

Нормативно-технические документы по применению линейных ОПН на класс напряжения 110 кВ и выше.

Вопросы обеспечения надежности грозозащиты одноцепных ВЛ 110 кВ без тросовой защиты

Кемпönen М.Э.,
заместитель директора
АО «Полимер-Аппарат»

Колычев А.В.,
заместитель директора
по науке АО «Полимер-
Аппарат»

Гроззовые отключения воздушных линий 110 кВ и выше зависят от многих факторов: интенсивности грозовой деятельности в районах трассы линии, номинального класса напряжения сети, конструкции ВЛ, материала опор, импульсного сопротивления заземляющих устройств опор и т.д. С повышением класса напряжения линии, как правило, увеличиваются ее длина, увеличивается высота опор, а следовательно, и вероятность поражения линии молнией. Поэтому на линиях электропередачи высших классов напряжения, выполняемых на металлических и железобетонных опорах, обычно подвешивают грозозащитные тросы с малым углом защиты, обеспечивающим малую вероятность поражения молнией фазных проводов линии. На снижение числа ударов молнии в ВЛ влияют различные факторы, например, прохождение трассы линии в лесной местности, а также прохождение ВЛ в одном коридоре с другими воздушными линиями [1].

Для ВЛ 110 кВ и выше гроззовые отключения линии главным образом происходят при ударах молнии в опору или трос с последующим обратным перекрытием на фазный провод и при прорывах молнии на фазный провод мимо тросовой защиты. Большее число отключений для одноцепных ВЛ 110 кВ происходит на линиях с металлическими опорами (П110-5В) по сравнению с ВЛ на железобетонных опорах (ПБ110-1). Это объясняется большей высотой металлических опор по сравнению с железобетонными.

Для напряжения 110 кВ средний эксплуатационный показатель гроззовых отключений ВЛ составляет 1 отключение на 100 км в год. Максимальное значение эксплуатационного показателя по гроззовым отключениям составляет 2,3 откл./100 км в год [2].

На рисунке 1 представлена зависимость удельного числа гроззовых отключений $n'_г$ откл./100 км при среднем числе гроззовых часов 60 гр.ч. для одноцепной ВЛ

