



ЭЛЕКТРО ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИЯ



РОССЕТИ

**Технически это возможно!
Достижения компаний
в рамках Года инженера**

**Рационализаторская
деятельность
на предприятиях
электросетевого
комплекса**



16+

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ
СПЕЦВЫПУСК

№ 3, декабрь 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ГОД ИНЖЕНЕРА

- 2 Кадры решают все! ПАО «МОЭСК»
- 7 Технически это возможно. ПАО «МРСК Центра и Приволжья»

РАЦИОНАЛИЗАТОРСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

- 10 Организация рационализаторской деятельности в ПАО «Россети»
- 13 Возрожденное рационализаторское движение ПАО «МРСК Центра и Приволжья»
- 17 Рационализаторская деятельность. Опыт и достижения. ПАО «МРСК Волги»
- 19 Ремонтная программа. Экономия в действии. ПАО «МРСК Северо-Запада»

ТЕХСОВЕТ

- 22 Пути снижения аварийности в распределительных сетях 0,4–10 кВ ПАО «Кубаньэнерго»
- 25 Технические требования к комплекту аппаратуры для измерения значений наведенных напряжений на ВЛ. ПАО «ТРК»
- 30 Проблемы грозоупорности линий электропередачи и подстанций в районах Крайнего Севера. АО «Тюменьэнерго»

РАЦПРЕДЛОЖЕНИЯ

- 38 Применение индикаторов прохождения тока короткого замыкания и тока однофазного замыкания на землю в филиале ПАО «Ленэнерго» «Кабельная сеть»
- 40 Электромагнитный компенсатор 3-й гармоники электрической сети. ПАО «МРСК Юга»

ОБОРУДОВАНИЕ

- 42 Программный комплекс РЭТП 6-10. ПАО «Кубаньэнерго»
- 47 Статические дугогасящие агрегаты с конденсаторным управлением. ПАО «МРСК Волги»

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗОЛЯЦИИ

- 50 Online система мониторинга изоляции ВЛ в районах с повышенным загрязнением атмосферы. ПАО «Ленэнерго»
- 54 О проведении испытаний по определению влагосодержания в твердой изоляции трансформаторного оборудования. Филиал ПАО «ФСК ЕЭС» — МЭС Северо-Запада

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- 58 Снижение нагрузки на окружающую среду — собственными силами. ПАО «МРСК Северо-Запада»

МИРОВОЙ ОПЫТ

- 60 Потребитель информирован — диспетчер спокоен. Филиал ОАО «МРСК Урала» — «Свердловэнерго»

Ежеквартальный спецвыпуск журнала
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение»
№ 3, декабрь 2016 г.
111123, Москва, Электродный проезд, д. 6, оф. 14
Тел./факс: +7 (495) 645-12-41.
E-mail: info@eepir.ru
www.eepir.ru, www.tdwr.ru

Главный редактор Екатерина Гусева
Заместитель главного редактора Наталья Салтыкова
Главный научный редактор Михаил Линт, к.т.н.
Ведущий эксперт Сергей Шумахер, Заслуженный энергетик РФ
Директор по стратегическим проектам Александр Павлов
Дизайн и верстка Евгения Ханова
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.
Перепечатка или копирование материалов, опубликованных
в журнале, допускаются только с письменного разрешения редакции.

Проблемы грозоупорности линий электропередачи и подстанций в районах Крайнего Севера

В статье рассмотрена грозоупорность воздушных ЛЭП (ВЛ) и подстанций (ПС) 110 кВ АО «Тюменьэнерго» в районах Крайнего Севера. Для ВЛ рассмотрено влияние свойств грунта и рельефа местности, для ПС — уязвимость продольной (витковой) изоляции обмоток силовых трансформаторов. Если для ВЛ найден надежный, хотя и затратный, способ повышения их грозоупорности, то для защиты подстанционного оборудования от набегающих с ВЛ волн грозовых перенапряжений делаются только первые шаги. Вариант ее конструктивного воплощения представлен описанием частотно-зависимого устройства (ЧЗУ).

ГРОЗОУПОРНОСТЬ ВЛ

На данный момент одна из главных причин выхода из строя оборудования объектов энергетики — это импульсные и высокочастотные перенапряжения, которые возникают во время удара молний в воздушные линии (ВЛ) электропередачи [1]. Эта проблема особо актуальна для регионов с грунтами высокого удельного сопротивления: вечной мерзлотой, реликтовыми песчаными и скальными горизонтами. В таких условиях ВЛ негрозоупорны и, несмотря на краткосрочность грозового периода, в ряде случаев имеют более двух десятков грозовых отключений на 100 км в год [2].

Низкая грозоупорность линий, связанная с высоким удельным сопротивлением грунта, подтверждается данными филиала АО «НТЦ ФСК ЕЭС» — СибНИИЭ, полученными при исследованиях надежности

воздушных электросетей АО «Тюменьэнерго» [3]. По этой причине при грозах имеют место отключения ВЛ, вызванные «обратными» перекрытиями изоляции ВЛ (с опоры на провод) под действием перенапряжений прямого удара молнии (ПУМ) в трос или опору из-за высокого сопротивления заземления опоры в цепи стекания тока молнии в землю. При этом зачастую отключаются сразу обе цепи двухцепных ВЛ. Число таких отключений, как правило, ежегодно превышает 50% общего числа грозовых отключений (в таблице 1 приведены сведения по одному из грозовых сезонов для электрических сетей двух филиалов АО «Тюменьэнерго» в районах Крайнего Севера: Когалымские электрические сети и Ноябрьские электрические сети) и сопровождается в большинстве случаев успешным автоматическим повторным включением (УАПВ) линии.



