

Анализ грозозащиты ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2».
Рекомендации по снижению числа грозовых отключений при использовании линейных разрядников.

1. Исходные данные.

Согласно ТЗ «на выполнение проектных работ по техническому перевооружению ВЛ 110 кВ Северный Варьеган – Таврическая 1- цепь (установка ОПН) филиала АО Тюменьэнерго электрическим сетям филиала АО «Тюменьэнерго» Когалымские электрические сети.

Исходные данные по ВЛ 110 кВ взяты из паспорта двухцепной линии:

«Паспорт ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврическая 1,2».

От ВЛ отходит отпайка на ПС Западный Варьеган.

Общая протяженность линий составляет 57,661 км (построены и введены в эксплуатацию в 2008 гг.), однолинейная схема ВЛ 110 кВ показана на рисунке 1. Основные характеристики ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврическая 1,2» приведены в таблице 1.1.

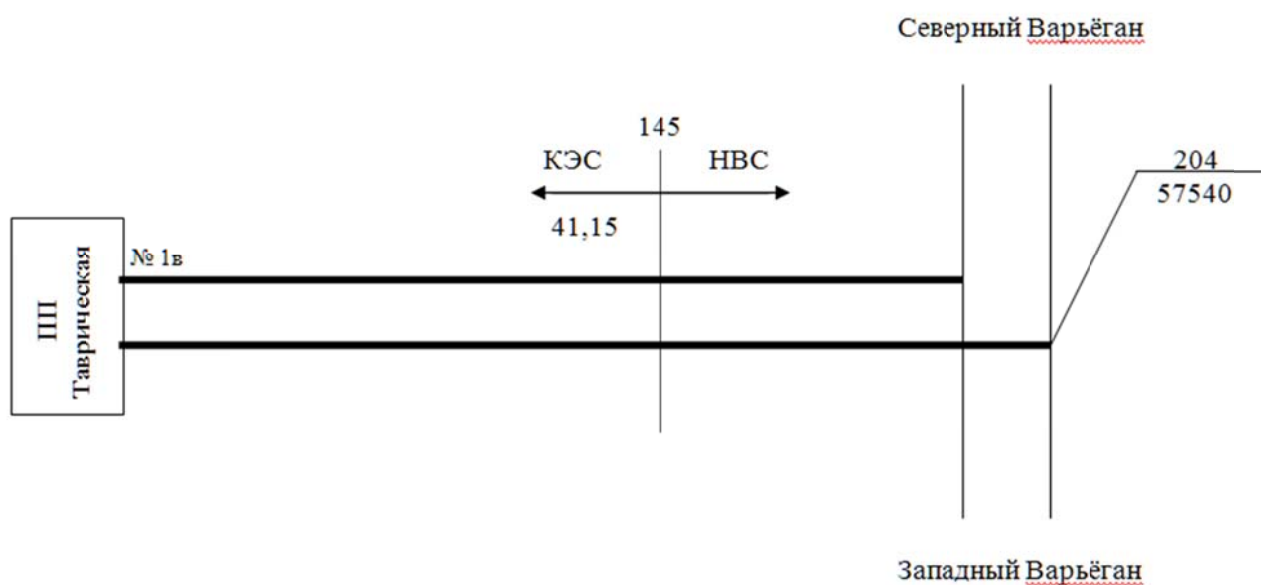


Рис. 1. Схема ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврическая 1,2» Когалымских электрических

ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2» выполнена на металлических двухцепных одностоечных промежуточных и анкерных опорах. Общее число опор – 207 шт.

Особенностью ВЛ 110 кВ является использование на большем числе промежуточных и анкерных опор (оп. №5 – оп. № 200) линейной изоляции на класс напряжения 220 кВ типа ЛК-70/220-AIV и ЛК-160/220-AIV.

Наибольшее количество опор составляют - промежуточные опоры типа П220-2 - 168 шт., что составляет 82% от общего числа опор.

На опоре №17 установлены ОПН 110 кВ типа ОПН-PEXLIM Q 120 на 1 и 2 цепи.

Исходя из ТЗ модернизация грозозащиты ВЛ 110 кВ относится к одной цепи двухцепной ВЛ 110 кВ. Среднее число грозовых часов вдоль трассы ВЛ составляет 20 -40 грозовых часов.

Таблица 1.1 – Основные параметры двухцепной ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврическая 1,2»

1	Класс напряжения, кВ	110
2	Кол-во цепей	две
3	Длина ВЛ, км, две цепи	57,661
4	Количество проводов в фазе	один
5	Марка провода	АС120/19- порт. «Таврическая»-оп.4:оп.201-204-сущ. АС240/32-оп.4-оп.201
6	Марка грозозащитного троса (длина)	ТК-50 порт. «Таврическая»-оп.4; оп.201-204-сущ. ТК-70 оп.17-201.;2ТК-70 оп.4-17.
7	Количество опор всего	207
8	Количество анкерных, анкерно-угловых опор	26
9	Количество промежуточных опор	181
10	Средняя длина пролета, м	280
11	Район по гололеду	II
12	Район по ветру	II
13	Среднегодовая продолжительность грозовых часов, час	20-40

2. Эксплуатационные показатели грозоупорности ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2».

Обобщенные данные опыта эксплуатации по грозовым отключениям за период с 2013 по 2016 г.г. включительно, ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2» приведен в таблице 2.1 и Приложении 1.

Среднее число грозовых отключений ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2» в период 2013-17 г.г. составило 3,6 отключений в год, удельный показатель – 6,43 отключения на 100 км в год. Двухцепные отключения на ВЛ 110 - 1,2 отключения в год, что составляет 30 % от общего числа отключений линии.

В, соответствии, с требованиями ТЗ на проектирование число одноцепных отключений должна составлять не более 2,0 на 100 км в год и не более 0,2 на 100 км в год число двухцепных отключений.

Удельное число грозовых отключений двухцепной ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2» превышает средние отраслевые показатели по числу грозовых отключений для линий данного класса напряжения - 1,0 отключение на 100 км в год в соответствии с РД [1].

Таблица 2.1 - Эксплуатационные показатели грозоупорности ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврическая 1,2» при длине ВЛ 57,661 км.

Цепь, ВЛ, на которой произошло отключение	Число грозových отключений, 1/год					Всего	Среднее в год		Удельное число откл. 1/100 км	
	2013	2014	2015	2016	2017					
1 цепь ВЛ 110 кВ «С. Варьеган – ПС Таврическая»	3	2	-	1	3	9	1,8	2,4	3,21	4,29
2 цепь ВЛ 110 кВ «С. Варьеган – ПС Таврическая»	1	-	-	-	2	3	0,6		1,07	
одновременно 1 и 2 цепи	1	-	2	2	1	6	1,2	1,2	2,14	
Всего 2-х цепной ВЛ						18	3,6	3,6	6,43	

Для обеспечения требуемых показателей по числу грозовых отключений на ВЛ 110 кВ могут использоваться линейные защитные аппараты – подвесные нелинейные ограничители перенапряжений и линейные разрядники. Выбор типа защитного аппарата и расстановка вдоль линии осуществляется по методике СТО [2]. Опыт применения защитных аппаратов на двухцепных ВЛ 110 кВ с тросовой защитой от двухцепных отключений и снижения числа одноцепных отключений, как показывает практика, предпочтительны линейные разрядники (ЛР) – нелинейные ограничители перенапряжений с внешним искровым промежутком [3]. Наличие внешнего искрового промежутка обеспечивает изоляцию между рабочим резистором разрядника и фазным проводом, что обеспечивает безаварийную работу линии при повреждении разрядника и снижает затраты на профилактические испытания разрядников, которые заключаются в осмотрах внешней изоляции.

На рис.2 представлена расчетная зависимость удельного числа грозовых отключений двухцепной ВЛ 110 кВ на металлических опорах П220-2 с линейной изоляцией ЛК -70/220 в зависимости от сопротивления заземления опор и при защите одной из цепей защитными аппаратами при 40 грозовых часах рассчитанная по методике СТО [2] (Таблица А.31).