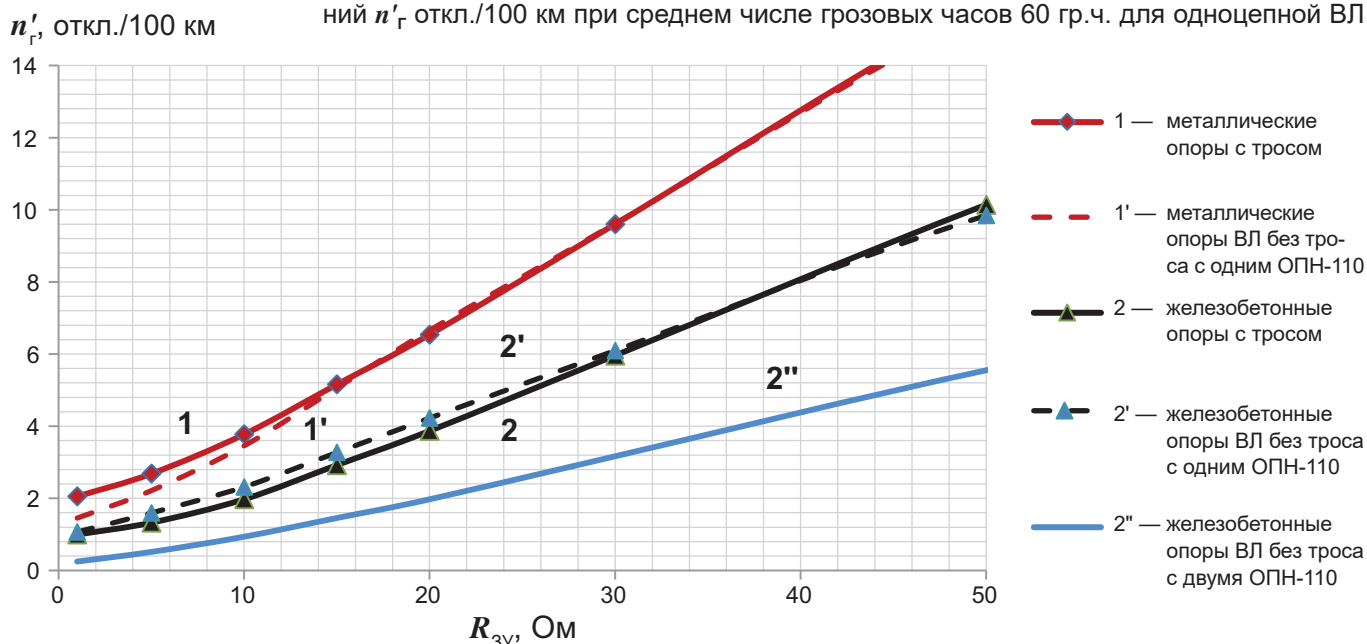


Рис. 1. Удельное число гроззовых отключений $n'_г$ откл./100 км) одноцепной ВЛ 110 кВ на металлических (1) и железобетонных (2) опорах с тросовой защитой; при установке 1-го ОПН-110 на верхнем проводе на металлических (1') и железобетонных опорах (2') для ВЛ бестросовой защиты; при установке 2-х ОПН-110 железобетонных опорах (2'') для ВЛ бестросовой защиты

110 кВ на одноцепных железобетонных и металлических опорах при различных вариантах установки ОПН-110 на фазные провода.

Для ВЛ 110 кВ на металлических опорах без учета влияния факторов, снижающих число ударов молнии в ВЛ, при интенсивности грозовой деятельности 60 грозовых часов обеспечить показатель 1 откл./100 км в год практически невозможно при использовании на ВЛ металлических одноцепных опор. Для ВЛ 110 кВ с железобетонными опорами — при сопротивлении заземляющих устройств $R_{\text{зз}}$ не более 1 Ом. Для обеспечения максимального эксплуатационного показателя 2,3 откл./100 км/год сопротивление железобетонных опор должно быть не более 12 Ом.

Как видно из рисунка 1, установка одного ОПН-110 на верхних фазах при демонтаже грозозащитного троса на ВЛ 110 кВ позволяет обеспечить число грозовых отключений ВЛ 110 кВ как при использовании тросовой защиты.

ОТКАЗ ОТ ГРОЗОЗАЩИТНОГО ТРОСА НА ВЛ 110 кВ И ВЫШЕ

Грозовые перенапряжения на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) 110–500 кВ являются одной из причин их аварийных отключений. Традиционно для молниезащиты ВЛ 110–500 кВ используется грозозащитный трос. В качестве грозозащитных тросов применяются стальные канаты. Как показывают расчеты, показатель надежности грозозащиты ВЛ без троса при использовании защитных аппаратов (подвесных ОПН) будет находиться на том же уровне, как и при эксплуатации ВЛ с грозозащитным тросом.

При эксплуатации ВЛ более 30 лет происходит старение и потеря механических характеристик грозозащитного троса, который выполнен на основе стальных канатов типа ТК. Применение тросовой молниезащиты в гололедных районах приводит к опасности аварийного отключения ВЛ, так как гололедные отложения, образующиеся на тросах, зачастую ведут к их обрыву и, как следствие, к короткому замыканию на линии. Плавка гололеда также во многих случаях создает аварийные ситуации, так как при сбросе гололеда происходит сильное колебание троса, которое может вызывать схлестывание троса с фазным проводом. Зачастую обрыв грозозащитного троса связан с его низкой коррозионной стойкостью и старением. Прохождение ВЛ вблизи производств с активными химическими выбросами приводит к высокой износостойкости троса. Для двухцепных ВЛ обрыв троса приводит к аварийным двухцепным отключениям ВЛ.