Валерий БРЫКИН,
начальник сектора
диагностики
Департамента
эксплуатации
и ремонта АО
«Тюменьэнерго»



Виталий
ЛОПАТИН,
начальник
Службы изоляции
и защиты от пере-
напряжений
филиала Ноябрь-
ские электрические
сети АО «Тюмень-
энерго»



Николай ИЛЮШОВ,
к.т.н., доцент
кафедры
«Безопасность
труда» НГТУ

Табл. 1. Число грозových отключений ВЛ 110 кВ в районах Крайнего Севера

Регион	Филиал АО «Тюменьэнерго»	Протяженность ВЛ, км	Общее число грозových отключений	Число двухцепных отключений, (%)	Удельное число отключений на 100 км
ХМАО-Югра	Когалымские электрические сети	1564	36	32 (89)	2,1
ЯНАО	Ноябрьские электрические сети	1648	56	33 (59)	3,4

Для подстанций главная опасность состоит в том, что набегающие с ВЛ грозовые волны, возникшие при обратных перекрытиях линейной изоляции или при близких разрядах молнии к подстанциям, не сглаживаются по крутизне вследствие слабого фактора затухания и деформации в условиях грунтов низкой проводимости, и витковая изоляция СТ пробивается под действием градиентных перенапряжений. Одной из причин выхода из строя трансформаторного оборудования является образование межвитковых коротких замыканий как следствие проявления данных перенапряжений.

Конечно, некоторая доля выхода из строя трансформаторного оборудования приходится на случаи пробоев витковой изоляции обмоток вследствие снижения степени полимеризации бумажной изоляции в процессе ее старения, а также иногда и увлажнения, но основной причиной витковых замыканий все же является грозовая активность.

В настоящей статье приведены результаты анализа грозоупорности воздушных линий электропередачи в филиале АО «Тюменьэнерго» Ноябрьские электрические сети (далее — НЭС). НЭС включают четыре района электросетей: Холмогорский, Муравленковский, Пурпейский, Вынгапуровский. На балансе филиала находятся 56 подстанций, в том числе одна — напряжением 35 кВ; 55 — напряжением 110 кВ; а также 3 переключательных пункта 110 кВ.

Основные потребители электрической энергии НЭС: ОАО «Газпромнефть-ННГ», ОАО «Роснефть-Пурнефтегаз», ОАО «Таркосаленфтегаз», ООО «Газпром добыча Ноябрьск», энергоснабжающие организации городов Ноябрьск, Муравленко, Губкинский, Тарко-Сале, поселков Ханымей, Пурпе, Харампур. Расположение некоторых подстанций 35–500 кВ показано на рисунке 1. За грозовые сезоны 2010–2015 годов в филиале Ноябрьские электрические сети было зарегистрировано 857 случаев отключения ВЛ. Из них 545 являются грозовыми,

а 312 произошли в результате других причин. Удельное число грозových отключений на 100 км в зависимости от расположения ВЛ составило от 1,1 до 23,3. Диаграмма грозových отключений ВЛ 110 кВ по данному региону представлена на рисунке 2.

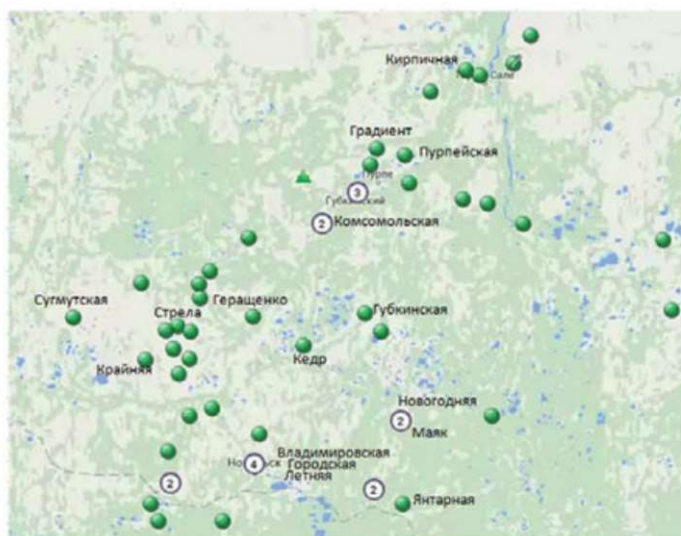


Рис. 1. Расположение подстанций филиала Ноябрьские электрические сети



Сергей КОРОБЕЙНИКОВ,
д.ф-м.н., профессор кафедры «Безопасность труда» НГТУ



Юрий ЛАВРОВ,
к.т.н., доцент кафедры «Техника и электрофизика высоких напряжений» НГТУ



