПО ИНЫМ ПРИЧИНАМ

По совокупности признаков события №№ 7, 9 и 10 отнесены к негрозовым отключениям. Существенно, что все отключения имели место на участках ВЛ с тросами, где удары молнии в провод или же обратные перекрытия изоляции при ударах молнии в трос (опору) крайне маловероятны. Кроме того, по данным

дистанционной пеленгации на момент этих отключений грозовая обстановка на трассе ВЛ отсутствовала.

Характер изменения напряжения на КС существенно отличается от рассмотренного выше и указывает на принадлежность данных событий именно к негрозовым отключениям (см. рис. 4). Напряжение на поврежденной фазе имеет форму «прямоугольного» импульса амплитудой 60–90 кВ, длительность фронта импульсов составляет 4–14 мкс.

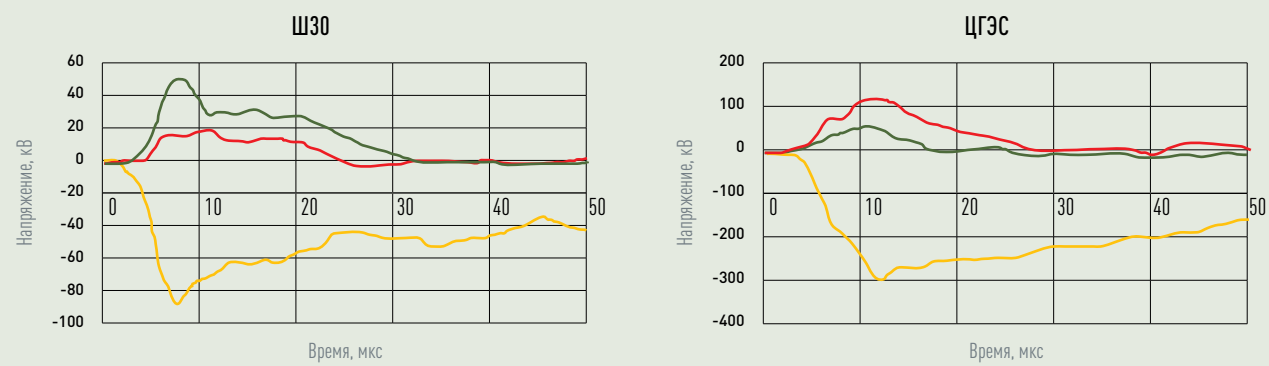
Наиболее вероятной причиной аварийных отключений ВЛ в рассматриваемых событиях, видимо, является загрязнение изоляции. На это указывают ряд признаков, в том числе параметры зарегистрированных сигналов (различная полярность и относительно небольшая амплитуда напряжения на КС), а также известные временные и сезонные признаки, присущие отключениям в результате загрязнения изоляции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ ВЛ

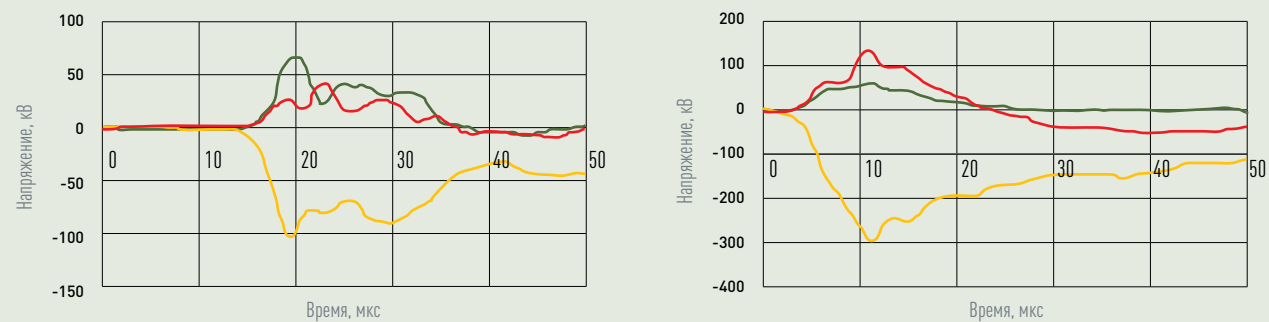
Локализация мест повреждений подразумевает определение расстояния до точки удара молнии и (или) КЗ на линии, а также фазы ВЛ, на которой произошло данное событие. Как уже отмечалось, расстояние до места повреждения определялось в автоматическом режиме по разнице времени прихода сигналов, зарегистрированных на разных концах ВЛ. Погрешность такого определения расстояния до места повреждения – ± 150 м. Номер ближайшей опоры (пролета) ВЛ к расчетному месту повреждения определялся на основе эксплуатационной документации – по ведомости расстановки опор.

