

Опыт повышения грозоупорности ВЛ-110 кВ в АО «Россети Тюмень»

(АО «Россети Тюмень», Лопатин В.В., Богач И.И., Нестеренко Д.М.)

1. Введение

АО «Россети Тюмень» осуществляет свою деятельность на территории трех субъектов РФ Тюменской области, ХМАО-Югры, ЯНАО, имеющих свои ярко выраженные особенности геологиклиматические, по освоенности территорий, по инфраструктурной обеспеченности, населенности, характеру потребительской нагрузки, требованиям к надежности электроснабжения.

Значительная часть зоны деятельности АО «Россети Тюмень» расположена в районах Крайнего Севера и за Полярным кругом, в центральной и северо-западной части Западно-Сибирской плиты в сложных инженерно-геологических условиях

Особенностью Тюменской области является большая протяженность с севера на юг - до 2100 км и наличие несколько климатических зон от арктической до умеренной.

Заболоченность территории составляет от 28,78% и выше (по данным сайта «Воды России», water-rf.ru), южная часть занята лугово-черноземные осолоделые почвами, по механическому составу — глинистые и тяжелосуглинистые, подстилаемые песками.

Ханты-Мансийский автономный округ полностью лежит в лесной природной зоне. Большую часть территории округа занимает сильно заболоченная тайга, т. е. преобладают болота и леса.

Ямало-ненецкий автономный округ, состоящий из тайги на юге и тундры на севере с множеством озёр и болот, грунт в основном песчаный, покрытой тонким слоем плодородного слоя. В северной части округа на глубинах от 3-6м имеется вечная мерзлота.

Низкопроводящие песчаные грунты начинаются с правого берега реки Обь в Ханты-Мансийском автономного округе и продолжаются до северной точки Ямало-ненецкого автономного округа.

Основными потребителями АО «Россети Тюмень» на территории ХМАО и ЯНАО, на долю которых приходится до 90% от общего энергопотребления, являются крупнейшие нефтегазодобывающие предприятия региона и страны. Площадь обслуживания около 1,3 млн. км², численность населения до 2,4 миллиона человек. Общая протяженность ВЛ 35-220 кВ составляет 19013,69 км.

2. Проблема низкой грозоупорности ВЛ

Статистика грозových отключений для средней полосы России показывает, что наиболее высока вероятность перекрытия гирлянд изоляции ВЛ при попадании молнии непосредственно в фазные провода, поэтому первоочередной задачей грозозащиты линий является снижение числа грозových разрядов в фазные провода линии. Согласно ПУЭ, это достигается путем подвески над ними грозозащитных тросов. Однако, как показывает опыт эксплуатации и соответствующие расчеты, тросы не обеспечивают полного отсутствия грозových перекрытий изоляции, а в ряде случаев эффективность тросовых молниеотводов оказывается столь низка, что их применение ставится под сомнение. Данный факт, имеет практическое подтверждение для ВЛ располагающихся в филиале Северные электрические сети, где число грозových часов в году составляет менее 20, и если бы данные ВЛ не обеспечивали электроснабжение нефтегазовых месторождений, то отсутствовала бы необходимость применения грозозащитных тросов (согласно п.2.5.116 ПУЭ).

Основной проблемой северных филиалов (Северные, Ноябрьские, Когалымские, Сургутские, Нижневартовские и частично Урайские, Нефтеюганские электрические сети и Энергокомплекс) является высокая аварийность ВЛ, обусловленная низкой грозоупорностью ВЛ, которая была заложена ещё при проектировании и строительстве ВЛ в 80х-90х годах, когда велось масштабное строительство ВЛ (без проведения должных

изысканий) с целью скорейшего ввода нефтегазовых месторождений. При массовом строительстве применялись типовые проекты ВЛ, без учета особенностей региона - высокого сопротивления грунтов (пески, вечная мерзлота), морозное пучение грунтов и др. ($\rho = 1500-7000 \text{ Ом*м}$ и выше). Часто устройство контуров ЗУ опор выполнялось с использованием в качестве заземляющих электродов арматуры ж/б свай фундамента, т.е. за счет естественной проводимости бетона свай. Однако, данный метод применим при $\rho \leq 1000 \text{ Ом*м}$ и значит не сможет эффективно обеспечить растекание тока молнии при высоком удельном сопротивлении грунта.

При попадании молнии в заземленные металлоконструкции опор ВЛ и грозозащитные тросы происходит стекание тока молнии в контур ЗУ опоры, при этом падение напряжения на опоре достигает величин достаточных для обратного (с опоры на провод) перекрытия гирлянды изоляторов с последующим отключением ВЛ. Даже кратковременное отключение ВЛ, с успешным АПВ часто приводит к нарушению электроснабжения основного потребителя – нефтегазодобывающих компаний, у которых происходит перезапуск погружных насосов, обеспечивающих добычу нефти и транспортировку нефтяного сырья.

3. Мероприятия по повышению грозоупорности ВЛ 35 кВ и выше.

Сравнение данных по числу грозовых часов в 2021 году с грозовыми периодами 2020 - 2018 гг. свидетельствует о зависимости числа грозовых отключений ВЛ от числа грозовых часов в году. Снижение числа грозовых часов в 2021 году привело к соразмерному уменьшению числа грозовых отключений (табл.1).