Валентин ЛОМАН,
магистрант НГТУ



Екатерина СКРЯБИНА,
магистрант НГТУ

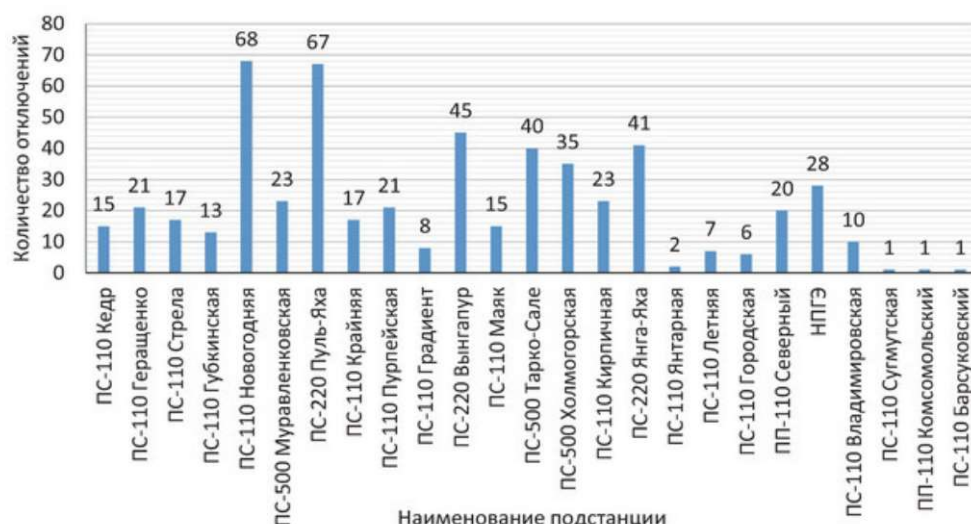


Рис. 2. Диаграмма грозовых отключений

Как видно из этой диаграммы, наибольшие числа грозовых отключений (соответственно за указанный период 68 и 67) пришлось на ВЛ, отходящие от ПС 110 кВ «Новогодняя» и ПС 220 кВ «Пуль-Яха» (последняя принадлежит ПАО «ФСК ЕЭС»). Обе эти подстанции, впрочем, как и все остальные из представленных на диаграммах, находятся в зоне распространения вечномёрзлых грунтов с максимальной мощностью до 25 метров. В частности, на такой полосе мерзлотных грунтов мощностью 25 м находится и город Ноябрьск.

Геолого-литологическое строение грунта в данной местности до разведанной глубины 7,0 м состоит в основном из современных техногенных отложений (t IV), представленных насыпным грунтом — песком мелким, а также из флювиогляциальных среднечетвертичных отложений (f II), представленных песками пылеватыми, мелкими и средней крупности средней плотности, а также суглинка. Средняя годовая температура почвы составляет $-6...-9^{\circ}\text{C}$. Удельное сопротивление вечномёрзлых грунтов у поверхности составляет летом 500–1000 Ом·м, а при нулевых температурах может достигать 20 000 Ом·м [5], что уже отмечалось ранее.

Так как все ВЛ 110 кВ филиала Ноябрьские электрические сети находятся в зоне, где грунты имеют практически одинаковое сопротивление, то было бы не совсем правильно делать вывод о том, что столь высокое количество грозовых отключений, как, например, ВЛ 110 кВ, отходящих от ПС 110/35/6 кВ «Новогодняя» или ВЛ 110 кВ, отходящих от ПС 220/110/35/6 кВ «Пуль-Яха» (филиал ПАО «ФСК ЕЭС» — МЭС Западной Сибири), связано только с особенностями грунта. Еще одним фактором, способным уменьшить грозоупорность ВЛ, является рельеф местности, на которой эта ВЛ находится. Так, ПС «Новогодняя» связана воздушными линиями с ПС 110/35/6 кВ «Еты-Пур», ПС 220/110/35/10 кВ «Вынгапур» (филиал ПАО «ФСК ЕЭС» — МЭС Западной Сибири), ПС 110/10 кВ «Маяк» и ПС 110/6 кВ «Губкинская». Все ВЛ 110 кВ, связывающие вышеперечисленные ПС, подвергались за исследуемый период времени

ударам молнии. К сожалению, далеко не всегда удавалось определить точное место удара. Например, на ВЛ 110 кВ Новогодняя — Еты-Пур-1,2 был зарегистрирован 41 удар молнии (по осциллограммам регистраторов — аварийных событий и отнесенных к грозовым по метеоусловиям), но только для 18 из этих ударов были определены места перекрытия на ВЛ (таблица 2).

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что перепады высот на местности, по которой проходят данные воздушные линии, также не являются

определяющим фактором, влияющим на число ударов молнии в ВЛ. Считается, что наиболее подвержены грозовым ударам те опоры, которые установлены на высоте. Но например, большинство ударов мол-

Табл. 2. Зависимость числа ударов молнии в ВЛ от рельефа местности

ВЛ 110 кВ	Место удара молнии, км	Высота над уровнем моря, м
Новогодняя — Еты-Пур-1	9–19 (1)	от 100 до 85
	24–30 (3)	82
	45–46 (1)	от 85 до 75
	60–61 (1)	60
Новогодняя — Еты-Пур-2	0–10 (1)	от 82 до 100
	11–14 (1)	от 100 до 85
	18–26 (2)	от 82 до 80
	23–30 (1)	82
	36–43 (2)	от 71 до 115 (40 км)
	42–43 (2)	82
	50–53 (1)	от 82 до 81
55–65 (3)	60	
Вынгапур — Новогодняя	0–10 (от Новогодней) (1)	82
	10–14 (1)	95
	15–20 (от Вынгапур) (1)	от 95 до 108
	22–24 (от Вынгапур) (3)	110 до 118
	32–39 (от Вынгапур) (4)	111 до 120
	39–44 (от Вынгапур) (2)	от 120 до 123
	44–48 (от Вынгапур) (2)	от 123 до 133
60–67 (от Вынгапур) (1)	140	
Новогодняя — Маяк	2.5–3 (1)	82
	3–9 (от Вынгапур) (1)	от 85 до 95
	15–20 (от Вынгапур) (1)	от 95 до 108
Губкинская — Новогодняя	6–12 (1)	73–70
	15–21 (5)	70–69
	28–29 (2)	75
	29–36 (3)	70
	42–44 (1)	63