Расчет термической устойчивости грозозащитных тросов производится согласно СТО 56947007-33.180.10.173-2014 «Методические указания по расчету термического воздействия токов короткого замыкания и термической устойчивости грозозащитных тросов и оптических кабелей, встроенных в грозозащитный трос, подвешиваемых на воздушных линиях электропередачи». В СТО отмечается, что расчеты по термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи, проводимые по Методическим указаниям 1976 года, не в полной мере соответствуют надежной и безопас-

ной эксплуатации ВЛ и ее элементов, особенно применительно к грозозащитным тросам (ГТ), по следующим причинам:

- не учтен ряд факторов, влияющих на итоговый результат (возможность возникновения на ВЛ не только однофазных, но и двухфазных коротких замыканий на землю; взаимоиנדукция при наличии сближенных ВЛ с анализируемой ВЛ и т.п.);
- расчет времени протекания тока в ГТ проводится исходя из действия только основных быстродействующих защит ВЛ, практически вне анализа остался вопрос об оценке времени отключения КЗ с учетом действия устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), особенно с учетом возможных отказов выключателей и отдельных устройств РЗА;
- расчет термического действия токов КЗ проводится без учета апериодической составляющей.

Необходимо отметить, что в энергосистемах происходит изменение структуры с подключением новых источников генерации и потребителей. Это в свою очередь приводит к увеличению токов короткого замыкания в сети и на ВЛ.

Таким образом, для тросов, эксплуатируемых более 20–30 лет, велика вероятность повреждения из-за неточностей при расчетах, увеличения тока КЗ и старения. Замена троса требует дополнительных расчетов термической стойкости и механической устойчивости опор.

Для обеспечения необходимой грозоупорности ВЛ вместо установки грозотроса возможно применение ОПН или линейных разрядников ЛР.

В общем случае нормативные документы (ПУЭ-7 [1], стандарты организации ФСК ЕЭС [3]) допускают эксплуатацию ВЛ без троса:

- 1) в районах с числом грозовых часов в году менее 20 и в горных районах с плотностью разрядов на землю менее 1,5 на 1 км² в год;
- 2) на участках ВЛ в районах с плохо проводящими грунтами ($\rho > 103 \text{ Ом}\cdot\text{м}$);
- 3) на участках трассы с расчетной толщиной стенки гололеда более 25 мм.

Отказ от грозозащитного троса приводит к снижению грозоупорности ВЛ, к увеличению одноцепных и двухцепных отключений за грозовой сезон.

Допустимое среднее число грозовых отключений ВЛ $N_{\text{Г, доп}}$ определяется требованиями ПАО «ФСК ЕЭС» и зависит от допустимого числа перерывов электроснабжения, успешности АПВ, ресурса выключателей, доли грозовых отключений в общем числе автоматических отключений коротких замыканий, межремонтного периода выключателей, длины ВЛ, тока КЗ.

Для обеспечения необходимой грозоупорности ВЛ вместо установки грозотроса возможно применение нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН). Применение подвесных ОПН для повышения грозоупорности одноцепных и двухцепных ВЛ за последнее десятилетие имело положительной результат во многих энергосистемах России [4].

Линейные ОПН в основном устанавливались на ВЛ с бестросовой защитой. На двухцепных ВЛ 110 кВ защитные аппараты устанавливались на верхних

фазах обеих цепей или верхних и средних фазах. На одноцепных ВЛ 110 кВ без троса линейные ОПН устанавливались на верхней фазе. На одноцепных ВЛ 220, 330 и 500 кВ без грозозащитного троса с горизонтальным расположением фаз линейные ОПН устанавливались на крайних фазах. Установка защитных аппаратов происходила на каждой опоре.

ВЫБОР СХЕМ РАССТАНОВКИ ЛИНЕЙНЫХ ОПН НА ОДНОЦЕПНЫХ ВЛ 110 кВ НА УЧАСТКАХ БЕЗ ГРОЗОЗАЩИТНОГО ТРОСА

Эффективность схем расстановки линейных защитных аппаратов (ЗА) по снижению числа грозовых отключений ВЛ определяется в первую очередь числом ЗА на опору. При этом схемы с одинаковым числом ЗА на опору имеют различную эффективность в разных диапазонах сопротивлений ЗУ опор.

