
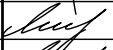

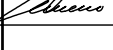


Содержание

Лист

1 Общие данные	2
2 Расчет КЛ 10 кВ	2
3 Расчет токов к.з. на стороне 10 кВ	9

Согласовано

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							0174/16.ЭС.РР			
									Реконструкция КЛ 10 кВ ТП-628 - ТП-681			
									г. Белгород			
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Электроснабжение	Стадия	Лист	Листов
			Разраб.		Каюков			08.16		Р	1	12
			Проверил		Литовкин			08.16				
			Н.контр.		Литовкин			08.16				
			ГИП		Семеко			08.16				
									Расчеты	ООО "Росинжиниринг"		

1 Общие данные.

Электротехнический расчет выполнен для объекта "Реконструкция КЛ 10 кВ ТП-628 - ТП-681 г. Белгород".

Проектом предусмотрено:

- Строительство двух КЛ 10 кВ ТП-628 - ТП-681 (каб. А, каб. Б)

2. Расчет КЛ 10 кВ

2.1 Расчет сечения КЛ 10 кВ В1 (каб. А), В2 (каб. Б)

Расчетный ток линии в нормальном режиме

$$I_p = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}},$$

где: S_{\max} - максимальная передаваемая мощность, кВА

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение линии, кВ

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}} = \frac{2831}{\sqrt{3} \cdot 10} = 163 \text{ А}$$

Сечение кабеля проектируемой КЛ

$$F = \frac{I_{\max}}{j_n},$$

где j_n - плотность тока, А/мм².

$$F = \frac{163}{1,6} = 101,9 \text{ мм}^2$$

Согласно ТЗ на ПИР принимаем кабель сечением 150 мм² с длительным допустимым током с учетом реальных условий его прокладки составит:

$$I_d' = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_d,$$

где I_d - допустимый длительный ток, А;

k_1 - поправочный коэффициент на действительную температуру окружающей среды;

k_2 - поправочный коэффициент для глубины прокладки иной чем 0,8 м;

k_3 - поправочный коэффициент для групп трехфазных цепей одножильных кабелей проложенных непосредственно в грунте.

$$I_d = 322 \text{ А} - \text{для } 3 \times \text{АПвПу-1} \times 150/50$$

$$I_d' = 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 322 = 289,8 \text{ А}$$

2.2. Проверка по допустимому нагреву

Выбранное сечение КЛ 10 кВ должно соответствовать следующему условию:

$$I_d > I_{\text{ном}}$$

где I_d - допустимый длительный ток кабеля с учетом реальных условий его прокладки, А.
 $60,8 < 289,8 \text{ А}$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист 2
			0174/16.ЭС.РР						
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

2.3. Выбор сечения экрана кабеля

Сечение экрана должно соответствовать токам короткого замыкания I_k и длительности t_k их протекания.

При выборе сечения экрана $F_{\text{э}}$ следует использовать зависимость сечения $F_{\text{э}}$ от величины односекундного тока короткого замыкания I_k , которая определяется выражением:

$$F_{\text{э}} > \frac{I_k}{A_{\text{э}}} \cdot \sqrt{t_k},$$

где $F_{\text{э}}$ -сечение экрана, мм^2 ,

I_k -ток короткого замыкания, кА,

$A_{\text{э}}$ -коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции кабеля и использованных в его конструкции материалов (типовое значение для медных экранов составляет $A_{\text{э}} = 0,2 \text{ кА/мм}^2$),

t_k -время существования короткого замыкания (принимаем $t_k=1$ с, время срабатывания МТЗ выключателя отходящей линии ПС Белгород-110)

Для класса напряжения сети 10 кВ и изолированной или компенсированной нейтрали ток, который используется для выбора сечения экрана, определяется по формуле:

$$I_k = 0,87 \cdot I_{k(3)},$$

где $I_{k(3)}$ -ток трехфазного короткого замыкания сети, кА.

Если ток короткого замыкания при повреждении изоляции вблизи от начала кабеля отличается от тока при повреждении изоляции вблизи от конца кабеля, то используют наибольшее из двух значений тока.

Для кабеля В1, В2:

Максимальное значение тока 3-х фазного кз в начале линии составляет:

$$I_{k(3)} = 10,531 \text{ кА},$$

$$I_k = 0,87 \cdot 10,531 = 9,162 \text{ кА}.$$

Сечение экрана проектируемого кабеля

$$F_{\text{э}} > \frac{9,162}{0,2} \cdot \sqrt{1} = 45,8$$

$$F_{\text{э}} > 45,8 \text{ мм}^2.$$

Принимаем $F_{\text{э}} = 50 \text{ мм}^2$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					0174/16.ЭС.РР	Лист
								3
			Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док.		Подп.