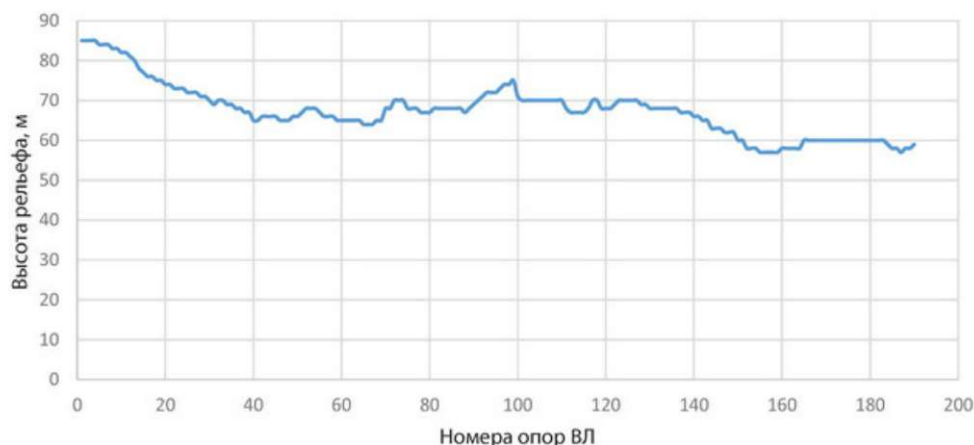


Рис. 3. Перепады высот установки опор по трассе ВЛ 110 кВ Губкинская — Новогодняя-1,2

ний, приведших к грозовым перекрытиям изоляции, по ВЛ 110 кВ Новогодняя — Еты-Пур-1 пришлось на отрезок между 24 и 30 км. Рельеф местности здесь на 20 метров ниже, чем между 9 и 19 км, где зарегистрировано в 3 раза меньше ударов молнии.

Если более точно привязать расположение опор к рельефу, как это сделано для ВЛ 110 кВ Губкинская — Новогодняя-1,2 (рисунок 3), то можно увидеть, что на наибольшей высоте (до 85 метров) находятся первые 24 опоры, где зарегистрировано 1 грозовое перекрытие изоляции. Зато 5 ударов молнии, приведших к перекрытиям изоляции ВЛ, пришлось между 60 и 84 опорами, где высота не превышает 70 метров.

При этом зарегистрировано (с помощью системы комплексного мониторинга состояния ВЛ, разработанной АО «НТЦ ФСК ЕЭС» — СибНИИЭ) большое количество возмущений и перенапряжений на подходе ВЛ 110 кВ Губкинская — Новогодняя к ПС 110/35/6 кВ «Новогодняя», не приведших к отключениям (рисунок 4).

Таким образом, для того чтобы установить точную причину повышенной грозопоражаемости определенных участков ВЛ, недостаточно знать только обобщенное значение сопротивления грунта в данной местности или ее рельеф. Необходимы и более подробные данные о месте

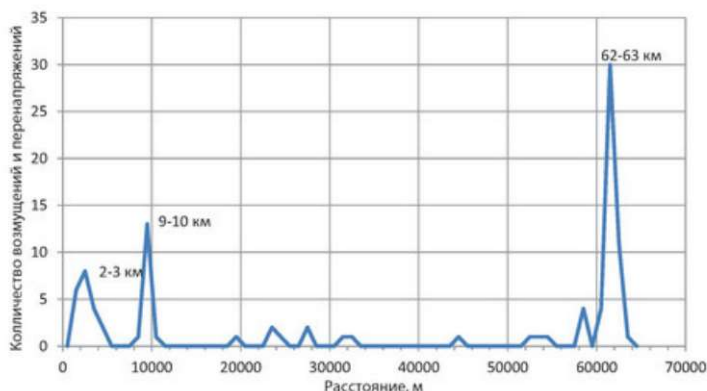


Рис. 4. Распределение зарегистрированных перенапряжений и возмущений по длине ВЛ 110 кВ Губкинская — Новогодняя-2

установки каждой из опор. При этом следует учитывать, что измерение сопротивления заземления опор ВЛ в зонах грунтов низкой проводимости малоэффективно. По-видимому, протекание малых токов в измерительной схеме неадекватно протеканию токов молнии в реальной схеме гигантской цепи от облака в глубинные горизонты грунта с высоким удельным сопротивлением через заземлитель пора-

женной опоры, если неоднократно отмечались обратные перекрытия изоляции в том числе и у тех опор, на которых измерениями были получены относительно малые сопротивления заземления, не превышавшие нормируемых значений.

Было бы целесообразно также производить установку грозопеленгаторов. Это позволило бы не только повысить точность определения мест ПУМ, но и более точно заключать, связано или нет отключение ВЛ с грозовой активностью.

Следует отметить, что с 2008 года на двухцепных ВЛ 110 кВ филиала Ноябрьские электрические сети выполнена установка специальных комбинированных разрядников ОПН ЛИр, состоящих из нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН) и внешних искровых промежутков (ИП). Эта установка планомерно производится по типовому проекту на одной из цепей каждой из защищаемых двухцепных ВЛ. Числа грозовых отключений тех ВЛ, где была выполнена такая защита, до и после установки ОПН ЛИр, приведены в таблице 3 с разнесением по ПС, от которых отходят эти ВЛ; это же представлено диаграммой на рисунке 5.