Таблица 1

	2018	2019	2020	2021
Грозовых часов в году, час	40,4	48,6	86	51,4
Число грозовых отключений, год	186	210	403	219

Молниезащита электрооборудования подстанций и воздушных линий электропередачи (далее – ВЛ) организована в соответствии с требованиями НТД (ПУЭ, ПТЭ, РД 153-34.3-35.125-99 и т.д.). Основными элементами системы молниезащиты являются тросовые и стержневые молниеотводы, а также подстанционные ОПН и линейные разрядники (ОПН с искровым промежутком), установленные на ВЛ, а также ЗУ опор, ПС.

Ежегодно АО «Россети Тюмень» в рамках ремонтной и инвестиционной программ реализует мероприятия, направленные на повышение грозоупорности ВЛ и снижение грозовых отключений, рекомендуемые РД 153-34.3-35.125-99 «Руководством по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений». Основные мероприятия по повышению грозоупорности сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Мероприятие	2018	2019	2020	2021	2022 (план)
Замена/восстановление грозотроса, км.	402,1	448,3	147,3	53,26	49,74
Ремонт/усиление ЗУ (шт.)	439	1580	1881	3151	3446
Установка ОПН, шт.	3879	2352	1537	1326	484

3.1. Установка ЛР на ВЛ-110

Наиболее эффективным мероприятием по повышению грозоупорности ВЛ в высокоомных грунтах, на основании 13 летнего опыта эксплуатации, признана защита ВЛ линейными разрядниками с искровым промежутком (далее - ЛР). За период с 2008 года

было установлено – 22489 шт. ЛР на 34 ВЛ-110 кВ, протяженностью 2268 км. Грозовых повреждение ЛР за период эксплуатации не было выявлено.

Наименование характеристики	Параметр
Протяженность ВЛ-110 кВ, защищенных ЛР, км	2268
Количество установленных ЛР, шт.	22489
Производители ЛР	ЗАО «Феникс-88», ЗАО «Полимер-Аппарат»
Период эксплуатации, лет	14 лет (2008 – 2021 гг.)
Объем опыта эксплуатации ЛР, шт.лет	141173
Число повреждений ЛР, шт.	3 (механические повреждения)
Удельное число повреждений ЛР при грозовых перенапряжениях, 1/100 км/год	-

За период с начала реализации мероприятий по защите ВЛ 110 кВ ЛР количество 2-х цепных отключений от обратных перекрытий в высокоомных грунтах снизилось с 63 % в 2007 до 34% в 2021 году (рис.1), что указывает на эффективность реализуемых мероприятий по повышению грозоупорности ВЛ.

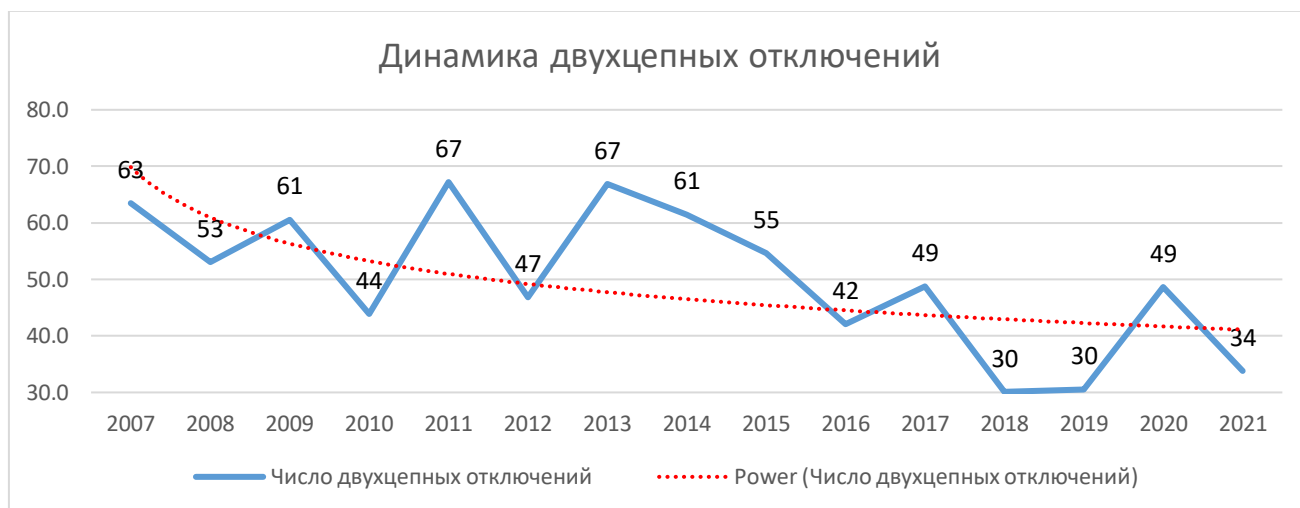


Рисунок 1

Данный способ повышения грозоупорности ВЛ применяется исключительно на 2-х цепных ВЛ питающих ответственных потребителей, цепи которых являются взаимно резервируемыми, из-за его высокой стоимости. Защита с помощью ЛР выполняется на всем протяжении ВЛ, при этом ЛР оснащаются все фазы одной цепи. С 2008 года ряд ВЛ 110 кВ имеющих ежегодно в грозовой период до 10-15 отключений (из них 2-х цепные отключения составляли до 70%) были в первоочередном порядке оснащены линейными разрядниками. С начала реализации мероприятий ВЛ защищенные линейными разрядниками имели не более 1-2 двухцепных отключений за грозовой сезон за период с 2008-2021 гг. Установка ЛР обеспечивает защиту изолирующей подвески от обратных перекрытий в 95% случаев и в 5 и более раз снижает вероятность 2-х цепных отключений ВЛ.

