

РАСЧЁТНОЕ ЗАДАНИЕ

по дисциплине «Техника высоких напряжений»

для студентов IV курса ИЭЭ

«РАСЧЁТ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ОТКРЫТОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА (ОРУ) ПОДСТАНЦИИ»

ЗАДАНИЕ НА РАСЧЁТ

1. Определить параметры изолирующих подвесок для промежуточных опор воздушных линий электропередачи (ВЛ) и для порталов открытого распределительного устройства (ОРУ). Расчёты выполнить для обоих указанных в исходных данных классов напряжения. Определить импульсные разрядные напряжения для каждого расчётного случая.
2. Определить длину опасной зоны и защищенного подхода и рассчитать ожидаемое число повреждений изоляции оборудования на подстанции (ОРУ-1 и ОРУ-2, рис. 1) от ударов молнии в ВЛ в пределах защищенного подхода.
3. Определить необходимое число и высоту стержневых молниеотводов для защиты электрооборудования от прямых ударов молнии и расставить молниеотводы на территории ОРУ, обеспечив требуемую надёжность. Рассчитать ожидаемое число повреждений в год изоляции электрооборудования ОРУ от прямых ударов молнии.
4. Определить параметры контура заземления подстанции (длину и число вертикальных электродов, шаг сетки), обеспечивающие допустимую величину его стационарного сопротивления заземления. Построить зависимость импульсного сопротивления контура заземления подстанции от тока молнии. Рассчитать ожидаемое число повреждений в год изоляции электрооборудования ОРУ в результате обратных перекрытий на территории подстанции.
5. Определить показатель грозоупорности подстанции и в случае необходимости предложить методы его повышения.

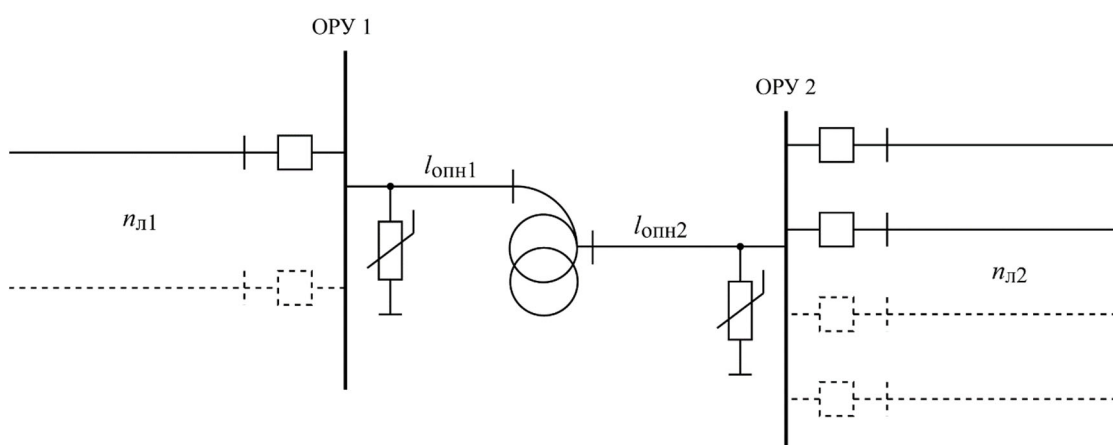


Рис. 1. Упрощенная схема подстанции

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Исходные данные представлены в таблице 1 и 2.

К пункту 1.

Для расчётов используются материалы §17.1, 17.2, 31.1 [1] или §23.2, 6.4 [2]. Необходимо также ознакомиться со всеми разделами главы 6 [2].

Для ВЛ большего класса напряжения применять гирлянды стеклянных подвесных изоляторов, для ВЛ меньшего класса напряжения – длинностержневые полимерные изоляторы.

На опорах использовать поддерживающие изолирующие подвески, состоящие из одной гирлянды или одного стержневого изолятора.

При выборе типа стеклянных изоляторов считать, что в местностях со степенями загрязнения атмосферы I и II в гирляндах используются изоляторы нормального исполнения, а в местностях со степенями загрязнения III и IV – изоляторы специального исполнения.

Конфигурация изолятора выбирается в соответствии с п. 11.15 [3]¹.