Табл. 3. Количество грозовых отключений ВЛ, отходящих от ПС 110 кВ АО «Тюменьэнерго»

Наименование ВЛ	Число отключений	
	до установки ОПН ЛИр	после установки ОПН ЛИр
Муравленковская — Сугмутская-1	10	3
Муравленковская — Сугмутская-2	20	0
Губкинская — Новогодняя-1	16	5
Губкинская — Новогодняя-2	15	10
Холмогорская — Пуль-Яха	9	3
Холмогорская — Крайняя	9	10

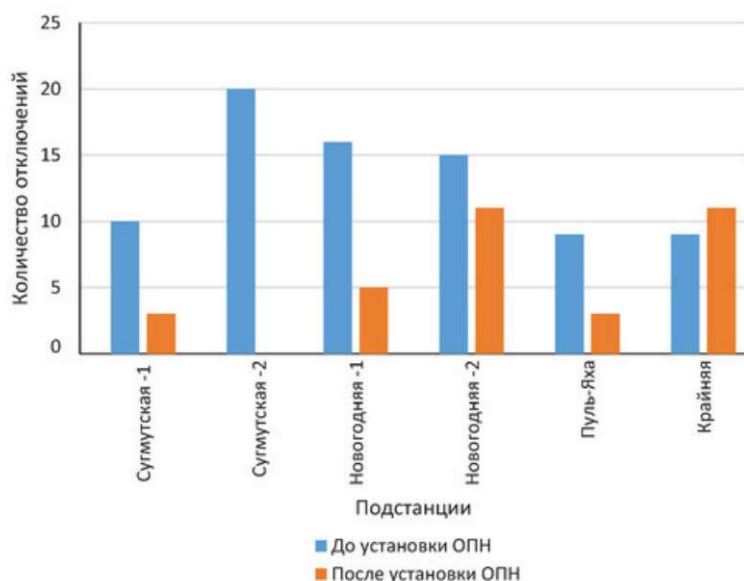


Рис. 5. Диаграмма грозовых отключений до и после установки ОПН

На первый взгляд, из приведенных данных можно было бы сделать вывод, что установка ОПН ЛИР не является абсолютно надежным средством защиты, если степень снижения числа грозовых отключений ВЛ столь различна для линий, отходящих от разных подстанций («Сугмутская» и «Новогодняя»), а для ПС «Крайняя» к тому же и вообще получилось возрастание. Однако осмотрами отключавшихся ВЛ было установлено, что для ряда отключений гроза имела категорию не причины, а повода, в то время как действительные причины были другого рода: например, наличие протяженных отпаек в одноцепных исполнениях, когда поражалась молнией отпайка, не защищенная разрядниками ОПН ЛИР; или дефект полимерного изолятора, упредившего своим пробоем срабатывание разрядника; или, наконец, ветровое отклонение провода во время грозы, которое привело к короткому замыканию провода на тело опоры (траверсы), подтвержденное метеосводкой.

Табл. 4. Сравнительная таблица количества отключений ВЛ 110 кВ во время грозы по годам

Наименование ВЛ	Годы										Номера опор, наиболее часто пораженных молнией
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
ВЛ 110 кВ отпаечная опора на ПС Мара — Яха — Харампурская-1 (оп. 186–553)	8	4	5	3	Реконструирована в ВЛ 110 кВ Северный — Харампурская-1,2						532 — шины ПС Харампур (4 откл.); 227–434 (22 откл.); 485–186 (5 откл.); 482–487 (4 откл.); 420–439 (3 откл.)
ВЛ 110 кВ ПП Северный — Харампурская-1					1	2	5	4	2	4	237–240; 356–358; 415–418; 545–548; 57–30; 473–501; 520; 173; 459–467
ВЛ 110 кВ ПП Северный — Харампурская-2					1	1	1	2	1	5	
ВЛ 110 кВ отпаечная опора на ПС Мара — Яха — Тарко-Сале (оп. 186–1)	–	–	2	1	Реконструирована в ВЛ 110 кВ Тарко-Сале — Северный-1,2						132–160 (2 откл.) 172–106 (5 откл.)
ВЛ 110 кВ Тарко-Сале — Северный-1					–	–	–	2	–	3	165–177; 32–57; 185–200; 69–96
ВЛ 110 кВ Тарко-Сале — Северный-2					–	–	–	2	–	3	
ВЛ 110 кВ Муравленковская — Сугмутская-1*	2	–	2	–	4	2	–	3	–	–	144–160; 200–210; 220–230, 226 отпайка на ПС «Звездная»
ВЛ 110 кВ Муравленковская — Сугмутская-2	6	5	4	–	3	2	–	–	–	–	
ВЛ 110 кВ Губкинская — Новогодняя-1	6	8	2	–	1	–	–	–	1	–	136; 140–120 (3 откл.); 170–150; 47–43; 63–64
ВЛ 110 кВ Губкинская — Новогодняя-2	7	6	2	1	2	–	1	5	–	–	
ВЛ 110 кВ Холмогорская — Пуль-Яха	2	3	2	2	–	–	–	1	1	1	155–220 — отпайка на «Суторминская» и «Крайняя»; 241–271 — отпайка на КНС-9
ВЛ 110 кВ Холмогорская — Крайняя (оп. 1–212)	2	4	1	2	–	1	2	4	2	–	15–16; 24–51 (2 откл.); 86–147; 120–141; 192–212 (5 откл.)
ВЛ 110 кВ Пуль-Яха — Крайняя	2	1	–	–	2	2	2	2	2	2	247–250; 243–250

Примечание:

* ВЛ 110 кВ Муравленковская — Сугмутская, 226/231 отпайка на ПС «Звездная» — частое попадание молний. Цветом обозначена установка ОПН на ВЛ в соответствующем году.

Дополнительная информация представлена таблицей 4, где наглядно выражен эффект снижения числа грозозовых отключений ВЛ 110 кВ Губкинская — Новогодняя-1,2, защищенной разрядниками ОПН ЛИР.