Рассмотрим подробнее филиал Ноябрьские электрические сети, где 18 из 76 ВЛ защищены ЛР, и тем самым статистическая выборка наиболее показательна:

Таблица 3

Анализ применения ЛР на ВЛ для повышения грозоупорности

		2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Кол-во грозовых часов в год, п часов/год	77,5	84,0	40,4	48,6	86,0	51,4

2	Нуд ВЛ-110 с ЛР, 1/100 км ВЛ в год	1,14	0,45	0,35	0,22	0,49	0,18
3	Нуд ВЛ-110 с ЛР на соседней цепи, 1/100 км ВЛ в год	3,36	2,61	0,77	0,51	0,72	1,08
4	Нуд ВЛ-110 без ЛР, 1/100 км ВЛ в год	7,98	6,61	2,98	2,05	4,08	2,24

В таблице 3 отображены средние Нуд числа грозových отключений ВЛ 110 кВ филиала не защищенных ЛР (строка 4), Нуд ВЛ 110 кВ защищенных ЛР (строка 2) и справочно - Нуд второй цепи ВЛ, первая цепь которой защищена ЛР (строка 3). Таблица 3 численно характеризует эффективность защиты ВЛ с помощью ЛР: для ВЛ без ЛР – значения Нуд наибольшие, Нуд ВЛ защищенных ЛР в 8-15 раз ниже в сравнении с ВЛ без ЛР, для цепи ВЛ подвешенной совместно с защищенной ЛР цепью Нуд имеет срединное значение, откуда следует вывод, что ЛР опосредованно защищает вторую цепь (не защищенную ЛР), таким образом улучшается грозоупорность обеих цепей двухцепной ВЛ, что оправдывает высокую стоимость мероприятия.

В рамках анализа прошедшего и подготовке к очередному грозовому сезону проводится детальный анализ каждого грозового отключения ВЛ с выездом бригады для верхового осмотра расчетного места перекрытия изоляции на ВЛ и ближайших опор, в том числе, оснащенных ОПН, с выявлением причин отключений.

Вывод: Мероприятие по установке ЛР (ОПН с искровым промежутком) на опорах ВЛ, позволяет в значительной степени снизить Нуд ВЛ защищенной ЛР, по сравнению с средним значением Нуд иных ВЛ не защищенных ЛР, а также снизить Нуд цепи ВЛ имеющей совместный подвес с ВЛ защищенной ЛР. Реализация данного мероприятия оправдывает себя на особо ответственных ВЛ питающих ответственного потребителя, транзитах, ВЛ питающих СЗО и т.п. В иных случаях необходимо использовать менее дорогостоящие мероприятия.

3.2. Установка дополнительных искусственных заземлителей опор ВЛ

Другим мероприятием, рекомендуемым РД 153-34.3-35.125-99 по повышению грозоупорности ВЛ является снижение сопротивления заземления опор. Для разработки технических решений для ВЛ, проходящих в грунтах с высоким удельным сопротивлением была привлечена организация АО ФСК ЕЭС – СибНИИЭ. Аprobация данного способа выполнялась на ВЛ 110 кВ Когалымского и Сургутского филиала. В период с августа по ноябрь 2018г. были проведены работы по монтажу глубинных (до 40 метров) вертикальных заземлителей (далее - ГЗ) на двух двухцепных линиях, ВЛ 110 Прогресс – Аган 1,2 на 100 опорах из 151 и ВЛ 110 Прогресс – Фотон, Прогресс-Таврическая, Фотон – Таврическая на 280 опорах из 438. В период с июля по сентябрь 2019г. была обработана ГЗ двухцепная ВЛ 110 Кирилловская – Повховская, Кирилловская – Таврическая, все опоры в количестве 318 шт.

В 2019 году 158 опор ВЛ Западно-Камынская-Пимская-2 из 387 были оборудована ГЗ.

Чтобы оценить эффективность данного мероприятия, проведем анализ по Рисунку 2, на котором изображены:

- удельное число грозových отключений ВЛ-110, до оборудования глубинными заземлителями,

- удельное число грозовых отключений ВЛ-110, после оборудования глубинными заземлителями,
- суммарное число грозовых отключений ВЛ-110 по ХМАО, для сравнения годов с близкой грозовой активностью.