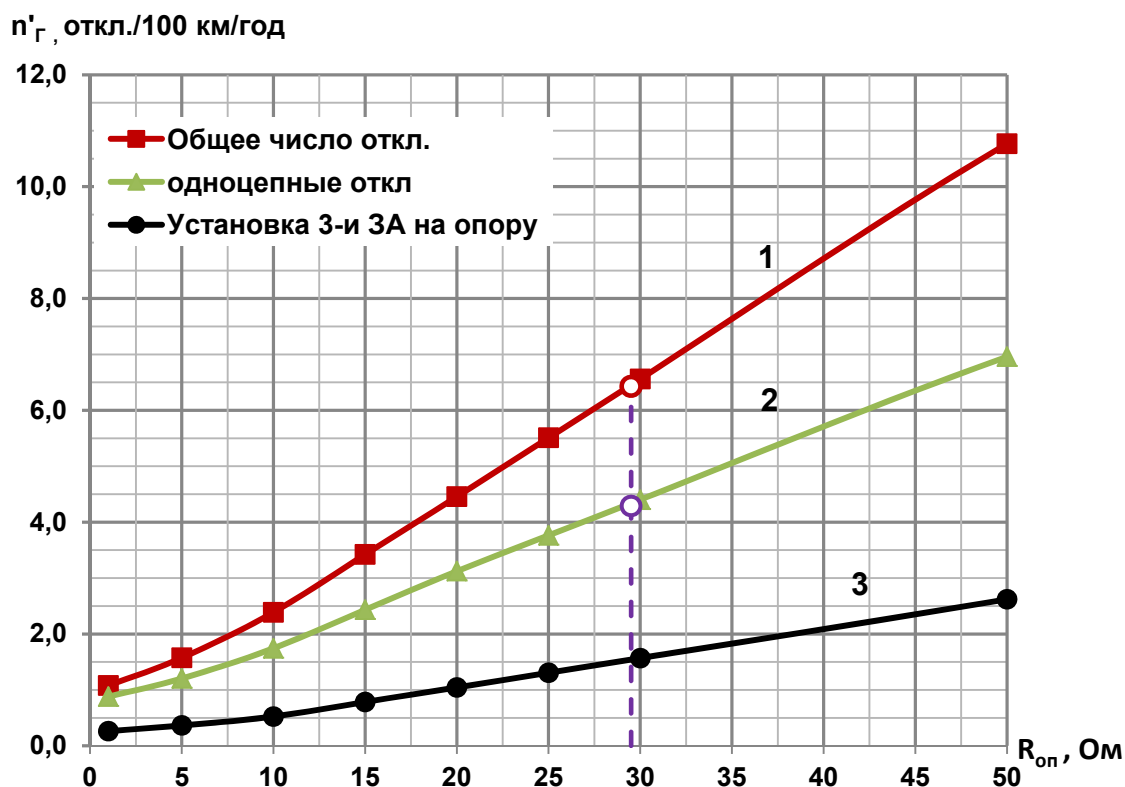


Рис. 2. Зависимость удельного числа грозовых отключений $n'_Г$ откл./100 км/год двухцепной ВЛ 110 кВ на металлических опорах П220-2 с изоляцией ЛК -70/220, с разрядной длиной 1,8м: 1 –общее число отключений без защитных аппаратов; 2 - число одноцепных отключений; 3 – число отключений одноцепных незащищенной цепи, при установке 3-х ЗА на опору (защита одной цепи). Штриховая линия - проведена от значений по опыту эксплуатации 6,43 откл./100 км в год (общее число) и 4,29 откл./100 км – одноцепные отключения.

Как видно из рис. 2 число грозových отключений двухцепной ВЛ зависит от сопротивления заземления заземляющих устройств опор. Установка ЗА на одной из цепей (3-и на опору) практически полностью исключает одноцепные отключения на цепи, на которой установлены защитные аппараты, практически исключает двухцепные отключения ВЛ и в 3 раза снижает число одноцепных отключений незащищенной цепи.

Число отключений незащищенной цепи - 0,84 отключения в год (1,45 откл./100 км), что меньше требуемого показателя отключений ВЛ 110 кВ - 2,0 откл./100 км в год.

2.2. Сопротивление заземляющих устройств опор ВЛ 110 кВ.

Данные по измерению импульсного сопротивления заземляющих устройств (ЗУ) опор в паспортах ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2» не представлены.

В качестве заземляющих устройств (ЗУ) опор на ВЛ 110 кВ используются естественные заземлители в виде сборных железобетонных фундаментов и дополнительные лучевые заземлители.

Данные по измерениям сопротивлений R_{Σ} опор ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2» в паспорте линии не представлены. В разделе «Заземление» паспорта приведено, что трасса ВЛ проходит по грунтам с удельным сопротивлением грунта менее 100 Ом·м.

В таблице 2.2 представлены значения удельного сопротивления различных грунтов. Наличие торфа, воды приводит к снижению сопротивления заземления опор. При установке на насыпных песках приводит к увеличению сопротивления опор.

Таблица 2.2 - Удельные сопротивления грунтов.

Тип грунта	Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м
Речная вода	10 - 50
Торф, чернозем глина	20 - 60
Лес, суглинок	100 - 300
Песок, песок с галькой	300 - 500
Сухие пески	500 – 1000
Сухой песок с глубиной пласта более 10 м, скальный грунт	10000
Мерзлый грунт	10000 – 100000

Измерения сопротивлений заземляющих устройств на ВЛ -110 кВ «Ленинская-Широковская» Протокол № 2, «Измерение сопротивления заземляющих устройств электроустановок», (ООО «Альта-сервис». Испытательная лаборатория), проведенное на 20 опорах с насыпным грунтом (песок), показало, что удельное сопротивление грунта превышает 100 Ом·м у 17 опор из 20, а среднее значение сопротивления составляет - 21,5 Ом.

Сравнение опыта эксплуатации ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2» по грозovým отключениям с расчетным числом грозových отключений (рис. 2) показывает, что среднее сопротивление заземляющих устройств опор составляет 29,5 Ом. При возможных ошибках отнесения отключения линии к грозovým (Приложение 1) и уменьшении числа грозových отключений ВЛ, обеспечение удельного числа грозových отключений ВЛ 110 кВ не более 2,0 откл./100 км в год возможно при сопротивлении сопротивлений опор не более 7,5 Ом. При среднем сопротивлении $R_{\Sigma} = 20$ Ом число отключений ВЛ 110 кВ составляет 4,46 откл./100 км в год, что превышает допустимый показатель.

На рис.3. приведены расчетные значения грозových отключений ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2» в год в зависимости от номера опоры с учетом типа опор, длины пролета при среднем сопротивлении R_{Σ} опор равным 29,5 Ом рассчитанное по формуле (6.1) СТО [2].

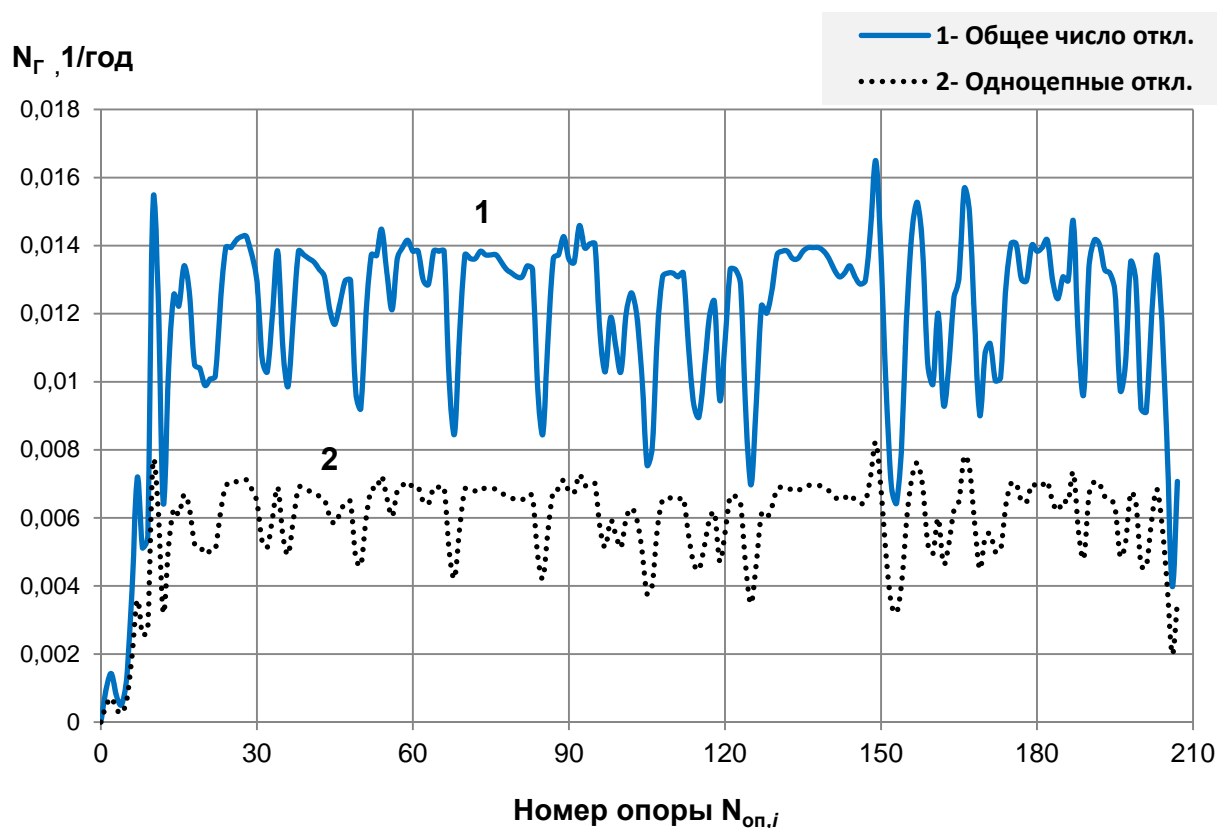


Рис. 3. Значения грозových отключений ВЛ 110 кВ «Северный Варьеган – Таврический 1,2» в год в зависимости от номера опоры

Среднее расчетное число отключений ВЛ 110 кВ в год составляет 3,7 отключения или 6,38 отключений на 100 км в год.

Среднее число ударов молнии в ВЛ 110 кВ - 21,9 в год или 38,04 – ударов 1/100 км.

3. Расчет грозозащиты ВЛ 110 кВ "Северный Варьеган – Таврическая 1,2" при использовании защитных аппаратов.

3.1. Общее.