Изоляторы выбираются из таблиц 3 и 5 в соответствии с требованиями п. 7-9, 11 [3]. Пояснения к таблице 3 даны в таблице 4. Допускается также выбор изоляторов из других источников (например, [каталог продукции НПО "Изолятор" \(2022 год\)](#)). В работе **обязательно** указывать источник информации.

Удельная нормированная длина пути утечки выбирается в соответствии с таблицей 19 [3].

Наибольшее рабочее напряжение сети определяется по таблице 4.1 [4] в соответствии с её номинальным напряжением.

Высота расположения подстанции и воздушных линий над уровнем моря – до 1 км, если преподавателем не указано иное требование.

Для расчёта импульсных разрядных напряжений $U_{50\%}$ гирлянд тарельчатых изоляторов воспользоваться следующей формулой:

$$U_{50\%} = E_{\text{ср.р}} H_{\text{из1}} n_{\text{г}}, \text{кВ}$$

где $E_{\text{ср.р}}$ – средняя разрядная напряженность, которую в расчётах принимать равной $E_{\text{ср.р}} = 5 \text{ кВ/см}$, $H_{\text{из1}}$ – строительная высота одного изолятора, см; $n_{\text{г}}$ – число изоляторов в гирлянде.

Для полимерных изоляторов значения $U_{50\%}$ определяются по таблице 5.

Выбор опор и проводов проводится по справочнику [5].

Рекомендуется выбирать промежуточные одноцепные свободностоящие опоры. Предлагается считать, что изоляционные подвески, поддерживающие крайние фазные провода, крепятся на концах траверс опор, если в [5] не указано иное.

Класс по ветру выбрать в соответствии с указаниями преподавателя.

¹ Наличие в районе размещения подстанции засоленных почв, промышленных загрязнений или ее близость к морю — по указанию преподавателя.

К пункту 2.

Расчёт критической крутизны фронта набегающей волны выполнить для случая, когда ОПН установлен до защищаемого оборудования (силового трансформатора или автотрансформатора) по ходу движения волны. Для расчёта максимального значения напряжения на трансформаторе $U_{тр}$ воспользоваться схемой замещения рис. 2.

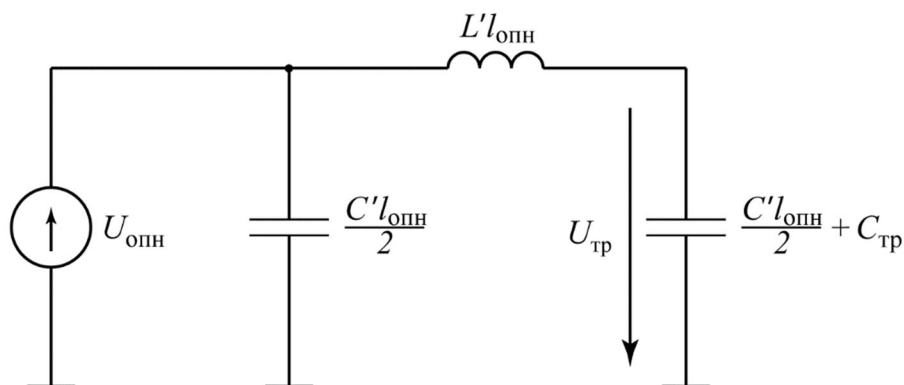


Рис. 2. Схема замещения для расчёта напряжения на трансформаторе ($U_{опн}$ – напряжение на ОПН, L' и C' – погонные индуктивность и ёмкость ошиновки; $l_{опн}$ – длина ошиновки между ОПН и автотрансформатором; $C_{тр}$ – входная ёмкость трансформатора)

При расчёте погонных параметров L' и C' ошиновки между ОПН и трансформатором принять, что скорость распространения волны по ошиновке $v = 300$ м/мкс, если иное не указано преподавателем.

Для схемы замещения (рис. 2) расчётная зависимость отношения максимального напряжения на изоляции трансформатора к остающемуся напряжению ОПН $U_{ост}$ приведена на рисунке 3, где пунктирной линией показана кривая максимальных значений, а сплошной – огибающая максимальных значений, которую и следует использовать в расчётах.

ОПН следует выбирать по наибольшему длительно допустимому рабочему напряжению аппарата $U_{нр}$. Оно должно быть как минимум на 2% выше наибольшего рабочего фазного напряжения сети $U_{нрс,ф}$. Характеристики ОПН 110–750 кВ приведены в таблице 6. Остающееся напряжение ОПН $U_{ост}$ выбирается по току координации, который следует принять равным 5 кА для ПС 110–220 кВ и 10 кА – для ПС 330–750 кВ.