Выбор вариантов схем расстановки ЗА рассмотрен в СТО [5]. Решения по повышению грозозащиты ВЛ 110–500 кВ осуществлялись в соответствии с разработанными проектами таких организаций, как АО «НТЦ ФСК ЕЭС, СибНИИЭ, НИИПТ, СПбПУ [4, 6].

Для участка без грозозащитного троса одноцепной ВЛ 110 кВ без тросовой защиты можно рассмотреть следующие схемы расстановки ЗА (таблица 1):

- а) с одним ЗА на опору в верхних фазах;
- б) с двумя ЗА на опору в верхней и нижней фазах,
- в) три ЗА на опору.

Установка защитных аппаратов предусматривается на каждой опоре. При этом под типом защитного аппарата рассмотрим применение нелинейного ограничителя перенапряжений подвесного типа ОПН-П в полимерном корпусе.

РАСЧЕТ ЧИСЛА ОТКЛЮЧЕНИЙ ВЛ 110 кВ С ОПН-110 ПО ПРИЧИНЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

Расчет удельного числа среднего числа грозовых отключений участка в пролетах ВЛ 110 кВ с нелинейными ограничителями перенапряжений без тросовой защиты проводится в соответствии с положениями п. 5.4 СТО [5] с учетом справочных кривых для соответствующих схем расстановки защитных аппаратов (таблица 1).

Удельное число грозовых отключений n'_r одноцепных с различными вариантами установки ОПН-110 на ВЛ 110 кВ определяются по справочным кривым и таблицам СТО в зависимости от типа промежуточных опор: железобетонных (ПБ110-1) или

Табл. 1. Схемы расстановки ЗА на участках одноцепной ВЛ 110 кВ без грозозащитного троса

Тип ВЛ	Вариант		
	а)	б)	в)
Число ЗА на опору	1	2	3
Одноцепная одностоечная с треугольным расположением проводов (эскиз опоры)			

○ — ЗА отсутствует; ● — ЗА установлен

металлических (П110-5В) при стандартной разрядной длине гирлянды $l_{\text{разр}} = 1,02$ м. Значения удельного числа грозовых отключений представлены в таблице 2.

На рисунке 2 представлены зависимости относительного числа грозовых ВЛ 110 кВ с тросовой за-

Табл. 2. Показатели грозоупорности одноцепных одностоечных ВЛ 110 кВ с различными вариантами молниезащиты

Вариант установки ОПН-110 на опоры	Материал опор	Удельное число грозовых отключений n_r , откл./100 км/100 гр.ч. в зависимости от сопротивления заземляющих устройств опор R_{3y} , Ом			
		10	15	20	30
С тросовой защитой без ОПН-110 кВ	железобетонные	3,29	4,87	6,45	9,93
	металлические	6,29	8,595	10,9	16
Без тросовой защиты без ОПН-110 кВ	железобетонные	32	34	36	38,77
	металлические	46,9	49,75	52,6	55,83
Один ОПН-110 кВ на опору	железобетонные	3,86	5,45	7,04	10,16
	металлические	5,76	8,43	11,1	16,03
Два ОПН-110 кВ на опору	железобетонные	1,56	2,425	3,29	5,28
	металлические	2,65	4,135	5,62	8,95