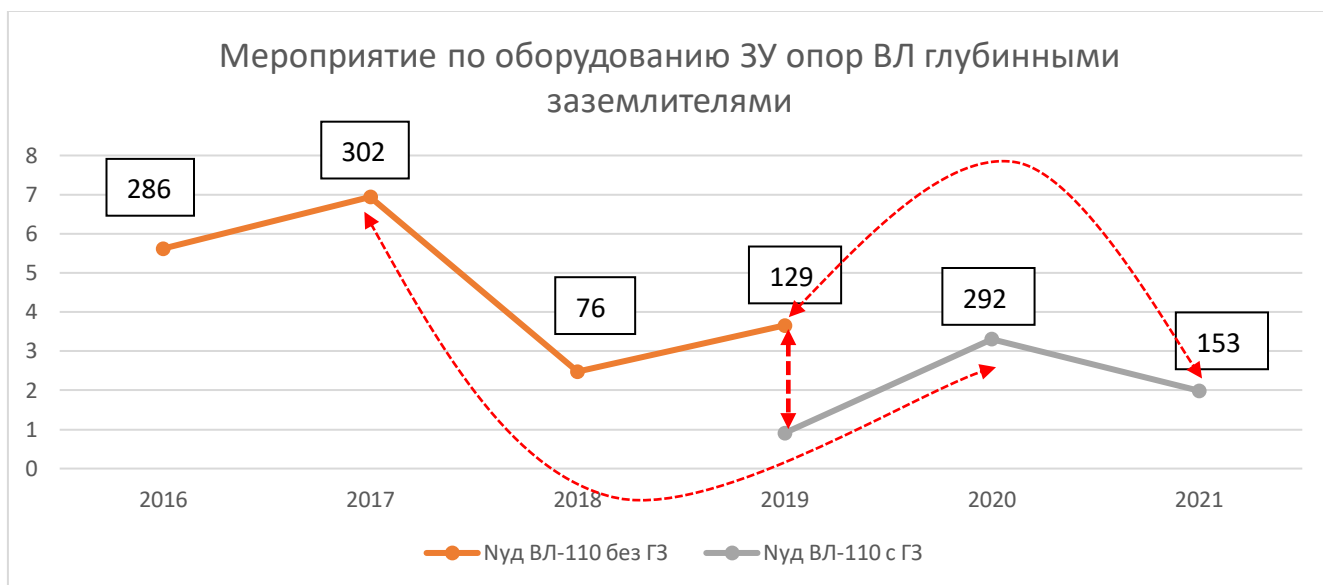


Рисунок 2

Вывод: Сравнивая удельное число грозовых отключений ВЛ-110 до оборудования опор глубинными заземлителями для 2017 - 2020 года и 2019 – 2021 года видно снижение удельного числа грозовых отключений в 2 раза при близких общих значениях грозовых отключений ВЛ-110.

3.3. Ревизия металлосвязи цепи заземления опор ВЛ

Ключевым моментом грозоупорности является обеспечение надежной металлосвязи цепи заземления начиная от грозозащитного троса через контактное соединение шунта с телом опоры, контактное соединение тела опоры с заземляющим устройством опоры. При попадании молнии в грозозащитный трос волна перенапряжения распространяется в двух направлениях по грозозащитному тросу, достигая заземленной опоры стекает в землю, и при этом распространяется далее по тросу к ближайшим опорам. При этом как правило в «схеме приема молнии» и стекания волны перенапряжений в землю участвует опора с наименьшим заземлением в системе заземления участка ВЛ. После нескольких стеканий тока молнии, со значительным значением (20-30 кА) происходит постепенное выгорание заземляющего проводника.

Рассмотрим на примере ВЛ-110 филиала Сургутские электрические сети (ВЛ-110 Контур-Вынга, ВЛ-110 Контур-Транспортная; ВЛ-110 Пимская-Транспортная; ВЛ-110 Пимская-Вынга) для группы ВЛ, у которых была выполнена ревизия цепи заземления (протяжка, чистка болтовых контактных соединений между заземляющими спусками и телом опоры) в период до начала грозового сезона 2021 года.