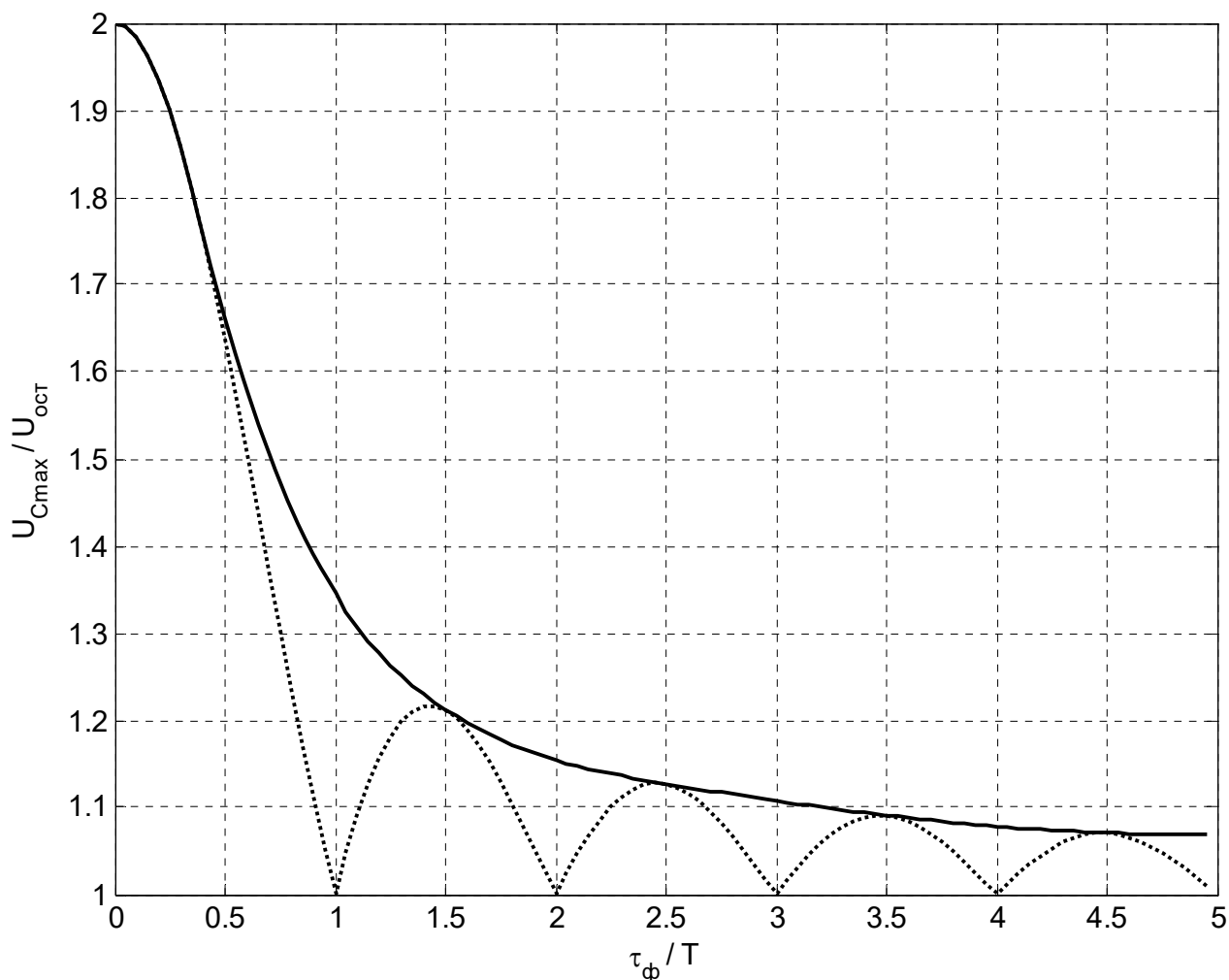


Рис. 3. Зависимость максимального напряжения на емкости в схеме рис. 2 от отношения τ_{ϕ}/T при импульсе с косоугольным фронтом