Таким образом, отключения ВЛ после установки ОПН ЛИР были обусловлены не недостатками, а проявлением случайных факторов, таких как резкие порывы ветра или попадание грозозовых разрядов в отпайки ВЛ или одноцепные участки ВЛ, где нет установленных ОПН ЛИР. В результате работ, проводимых для предотвращения подобных факторов (из числа реально устранимых), компрометирующих применение ОПН ЛИР, установка последних получила широкое распространение в ряде других филиалов АО «Тюменьэнерго», где случаются аналогичные проявления негрозоупорности двухцепных ВЛ 110 кВ в зонах с грунтами низкой проводимости. В настоящее время таким способом защищено более десятка двухцепных ВЛ общей протяженностью по цепям уже за тысячу километров. Анализ эксплуатации этих ВЛ за весь период, начиная с 2008 года, показывает достаточно высокую эффективность этого способа защиты, не имеющего пока альтернативы.

В дополнение к опробованному способу повышения грозоупорности ВЛ с помощью ОПН ЛИР рассмотрим один из новаторских способов защиты подстанционного оборудования от набегающих волн грозозовых перенапряжений с ВЛ в условиях плохопроводящих грунтов.

Примером такого обновления применяемых способов и средств грозозащиты, на наш взгляд, может стать предлагаемое к рассмотрению во 2-й части статьи предназначенное для защиты ПС частотнозависимое устройство (ЧЗУ), работающее на принципе скин-эффекта [6–7].

ГРОЗОУПОРНОСТЬ ПС

На подстанциях в настоящее время основным аппаратом грозозащиты является ОПН, осуществляющий координацию главной изоляции оборудования (фаза–фаза и фаза–земля) по амплитуде грозозовой волны, набегающей с ВЛ. Аналогичной способностью координации по второму параметру волны — крутизне — он, к сожалению, не обладает и не может снижать ее до предельно допустимых значений, безопасных для продольной (витковой) изоляции обмоток СТ при воздействии на них градиентных перенапряжений.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), функцию деформации грозозовой волны по крутизне должен выполнять грозотрос ВЛ при нормируемых сопротивлениях заземления опор (таблица 2.5.19 ПУЭ). Однако в регионах Крайнего Севера с грунтами низкой проводимости эта функция полностью «отмирает», крутизна входящей на ПС волны не сглаживается, и в результате таблица ПУЭ 4.2.8 «Защита ВЛ от ПУМ на подходах к РУ и ПС» и таблица ПУЭ 4.2.10 «Наибольшие допустимые расстояния от вентильных разрядников до защищаемого оборудования 35–220 кВ» не работают. Соответственно,

ежегодно статистика прохождения грозозовых периодов сопровождается эпизодическими повреждениями СТ по причине пробоев витковой изоляции либо самих обмоток 110 кВ, либо обмоток НН и СН, на которые крутые волны переходят по межобмоточным емкостным связям.

На наш взгляд, в этих условиях действенным средством защиты оборудования ПС, и прежде всего СТ, от крутых волн, набегающих с ВЛ, может стать частотнозависимое устройство (ЧЗУ), работающее по принципу скин-эффекта [6–7]. И особенно эффективным должно стать комбинированное использование ОПН и ЧЗУ.

ЧЗУ было разработано Новосибирским государственным техническим университетом в период с 03.09.2012 по 08.09.2014 в рамках договора на выполнение научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы для АО «Тюменьэнерго». Было изготовлено три опытных образца ЧЗУ, установленных для проведения опытно-промышленной эксплуатации на ПС 110 кВ «Сугмутская» филиала АО «Тюменьэнерго» Ноябрьские электрические сети (ячейка Муравленковская 1 ф. С, ячейка Муравленковская–2 ф. В и ф. С).

ЧЗУ внешне похоже на высокочастотный заградитель, но его принципиальным отличием является провод обмотки, имеющий частотнозависимое сопротивление. За основу провода взят обычный алюминиевый провод необходимого диаметра. Поверх провода нанесены слои материала, имеющего высокую магнитную проницаемость и высокое удельное сопротивление. Благодаря этому, сопротивление ЧЗУ при прохождении импульса высокочастотного перенапряжения резко возрастает. При нормальном режиме работы линии токи проходят по алюминиевому проводу, который на рабочей частоте в 50 Гц имеет то же сопротивление, что и фазный провод. При проходе, например, волны грозозового перенапряжения, имеющей частотный диапазон 200–300 кГц, ток из алюминиевого провода, благодаря действию скин-эффекта, выталкивается в высокоомный слой, и сопротивление устройства увеличивается в десятки и сотни тысяч раз. При достаточной длине провода можно обеспечить такое активное сопротивление, которое будет полностью подавлять импульсы высокочастотных перенапряжений, увеличивая тем самым грозоупорность ВЛ. Конструкция ЧЗУ в виде спирали (рисунок 6) позволяет создавать высокое реактивное сопротивление, снижающее крутизну импульса перенапряжения, уменьшая тем самым опасность межвитковых замыканий в защищаемом оборудовании, то есть в первую очередь в СТ.