2.4 Расчет защиты от перенапряжения КЛ 10 кВ

Импульсные напряжения (грозовые и коммутационные), возникающие на изоляции "жила-экран", передаются на оболочку кабеля и в ряде случаев могут представлять для нее серьезную опасность.

Источниками импульсных напряжений являются и воздействия молнии на воздушные линии (расположенные в электрически связанной с кабелем сети), и коммутации выключателями по концам кабеля.

Основным аппаратом для защиты изоляции оборудования от импульсных перенапряжений в настоящее время является ограничитель перенапряжений нелинейный (ОПН).

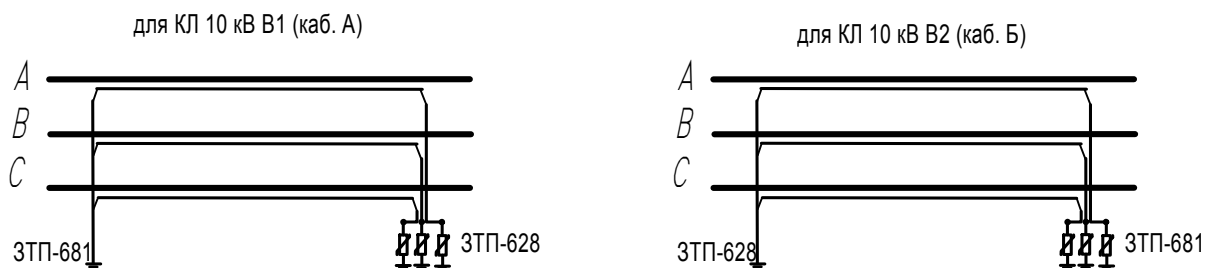


Рис.1 Заземление экранов группы из трех однофазных кабелей с одной стороны.

Для защиты оболочки однофазных кабелей применяются специальные ОПН, устанавливаемые в незаземленных концах экранов и в узлах транспозиции.

Основными характеристиками ОПН являются его наибольшее рабочее напряжение $U_{нр}$ и энергоемкость $W_{уд}$. Другие характеристики ОПН, как правило, имеют второстепенное значение.

Наибольшее (длительно допустимое рабочее напряжение ОПН, кВ - наибольшее действующее значение напряжения промышленной частоты $U_{нр}$, которое неограниченно долго может быть приложено к ОПН (при напряжении большем, что может привести к перегреву и повреждению аппарата).

Удельная поглощаемая энергия (энергоемкость), кДж/кВ - поглощаемая ограничителем без повреждения энергии $W_{уд}$ одного импульса, отнесенная к наибольшему рабочему напряжению ОПН, полученная в процессе испытаний ОПН прямоугольными импульсами тока длительностью 2000 мкс, используемая для классификации ОПН и характеризующая его способность рассеивать энергию перенапряжений.

Характеристики ограничителя перенапряжения, предназначенного для защиты изоляции экрана кабеля, должны выбираться исходя из двух основных критериев:

- обеспечения надежной защиты изоляции экрана (оболочки) при грозовых и коммутационных перенапряжениях;
- обеспечения надежной работы самого ОПН в установившихся и квазистационарных режимах, т.е. соответственно в нормальном режиме и при коротких замыканиях в сети.

Выбор ОПН удобно производить в следующей последовательности:

- предварительное определение $U_{нр}$;

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					0174/16.ЭС.РР	Лист
						4		
Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

- проверка того, что ОПН с выбранным Унпо имеет остающееся напряжение $U_{8/20} U_{30/60}$, позволяющие в полной мере обеспечить защиту оболочки;
- определение энергии W , которая в худшем случае может выделяться в ОПН с выбранным Унпо, и вычисление энергоёмкости $W_{уд.} = W/U_{нпо}$.

Определение рабочего напряжения ОПН.