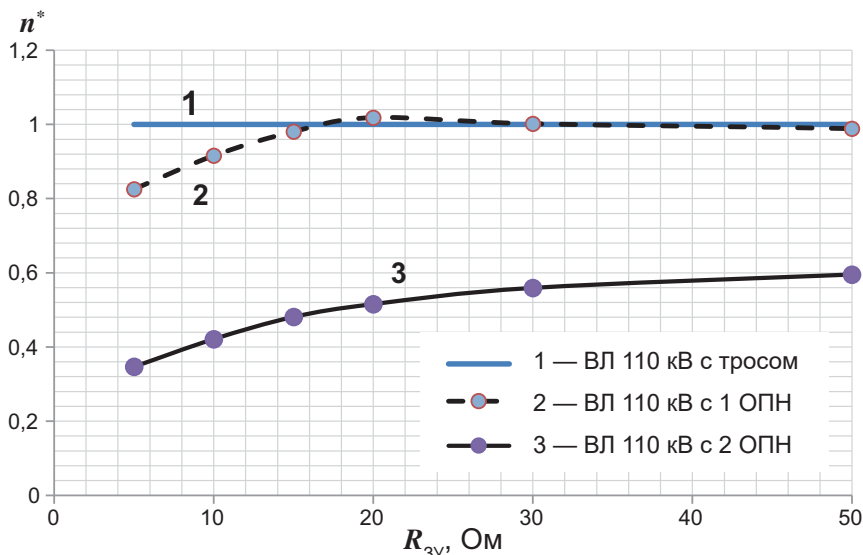


Рис. 2. Зависимость относительного числа грозовых отключений ВЛ 110 кВ при применении ОПН-110 для металлических опор по отношению к числу отключений ВЛ с тросовой защитой

щитой и применением ОПН-110 для металлических опор.

Анализ таблицы 2 и рисунков 1 и 2 показывает:

- при демонтаже грозозащитного троса установка 1-го ОПН-110 на верхнем проводе ВЛ 110 кВ на каждой опоре одноцепной ВЛ 110 кВ позволяет обеспечить число грозовых отключений не более показателей грозоупорности ВЛ 110 кВ с тросовой защитой при всех значениях сопротивлений R_{3y} опор ВЛ;
- при демонтаже грозозащитного троса установка 2-х ОПН-110 на верхнем проводе и противоположном нижнем каждой опоры одноцепной ВЛ 110 кВ позволяет обеспечить эксплуатационный показатель грозовых отключений ВЛ 110 кВ не более 2,3 откл/100 км/год при сопротивлениях R_{3y} опор не более 15 Ом на металлических опорах и не более 20 Ом на железобетонных опорах;
- при демонтаже грозозащитного троса и полной защите ВЛ 110 кВ (установка 3-х ОПН-110 на опору) число одноцепных отключений ВЛ 110 кВ определяется числом повреждений ОПН-110.

Число повреждений ограничителей перенапряжений зависит от допустимой энергии, выделяемой в ограничителе при протекании импульсного тока, и определяется током пропускной способности.

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ. РАСЧЕТ ЧИСЛА ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОДВЕСНЫХ ОПН-110

Рассмотрим выбор характеристик подвесных ОПН-110 для принятых вариантов схем расстановки ОПН-110 кВ на участке ВЛ 110 кВ без троса: вариант 1 — один ОПН-110 на опору; вариант 2 — два ОПН-110 на опору.

Для ОПН-110 выбираем наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение $U_{нро}$ по условию надежной работы аппаратов при квазистационарных перенапряжениях. Для сети 110 кВ с эффективно заземленной нейтралью повышение напряжения при КЗ на ВЛ с учетом длин линий может достигать 107–112 кВ. Поэтому рассматриваем ОПН-110 с наибольшим длительно допустимым рабочим напряжением $U_{нро} = 88$ кВ. Выбор данного напряжения ОПН-110 позволяет выдерживать воздействия квазистационарных перенапряжений в сетях 110 кВ на уровне 121 кВ при времени $t_{P3A} = 10$ с и линейное напряжение 126 кВ при длительности воздействия 1 с.

Таким образом, ОПН-110 с $U_{нро} = 88$ кВ проходит по условию $U_{кв.п} \leq U_{кв.п}^{доп}$, поэтому в дальнейшем рассматриваем ОПН-110 с $U_{нро} = 88$ кВ и номинальным напряжением равным $U_{ном} = 110$ кВ.