Сравнительный анализ влияния ЧЗУ, силового реактора (ВЧ-заградителя), конденсаторов связи, а также совместного применения силового реактора и конденсатора связи на крутизну импульса перенапряжения показывает, что ЧЗУ является наиболее эффективным защитным устройством. Для анализа моделировалось прохождение полной волны импульса перенапряжения (с амплитудой 1,0 и формой 1,2/50 мкс), сре-



Рис. 6.
Общий вид
конструкции
ЧЗУ

занной (2/0 мкс) и короткой (0,1/15 мкс) волн через данные защитные устройства на подстанции 110 кВ. Компьютерные осциллограммы прохождения полной волны при использовании различных средств защиты приведены на рисунке 7. Кривая 1 представляет форму входного импульса на входе защитного устройства. Кривые 2, 3, 4 и 5 показывают тот же импульс при его прохождении через, соответственно, конденсатор связи емкостью 6,4 нФ, высокочастотный заградитель ($R = 0,57 \text{ Ом}$, $L = 1,0 \text{ мГн}$), частотнозависимое устройство ($R = 96,4 \text{ Ом}$, $L = 2,5 \text{ мГн}$) и конденсатор емкостью 12,8 нФ.

На рисунках 8 и 9 приведены осциллограммы прохождения через те же средства защиты срезанной и короткой волны соответственно. Из полученных компьютерных осциллограмм видно, что наиболее эффективной мерой по снижению крутизны и амплитуды полной, срезанной и короткой волн является применение ЧЗУ. Так, например, амплитуда импульса полной волны после прохождения ЧЗУ снижается на 10–20%, а длительность фронта увеличивается с 0,5 мкс до 5 мкс.

Результаты сравнительного анализа и численной оценки работы ЧЗУ подтверждает мониторинг трех опытных образцов устройства, установленных для проведения опытно-промышленной эксплуатации на приемном портале ПС «Сугмутская» в рассечку каждого фазного провода. Мониторинг осуществлялся с помощью фиксирующего устройства (далее — Система мониторинга), разработанного Новосибирским государственным техническим университетом для подтверждения работоспособности опытных образцов ЧЗУ.

Система мониторинга в постоянном режиме отслеживала напряжения на входе и выходе устройства в течение грозового периода 2015 года. За это время система зарегистрировала три импульса перенапряжения различного проис-

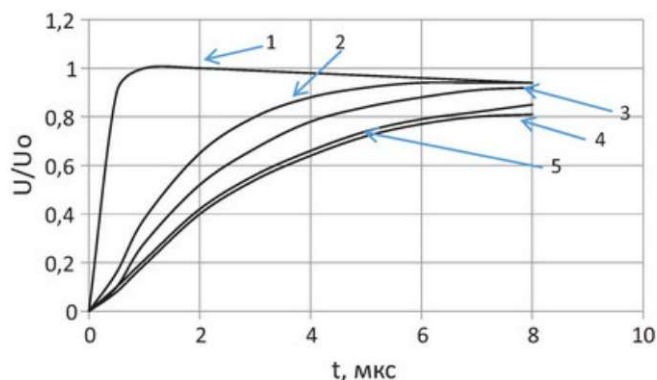


Рис. 7. Компьютерные осциллограммы прохождения полной волны

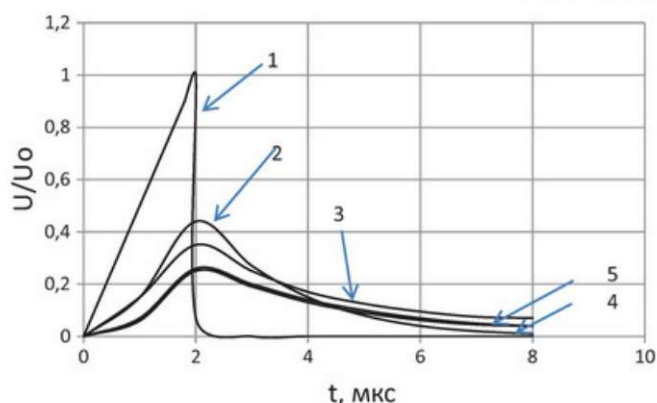


Рис. 8. Компьютерные осциллограммы прохождения срезанной волны

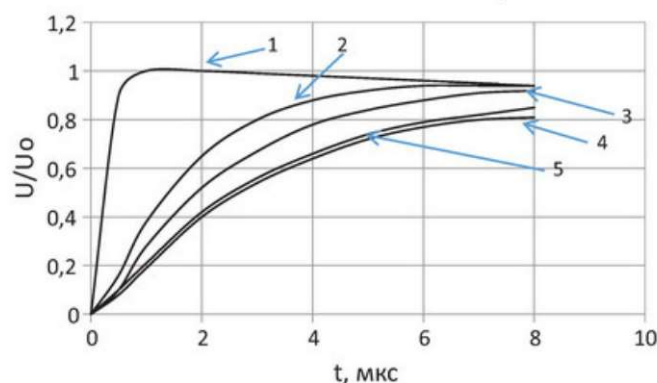


Рис. 9. Компьютерные осциллограммы прохождения короткой волны

хождения, пришедших с ВЛ. Амплитуда последнего импульса, зарегистрированного в июне, составляла около 350 кВ (осциллограмма синего цвета на рисунке 10). Однако на выходе частотнозависимого устройства (осциллограмма красного цвета) никаких возмущений зарегистрировано не было.

В период грозового сезона 2016 года также проводилась фиксация уровня перенапряжений системой мониторинга на ПС «Сугмутская». Анализ полученных данных будет закончен в конце октября 2016 года после снятия показаний и расшифровки осциллограмм, полученных в полевых условиях. Полученные результаты будут представлены на итоговом заседании Технического совета

АО «Тюменьэнерго» с целью решения вопроса о целесообразности тиражирования ЧЗУ в рамках сетевого комплекса АО «Тюменьэнерго».