Полученные таким образом оценки расстояния до места повреждения по показаниям СМГР и результатам осмотров ВЛ совпадали с точностью до 1 опоры, разница расстояний составляла от 17 до 470 м. Несколько большая, нежели прогнозировалась, погрешность определения расстоя-

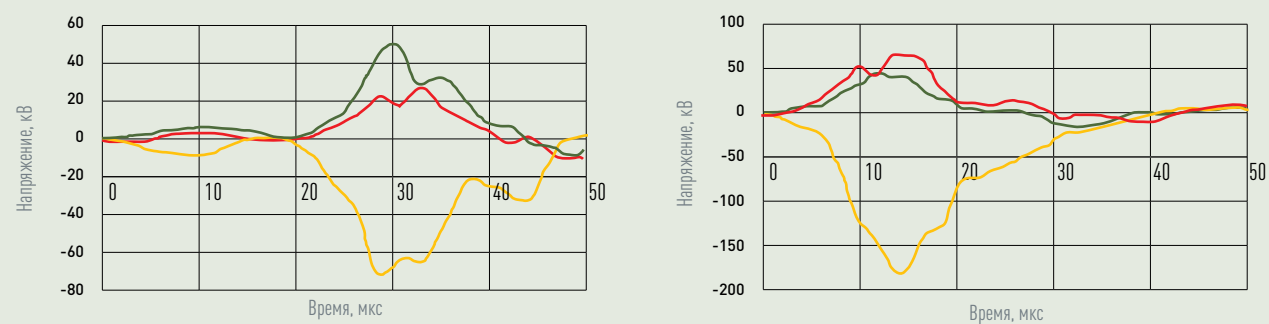
ОСЦИЛЛОГРАММЫ НАПРЯЖЕНИЯ НА СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ КОРОБКЕ (КС) ПРИ НАБЕГАНИИ ГРОЗОВЫХ ВОЛН С ЛИНИИ



Событие №2 – 25.06.2011



Событие №3 – 26.06.2011

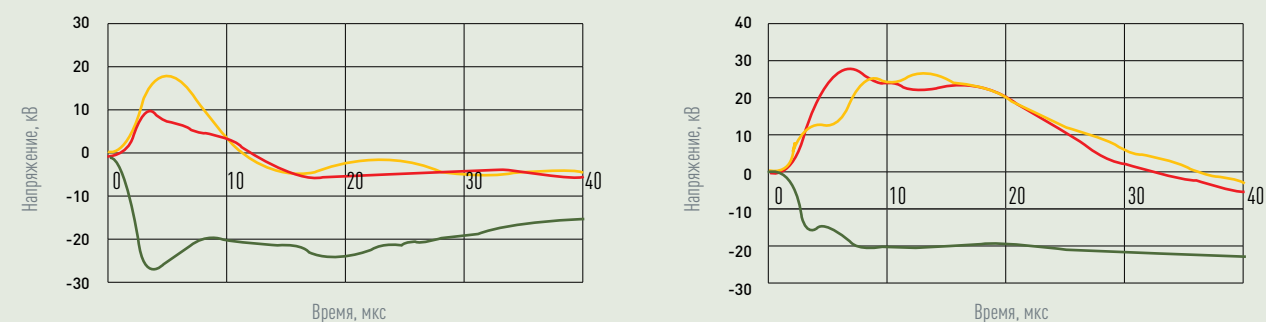


Событие №4 – 26.06.2011

ОСЦИЛЛОГРАММЫ НАПРЯЖЕНИЯ НА КС ПРИ НАБЕГАНИИ ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ, ВЫЗВАННОЙ КЗ НА ЛИНИИ



Событие №7 – 25.08.2011



Событие №9 – 08.09.2011

ния до места повреждения объясняется дополнительной систематической погрешностью в определении времени прихода сигналов на ПС из-за искажения фронта импульса. Кроме того, необходимо учитывать, что в случае грозовых воздействий СМГР фиксирует расстояние до точки удара молнии, которое может существенно отличаться от места КЗ на линии. Например, при ударе молнии в середину пролета перекрытие изоляции происходит не в точке удара, а на ближайшей опоре (или двух опорах) пролета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана система мониторинга грозовых разрядов и определения мест повреждений ВЛ на основе регистрации импульсов перенапряжений, возникающих при ударах молнии в линию, близких ударах в землю, а также при коротких замыканиях на линии. Проведена опытно-промышленная эксплуатация экспериментального образца СМГР на ВЛ 220 кВ ЦГЭС–ШЗО в период грозового сезона 2011 г.

2. Результаты опытной эксплуатации подтверждают в целом работоспособность системы мониторинга грозовых разрядов. СМГР обеспечивает надежную идентификацию грозовых воздействий и аварийных отключений ВЛ по дате, времени, месту удара молнии или КЗ на линии, причине отключения (грозовое – негрозовое). Точность определения расстояния до места удара и (или) КЗ на линии – не хуже 300 м (т. е. один пролет ВЛ).