Исследования грозозащиты ВЛ с помощью защитных аппаратов (ЗА) [3,4,5] показали, что для защиты ВЛ, эксплуатируемых без тросов, предпочтительны линейные ОПН. Применение ОПН в этих случаях позволяет обеспечить более равномерное распределение энергии разряда молнии и снизить требования к удельной энергоемкости нелинейного сопротивления. Для защиты ВЛ, эксплуатируемых с тросом, предпочтительны линейные разрядники (ЛР) с внешним искровым промежутком (ВИП). Установка ЛР с искровым промежутком, в отличие от ОПН, не позволяет реализовать эффект «распределенного» защитного аппарата. Срабатывание ЛР, в силу особенности их конструкции, происходит только на 2 смежных опорах пролета ВЛ, в который происходит удар молнии. В этом случае, распределение энергии разряда молнии не зависит от типа (конструкции) ЛР и требования к удельной энергоемкости для аппаратов различного типа одинаковы. Определяющими являются такие показатели, как: стоимость, надежность работы, удобство монтажа и обслуживания. По этим показателям ЛР с внешним искровым промежутком предпочтительны по сравнению с линейными ОПН [3,5]. В отличие от подвесных ОПН, линейные разрядники не требуют профилактических испытаний перед грозовым сезоном, так как не находятся под воздействием фазного напряжения.

Конструкция ЛР состоит из рабочего резистора (РР) с нелинейной вольт - амперной характеристикой и внешнего искрового промежутка (ВИП), отделяющего РР от провода. Внешний искровой промежуток образуется между защитным экраном на модуле РР и проводом.

Конструкция РР при этом аналогична конструкции ОПН. Корпус РР имеет взрывопредохранительное устройство для сброса давления при внутреннем повреждении.

Устройство отделителя для ЛР не требуется, его функцию выполняет внешний искровой промежуток. Особенности работы ЛР заключаются в том, что при воздействии грозовых перенапряжений, представляющих опасность для линейной изоляции, искровой промежуток перекрывается, и напряжение на изоляции ограничивается до уровня остающегося напряжения на РР при данном разрядном токе. После протекания разрядного тока (тока молнии) электрическая прочность ВИП быстро восстанавливается, не вызывая перехода импульсного перекрытия в силовую дугу [3.5].

Главное преимущество ЛР по сравнению с ОПН заключается в том, что РР разрядника не находится постоянно под рабочим напряжением и не подвергается воздействию квазистационарных и коммутационных перенапряжений. Тем самым, снижается риск

повреждения и повышается надежность работы ЛР. Кроме того, РР разрядника может быть скомплектован на меньшее остающееся напряжение, требования к изоляции РР также могут быть существенно облегчены, что позволяет снизить стоимость ЛР. Для разрядников данного типа не требуется специального устройства «отделителя», и повреждение ЛР практически не приводит к негативным последствиям для работы линии.

В дальнейшем рассмотрим выбор характеристик защитных аппаратов - ЛР-110 и ОПН-110 кВ для защиты от грозовых перенапряжений ВЛ 110 кВ с тросовой защитой.

3.2. Схема расстановки защитных аппаратов.

Выбор схемы расстановки защитных аппаратов определен п. 3.1 ТУ. СТО [2], который рассматривает различные схемы расстановки защитных аппаратов.

Эффективность схем расстановки ЗА по снижению числа грозовых отключений ВЛ определяется количеством установленным на опору. При этом схемы с одинаковым числом ЗА на опору имеют различную эффективность в разных диапазонах сопротивлений ЗУ опор. В схемах грозозащиты ВЛ с тросовой защитой рассматриваются несколько вариантов расстановки ЛР по опорам: на каждой опоре и через опору (односторонняя защита пролетов).

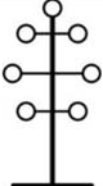
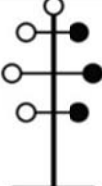
При выборе схемы защиты при использовании ЛР необходимо руководствоваться следующими общими положениями.

1. При применении ЛР, для защиты изоляции от обратных перекрытий при ударах молнии в трос (опору), зона защиты ЛР ограничивается местом его установки. То есть разрядник защищает изоляцию только на той опоре и фазе, где он установлен. Кроме того, они должны быть установлены на ближайших опорах, примыкающих к защищаемому участку (слева и справа), независимо от сопротивления ЗУ этих опор.

2. Для обеспечения наиболее эффективной защиты ЛР должны быть установлены на каждой опоре защищаемого участка ВЛ и на всех 3 фазах защищаемой цепи.

Как показал опыт применения ЛР и ОПН на ВЛ 110-220 кВ [3,5], эффективной схемой защиты двухцепной ВЛ 110 кВ с тросовой защитой от грозовых отключений является схема с установкой ЗА на каждой опоре защищаемого участка ВЛ на трех фазах одной цепи для двухцепных ВЛ (табл. 3.1).

Таблица 3.1 - Схемы расстановки ЗА (ЛР, ОПН) на двухцепной ВЛ 110 кВ.

Тип ВЛ	С грозозащитным тросом	
Вариант	Без ЗА	3-и ЗА на опору
Число ЗА на опору	0	3
Схема расстановки ЛР		
Примечание	○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен.	

3.3 Выбор основных характеристик защитных аппаратов.

3.3.1 Выбор основных характеристик линейных разрядников.

Требования к основным характеристикам ЛР можно сформулировать следующим образом:

1) характеристики ЛР должны быть скоординированы с разрядными характеристиками линейной изоляции при грозовых перенапряжениях и обеспечивать защиту изоляции линии от грозовых перекрытий;

2) вероятность повреждения ЛР разрядников должна быть в 5-10 раз меньше, по сравнению с требуемыми показателями грозозащиты линии;

3) ЛР должны быть адаптированы для установки и монтажа на промежуточных и анкерных опорах ВЛ 110 кВ.

Дополнительно к ЛР можно предъявить следующие требования: ток взрывобезопасности ЛР должен быть больше максимального значения тока однофазного замыкания на землю; ЛР должны иметь повышенный срок службы; стойкость к воздействию внешних климатических факторов; удобство монтажа на опоре; обеспечивать минимальные затраты при обслуживании и контроля.

Основные технические требования к ЛР 110 кВ определяются в соответствии с требованиями СТО. Необходимо отметить, что первые требования к ЛР 110 кВ, которые были установлены на двухцепной ВЛ 110 кВ «Контур-Ай - Пимская» были определены в [6].

- тип разрядника РВЛ-110/75-10/680 УХЛ1; номинальное напряжение разрядника $U_{\text{ном}}^{\text{ЛР}} = 75$ кВ, которое удовлетворяет требованиям СТО относительно номинального напряжения ЛР-110 кВ:

$$U_{\text{ном}}^{\text{ЛР}} \geq 1,02 \cdot \frac{1,15 \cdot 110}{\sqrt{3}} \geq 75 \text{ кВ.}$$

3.3.1.1 Определение защитной характеристики ЛР 110 кВ.

В качестве линейной изоляции на ВЛ 110 кВ «С.Варьеган –Тпврическая 1,2» в поддерживающих и натяжных подвесках промежуточных (П220-2) и анкерных опор, где применяются провод АС240/32 используются линейные полимерные изоляторы типа ЛК-70/220-AIV, ЛК-160/220-AIV на класс напряжения 220 кВ (рис.4) с разрядной длиной не менее 1840 мм.

На части линии на анкерных опорах, где применяется провод АС120/19, в качестве изоляционных подвесок используются полимерные изоляторы типа ЛК-70/110-AIV на класс напряжения 110 кВ с разрядной длиной не менее 1005 мм (таблица 3.2).

Таблица 3.2 - Номера и тип опор, на которых применяются изоляторы типа ЛК-70/110-AIV.

№ оп.	Тип опоры	№ оп.	Тип опоры
1в	Ур110-3+5	4	У220-2
1а	У110-2	201	У220-2
1б	У110-2+5	202	У220-2
1	У110-2	203	У220-2
2	У110-2	204	У220-2
3	УР110-2+5		

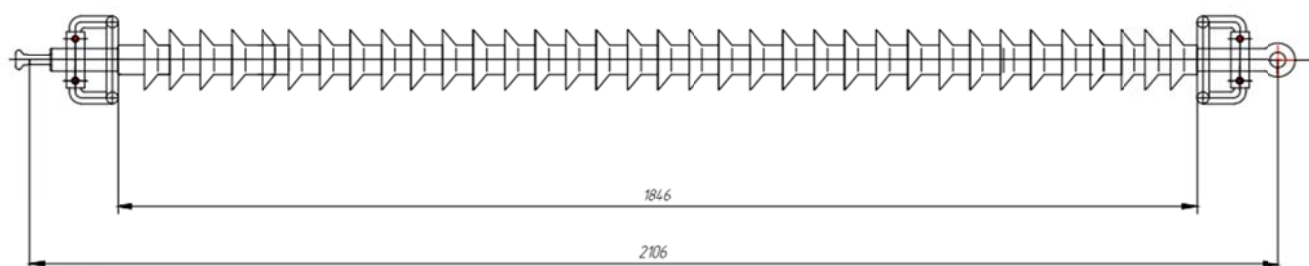


Рис. 4. Габаритные размеры изолятора ЛК-70/220-AIV.

Таким образом, на ВЛ 110 кВ на большинстве опор применяется линейная изоляция типа ЛК-70/220-AIV на класс напряжения 220 кВ. На части анкерных опор используется линейная изоляция на класс напряжения 110 кВ.

Защитная характеристика ЛР должна быть скоординирована с вольт-секундной характеристикой гирлянд изоляторов ВЛ таким образом, чтобы при воздействии грозовых перенапряжений происходило опережающее срабатывание искрового промежутка ВИП (внешнего искрового промежутка) по отношению к перекрытию линейной изоляции. Для защиты изоляции от обратных перекрытий при ударах молнии в трос это условие должно выполняться при воздействии напряжения грозовых импульсов положительной полярности с крутизной нарастания напряжения вплоть до 2000 кВ/мкс.