ПРОВЕРКА ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫБРАННОГО ОПН-110

Защитная функция подвесного ОПН проверяется по выполнению следующего условия:

$$1,5 \cdot U_{ост,10}^{ОПН} \leq U_{50}, \quad (1)$$

где $U_{ост,10}^{ОПН}$ — остающееся напряжение на ОПН при грозовом импульсе тока 10 кА (8/20 мкс); U_{50} — наименьшее из значений 50%-ного разрядного напряжения гирлянды изоляторов при воздействии стандарт-

ных грозовых импульсов (1,2/50 мкс) положительной и отрицательной полярностей.

50%-ное U_{50} разрядное напряжения гирлянды изоляторов 8×ПС70Е без защитной арматуры составляет $U_{50} = 650$ кВ для обеих полярностей [2].

Для ОПН-110 с наибольшим длительно допустимым рабочим напряжением $U_{нр} = 88$ кВ, для которого остающееся напряжение составляет 282 кВ при грозовых импульсах тока 8/20 мкс с амплитудой тока 10 кА, условие (1) выполняется ($423 \text{ кВ} \leq 650 \text{ кВ}$).

В соответствии с п. 7.3 СТО [5] задаемся пропускной способностью и удельной энергоемкостью защитных аппаратов.

Для ОПН-110 из каталога ЗАО «Полимер-Аппарат» выбираем аппараты с током пропускной способности 680 А и 1000 А с удельной энергией $w_{уд} = 4,0$ и 5,75 кДж/кВ (таблица 3).

Допустимые энергии $W_{доп}$ при ударах молнии для линейных ограничителей ОПН определяются по формуле:

$$W_{доп}^{ОПН} = 2w_{уд} U_{нро}, \text{ кДж}, \quad (2)$$

где $w_{уд}$ — удельная энергия ОПН, отнесенная к наибольшему допустимому напряжению ОПН; $U_{нро}$ — наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН, кВ.

РАСЧЕТ СРЕДНЕГО ЧИСЛА ПОВРЕЖДЕНИЙ ОПН-110 НА ВЛ БЕЗ ТРОСА

Расчет среднего числа повреждений ОПН-110 кВ $N_{г,3}^{повр}$ в год определяем в соответствии с положениями п. 7.5 СТО [5].

Среднее число повреждений защитных аппаратов определяется по формуле:

$$N_{г,3}^{повр} = N_{г} \cdot k_i \cdot P_w(W_{доп}), \text{ 1/год}, \quad (3)$$

где $N_{г}$ — расчетное число ударов молнии в анкерный пролет в год; k_i — коэффициент корректировки грозопоражаемости; $P_w(W_{доп})$ — расчетная вероятность повреждения ОПН-110, которая определяется по формуле (4) с коэффициентами, соответствующими

Табл. 3. Основные параметры ОПН-110 подвесного исполнения

	Параметр	Характеристики ОПН	
1	Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН, $U_{нр}$, кВ	88	88
2	Номинальное напряжение ОПН, $U_{ном}$, кВ	110	110
3	Амплитуда тока пропускной способности длительно 2000 мкс, А	680	1000
4	Удельная энергия (энергия одного импульса тока пропускной способности отнесенная к $U_{нр}$), кДж/кВ	4,0	5,75
5	Остающееся напряжение при грозовых импульсах тока 8/20 мкс, с амплитудой тока 10 кА, $U_{ост}$, кВ	282	282
6	Допустимая энергия $W_{доп}$ при ограничении молниевых перенапряжений, кДж	704	1012