Выбранный ОПН нужно проверить по условию обеспечения термической устойчивости аппарата при однофазных коротких замыканиях на шинах. Для этого $U_{нр}$ должно удовлетворять следующему условию:

$$U_{нр} \geq \frac{1}{K_t} \sqrt{(U_{нрс,ф} + 0,5\Delta U)^2 + \frac{3}{4}\Delta U^2}$$

где

$K_t = \frac{U_{доп}(t)}{U_{нр}}$ – коэффициент, определяемый по зависимости «напряжение–время» (рис. 4) для случая с предварительным нагружением нормируемым импульсом энергии;

$U_{доп}(t)$ – допустимое напряжение ОПН в течение времени t (для проверки ОПН по условиям работы при квазистационарных перенапряжениях, вызванных однофазными короткими замыканиями на землю, время t принимают равным времени срабатывания последней ступени релейной защиты $t_{рз}$ (в расчётах принять $t_{рз} = 1$ с);

ΔU – приращение напряжения на здоровых фазах, определяемое по сопротивлениям системы по прямой и нулевой последовательностям (соответственно x_1 и x_0):

$$\Delta U = U_{\text{НРС,ф}} \frac{k - 1}{k + 2}, \text{ где } k = \frac{x_0}{x_1}.$$

Коэффициент k задаётся в качестве исходных данных в таблице 1.

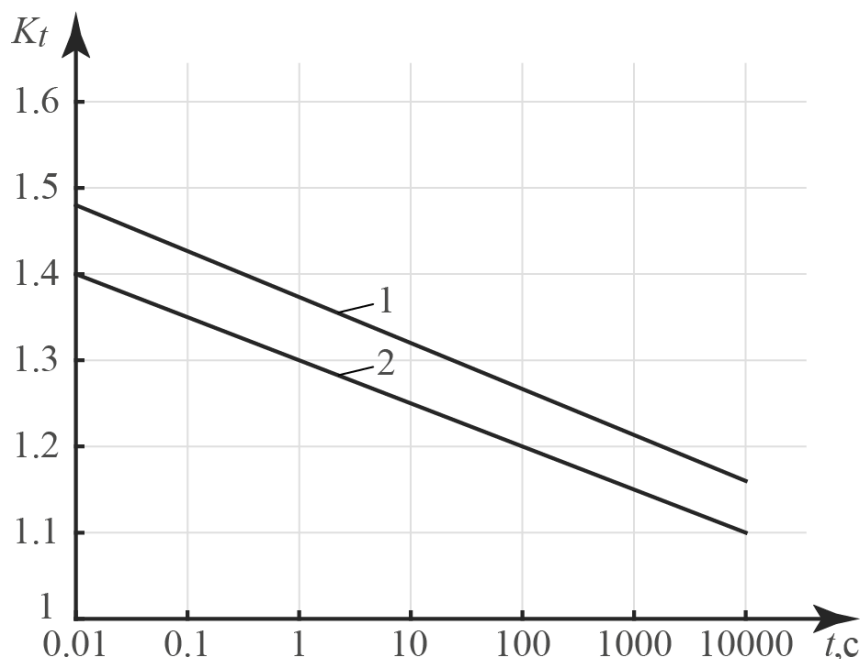


Рис. 4. Характеристики «напряжение-время»

(1 – без предварительного нагружения; 2 – с предварительным нагружением)

После расчёта критических крутизн $U'_{\text{кр}}$ волн напряжения, набегающих по линиям на ОРУ-1 и ОРУ-2, их необходимо скорректировать в соответствии с числом ВЛ $n_{\text{ВЛ}}$, подключённых к ОРУ:

$$U'_{\text{кр}}(n) = K_n U'_{\text{кр}}$$

Значения коэффициента K_n принять в соответствии с таблицей 7.

Для полученных значений критических крутизн волн напряжения $U'_{\text{кр}}(n)$ рассчитать длины опасных зон, а затем с учетом длины пролета определить длины защищенных тропинок подходов $l_{\text{зп1}}$ и $l_{\text{зп2}}$ ([7], стр. 205, [8]).

Значение импульсного сопротивления заземления опоры ВЛ $R_{\text{иоп}}$ (необходимо при расчёте вероятности перекрытия гирлянды изоляторов в случае удара молнии в вершину опоры) *указывается преподавателем*. Если преподавателем не указано значение $R_{\text{иоп}}$, то принять его равным 15 Ом.