Интервал координации должен составлять не менее 20 %. Защитная характеристика ЛР предоставляется производителем. В случае, отсутствия данных по вольт-секундной характеристике гирлянд изоляторов (линейной изоляции) СТО рекомендует использовать формулу

$$u_{BCX} \geq l_{разр} \cdot \left(400 + \frac{710}{t^{0,75}} \right), \text{ кВ} \quad (3.1)$$

Проверка координации защитной функции РР линейного разрядника проверяется по выполнению следующего условия:

$$U_{ост,10}^{PP} \leq \frac{U_{50}}{1,5}, \quad (3.2)$$

где $U_{ост,10}^{PP}$ – остающееся напряжение на РР линейного разрядника при грозовом импульсе тока 10 кА (8/20 мкс); U_{50} – наименьшее из значений 50 %-го разрядного напряжения гирлянды изоляторов при воздействии стандартных грозовых импульсов (1,2/50 мкс) положительной и отрицательной полярностей.

Для полимерных изоляторов ЛК 70/220 наименьшее значение разрядного напряжения при положительной полярности U_{50} составляет 1000 кВ; для ЛК 70/110 полярности U_{50} составляет 550 кВ.

Соответственно, для РР остающееся напряжение при грозовых импульсах тока 8/20 мкс с амплитудой тока 10 кА должно быть не более

$$\text{ЛК 220 кВ } U_{ост,10}^{PP} \leq 1000 / 1,5 = 667 \text{ кВ};$$

$$\text{ЛК 110 кВ } U_{ост,10}^{PP} \leq 550 / 1,5 = 367 \text{ кВ}.$$

По результатам испытаний, проведенных в СибНИИЭ [6,7,8] было определено, что защитная характеристика разрядника 110 кВ – напряжение перекрытия ВИП, определяется длиной искрового промежутка и зависит от величины остающегося напряжения на РР, на которое он скомплектован. Были определены требования к защитным характеристикам ЛР 110 кВ для защиты линейной изоляции (8×ПС70-Д и ЛК 70/110) с разрядной длиной 1,02 м:

- длина ВИП должна составлять – **500 мм**, но не более 650 мм;
- остающееся напряжение РР при импульсном токе грозовой волны 8/20 мкс с амплитудой 10 кА не должно превышать **180 кВ**.

Разрядные характеристики линейной изоляции ВЛ 110 кВ представлены на рис.5. Разрядные характеристики ВИП определялись при совместном испытании с ЛК 70/110 кВ [6].

В техническом отчете [7], а также по результатам исследований, проведенных в СибНИИЭ были определены требования к защитным характеристикам ЛР 220 кВ для защиты линейной изоляции (ЛК-70/220) с разрядной длиной 1,846 м:

- длина ВИП должна составлять не менее **800 мм**, но не более 1200 мм;
- остающееся напряжение РР при импульсном токе грозовой волны 8/20 мкс с амплитудой 10 кА не должно превышать **370 кВ**.

Разрядные характеристики линейной изоляции (ЛК70/110 и ЛК 70/220) представлены на рис.4.1. Разрядные характеристики ВИП (500 мм и 800 мм) определялись при совместном испытании с ЛК 70/110 и ЛК 70/220 кВ.

Таким образом, для защиты линейной изоляции двухцепной ВЛ 110 «С. Варьган – Таврическая» могут применяться линейные разрядники в зависимости от линейной изоляции:

Изоляция ЛК 70/110

- линейные разрядники ЛР-110/75 с номинальным напряжением $U_{ном} = 75$ кВ, остающимся напряжением $U_{ост,10}^{PP} \leq 180$ кВ с длиной ВИП 500 мм.

Изоляция ЛК 70/220

- линейные разрядники ЛР-110/75 с номинальным напряжением $U_{ном} = 75$ кВ, остающимся напряжением $U_{ост,10}^{PP} \leq 180$ кВ с длиной ВИП $L_{ВИП} = 500^{+50}$ мм;

- линейные разрядники ЛР-220/150 с номинальным напряжением $U_{ном} = 150$ кВ, остающимся напряжением $U_{ост,10}^{PP} \leq 370$ кВ с длиной ВИП $L_{ВИП} = 500^{+50}$ мм.

В дальнейшем для линейной изоляции ЛК 70/220 рассмотрим применение 2-х типов линейных разрядников ЛР-110/75-10/680 и ЛР-220/150-10/680.

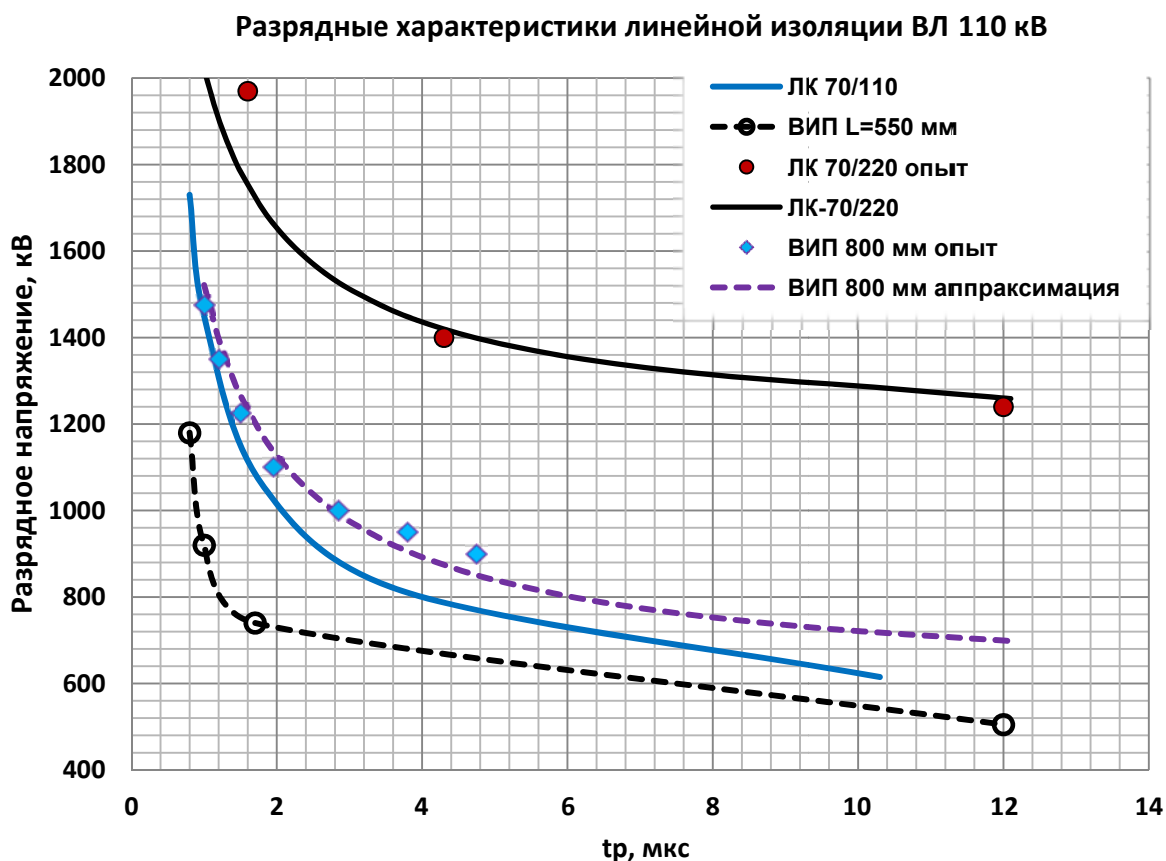


Рис. 5. - Вольт-секундные характеристики изоляции ВЛ 110 кВ (ЛК 70/110, ЛК 70/220) и внешних искровых промежутков (ВИП) 500 и 800 мм, при положительной полярности напряжения грозового импульса.

3.3.2 Выбор основных характеристик нелинейных ограничителей перенапряжений.

Для ОПН выбираем номинальное напряжение $U_{ном}$ по условию надежной работы аппаратов при квазистационарных перенапряжениях. Выбираем аппарат с наибольшим

длительно допустимым рабочим напряжением $U_{нр} = 88$ кВ. Наиболее тяжелые воздействия квазистационарных перенапряжений на ОПН возникают при однофазном коротком замыкании на землю на линии. В сетях 110 кВ уровень квазистационарных перенапряжений для сетей с эффективно заземленной нейтралью может достигать $U_{кв.п.} = 107$ кВ, время срабатывания последней ступени релейной защиты $t_{рз} = 4$ с. По характеристикам «допустимое напряжение – время» с предварительным нагружением из каталога ЗАО «Полимер-Аппарат» для ОПН определяем для времени $t_{рз} = 4$ с значения допустимых напряжений $U_{кв.п.}^{дон}$ которое определяется по формуле $U_{кв.п.}^{дон} = U_{нр} \cdot k_t = 88 \cdot 1,4 = 121$ кВ. То есть ОПН с $U_{нр} = 88$ кВ проходят по условию воздействия квазистационарных перенапряжений. Номинальное напряжение ОПН $U_{ном} = 110$ кВ.

Остающееся напряжение на ОПН определяется из формулы (3.2).

Для ОПН остающееся напряжение при грозовых импульсах тока 8/20 мкс с амплитудой тока 10 кА должно быть не более

$$\text{ЛК 220 кВ } U_{ост,10}^{онн} \leq 1000 / 1,5 = 667 \text{ кВ; (1)}$$

$$\text{ЛК 110 кВ } U_{ост,10}^{онн} \leq 550 / 1,5 = 367 \text{ кВ. (2)}$$

Данным требованиям соответствует ОПНп -110 с $U_{нр} = 88$ кВ значение остающегося напряжения при грозовой волне 8/20 с амплитудой для которого составляет 282 кВ. Для защиты линейной изоляции ЛК 70/220 может быть использован ОПН на класс напряжения 220 кВ с $U_{нр} = 146$ кВ и номинальным напряжением $U_{ном} = 183$ кВ с остающимся напряжением – 467 кВ.