Выбор Унпо базируется на результатах расчетов напряжения промышленной частоты U_z экране относительно земли в месте установки ОПН (на заземленном конце экрана или в узле транспозиции). Определяющим является напряжение U_z при внешних по отношению к кабелю коротких замыканиях в сети.

$$U_{нпо} \geq \frac{U_z}{K_{н-в}(T)},$$

где $K_{н-в}(T)$ - типовая характеристика "напряжение-время" в относительных единицах Унпо рабочего напряжения ОПН (см. табл.7)

Длительность Т приложения повышенного напряжения	Допустимая кратность $K_{н-в}(T)$ превышения напряжения на ОПН. не менее
0,1 с	1.40
1 с	1.34
10 с	1.30
100 с	1.23
1200 с	1.15
3600 с	1.10

Если принять $T=1с$ ($T=1с$ - время существования короткого замыкания в расчетах термической стойкости экранов), то наибольшее рабочее напряжение экранного ОПН должно удовлетворять следующему неравенству

$$U_{нпо} > \frac{U_z}{1,35},$$

Поскольку выбор способа заземления экрана основан на обеспечении неравенства $U_z < U_z$, где $U_z=5кВ$, то универсальным для всех кабельных линий можно считать ОПН, имеющий рабочее напряжение

$$U_{нпо} > \frac{5}{1,35} = 3,7 \text{ кВ.}$$

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	0174/16.ЭС.РР	Лист
							5
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

2.5 Проверка защитных характеристик ОПН

ОПН с рабочим напряжением $U_{нпо}$ будет иметь остающееся напряжение в режиме грозовых и коммутационных перенапряжений $U_{8/20}$ и $U_{30/60}$. Связь остающихся напряжений $U_{8/20}$ и $U_{30/60}$ и напряжения $U_{нпо}$ следующая:

$$U_{8/20} = (\sqrt{2} \cdot U_{нпо}) \cdot K_{8/20}$$

$$U_{30/60} = (\sqrt{2} \cdot U_{нпо}) \cdot K_{30/60}$$

где $K_{8/20}$ и $K_{30/60}$ - соответственно кратности ограничения грозовых и коммутационных перенапряжений, которые для современных ОПН, как правило, близки к $K_{8/20}=2,1$ и $K_{30/60}=1,9$.

Если напряжения $U_{8/20}$ и $U_{30/60}$ с запасом меньше импульсной прочности оболочки кабеля при перенапряжениях, то выбор ОПН произведен правильно. Если напряжение $U_{8/20}$ или $U_{30/60}$ выше импульсной прочности оболочки, то необходимо использовать ОПН с более низким значением $U_{нпо}$, что оказывается возможным за счет снижения воздействующих на ОПН напряжений промышленной частоты U_z , достигаемого увеличением числа K односторонне заземленных секций экрана или увеличением числа N циклов транспозиций.

Производители кабелей в большинстве случаев не дают информации о прочности изоляции экрана (оболочки кабеля), называя лишь 6кВ - постоянное напряжение, которым она испытывается перед вводом кабеля в эксплуатацию. Лишь в каталоге одной из фирм удалось найти следующую важную информацию:

- импульсное пробивное напряжение для оболочки 75 кВ;
- допустимое импульсное напряжение для оболочки 40 кВ.

Подставив в выражение $U_{8/20} = (2 \cdot U_{нпо}) \cdot K_{8/20}$ известные цифры $U_{8/20}=40\text{кВ}$ и $K_{8/20}=2,1\text{кВ}$, найдем $U_{нпо}=13,5\text{кВ}$. Иными словами, приемлемую защиту изоляции экрана от импульсных перенапряжений обеспечил бы даже ОПН с достаточно высоким рабочим напряжением 13,5 кВ.

Итак, с точки зрения защиты от перенапряжений требования к рабочему напряжению ОПН следующие $3,7 < U_{нпо} < 13,5 \text{ кВ}$. Видно, что для экранов однофазных кабелей можно использовать стандартные выпускаемые промышленностью ОПН класса 6 или 10кВ, однако приоритет надо отдавать ОПН 6кВ, так как они более компактны и глубже ограничивают перенапряжения.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист 6
Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	0174/16.ЭС.РР			