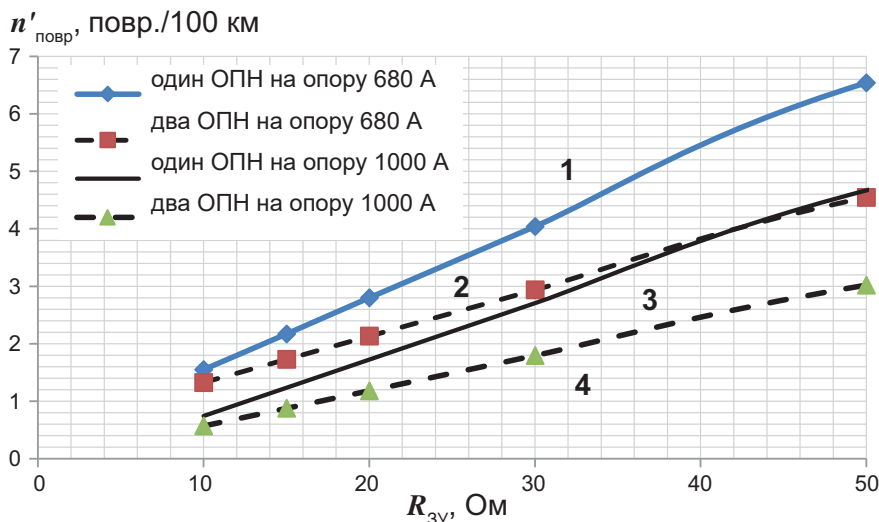


Рис. 3. Удельные числа повреждений ОПН-110 повр./100 км в год в зависимости от сопротивления заземления опоры и количества установленных на опоре и в зависимости от тока пропускной способности

сопротивлению ЗУ опор; $W_{\text{доп}}$ — допустимая энергия, поглощаемая ЗА при ограничении грозовых перенапряжений на ВЛ, кДж; k_i — коэффициент корректировки грозопоражаемости принимаем равным 1.

Расчетная вероятность повреждения ОПН определяется на основании распределений вероятностей превышения энергий, поглощаемых ОПН, которые приведены в Приложении Б СТО [4] для четырех значений сопротивлений ЗУ опор $R_{\text{оп}} = 10, 50, 100$ и 200 Ом. Эти зависимости представлены графически и аппроксимирующими формулами вида:

$$P_W(w) = A_1 e^{T_1 w} + A_2 e^{T_2 w}, \quad (4)$$

где A_1, T_1, A_2, T_2 — коэффициенты аппроксимации, которые сведены в таблицы для всех схем расстановки ЗА из Приложения Б СТО [5].

Для среднего сопротивления заземляющих устройств 10 Ом по значениям допустимой энергии $W_{\text{доп}}$ определяем вероятности $P_W(W_{\text{доп}})$ поврежде-

Табл. 4. Число повреждений ОПН-110 на ВЛ 110 кВ без троса при сопротивлении $R_{3y} = 10$ Ом

Параметр		Характеристики ОПН-110	
1	Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН, $U_{\text{нро}}, \text{ кВ}$	88	88
2	Номинальное напряжение ОПН-110, $U_{\text{ном}}, \text{ кВ}$	110	110
3	Ток пропускной способности, А	680	1000
4	Допустимая энергия $W_{\text{доп}}$ при ограничении молниевых перенапряжений, кДж	704	1012
5	Среднее число повреждений ОПН-110 кВ $n'_{\text{Г.З}}, 1/100 \text{ км в год}$		
5.1	1 ОПН на опору	1,55	0,74
5.2	2 ОПН на опору	1,325	0,57
6	Среднее число повреждений ОПН-110 кВ, $N'_{\text{Г.З}}, \text{ в год}$		
6.1	1 ОПН на опору	0,51	0,25
6.2	2 ОПН на опору	0,44	0,19

ния ОПН-110 в год и удельный показатель повреждения ОПН-110 повр./100 км в год.

На рисунке 3 представлены зависимости удельного числа повреждений ОПН-110 в год с различными значениями тока пропускной способности, установленными на одноцепных односоечных опорах ВЛ 110 кВ в зависимости от R_{3y} опор и количества ОПН-110 на опоре при установке одного ОПН-110 на опору и двух ОПН-110 на опору (для железобетонных опор) и среднем числе грозовых часов — 60.

В таблице 4 представлены удельные показатели повреждаемости ОПН-110 $n'_{\text{Г.З}}$ 1/100 км в год при рассматриваемых вариантах расстановки ОПН-110 на бестросо-

вом участке ВЛ 110 кВ.