Таким образом, для защиты линейной изоляции двухцепной ВЛ 110 «С. Варьган – Таврическая» могут применяться ОПН в зависимости от линейной изоляции:

Изоляция ЛК 70/110

- линейные ОПНп-110/680/88 с номинальным напряжением $U_{ном} = 110$ кВ, остающимся напряжением 282 кВ.

Изоляция ЛК 70/220

- линейные ОПНп-110/680/88 с номинальным напряжением $U_{ном} = 110$ кВ, остающимся напряжением 282 кВ.;
- линейные ОПНп-220/680/146 с номинальным напряжением $U_{ном} = 183$ кВ, остающимся напряжением 467 кВ.

В дальнейшем рассмотрим применение 2-х типов линейных ОПН: ОПНп-110/680/88 и ОПНп-220/680/146.

4. Расчет числа повреждений ЗА от ударов молнии в ВЛ 110 кВ. Выбор энергоемкости линейных разрядников и ОПН.

Допустимые энергии $W_{дон}$ в зависимости от типа защитных аппаратов и определяются по формулам. Для линейных ограничителей ОПН:

$$W_{доп}^{ЛО} = 2w_{уд}U_{нр} \text{ [кДж]}, \quad (4.1)$$

где $w_{уд}$ - удельная энергия ЛО, отнесенная к наибольшему допустимому напряжению ЛО; $U_{нр}$ – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ЛО, кВ.

Число повреждений ЛР от ударов молнии в ВЛ 110 кВ зависит от величины заряда ($Q_{нр}^{LP}$) импульса тока пропускной способности ЛР и числа ударов молнии.

Допустимая энергия $W_{доп}$ для линейных разрядников (ЛР) определяется по формуле:

$$W_{доп}^{LP} = 2U_{ост}(I_{нр}^{LP}) \cdot Q_{нр}^{LP} \quad \text{или} \quad W_{доп}^{LP} = 2w_{уд.ном} \cdot U_{ном}^{LP} \text{ [кДж]}, \quad (4.2)$$

где $Q_{нр}^{LP}$ - заряд грозового импульса тока пропускной способности синусоидальной формы; $U_{ост}(I_{нр}^{LP})$ - остающееся напряжение на резисторе ЛР при токе $I_{нр}^{LP}$; $U_{ном}^{LP}$ – номинальное напряжение ЛР, кВ; $w_{уд.ном}$ - удельная энергия ЛР отнесенная к номинальному напряжению.

В настоящее время производители ЛР не определяют значение заряда $Q_{нр}^{LP}$ импульса тока пропускной способности ЛР, а задают значение амплитуды тока грозового импульса синусоидальной формы $I_{нр}^{LP}$ (ток пропускной способности для ЛР) и определяют значение удельной энергии, которую аппарат рассеивает при рабочих испытаниях в соответствии с ГОСТР52725 [9]. По результатам испытаний линейных разрядников на класс напряжения 110-330 кВ ЗАО «Полимер-Аппарат» для ЛР 110 кВ значение амплитуды тока пропускной способности составляет $I_{нр}^{LP} = 9,2$ кА. Удельная энергия при токе пропускной способности $I_{нр}^{LP}$ составляет $w_{уд} = 3,7$ кДж/кВ. Длительность грозового импульса тока пропускной способности для ЛР лежит в пределах 200 – 230 мкс. Основные параметры ЛР представлены в таблице 4.1. Основные параметры ОПН представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Значения параметров ЛР 110 кВ и ЛР 220 кВ.

№ п.п.	Параметр	Характеристика ЛР	
		ЛР 110 кВ	ЛР 220 кВ
1	Номинальное напряжение ЛР, $U_{ном}$, кВ	75	150
	Остающееся напряжение при грозовых импульсах тока 8/20 мкс с амплитудой тока 10 кА	180	360
2	Амплитуда тока пропускной способности РР длительностью 2000 мкс, А, по ГОСТР52725-2007	680	
3	Удельная энергия РР (энергия 1-ого импульса тока 2000 мкс отнесенная к $U_{нр}$), кДж/кВ	4,0	
2	Амплитуда тока пропускной способности $I_{нр}^{LP}$, кА	9,2	
4	Удельная энергия ЛР (энергия 1-ого грозового импульса тока 210 мкс отнесенная к $U_{нр}$), кДж/кВ	3,7	
5	Удельная энергия ЛР (энергия 1-ого грозового импульса тока 210 мкс отнесенная к $U_{ном}$), кДж/кВ	3,0	
5	Допустимая энергии $W_{доп}^{LP}$ при ограничении молниевых перенапряжений, кДж	450	900

Таблица 4.2 – Значения параметров ОПН 110 кВ и ОПН 220 кВ.

№ п.п.	Параметр	Значение	
		ОПН 110 кВ	ОПН 220 кВ
1	Номинальное напряжение ОПН, $U_{ном}$, кВ	110	182,5
2	Наибольшее рабочее напряжение ОПН, $U_{нр}$, кВ	88	146
	Остающееся напряжение при грозовых импульсах тока 8/20 мкс с амплитудой тока 10 кА	282	467
2	Амплитуда тока пропускной способности ОПН длительностью 2000 мкс, А, по ГОСТР52725-2007	680	
3	Удельная энергия ОПН (энергия 1-ого импульса тока 2000 мкс отнесенная к $U_{нр}$), кДж/кВ	4,0	
5	Удельная энергия ОПН (энергия 1-ого импульса тока 2000 мкс отнесенная к $U_{ном}$), кДж/кВ	3,2	
5	Допустимая энергии $W_{доп}^{опн}$ при ограничении молниевых перенапряжений, кДж	704	1168

Расчет удельного числа повреждений линейных разрядников ЗА $n'_{ГЗ}^{повр}$ на 100 км в год, определяем в соответствии с положениями п. 7.5 СТО [4].

Среднее число повреждений защитных аппаратов определяется по формуле:

$$n'_{ГЗ}^{повр} = n'_Г \cdot k_i \cdot P_W(W_{доп}) [1/год] \quad (4.3)$$

где $n'_Г$ – удельное число ударов молнии в ВЛ на 100 км в год; k_i – коэффициент корректировки грозопоражаемости; $P_W(W_{доп})$ – расчетная вероятность повреждения ЛР-110 кВ, определенная по формуле (5.3) с коэффициентами, соответствующими сопротивлению ЗУ $R_{оп}$; $W_{доп}$ – допустимая энергия, поглощаемая ЛР при ограничении грозовых перенапряжений на ВЛ [кДж].

Значение $n'_{ГЗ}^{повр}$ определяются на основании распределений вероятностей превышения энергий, которые приведены в Приложении Б СТО, поглощаемых ЗА, установленные на двухцепных одностоечных опорах ВЛ 110 кВ. Эти зависимости представлены графически и аппроксимирующими формулами вида

$$P_W(w) = A_1 e^{T_1 w} + A_2 e^{T_2 w}, \quad (4.4)$$

где A_1 , T_1 , A_2 , T_2 – коэффициенты аппроксимации, которые сведены в таблицы для всех схем расстановки ЛР и ОПН из Приложения Б СТО.

Как показывают расчеты, при увеличении сопротивления опор вероятность повреждения ЛР увеличивается при энергиях до 900 кДж. Поэтому, расчеты вероятности повреждения ОПН и ЛР на двухцепных опорах проведем для среднего значения $R_{ЗУ}$ опор равного 30 Ом.

Удельное число ударов молнии в двухцепную ВЛ 110 кВ с наибольшим количеством опор П220-2 с тросовой защитой составляет 38,04 удара 1/100 км в год. На рис. 4.2 представлены зависимости числа повреждений ОПН и ЛР в год на 100 км при установке трех защитных аппаратов на 3-и фазы одной цепи линейных разрядников (кривая 1), ОПН (кривая 2).

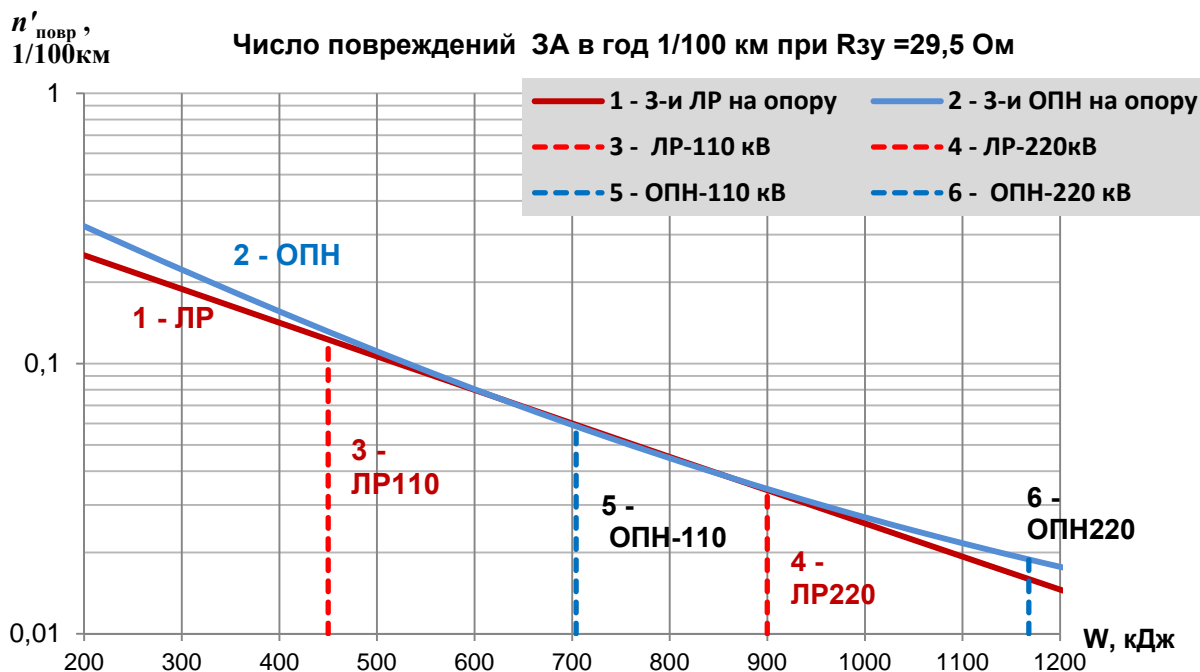


Рис. 6. Ожидаемые числа повреждений ЗА (ЛР и ОПН) повр./100 км в год, при сопротивлении R_{3y} опор 29,5 Ом при установке 3-х ЗА на опору.