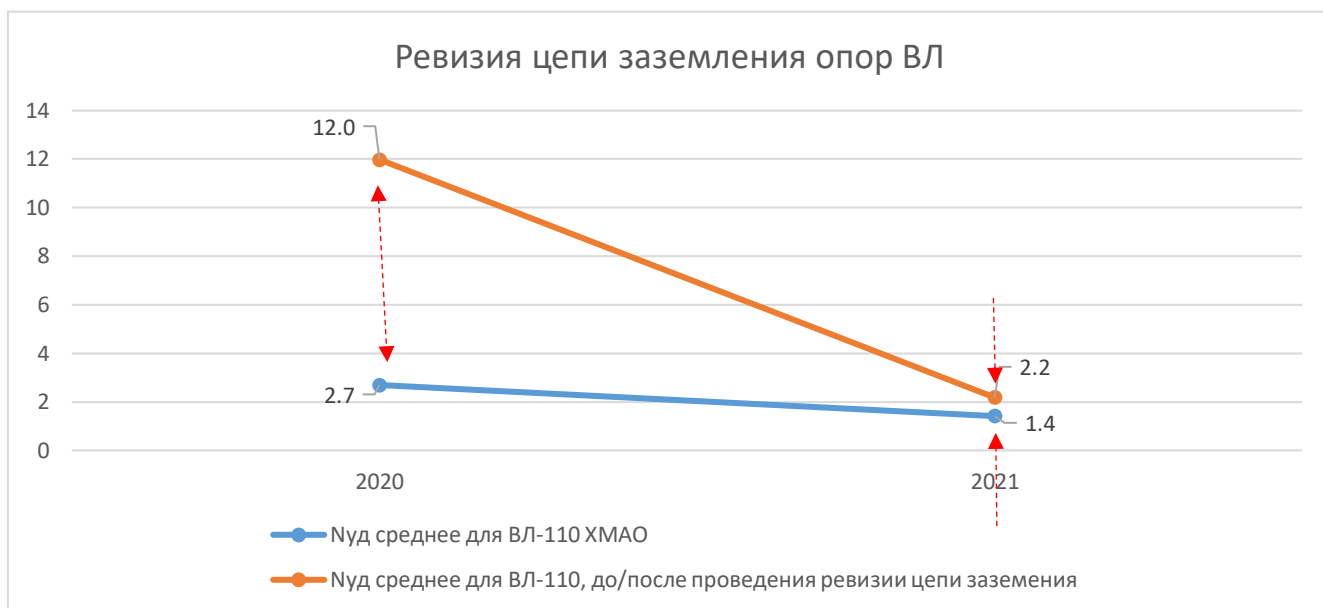


Рисунок 3

Мероприятие позволило привести удельное число грозовых отключений ВЛ-110 данной группы (ВЛ-110 Контур-Вынга, ВЛ-110 Контур-Транспортная; ВЛ-110 Пимская-Транспортная; ВЛ-110 Пимская-Вынга) до среднего значения удельного числа грозовых отключений региона (рисунок 3). В рамках последующих грозовых сезонов будет продолжен сбор данных для получения представительной выборки по ВЛ-110, где проводились плановых работы по техническому обслуживанию и капитальному ремонту ВЛ, включающие мероприятия по ревизии цепи заземления.

Вывод: Для равномерного распределения термического воздействия тока молнии по всем заземлениям опор ВЛ необходимо **в рамках технического обслуживания выполнять ревизию контактных соединений грозотроса с опорой ВЛ, тела опоры с заземляющим устройством опоры ВЛ.** Данное мероприятие позволяет довести удельное число грозовых отключений ВЛ до среднего значения удельного числа грозовых отключений по региону.

3.4 Дифференцированная защита двухцепной ВЛ

В соответствии с требованиями ПУЭ п.2.5.128 для повышения грозоупорности двухцепной ВЛ-110 кВ и снижения числа двухцепных грозовых перекрытий допускается усиление изоляции одной из цепей на 20-30% по сравнению с изоляцией другой цепи. Согласно расчетным оценкам, реализация данной схемы, где не установлены линейные разрядники, позволяет снизить число грозовых отключений ВЛ на 15-20% по отношению к существующему. Реализация планируемых мероприятий по усилению изоляции требует проверки соблюдения требований ПУЭ в части минимальных изоляционных промежутков между токоведущими и заземленными частями на опоре ВЛ и допустимого расстояния от провода до земли в пролете ВЛ.

В филиале Урайские электрические сети на ВЛ-110 кВ Сотник МДФ и ВЛ-110 кВ МДФ-Тавда было установлено по 1 дополнительному изолятору U120-AD на первом участке ВЛ (Рисунок 4) и ПСД-70Е на втором участке ВЛ в период ремонтной компании 2018-2019 года.

На ВЛ-110 кВ Сотник – Евра за период ремонтных компаний 2018-2021 гг. установлено по 1 дополнительному изолятору U120-AD в гирляндах, при этом оборудовано 60% длины ВЛ, в 2022 году планируется еще 20%



Рисунок 4

Основным показателем, классифицирующим интенсивность грозовой обстановки, является число грозových часов, ввиду отсутствия данного показателя за предыдущие годы до 2015, за основу для сравнения возьмем общее число грозových отключений ВЛ-110 кВ по филиалу Урайские электрические сети, сопоставим общее число грозových отключений по ВЛ-110 кВ за предыдущие годы с периодом 2018-2021гг., данные сведены в таблицу 4:

Таблица 4

п/п	Наименование ВЛ-110 кВ / годы	2018	2019	2020	2021	Усредненное Нуд за 4 года, на 100 км ВЛ за 1 год
	Отключений ВЛ-110 в филиале, шт.	21	26	32	26	
1	ВЛ-110 кВ Сотник-МДФ-Тавда	4	-	-	-	0.651042
2	ВЛ-110 кВ Сотник – Тавда - 2	2	-	1	2	0.813802
	в том числе двухцепных	1	-	-	-	0.16276
3	ВЛ-110 кВ Сотник – Евра	0	2	1	0	0.604839
4	ВЛ-110 кВ Сотник Шайм	2	2	2	0	1.209677
	в том числе двухцепных	-	2	1	-	0.604839
		2013	2013	2009	2013	
	Отключения ВЛ-110 кВ в филиале, шт.	24	24	34	24	
5	Сотник-МДФ-Тавда	5	5	3	5	2.929688
6	Сотник – Тавда - 2	1	1	0	1	0.488281
	в том числе двухцепных	-	-	-	-	0
7	Сотник – Евра	2	2	1	2	1.41129
8	Сотник Шайм	2	2	1	2	1.41129
	в том числе двухцепных	-	-	-	-	

Сравнивая выделенные ячейки по одной и той же ВЛ-110 кВ видно, что при близкой по интенсивности грозовой обстановке, до и после установки дополнительного изолятора наблюдается снижение удельного числа грозových отключений ВЛ-110 кВ на 100 км в год, цепи по которой установлен дополнительный изолятор. При этом понятно, что ВЛ-110 кВ в количестве двух штук не является представительной выборкой для однозначного суждения о 100% эффективности мероприятия, в том числе отсутствие двухцепных отключений до реализации мероприятия и наличие двухцепных отключений после реализации, подтверждает не представительность выборки.

Для получения подтверждающего эффект от данного мероприятия необходимо минимум 6-10 грозových сезонов и не менее 10 ВЛ.

3.5. Оценка стоимости работ по повышению грозоупорности ВЛ.