Средняя высота $h_{\text{пр ср}}$ провода в пролёте ВЛ рассчитывается как

$$h_{\text{пр ср}} = h_{\text{пр оп}} - \frac{2}{3} f_{\text{пр}},$$

где $h_{\text{пр оп}}$ – высота подвеса фазного провода на опоре; $f_{\text{пр}}$ – стрела провеса фазного провода.

Стрела провеса фазного провода $f_{\text{пр}}$ определяется как

$$f_{\text{пр}} = 4 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{l_{\text{прол}}^2}{\sqrt{S_{\text{ст}}}},$$

где $l_{\text{прол}}$ – длина пролёта (подставляется в метрах); $S_{\text{ст}}$ – площадь сечения стального сердечника сталеалюминиевого провода марки АС (подставляется в мм²).

Вероятность пробоя воздушного промежутка «молниезащитный трос – фазный провод» принимается равной 0, если преподавателем не указано иное.

Стрелу провеса молниезащитного троса принять равной

$$f_{\text{тр}} = m \cdot f_{\text{пр}},$$

где $f_{\text{пр}}$ – стрела провеса фазного провода, а значение коэффициента m *указывается преподавателем*. Если преподавателем не указано значение m , то принять его равным 0,8.

К пункту 3.

При расчёте зон защиты молниеотводов использовать рекомендации [9] или [10] (*указывается преподавателем*).

Высоту молниеотвода (вершины молниеприёмника) принять равной

$$h = h_x + (10 \div 18) \text{ м},$$

где h_x – высота порталов ОРУ большего класса напряжения.

Шаг изменения высоты молниеотвода при расчётах брать равным 2 метра, если иное не указано преподавателем.

Все расчётные итерации требуется оформлять в виде таблиц.

Графических решений задачи представить минимум 2: на первой и последней итерациях расчёта зон защиты молниеотводов. Если первая итерация сразу является успешной (подстанция защищена), то необходимо показать, что при уменьшении высоты молниеотводов территорию подстанции невозможно защитить от прямых ударов молнии.

Уменьшение высоты молниеотвода выполнять с шагом 1 метр до первого расчёта, когда территория подстанции не будет защищена.

На графическом решении обозначить места установки молниеотводов с указанием рядом их номеров и смещений в метрах относительно верхнего левого угла территории подстанции. Например, метка «2 (4,5; 6)» означает, что это молниеотвод с номером «2», отстоящий от верхнего левого угла территории подстанции на 4,5 метра вправо и на 6 метров вниз.

На графическом решении необходимо выделить незащищённые участки, если таковые имеются.

К пункту 4.

Для расчёта воспользоваться рекомендациями §21.3 учебника [1]. Необходимо подобрать такие параметры, чтобы стационарное сопротивление контура заземления не превышало 0,5 Ом. При невозможности выполнения этого условия предложить (строго (!) в пункте 5 задания) мероприятия, направленные на снижение стационарного сопротивления до требуемого уровня.

Шаги горизонтальных полос по длине и ширине сетки выбирать минимальными из ряда значений 3 м, 4 м и 5 м таким образом, чтобы количество полос было целым числом, если иное не указано преподавателем.

Длину вертикальных стержней контура заземления подстанции принимать в диапазоне 3÷10 м, если иное не указано преподавателем.

Расчёт стационарного сопротивления заземления ОРУ выполнить для двух случаев (если преподавателем не указано другое):

- 1) вертикальные стержни установлены только в узлах сетки, расположенных на внешних горизонтальных полосах (узлы расположены по периметру территории подстанции);
- 2) вертикальные стержни установлены во всех узлах сетки.

Для расчёта импульсного сопротивления контура заземления обосновать выбор одного из рассчитанных значений стационарного сопротивления заземления.

Расчёт импульсного сопротивления контура заземления выполнить для диапазона значений тока молнии I_M от 1 до 150 кА. Для расчёта импульсного сопротивления воспользоваться рекомендациями § 21.3 учебника [1].

Значение удельной индуктивности портала на ОРУ принять равным 0,9 мкГн/м, если преподавателем не указано иное.

К пункту 5.