В таблице 4.3 представлены значения повреждаемости ЗА $n'_{ГЗ}^{повр}$ в год на 100 км, среднее число повреждений ЗА в год.

Таблица 4.3 Ожидаемое число повреждений защитных аппаратов 110 кВ и 220 кВ, устанавливаемых на ВЛ 110 кВ «С.Варьган – Таврическая 1,2».

№ п.п	Параметр	Характеристики ЛР		Характеристики ОПН	
1	Номинальное напряжение ЗА, $U_{ном}$, кВ	75	150	110	182,5
2	Наибольшее рабочее напряжение ЗА, $U_{нр}$, кВ	-	-	88	146
3	Допустимая энергии $W_{дон}$ при ограничении молниевых перенапряжений, кДж	450	900	704	1168
5	Количество ЗА на опору, шт	3		3	
6	Удельные числа повреждений ЗА, $n'_{ГЗ}^{повр}$, 1/100км/год при $R_{3y} = 29,5$ Ом	0,12	0,034	0,059	0,019
7	Среднее число повреждений ЗА, $N_{ГЗ}^{повр}$, 1/ год	0,07	0,020	0,034	0,011
8	Число лет до повреждения 1 ЗА, год	14,5	51	29,4	91

Анализ таблицы 4.3 показывает, что наиболее оптимальными вариантами грозозащиты ВЛ 110 кВ «С.Варьган – Таврическая 1,2» при установке ЗА на 1-ю цепь является применение ЛР типа РВЛ-110/75-10/680 УХЛ1 или подвесных ОПН - 110/680/88-10-III УХЛ1. Число повреждений ЛР 220 и ОПН-220 кВ превышает нормируемый срок службы 30 лет ограничителей по ГОСТР 52725-2007 [9].

Для схемы расстановки разрядников на ВЛ 110 кВ (3 на опору) Число повреждений разрядников типа РВЛ-110/75-10/680 УХЛ1 составляет 0,12 повреждений на 100 км в год, что соответствует 1-му повреждению разрядника за 14,5 лет эксплуатации. При установке 3-х ОПН 110 кВ на опору число повреждений разрядников составит 0,034 повреждений на 100 км в год.

Выбор типа защитного аппарата: ЛР-110 кВ или ОПН-110 кВ должен проводиться исходя из показателей стоимости защитных аппаратов, стоимости обслуживания. Предпочтение можно отдать применению ЛР 110 кВ, так как данные аппараты не требуют профилактических испытаний в процессе эксплуатации (тепловизионный контроль) и имеют наименьшее влияния на сеть 110 кВ в нормальном режиме эксплуатации. В п.5 представлены требования к ЛР 110 кВ. В Приложение 2 требования к характеристикам ОПНп-110 кВ.

Количество повреждений ЛР входит в число грозовых отключений ВЛ. При полной защите одной из цепей ВЛ 110 кВ 3-и ЛР-110 кВ на опору и расчетном среднем сопротивлении R_{Σ} опор равным 29,5 Ом число одноцепных отключений незащищенной цепи составит – 0,9 откл в год или **1,56** отключений 1/100км/год. Защита одной цепи двухцепной ВЛ 110 кВ, практически исключает двухцепные отключения при ударах молнии в опору и прорывах на фазные провода.

5 Требования к характеристикам ЛР 110 кВ для защиты линейной изоляции ВЛ 110 кВ.

Электрические и неэлектрические характеристики ЛР 110 кВ должны соответствовать требованиям ГОСТР 52725 [9] и требованиям технических условий ТУ 3414-015-15207362-2007.

Работоспособность разрядников обеспечивается при номинальных значениях климатических факторов внешней среды по ГОСТ 15150 для климатического исполнения УХЛ, категории размещения 1, при следующих условиях эксплуатации:

- рабочие значение температуры окружающего воздуха – минус 60 °С до плюс 40 °С;
- соответствующих работе в атмосфере со степенями загрязнения – I, II и III ;
- высота установки над уровнем моря – до 1000 м.

При номинальном напряжении с предварительным воздействием двух импульсов тока пропускной способности и нагревом до 60°C разрядник обеспечивает обрыв дуги сопровождающего тока за время не более одного полупериода частоты 50 Гц.

Длина пути тока утечки рабочего резистора разрядника не менее – 200 см.

Изоляция рабочего резистора разрядника и изоляционного элемента кронштейна разрядника является трекинго-эрозионно стойкой и стойкой к проникновению влаги.

Разрядники должны удовлетворять требованиям по безопасности ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ 12.2.007.3-75. Ток взрывобезопасности ЛР 110 кВ должен быть на 15-20% больше значения тока (однофазного или трехфазного) к.з. в любой ВЛ 110 кВ при токах до 40 кА. При токах к.з. более 40 кА ток взрывобезопасности ЛР 110 кВ должны быть не менее значения тока к.з. С запасом определяем требования к току взрывобезопасности - 65 кА.

Технические характеристики и параметры ЛР 110 кВ для защиты линейной изоляции ВЛ-110 кВ типа РВЛ-110/75-10/680 УХЛ1 представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Технические характеристики ЛР 110 кВ (РВЛ-110/75-10/680 УХЛ1).

№ п/п	Наименование параметра (характеристики)	Требуемое значение
Условия эксплуатации		
1	Номинальное напряжение сети, кВ	110
2	Номинальная частота, Гц	50
3	Способ заземления нейтрали	Эффективно заземленная
4	Температура окружающей среды, °С	от минус 60 до плюс 40
5	Высота установки над уровнем моря, м,	не более 1000
6	Степень загрязнения атмосферы (СЗ по ГОСТ 9920), не более	II
Номинальные параметры и характеристики ЛР		
7	Номинальный разрядный ток, кА	10
8	Класс пропускной способности (по ГОСТ 52725)	2
9	Номинальное напряжение ЛР, кВ, не менее	75
10	Классификационное напряжение ЛР при классификационном токе 2 мА, кВ, не менее	70
11	Остающееся напряжение, кВ, не более, при коммутационном импульсе тока 30/60 мкс амплитудой: - 250 А; - 500 А; - 1000 А.	135 140 145
12	Остающееся напряжение, кВ, не более, при грозовом импульсе тока 8/20 мкс амплитудой: - 5 кА; - 10 кА; - 20 кА.	165 180 200
13	Остающееся напряжение при крутом импульсе тока 1/20 мкс с амплитудой 10 кА, кВ, не более	185
14	Удельная энергоемкость при воздействии одного прямоугольного импульса тока длительностью 2000 мкс амплитудой не менее 680 А (по ГОСТ Р 52725), кДж/кВ $U_{нр}$, не менее	4,0

№ п/п	Наименование параметра (характеристики)	Требуемое значение
15	Выдерживаемый не менее 18 раз импульс тока большой длительности 2000 мкс (ток пропускной способности), А, не менее	680
16	Амплитуда грозового импульса тока синусоидальной формы длительностью 210 мкс (ток пропускной способности), кА	9,2
17	Выдерживаемый не менее 2 раз импульс большого тока 4/10 мкс, кА, не менее	100
18	Среднее разрядное напряжение промышленной частоты в сухом состоянии и под дождем, кВ, не менее	200
19	Пятидесятипроцентное разрядное напряжение грозового импульса положительной полярности, кВ, не более	450
20	Разрядное напряжение грозового импульса положительной полярности при времени до разряда 1 мкс, кВ, не более	900
21	Дугогасящая способность при номинальном напряжении ЛР с предварительным воздействием двух импульсов тока пропускной способности и нагревом до 60 °С.	Обрыв дуги сопровождающего тока за время не более одного полупериода частоты 50 Гц.
Требования к конструкции, изготовлению и материалам		
22	Конструктивное исполнение ЛР по типу искрового промежутка	Внешний искровой промежуток между электродом рабочего резистора ЛР 110 кВ и проводом. Длина искрового промежутка: -500 ⁺⁵⁰ мм
23	Конструктивное исполнение ЛР по способу крепления на опоре	Для промежуточных опор: ВИП между электродом на РР и проводом. Для анкерных и анкерно-угловых опор: ВИП между фланцем РР и фланцем полимерного опорного изолятора. Конструкция искрового промежутка должна обеспечивать неизменность его длины при ветровых отклонениях провода во время грозы с допуском ± 10%
24	Длина внешнего искрового промежутка, мм	500 ⁺⁵⁰
25	Конструктивное исполнение, материал корпуса рабочего резистора ЛР	Корпус РР должен изготавливаться по технологии LSR (Liquid Silicon Rubber) с применением жидкой двухкомпонентной силиконовой резины
26	Конструктивное исполнение ЛР по способу крепления на опоре	Крепление на траверсе с помощью кронштейна на расстоянии 600,,,700 мм от оси ЛК 70/220 (ЛК 70/220) над проводом
27	Допустимая механическая сила на изгиб, Н, не менее	300