Таблица 5

	Мероприятие	Стоимость на 10 км ВЛ, тыс.руб.	Длина ВЛ, на которых планируются работы в 2022-2024гг, км	Итого стоимость по виду, тыс.руб.
1.	Техническое обслуживание ВЛ-110 с ревизией цепи заземления	500	13 567	678 350

2.	Установка глубинных заземлителей на опорах ВЛ-110	2 400	1827	438 480
3.	Установка комплекта ЛР	9 900	480	475 200
	ИТОГО			1 592 030

3.6. Применение инновационного защитного аппарата для повышения грозоупорности ВЛ

Новым или точнее сказать, по мнению разработчиков АО НПО «Стример» альтернативным способом повышения грозоупорности ВЛ, является установка разрядников мультикамерных закрытого типа. В рамках проведения опытно-промышленной эксплуатации планируется опробывание данного способа начиная с грозового сезона 2023 года и на протяжении 3 лет на одной из ВЛ-110 кВ АО «Россети Тюмень» с установкой защитных аппаратов на каждой фазе одной из цепей.

Основной отличительной особенностью РМКЗ-110 является более дешевая технология изготовления по сравнению с варисторами и более простая конструкция самого защитного аппарата.

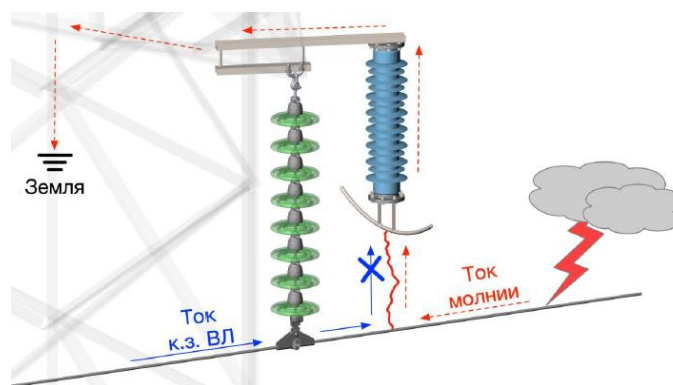


Рисунок 5

Конструктивное исполнение РМКЗ-110 следующее. Внутри корпуса размещен рабочий элемент, состоящий из последовательно соединенных разрядных модулей, выполненных в виде дисков из кремнийорганической резины, содержащий внутри множество металлических электродов, распределенных по объему каждого диска специальным образом. Внутри закрытых камер, между электродами образованы миниатюрные искровые промежутки, посредством которых при воздействии тока молнии электроды всех разрядных модулей колонки соединяются последовательно в одну цепь. Наличие большого количества искровых промежутков препятствует поддержанию рабочим напряжением протекание тока КЗ внутри РМКЗ-110 после воздействия тока молнии, что обеспечивает защиту ВЛ от аварийного отключения (рисунок 5).

4. Проблема корректного измерения сопротивления ЗУ опор

Для оперирования цифрами рассмотрим сведения по токам молнии, которые в 2013г. опубликованы в докладе рабочей группы СИГРЭ С4.407, были обобщены и проанализированы практически все накопленные результаты современных измерений параметров молнии в различных регионах. На основании данных материалов среднее значение амплитуды тока молнии составляет 20 кА (по данным СИГРЭ) и 30 кА (по данным IEEE (Международного института инженеров электротехники и электроники) для отрицательных разрядов, которые составляют около 90%.

Мероприятия по повышению грозоупорности ВЛ должны быть направлены на снижение числа грозовых перенапряжений и предотвращение обратных перекрытий

изоляции при ударах молнии в трос, опору. Одним из решений данной задачи является доведение сопротивления заземления опор ВЛ до нормируемых значений, для этого необходимо получить достоверные значения сопротивлений заземления опор ВЛ и, на их основе, выполнить экономически обоснованное усиление контура заземления. **Несмотря на отсутствие требования о необходимости проведения измерений сопротивления заземления опор в низкопроводящих грунтах и при обнаружении следов перекрытий или разрушений изоляторов электрической дугой(п.34.4 СТО 34.01-23.1-001-2017), после грозовых отключений необходимо выявлять места со следами грозовых воздействий на теле опоры, проводах и грозозащитном тросе и проводить измерения сопротивления ЗУ таких опор, удельного сопротивления грунта для разработки действенных мероприятий по повышению грозоупорности ВЛ.**

Для нахождения оптимального способа измерения сопротивления ЗУ опор ВЛ, в соответствии с требованиями РД 153-34.0-20.525-00 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств», для анализа были выбраны следующие методы:

- с отсоединением грозозащитного троса по двухлучевой схеме
- импульсным методом МЭИ – ЭЛНАП
- методом СибНИИЭ
- с помощью токоизмерительных клещей (в нашем случае токовые датчики)

Для проведения сравнительных испытаний приборов были отобраны 7 опор ВЛ-110 Когалымских электрических сетей, расположенных в различной местности (песчаник, болото, лесной массив), с различными значениями удельного сопротивления грунта.

На основании данных предоставленных филиалами по наличию приборов для измерения сопротивления заземляющих устройств были выбраны следующие приборы: ИК-1, MRU-200, СА6462, Megger det 2/2, СА6472+СА6474, позволяющие выполнять измерения сопротивление заземляющих устройств опор ВЛ выбранными методами.