Среднее число лет безаварийной работы подстанции определяется по формуле:

$$M = \frac{1}{\beta_1 + \beta_2 + \beta_{3_1} + \beta_{3_2}}$$

где

β_1 – среднее ожидаемое число перекрытий изоляции подстанции из-за прорывов молнии в зону защиты молниеотвода (из п. 1.6);

β_2 – среднее ожидаемое число перекрытий изоляции подстанции при ударах молнии в молниеотводы (из п. 1.6);

β_{3_1} и β_{3_2} – средние ожидаемые числа перекрытий изоляции подстанции вследствие набегания по линиям опасных волн напряжения на ОРУ-1 и ОРУ-2 (рис. 1).

Требуется привести не общие слова и цитаты из литературы, а действенные методы повышения грозоупорности подстанции, основанные на результатах выполненного расчётного задания, для чего необходимо проанализировать полученные результаты и выявить наиболее влияющие на показатель грозоупорности величины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах / Под ред. В.П. Ларионова. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Ларионов В.П., Базуткин В.В., Сергеев Ю.Г. Техника высоких напряжений (Изоляция и перенапряжения в электрических установках) / Под ред. В.П. Ларионова. – М.: Энергоиздат, 1982.
3. СТО 56947007-29.240.059-2010. Инструкция по выбору изоляции электроустановок // ОАО «ФСК ЕЭС», 2010.
4. ГОСТ Р 55195-2012. Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции // М.: Стандартинформ, 2014.
5. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения / под ред. И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. – М.: Министерство энергетики Российской Федерации, 2002.
7. Лабораторные работы по технике высоких напряжений. Аронов М.А. и др. М.: Энергоатомиздат, 1982.
8. Гилязов М.З., Ларин В.С., Матвеев Д.А. Компьютерная лабораторная работа «Защита подстанций от набегающих волн». Методическое пособие по курсу «Изоляция и перенапряжения» для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика». – М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
9. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. РД 34.21.122-87. – М.: Минэнерго СССР, 1987.
10. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. СО-153-34.21.122—2003. – М.: Издательство МЭИ, 2004.

Таблица 1 - Исходные данные

№	U _{ном} , кВ		СЗА	F _{мех} , кН		Район по гололеду	l _{прод} , м		l _л , км		ρ, Ом·м	D _г , ч/год	a, м	b, м	l _{опт} , м		n _{вл}		k	
	1	2		1	2		1	2	1	2					1	2	1	2		
1	220	110	III	80	50	III	200	225	150	100	65	55	50	80	20	30	1	2	2,75	3,2
2	330	110	II	110	60	III	275	210	200	110	90	40	70	90	35	25	1	3	2,8	3,0
3	330	150	III	130	80	II	325	250	220	130	110	50	80	60	30	30	1	4	2,5	3,0
4	330	220	I	90	80	I	365	310	240	180	70	40	90	60	20	40	2	3	2,6	2,8
5	500	110	II	180	60	I	400	305	360	90	60	40	70	80	15	45	1	4	2,5	3,5
6	500	220	I	200	100	III	330	280	320	210	120	40	90	70	40	20	1	3	2,75	2,9
7	750	220	II	220	90	II	430	345	400	150	95	35	70	100	35	25	2	3	2,8	3,0
8	220	110	II	90	60	III	295	250	250	100	115	30	50	60	30	35	1	4	3,0	2,9
9	330	110	I	130	80	IV	240	190	260	90	95	50	70	50	20	45	2	4	2,5	2,8
10	330	150	II	90	50	II	300	335	280	120	105	60	50	80	15	40	2	3	2,4	2,8
11	330	220	III	110	90	I	315	315	300	160	50	30	50	90	40	35	1	3	2,6	3,2
12	500	110	I	200	80	IV	290	225	390	80	135	55	100	60	35	20	1	4	2,9	3,3
13	500	220	II	150	80	I	365	340	370	190	125	35	70	100	30	20	2	4	2,8	2,7
14	750	220	I	250	100	II	450	300	320	220	145	50	120	70	20	30	2	4	2,7	2,6
15	220	110	III	100	80	III	280	190	200	110	110	25	70	50	15	35	1	4	2,9	3,2
16	330	110	I	90	50	IV	220	150	210	90	100	20	50	80	40	40	1	3	2,4	2,9
17	330	150	III	110	60	II	310	255	230	110	80	30	50	100	20	25	2	3	2,5	2,75
18	330	220	II	130	100	IV	230	220	250	170	70	45	80	70	35	25	1	3	2,6	3,0
19	500	220	IV	180	105	II	365	310	340	145	100	50	80	60	45	20	2	4	2,9	3,0
20	500	110	II	150	50	I	355	320	300	100	75	45	60	120	25	35	1	2	2,8	2,8
21	500	220	I	180	90	IV	280	240	370	230	125	30	80	40	35	40	2	4	2,8	3,6
22	750	220	I	200	80	III	380	280	330	240	145	55	120	70	40	15	1	4	2,5	3,4
23	330	220	III	90	80	I	335	310	240	180	50	45	60	100	20	30	1	4	2,7	3,0
24	500	220	I	200	100	IV	300	270	320	210	95	50	60	80	35	20	2	4	2,75	2,8
25	330	110	II	130	80	III	285	255	260	90	55	40	50	70	40	45	1	4	2,6	3,1