Суммарное удельное число отключений ВЛ 110 кВ без троса опоры при удельном числе повреждений 0,57 повр./100 км в год будет составлять:

$$n'_{\text{Г.З}} = n'_G + n'_{\text{Г.З}}^{\text{повр}} = 0,93 + 0,57 = 1,5 \text{ откл./100 км в год,}$$

что меньше числа отключений ВЛ 110 кВ с тросовой защитой.

Таким образом, для обеспечения числа грозовых отключений ВЛ 110 кВ не более 2,0 откл./100 км в год эксплуатация ВЛ 110 кВ с тросовой защитой, с учетом удельного числа повреждений ОПН-110, оптимальным является техническое решение применения двух ОПН-110 на опору с током пропускной способности не менее 1000 А, с номинальным напряжением $U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$ и удельной энергоемкостью $w_{\text{уд}} = 5,75 \text{ кДж/кВ}$.

Тип защитного аппарата производства АО «Полимер-Аппарат» — ОПНп-110/1000/88-10-III-



Рис. 4. Установка подвесных ОПН-110 на железобетонных опорах одноцепной ВЛ 110 кВ на верхнем проводе

УХЛ1–П. На рисунках 4 и 5 представлены схемы расстановки подвесных ОПН-110 на верхнем проводе и противоположном нижнем проводе.

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДВЕСНЫМ ОПН-110 ПО ТОКУ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

Ток взрывобезопасности выбранного ОПН выбирается исходя из максимального тока однофазного КЗ на ВЛ 110 кВ. Ток взрывобезопасности ОПН должен быть не менее чем на 20% больше однофазного тока КЗ. Для выбранных типов ОПН-110 производства АО «Полимер-Аппарат» ток взрывобезопасности составляет не менее 65 кА.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТДЕЛИТЕЛЯМ ОПН-110

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

В соответствии с международным стандартом IEC 60099-4 [7] 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 подвесного ОПН-110.

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 дол-



Рис. 5. Установка подвесных ОПН-110 на железобетонных опорах одноцепной ВЛ 110 кВ на противоположном нижнем проводе

жен 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. На ВЛ 110 кВ токи однофазного КЗ превышают 2000 А, поэтому время срабатывания отделителя должно меньше 0,05 мс времени чувствительности (взвода) 1 ступени релейной защиты.

Отделитель должен иметь разрушающую нагрузку на растяжение не менее 2000 Н. Характеристики отделителя для ВЛ 110 кВ представлены в таблице 5. 

Табл. 5. Технические характеристики отделителя (дисконнектора) ОПН-110

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



Акционерное общество
«Полимер-Аппарат»

Тел./факс: (812) 331-40-40
www.polymer-apparat.ru

ЛИТЕРАТУРА

- Правила устройства электроустановок. Издание 7-е, переработанное и дополненное. Москва, 2003.
- Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. Под ред. Н.Н. Тиходева, 2-е издание. СПб.: Изд. ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. 353 с.
- СТО 56947007-29.240.01.221-2016. Руководство по защите электрических сетей напряжением 110–750 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС». М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2016. 46 с.
- Колычев А.В. Опыт применения линейных ОПН и разрядников АО «Полимер-Аппарат». Нормативно-технические документы по применению линейных ОПН и разрядников // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2019, № 6(57). С. 64–68.
- СТО 56947007-29.130.10.197-2015. Методические указания по применению ОПН на ВЛ 6–750 кВ. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2015. 138 с.
- Гайворонский А.С., Заболотников А.П. Технологии грозозащиты ВЛ высших классов напряжения на основе применения линейных ОПН и разрядников с внешним искровым промежутком // Известия РАН. Энергетика, 2015, № 3. С. 103–117.
- Международная электротехническая комиссия. Публикация МЭК 60099-4:2004 «Разрядники. Часть 4. Металлооксидные разрядники». (IEC 60099-4:2008. «Surge arresters - Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems», NEQ).