За эталонное сопротивление заземления опор ВЛ взяты значения, полученные импульсным экспериментальным измерителем (осциллограф и генератор) АО НТЦ ФСК ЕЭС – СибНИИЭ. **В соответствии с требования п. 2.4 РД 153-34.0-20.525-00, допускается выполнять измерения сопротивления ЗУ опор импульсным методом. При значениях измерительных напряжений до 2 кВ никаких процессов искрообразования, оказывающих влияние на снижение измеренного сопротивления, не возникает.** Выбор параметров импульса на приборе зависит от конструкции заземляющего устройства опоры: 1,2/50 мкс – рекомендуется использовать при отсутствии протяженных заземлителей, данный импульс исключает влияние грозозащитного троса: 8/20 мкс – рекомендуется использовать при наличии протяженных заземлителей или для ЗУ подстанций (рекомендации получены от разработчика прибора ИК-1).

4.1. Результаты измерений

В результате проведенных измерений произведена оценка и ранжирование приборов в зависимости от сходимости полученных измерений с эталонными значениями (таблица 6)

Таблица 6. Результаты сходимости измерений

п/п	Измерительный прибор	Методы измерений и сходимость результатов с эталоном			
		с отсоединением грозозащитного троса по двухлучевой схеме	Без отсоединения грозозащитного троса		
			импульсным методом МЭИ – ЭЛНАП	методом СибНИИЭ	с помощью токовых колец
1	СА 6472 + 6474	57%	Не измеряет	33%	71%

2	MRU-200	60%	20%	33%	Не измеряет
3	ИК-1	43%	28%	Не измеряет	Не измеряет
4	Megger det2/2	42,8%	Не измеряет	33%	Не измеряет
5	СА 6462	42,8%	Не измеряет	33%	Не измеряет

60-70 %	30-59 %	0-30 %
Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно

Проанализировав результаты измерений видно, что сходимость результатов по сравнению с эталонным значением в большинстве случаев значительно различается, это подтверждает невозможность измерения сопротивления заземления опор ВЛ в грунтах с высоким удельным сопротивлением с допустимой погрешностью п.34.4 СТО 34.01-23.1-001-2017. Данный эффект происходит за счет высокого сопротивления растекания в грунте с низкой электрической проводимостью. Но получаемый результат, даже с учетом сходимости около 30 %, является достаточным для **качественной** оценки существующего заземляющего устройства у опоры ВЛ и планирования последующего капитального ремонта.

Важным момент при подготовке измерительной схемы является необходимость исключения инструментальной погрешности в измерительной схеме, которая влияет на расхождение результатов, иногда на несколько порядков. Необходимо устранить контактное сопротивление, оказываемое металлическим окислом, между телом опоры и заземленным фундаментом опоры, вносящее значительную погрешность измерений, путем преднамеренного электрического соединения данных конструкций медным проводником с хорошим контактным соединением (зачистка места от ржавчины, применение струбцин с острым наконечником и т.д.). Там например, у одной из опор было измерено сопротивление заземляющего устройства без объединения металлических оголовников свай и тела опоры, и с объединением с помощью переносного заземления, были получены значения 1200 Ом и 18,8 Ом.

4.2. Рекомендации по выбору измерительных приборов и схем измерений

1. Прибор СА 6472+6474 с токовыми кольцами (пояса Роговского) показал себя самым оптимальным для выполнения работ по измерению сопротивления заземления опор без отсоединения грозозащитного троса.

2. Прибор MRU-200 показал хороший результат, позволяет выполнять измерения заземления всеми возможными методами, но оказался очень чувствительным к сопротивлению электродов при импульсном методе (сопротивление цепи должно быть не более 1 кОм), что иногда очень сложно достичь ввиду значительных трудозатрат на измерения в грунте с высоким удельным сопротивлением.

3. Импульсный метод измерения прибором ИК-1 без отсоединения грозозащитного троса и способ измерения с отсоединением грозозащитного троса показали себя примерно на одном уровне по сходимости результатов. Для получения корректных результатов при измерении прибором ИК-1 требует хороший опыт оператора, чтобы правильно понимать получаемый результат и дискретно относить к ошибкам измерений или действительному значению. Изготовитель прибора предлагает при приобретении прибора, так же включить в стоимость обучение персонала с выездом на объекты Заказчика.

4. Измерения прибором Megger det 2/2 и прибором С.А. 6462 получились в удовлетворительном диапазоне получаемых результатов. Они позволяют выполнить измерения с отсоединением грозозащитного троса или без отсоединения грозозащитного

троса по методу СибНИИЭ, основанному на использовании трех измерительных схемах и с последующим пересчетом.

5. Способ измерения с отсоединением грозозащитного троса подтвердил свою достоверность, являясь самым простым с инструментальной и схемной точки зрения, но оказался самым трудозатратным, долгим по организации работ и самым небезопасным, так как необходимо подать заявку на вывод АПВ ВЛ (за 10 дней) для отсоединения грозозащитного троса, выполнить разземление грозозащитного троса путем подъема на опору и его последующего заземления. Причем столкнулись с тем, что в двух случаях не получилось разземлить грозозащитный трос, так как соединительные болты проржавели.

6. Измерение сопротивление заземления без отсоединения грозозащитного троса методом СибНИИЭ (3 схемы измерения) показал себя хорошо при удельном сопротивлении грунта до 300 Ом*м, при больших значения были получены завышено некорректные значения.