№	$U_{\text{ном}}$, кВ		СЗА	$F_{\text{мех}}$, кН		Район по гололеду	$l_{\text{прол}}$, м		$l_{\text{л}}$, км		ρ , Ом·м	$D_{\text{г}}$, ч/год	a , м	b , м	$l_{\text{опн}}$, м		$n_{\text{вл}}$		k	
	1	2		1	2		1	2	1	2					1	2	1	2		
26	500	110	III	200	80	I	370	340	390	80	60	35	110	70	45	50	1	3	2,8	2,9
27	750	220	III	250	100	III	420	280	320	220	150	45	70	120	30	60	2	4	2,5	2,8
28	330	110	II	90	50	II	290	235	210	90	130	50	50	60	15	40	1	3	2,7	2,75
29	500	220	III	180	90	I	395	325	370	230	80	55	70	80	20	45	1	2	2,6	2,7
30	750	220	II	200	80	III	410	310	330	240	50	40	120	90	30	35	2	3	2,6	2,5

№ – номер индивидуального варианта задания,

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение линии,

СЗА – степень загрязнения атмосферы,

$F_{\text{мех}}$ – механическая нагрузка на изоляторы (изолирующую подвеску),

$l_{\text{прол}}$ – длина пролёта линии,

$l_{\text{л}}$ – длина линии,

ρ – расчетное удельное сопротивление грунта в районе расположения подстанции,

$D_{\text{г}}$ – число грозových часов в году в районе прохождения линии и расположения подстанции,

a и b – габариты подстанции,

$l_{\text{опн}}$ – расстояния от защищаемого объекта до ОПН в ОРУ,

$n_{\text{вл}}$ – число воздушных линий электропередачи, подходящих к ОРУ,

k – коэффициенты, равные максимально возможному отношению внутренних индуктивных сопротивлений сети по нулевой и прямой последовательности (x_0/x_1) при однофазном КЗ на шинах ОРУ.

Таблица 2 - Исходные данные, зависящие от класса напряжения

$U_{\text{ном}}$, кВ	Z_c , Ом	h_x , м	$C_{\text{тр}}$, пФ	$U_{\text{исп.пги}}$, кВ
110	420	12	1600	480
150	400	14	1800	550
220	370	17	2000	750
330	330	20	3000	950
500	300	24	4200	1300
750	280	30	4600	1800

$U_{\text{ном}}$ – класс напряжения,

Z_c – волновое сопротивление воздушной линии и ошиновки ОРУ,

$l_{\text{пр}}$ – длина пролёта воздушных линий,

h_x – высота портала ОРУ,

$C_{\text{тр}}$ – входная емкость защищаемого оборудования (силового автотрансформатора),

$U_{\text{исп.пги}}$ – нормированные значения испытательного напряжения полного грозового импульса для силовых трансформаторов и автотрансформаторов.

Таблица 3 - Характеристики стеклянных подвесных линейных изоляторов

Тип изолятора	Механическая разрушающая сила, кН, не менее	Диаметр тарелки, мм	Строительная высота, мм	Длина пути утечки, мм
ПС 70Е	70	255	127; 146	320
ПС 70И		255	146	407
ПСВ 70А		280	146	445
ПСД 70Е		270	127; 146	411
ПСС 70А		310	127; 170	310
ПС 80А	80	255	140	320
ПС 120Б	120	255	127; 146; 170	320
ПС 120В		255	146	407
ПСВ 120Б		280	127; 146	445
U 120ВР1		320	146	555
ПСС 120Б		330	127; 146	330
ПС 160Д	160	280	146; 170	385
ПС160К		280	170	460
ПСВ 160А		320	146; 170	545
ПСД 160А		350	146	440
ПС 190А	190	280	170; 190	428
ПСВ 190А		340	196	617
ПС 210В	210	280	170; 190	380
ПС 210Д		280	170	482
ПСВ 210А		330	170; 195	555
ПСК 210А		410	155	410
ПСС 210Б		410	156	410
ПС 240А	240	280	170; 190	428
ПСВ 240А		340	170; 195	617
ПС 300Б	300	320	195	385
ПС 300В		320	195	390
ПС 300Г		320	195	485
ПСВ 300А		360	195	617
ПСК 300А		450	180	460
ПСК 300К		450	175	457