№ п/п	Наименование параметра (характеристики)	Требуемое значение
28	Допустимая механическая сила на растяжение (без учета собственного веса ЛР), Н, не менее	1000
29	Наличие противовзрывного устройства для сброса давления (да, нет)	да
30	Ток взрывобезопасности, кА, не менее	65
31	Тип внешней изоляции рабочего резистора (фарфор/полимер)	полимер (силикон)
32	Вибростойкость по ГОСТ 17516 (группа условий эксплуатации)	M1
33	Сейсмостойкость, баллов по шкале MSK, не менее	9
34	Масса, кг, не более	24
Требования к внешней изоляции		
35	Испытательные напряжения изоляции рабочего резистора, кВ, не менее: - грозового импульса; - переменного напряжения под дождем.	В соответствии с ГОСТ Р 52725-2007
36	Стойкость к проникновению влаги	по ГОСТ Р 52725
37	Удельная длина пути утечки внешней изоляции рабочего резистора, см/кВ, не менее	2,0
38	Уровень частичных разрядов, пКл, не более	10
Требования надежности		
39	Гарантийный срок, месяцев, не менее	60
40	Срок службы до списания, лет, не менее	30
41	Гарантийный срок сохраняемости, месяцев, не менее	24
Требования безопасности		
42	Требования безопасности	В соответствии с ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ 12.2.007.3-75
Комплектность поставки		
43	Комплект поставки разрядников (партии разрядников)	ЛР-110 кВ в комплекте с электродом. Кронштейн для крепления разрядника на траверсе опоры в комплекте с арматурой крепления (в соответствии с рабочей документацией на установку разрядников на ВЛ).
44	Эксплуатационная документация на разрядники, прилагаемая к комплекту поставки.	Паспорт (на каждый ЛР); Руководство по эксплуатации с указаниями по монтажу (в количестве по требованию заказчика, но не менее 2 экз. на партию ЛР, отправляемую в один адрес).

Литература.

1. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. /Под редакцией Н.Н. Тиходеева, 2-ое издание. Санкт-Петербург. Изд. ПЭИПК. Минтопэнерго РФ, 1999.
- 2.СТО 56947007-29.130.10.197-2015. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». Методические указания по применению ОПН на ВЛ 6-750 кВ.Москва.2015 г.
3. Гайворонский А.С, Заболотников А.П. Технологии грозозащиты ВЛ высших классов напряжения на основе применения линейных ОПН и разрядников с внешним искровым промежутком. Труды IV Международной конференции по молниезащите. Санкт-Петербург, 2014.
4. Гайворонский А.С, Линейные разрядники. Радикальное средство грозозащиты ВЛ. Новости электротехники, №2(38), 2006.
5. Гайворонский А.С, Гринько О.В., Данилевский С.С., Мазикин Н.В., Печеревин С.Г./ Опыт применения линейных разрядников с внешним искровым промежутком для повышения грозоупорности ВЛ 220 кВ в районах с высоким удельным сопротивлением
6. Протокол испытаний №02/1-01-08. Линейный разрядник типа РВЛ 110/75-10/550. Производства ЗАО «Полимераппарат» г. Санкт-Петербург. Приемочные испытания на соответствие требованиям рабочего проекта по договору № 3221 и ТУ 3414-015-15207362-2006. Филиала ОАО «НТЦ электроэнергетики» СибНИИЭ, Новосибирск, 2008 г.
7. Отчет «На выполнение ПИР по повышению грозоупорности ВЛ 220 кВ «Тында-Хорогочи», «Хорогочи-Лопча», «Хани-Чара», «Дипкун-Тутаул» . Этап II - «Обоснование и согласование с Заказчиком принципиальных решений по сооружаемому объекту». ЗАО «Полимер-Аппарат», Санкт-Петербург, 2011 г.
8. Гайворонский А.С, Гринько О.В., Данилевский С.С., Мазикин Н.В., Печеревин С.Г. Опыт применения линейных разрядников с внешним искровым промежутком для повышения грозоупорности ВЛ 220 кВ в районах с высоким удельным сопротивлением грунтов. Труды IV Международной конференции по молниезащите. Санкт-Петербург, 2014
9. ГОСТ Р 52725- 2007. Ограничители перенапряжений нелинейные азрядники вентильные и ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. М.Стандарт информ, 2007 г.

Приложение 1.

Отключения ВЛ 110 кВ «С.Варьеган – Таврическая 1,2» за период 2013 – 2017 гг.

№	Название ВЛ	Номер цепи		АПВ	Причина отключения (тип откл.)
1	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	12.01.2013 01-27	НАПВ,	трос
2	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	12.01.2013 04-19	УАПВ	трос
3	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	24.06.2013 16-13	УАПВ	Гроза (1ц)
4	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	04.08.2013 21-12	УАПВ	Гроза (1ц)
5	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	04.08.2013 21-16	УАПВ	Гроза (1ц)
6	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	04.08.2013 23-46	УАПВ	Гроза (1ц)
7	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	05.08.2013 08-38	УАПВ	Гроза (1-2ц)
8	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	05.08.2013 08-38	УАПВ	
9	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	17.06.2014 12-28	УАПВ	Гроза (1ц)
10	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	24.07.2014 17-50	УАПВ	Гроза (1ц)
11	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	25.07.2015 11-59	УАПВ	Гроза (1-2ц)
12	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	25.07.2015 11-59	УАПВ	
13	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	20.08.2015 06-18	УАПВ	Гроза (1-2ц)
14	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	20.08.2015 06-18	УАПВ	
15	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	07.12.2015 08-25	НАПВ,	трос
16	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	09.06.2016 14-21	УАПВ	Гроза (1-2ц)
17	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	09.06.2016 14-21	УАПВ	
18	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	28.07.2016 03-21	УАПВ	Гроза (1-2ц)
19	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	28.07.2016 03-21	УАПВ	
20	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	11.09.2016 04-53	УАПВ	Гроза (1ц)
21	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	17.06.2017 20-22	УАПВ	Гроза (1ц)
22	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	17.06.2017 22-58	УАПВ	Гроза (1-2ц)
23	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	17.06.2017 22-58	УАПВ	
24	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	18.06.2017 08-47	УАПВ	Гроза (1ц)
25	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	18.06.2017 10-10	УАПВ	Гроза (1ц)
26	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	18.06.2017 16-26	УАПВ	Гроза (1ц)
27	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	29.06.2017 13-12	УАПВ	Гроза (1ц)
	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-1	1	с 2013 по 2017		16(15)
	ВЛ 110 кВ Таврическая-С-Варьеган-2	2	с 2013 по 2017		11 (9)
	2 цепи одновременно				6

Технические характеристики ОПН 110 кВ для защиты линейной изоляции ВЛ 110 кВ.

Электрические и неэлектрические характеристики ЛО – ОПНп 110/680/88-10-III-УХЛ1 П должны соответствовать требованиям ГОСТР 52725 [9]. Технические характеристики ЛО 110 кВ для защиты линейной изоляции ВЛ-110 кВ подвешного исполнения типа ОПНп – 110/680/88-10- III-УХЛ - П представлены в таблице П2.1.

Таблица П2.1 – Технические требования к характеристикам ОПНп – 110/680/88-10-III-УХЛ – П подвешного исполнения*.

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Класс напряжения сети, кВ	110
2	Номинальное напряжение ОПН, кВ, не менее	110
3	Номинальная частота, Гц	50
4	2. Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН, кВ, не менее	88
5	Номинальный разрядный ток, кА	10
	Тип внешней изоляции	полимер
	Тип ограничителя	подвесной
6	Остающееся напряжение, кВ, не более, при грозовом импульсе тока 8/20 мкс с амплитудой:	
	5000 А	257
	10000 А	282
	20000 А	316
7	Остающееся напряжение, кВ, не более, при коммутационном импульсе тока 30/60 мкс с амплитудой:	
	250 А	208
	500 А	215
	1000 А	226
8	Остающееся напряжение при крутом импульсе тока 1/10 мкс с амплитудой 10 кА, кВ, не более	307
9	Удельная энергоемкость, кДж/кВ, не менее	4,0
10	Ток пропускной способности, А,	680
11	Выдерживаемый не менее 2 раз импульс большого тока 4/10 мкс, кА, не менее	100
12	Способность к рассеиванию энергии расчетного прямоугольного импульса 2000 мкс, кДж, не менее	352
13	а) Испытательное (выд) напряжение полного грозового импульса 1,2/50 мкс, кВ, не менее	450
14	б) Испытательное (выдерживаемое) напряжение коммутационного импульса 250/2500 мкс кВ, не менее	-
15	в) Выдерживаемое одномоментное напряжение промышленной частоты в сухом состоянии и под дождем, кВ, не менее	200
16	Длина пути утечки внешней изоляции, не менее	315
17	Максимальный кажущийся заряд частичных разрядов, не более, пКл, не менее	10
18	Масса ограничителя, кг, не более	27
19	Габаритные размеры ОПН (высота/диаметр), не более	1110

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
20	Разрушающая нагрузка на растяжение, не менее	12
21	Ток взрывобезопасности, кА, не менее	65
22	Наличие отделителя в цепи заземления ОПН (да,нет)	да

Требования к отделителям ОПН.