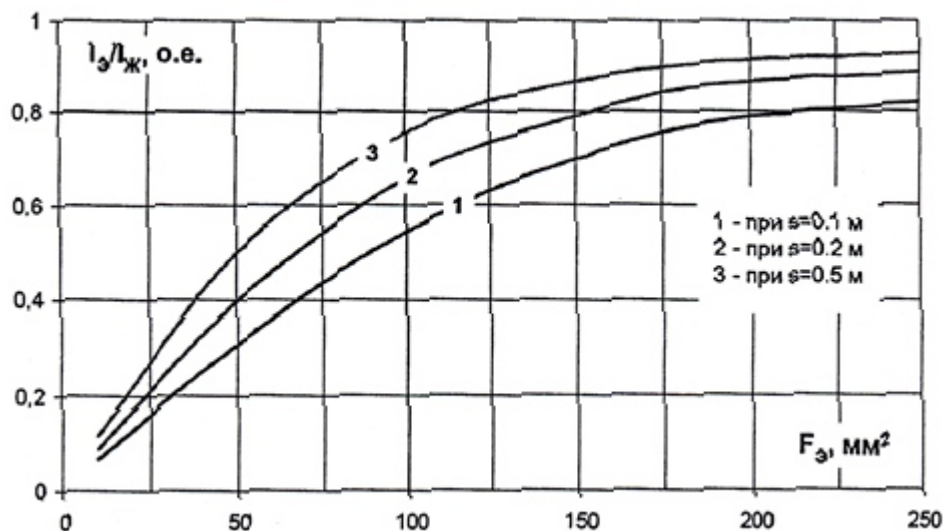


Рис.1 Ток в экране однофазного кабеля по сравнению с током в жиле (в симметричном режиме) в зависимости от сечения экрана F_3 и расстояния s между кабелями (между центрами) соседних фаз. Сечение жилы $F_J=185$, экран заземлен в обоих концах кабеля.

При сечениях жилы, отличных от $F_J=185 \text{ мм}^2$, соотношение I_3/I_J согласно расчетам, изменяется незначительно.

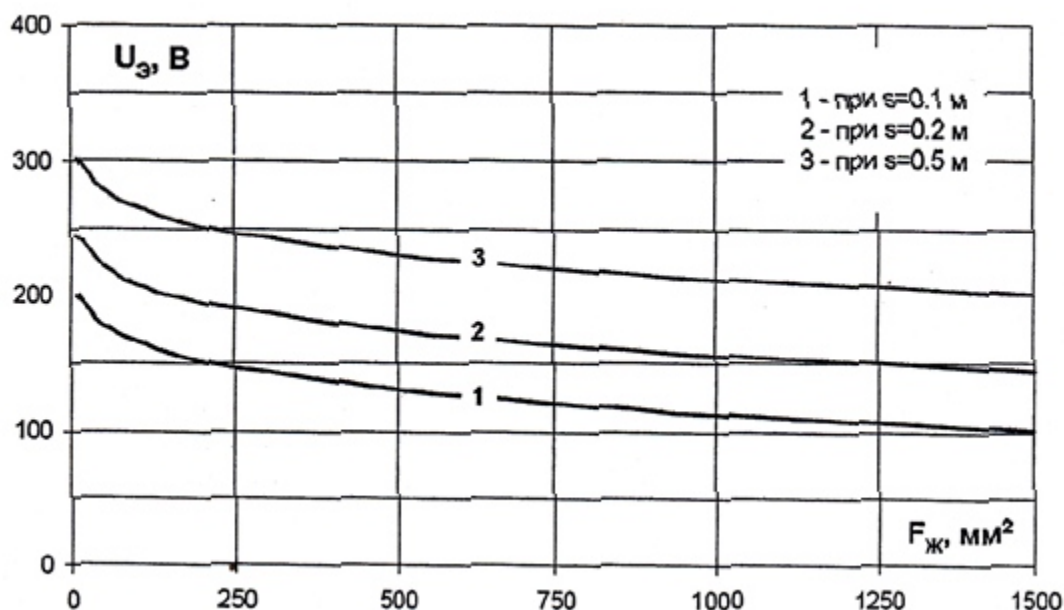


Рис2. Напряжение на экране однофазного кабеля (в симметричном режиме) в зависимости от сечения жилы F_J и расстояния s между кабелями (между центрами) соседних фаз. Напряжение дано в расчете на длину кабеля 1000 м и ток в жиле 1000 А. Сечение экрана F_3 любое, экран заземлен только в одном конце кабеля.

Напряжение на экране в случае, когда он заземлен только в одном из концов, можно определить на основе данных рис.1 с использованием выражения:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				
Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	0174/16.ЭС.РР
						Лист 7

$$U_{\text{э}} = U_{\text{э}} \cdot \frac{L_{\text{к}}}{1000} \cdot \frac{I_{\text{ж}}}{1000}$$

Для кабеля В1, В2:

$F_{\text{ж}} = 150 \text{ мм}^2$, $s = 0,1 \text{ м}$, по рис.2 получим $U_{\text{э}} = 180 \text{ В}$. Длина кабеля $L_{\text{к}} = 607 \text{ м}$. Результаты расчетов сведем в таблицу:

Рассматриваемый режим	Величина напряжения на экране	Допустимая величина напряжения на экране
Нормальный режим $I_{\text{ж}} = 163 \text{ А}$	$U_{\text{э}} = 180 \cdot \frac{163}{1000} \cdot \frac{607}{1000} = 17,8 \text{ В}$	$U_{\text{э.доп1}} = 24 \text{ В}$
Трехфазное короткое замыкание в сети $I_{\text{кз}} = 10,531 \text{ кА}$	$U_{\text{э}} = 180 \cdot \frac{10531}{1000} \cdot \frac{607}{1000} = 1150 \text{ В}$	$U_{\text{э.доп2}} = 5000 \text{ В}$

Если для кабеля возможно проникновение человека к незаземленному концу экрана, то в качестве допустимого напряжения на экране необходимо принять то напряжение, которое отвечает нормам безопасности.