7. При подготовке измерительной схемы для измерения сопротивления заземления опор необходимо устранить контактное сопротивление, оказываемое металлическим окислом, между телом опоры и заземленным фундаментом опоры, вносящее значительную погрешность измерений, путем преднамеренного электрического соединения данных конструкций медным проводником с хорошим контактным соединением (зачистка места от ржавчины, применение струбцин с острым наконечником и т.д.).

Рациональная грозозащита линий основывается на комплексе защитных мероприятий. Сюда, помимо подвески тросов, могут входить снижение импульсного сопротивления заземления опор, выбор оптимальной с точки зрения технико-экономического обоснования конструкции линии, применение грозозащитных разрядников или ОПН по всей длине линии или в отдельных ее точках, автоматическое однофазное или трехфазное повторное включение, резервирование электроснабжения и т.д.

Эффективность каждого из этих мероприятий различна, поэтому вопрос о способах грозозащиты приходится решать индивидуально для каждой линии с учетом ее особенностей.

5. Выводы

1. Установка ОПН на ВЛ обеспечивает высокую эффективность (до 95%) которую можно дополнительно повысить путем ревизии цепи заземления опоры ВЛ и доведения Rзу контура до нормативных требований.

2. Для повышения грозоупорности необходимо:

- выполнять ревизию цепи заземления опор ВЛ;
- ремонт ЗУ опор ВЛ, с установкой дополнительных искусственных глубинных заземлителей;
- замена нулевых/загрязненных изоляторов в гирлянде на ВЛ;
- после оценки эффективности предыдущих мероприятий в течении 2-3 лет, необходимо принимать решение о целесообразности установки ОПН на опорах ВЛ.

3. Необходимо поддерживать состояние изоляции в удовлетворительном состоянии, чтобы импульсная прочность имела достаточный уровень и выдерживала импульсные грозовые перенапряжения. Таким образом помимо ежегодно планируемых мероприятий (замена грозозащитного троса, установка ОПН, ремонт ЗУ) необходимо **выявлять при осмотрах сильно загрязненные изоляторы и битые изоляторы с обязательным включением их замены в ремонтную программу.** В противном случае «копеечные»

работы могут существенно снижать эффективность такого дорогостоящего мероприятия как защита ВЛ ЛР.

4. Исходя из анализа, рекомендация по установке ЛР следующая – полная защита одной из цепей двухцепной ВЛ, в том числе защита ЛР каждой цепи опор отпаек, выполненных в одноцепном исполнении. Если часть ВЛ находится не введении АО «Россети Тюмень» необходимо взаимодействие с собственником, в части необходимости оснащения его части ВЛ защитными аппаратами, по той же схеме. Необходимо проведение детального анализа каждого грозового отключения ВЛ, оснащенных ОПН с выявлением причин отключений, при этом должна проверяться координация воздушных промежутков проводов ВЛ с заземленными конструкциями опор, приводящих к отключениям ВЛ от порывов ветра в начальный момент прохождения грозового фронта, а также проверка координации искрового промежутка ОПН с импульсной прочностью изоляции (проверяется осмотром соответствие искрового промежутка проектным данным);

5. Применение глубинных заземлителей эффективно для ВЛ-110, выделяющихся из общей массы по удельному числу грозовых отключений.

6. Особо важным моментом является необходимость приведения всей системы заземления опор ВЛ в удовлетворительное состояние. При попадании молнии в грозозащитный трос волна перенапряжения распространяется в двух направлениях по грозозащитному тросу, достигая заземленной опоры стекает в землю, и при этом распространяется далее по тросу к ближайшим опорам. При этом как правило в «схеме приема молнии» и стекания волны перенапряжений в землю участвует опора с наименьшим заземлением в системе заземления участка ВЛ. После нескольких стеканий тока молнии, со значительным значением (20-30 кА) происходит постепенное выгорание заземляющего проводника, поэтому для равномерного распределения термического воздействия тока молнии по всем заземлениям опор ВЛ необходимо **при проведении капитального ремонта заземляющих устройств выполнять ревизию контактных соединений грозотроса с опорой ВЛ, тела опоры с заземляющим устройством опоры ВЛ.**

Указанные мероприятия наиболее эффективны, когда выполняются не для единичных опор, а для ВЛ целиком, допускается одновременная комбинация указанных мероприятий при условии охвата ими всей ВЛ. В отдельных случаях (при ограниченном финансировании) допускается поэтапное выполнение мероприятий, при условии охвата ими всей ВЛ.

7. Для доведения сопротивления заземления опор ВЛ до нормируемых значений, необходимо получить достоверные значения сопротивлений заземления опор ВЛ и, на их основе, выполнить экономически обоснованное усиление контура заземления

Современные методы и средства измерений с применением импульсного метода или токоизмерительных клещей петлевого типа позволяют проводить измерения сопротивлений ЗУ опор без отсоединения троса. Тем самым, существенно сокращается время и уменьшаются затраты на проведение измерений, повышается безопасность выполнения работ. Для корректно принятия решения о корректном применении методики или способа измерения сопротивления ЗУ **необходимо подготовить Стандарт**, позволяющий выполнять измерения сопротивления ЗУ опор ВЛ 35-220 кВ и выше без отсоединения грозозащитного троса различными методами, с учетом особенностей проведения измерений в грунтах с высоким удельным сопротивлением, в труднопроходимой местности (на воде, в болоте) и в зимний период.