Установка ЧЗУ на ВЛ целесообразна и с экономической точки зрения. Так, частотнозависимое устройство устанавливается только на последней опоре непосредственно перед самой подстанцией или на линейном портале подстанции. Это, в свою очередь, облегчает не только установку, но и контроль над работой ЧЗУ. И главное, устройство построено по принципу: «Установил и забыл». Гарантийный срок эксплуатации материалов составляет не менее 30 лет.

Подводя итоги, можно сформулировать следующие достоинства ЧЗУ:

- высокое активное и реактивное сопротивление при прохождении высокочастотных импульсов перенапряжения;
- способность эффективно воздействовать на амплитуду и крутизну входного импульса;
- отсутствие потерь при нормальном режиме работы;
- независимость от заземляющего устройства ПС;
- простота в изготовлении и установке на объекте;
- возможность подобрать оптимальные параметры для подстанции любой мощности;
- невысокая стоимость;
- продолжительность непрерывной работы до 30 лет;
- минимальные затраты при эксплуатации.

Дополнительный эффект от применения ЧЗУ будет достигаться также вследствие защиты ими от тех высокочастотных перенапряжений, которые возникают при коммутациях разъединителями.

Что касается основного назначения ЧЗУ: защиты продольной (витковой) изоляции СТ от крутых волн грозовых перенапряжений, то повышение эффективности их применения видится в сочетании их с ОПН ЛИР, устанавливаемыми перед ЧЗУ со стороны ВЛ и заземляемыми на концевой опоре.

ВЫВОДЫ

1. В современном состоянии грозозащиты ВЛ и ПС 110 кВ назрел дисбаланс между предписаниями контролирующих органов по ее выполнению в соответствии с действующими НТД, с одной стороны, и реальными условиями эксплуатации в регионах с грунтами низкой проводимости, с другой.
2. Необходимо переработать действующие НТД и, в первую очередь, ПУЭ, в части грозозащиты ВЛ и ПС, работающих в регионах с грунтами низкой проводимости, с тем, чтобы узаконить на отраслевом уровне успешно апробированные локальные достижения «местных» решений и проектов по повышению грозоупорности на основе ОПН ЛИР и других, аналогичных им.
3. Необходимо принять для регионов с грунтами низкой проводимости решение об отказе от использования тросовых подходов ВЛ к ПС в пользу замены их аппаратной защитой, поскольку в этих условиях грозотрос, являясь только

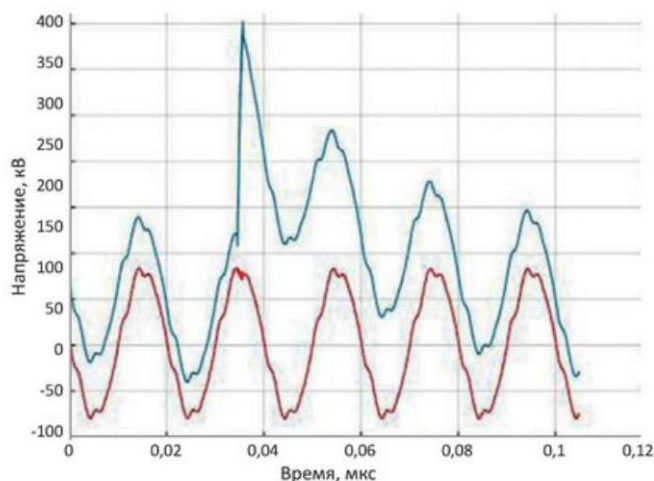


Рис. 10. Импульс высокочастотного перенапряжения, зарегистрированный

перехватчиком молнии, не предотвращает обратных перекрытий изоляции ВЛ (в том числе на подходах к ПС) и не обеспечивает расчетного, требуемого эффекта снижения крутизны грозовых волн, набегающих с ВЛ на ПС. ⚡

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаранин А.Е. Перенапряжения на аппаратуре СЦБ в грозовой сезон / Гаранин А.Е., Митрохин В.Е. // Наука и образование транспорту: Материалы III Всероссийской научно-практич. конф. (Самара — Пенза, 2010) / Самарский гос. ун-т путей сообщения. Самара, 2010. С. 62–64.
2. Лысков Ю.И., Антонова Н.П., Максимов В.М., Демина О.Ю. Проблемы применения нелинейных ограничителей перенапряжений 110–750кВ // Электрические станции, 1988, № 9. С. 43–47.
3. Данилов Г.А., Зубков А.С. (ЗАО «ФЕНИКС-88», Новосибирск), Боровицкий В.Г., Лошаков Ю.Е. (ОАО «Тюменьэнерго»). Надежность воздушных электросетей. URL: http://www.fenix88.nsk.su/stat13_09_10.php.
4. Информация по промерзанию, оттаиванию, температуре грунтов за 2000-2013 (Excel). Copyright © atlas-yakutia.ru. Россия, 2007–2014.
5. Изыскания проектного института ООО «Спектр» г. Ноябрьск / Лицензия на проектирование объектов газового хозяйства К 020764 № ГС-5-72-02-1026-0-7202180969-008684-1 от 23 октября 2008 года.
6. Коробейников С.М., Лавров Ю.А., Илюшов Н.Я. Разработка частотнозависимого устройства для подавления высокочастотных перенапряжений // Диагностика электрических установок: материалы 9 науч.-практ. семинара Обществен. Совета специалистов Сибири и Дальн. Востока. Красноярск, Дивногорск, 16–17 апр. 2014 г. Красноярск, Дивногорск, 2014.
7. Илюшов Н.Я. Эффективное средство защиты электрооборудования от высокочастотных перенапряжений // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2015, № 4. С. 18–26.