Если для кабеля исключено проникновение человека к экрану, то в качестве допустимого напряжения на экране необходимо принять то напряжение, которое отвечает прочности изоляции экрана, т.е. во всех режимах кабеля, имеющего незаземленный конец экрана, должно выполняться условие $U_{\text{э}} < U_{\text{э.доп2}}$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист	
										8
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	0174/16.ЭС.РР				

3. Расчет токов к.з. на стороне 10 кВ

3.1 Исходные данные

- Ток трехфазного к.з. на 1, 2, 3, 4 с.ш. 10 кВ ПС 110/10 Дубовое (максимальный режим) - 12,35 кА

- Ток трехфазного к.з. на 1, 2, 3, 4 с.ш. 10 кВ ПС 110/10 Дубовое (минимальный режим) - 8,23 кА

3.2 Расчет токов короткого замыкания:

Сопротивление системы в максимальном режиме:

$$X_{c.max} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} * I_{к.з. max}^{(3)}} = \frac{10}{\sqrt{3} * 12,35} = 0,468 \text{ Ом}$$

Сопротивление системы в минимальном режиме:

$$X_{c.min} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} * I_{к.з. min}^{(3)}} = \frac{10}{\sqrt{3} * 8,23} = 0,702 \text{ Ом}$$

Сопротивление КЛ 10 кВ определяем по следующей формуле:

Активное сопротивление линии

$$R = \frac{R_0}{n} * L$$

где: R - активное сопротивление ЛЭП;

L - длина линии.

n - кол-во параллельных кабельных линий.

Реактивное сопротивление линии:

$$X = \frac{X_0}{n} * L$$

где X₀ - реактивное сопротивление

Значения сводим в таблицу 3.1, 3.2

Табл. 3.1 Значение сопротивлений КЛ 10 кВ для точки К10-1, К10-2

Нач.	Конец	Длина участка, км	Марка провода, кабеля	X, Ом	R, Ом
РУ 10 кВ ПС Дубовое	РП-48	1,1	2хАБЛ 3х240	0,033	0,072
РП-48	ТП-681	0,54	АБЛ 3х150	0,016	0,112

Табл. 3.2 Значение сопротивлений КЛ 10 кВ для точки К10-3, К10-4

Нач.	Конец	Длина участка, км	Марка провода, кабеля	X, Ом	R, Ом
РУ 10 кВ ПС Дубовое, 2 с.ш.	РП-36	2,737	2хАБЛ 3х240	0,082	0,178
РП-36	ТП-628	0,29	АБЛ 3х150	0,017	0,060

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	0174/16.ЭС.РР						Лист
									9
			Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Ток трехфазного замыкания в максимальном режиме определяем по формуле:

$$I_{K10\max}^{(3)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} * \sqrt{\Sigma X_{\max}^2 + \Sigma r_{\max}^2}}$$

Ток трехфазного замыкания в минимальном режиме определяем по формуле:

$$I_{K10\min}^{(3)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} * \sqrt{\Sigma X_{\min}^2 + \Sigma r_{\min}^2}}$$

Ток двухфазного короткого замыкания в максимальном режиме определяем по формуле:

$$I_{K10\max}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{K10\max}^{(3)}$$

Ток двухфазного короткого замыкания в минимальном режиме определяем по формуле:

$$I_{K10\min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{K10\min}^{(3)}$$

Табл. 3.3 Значения токов к.з.для точки К10-1, К10-2

Ik3max, кА	Ik3min, кА	Ik2max, кА	Ik2min, кА
К10-1(2)			
10,531	7,474	9,109	6,465

Табл. 3.4 Значения токов к.з.для точки К10-3, К10-4

Ik3max, кА	Ik3min, кА	Ik2max, кА	Ik2min, кА
К10-1(2)			
9,392	6,913	8,124	5,98

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
Изм.	Коп.уч.	Лист
№ док.	Подп.	Дата

0174/16.ЭС.РР