Защитные аппараты типа ОПН-110 кВ дополнительно должны иметь отделители, которые обеспечивают разрыв заземляющего шлейфа ОПН при повреждении аппаратов.

В, соответствии, с международным стандартом IEC – 60099-4 отделитель ограничителя перенапряжений - это устройство для отключения ограничителя от сети в случае его повреждения, чтобы предотвратить возникновение устойчивого короткого замыкания в системе и визуальной индикации поврежденного разрядника. Отделитель (дисконнектор), установленный в заземляющем конце после своего разрушения отделяет заземляющий шлейф ОПН.

В нормальном эксплуатационном режиме через отделитель протекают все виды токов, которые протекают через ОПН: токи утечки, импульсные токи грозового и коммутационного характера. По токам пропускной способности дисконнектор должен соответствовать выбранному типу ОПН. При возникновении аварийной ситуации - внутреннее повреждение ОПН, когда происходит увеличение тока (ток однофазного КЗ) и его длительности, происходит его нагрев и взрывное разрушение до отключения ВЛ.

Характеристики отделителя для ВЛ 110 кВ представлены в таблице П2.2.

Таблица П2.2.- Требования к характеристикам отделителя*.

Уровень тока	Ток промышленной частоты			Прямоугольный импульс тока, длительностью 2000 мкс	Большой ток грозовой волны 4/10 мкс,
	20 А	200 А	800 А	1000 А	100 кА
Время срабатывания, с	<0,5	<0,04	<0,02	18 импульсов	2 импульса

Отделитель должен иметь разрушающую нагрузку на растяжение не менее 2000 Н.

*) Характеристики ОПНп-110 подвесного исполнения, отделителя, должны быть подтверждены протоколами испытаний независимых испытательных центров.

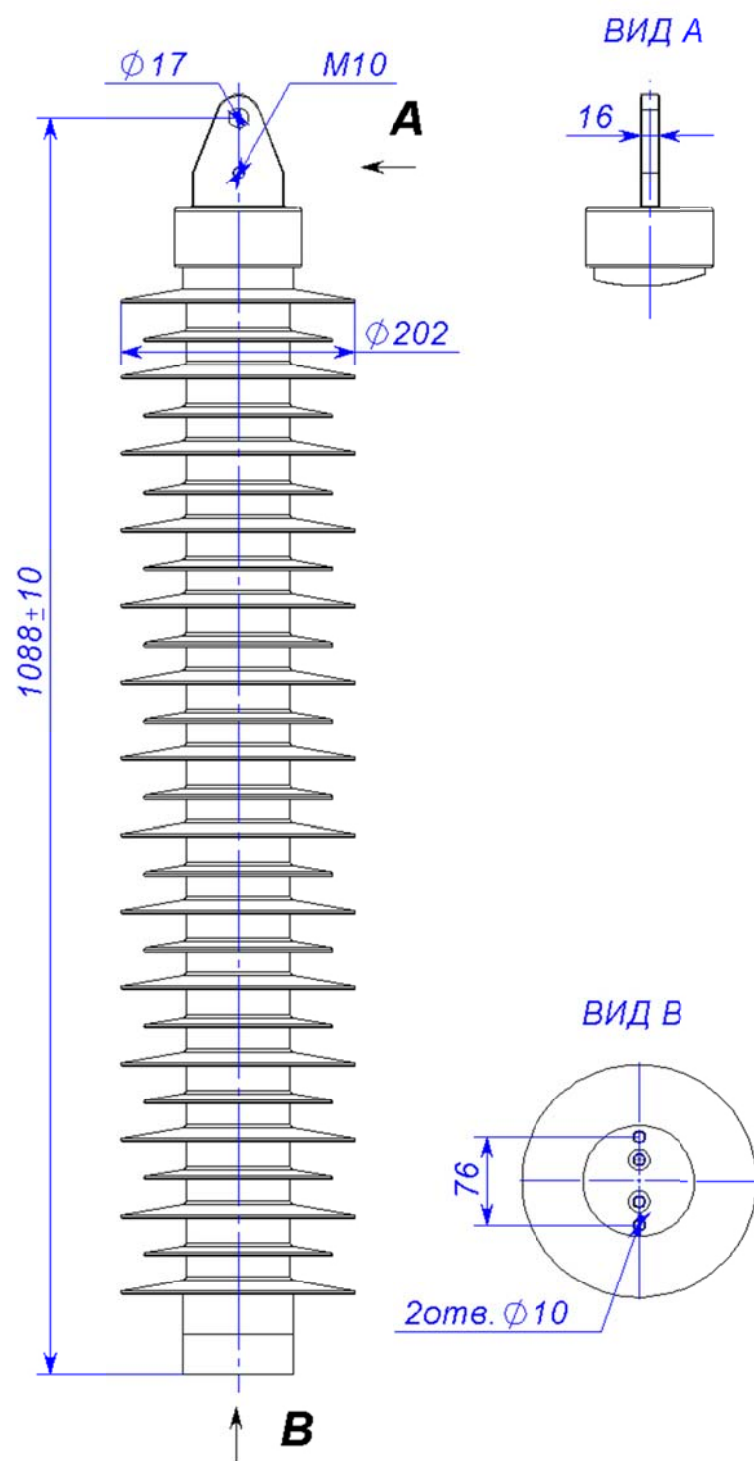


Рис. П2.1 Габаритные, установочные размеры и масса ограничителей ОПНп-110/680/88-10-III – УХЛ1-П

Масса ограничителя в сборе– 17 кг.

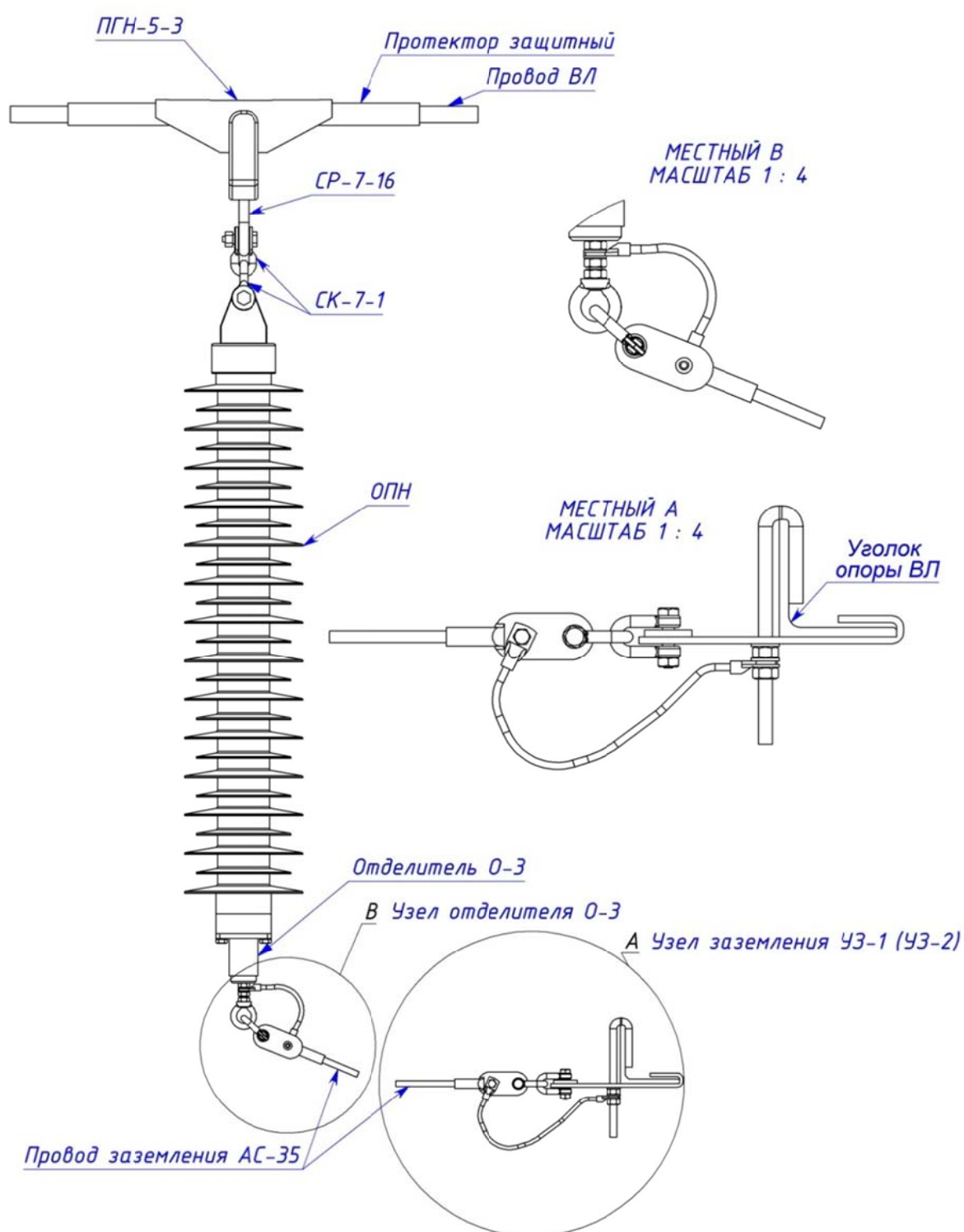


Рис. П2.2. Рекомендованная схема крепления ограничителя ОПНп-110/680/88-10-III-УХЛ1-П на фазный провод.