Таблица 4 – Аббревиатуры конфигурации изоляционной детали

Аббревиатура	Расшифровка
ПС	подвесной стеклянный нормального исполнения
Специальные исполнения	
ПСВ (ВР)	подвесной стеклянный с увеличенным вылетом ребра
ПСД	подвесной стеклянный двукрылый
ПСС	подвесной стеклянный сферический
ПСК	подвесной стеклянный конусный

Таблица 5 – Характеристики полимерных линейных подвесных стержневых изоляторов

Тип изолятора ²	Ном. напр., кВ	Механическая разрушающая сила, кН, не менее	Строительная высота, мм	Высота изоляционной части, мм	Длина пути утечки, мм	U _{50%} , кВ		
ЛК-70/110-2	110	70	1203	1015	2700	630		
ЛК-70/110-3					3140			
ЛК-70/110-4					3545	700		
ЛК-120/110-2		120	1316	1085	2790	630		
ЛК-120/110-3					3340	630		
ЛК-120/110-4					1446	1215	3745	700
ЛК-120/110-4					1252	1021	3850	550
ЛК-160/110-4		160	1273	1021	3850	550		
ЛК-70/150-2	150	70	1525	1330	3480	885		
ЛК-70/150-3					4080	885		
ЛК-70/150-4					4520	885		
ЛК-120/150-2		120	1555	1330	3480	885		
ЛК-120/150-3					4080	885		
ЛК-120/150-4					1705	1480	4520	885
ЛК-70/220-2	220	70	2143	1955	5200	960		
ЛК-70/220-3					5770	920		
ЛК-70/220-4					6580	1050		
ЛК-120/220-3		120	2096	1755	5770	980		
ЛК-120/220-4					6170	1050		
ЛК-120/220-4					2097	1866	7100	950
ЛК-160/220-3		160	2117	1755	5770	980		
ЛК-160/220-4					2118	1866	7100	950
ЛК-120/330-3	330	120	3136	2590	9000	1470		
ЛК-120/330-4					10015	1540		
ЛК-120/330-4						3426	13150	1540
ЛК-160/330-3		160	3157	2590	9000	1470		
ЛК-160/330-4					10015	1540		
ЛК-210/330-3		210	3505	3231	10500	1540		
ЛК-210/330-4					13500	1540		
ЛК-300/330-3		300	3555	3231	10500	1540		
ЛК-300/330-4					13500	1540		
ЛК-120/500-4	500	120	4762	4531	17400	1740		
ЛК-160/500-3		160	4457	3890	13150	1740		
ЛК-160/500-4		160	4795	4531	17400	1740		
ЛК-210/500-3		210	4836	4531	14700	1740		
ЛК-210/500-4		210	4836	4531	18200	1740		
ЛК-300/500-3		300	4886	4531	14700	1740		
ЛК-300/500-4		300	4886	4531	18200	1740		
ЛК-160/750-4	750	160	8162	7595	24700	2700		
ЛК-210/750-4		210	6851	6546	27000	2700		
ЛК-300/750-4		300	6901					

² Эквивалентный диаметр любого полимерного изолятора из таблицы 5 менее 300 мм.

Таблица 6 – Электрические характеристики ОПН

Тип ОПН	$U_{нр}$, кВ	Остающиеся напряжения $U_{ост}$ [кВ] при максимальных значениях импульсных токов 8/20 мкс			
		5 кА	10 кА	20 кА	40 кА
ОПН-П-110/56/10/680	56	164	179	201	–
ОПН-П-110/77/10/680	77	225	246	276	–
ОПН-П-110/84/10/680	84	246	269	302	–
ОПН-П-110/88/10/680	88	257	282	316	–
ОПН-П-150/110/10/680	110	322	352	395	–
ОПН-П-150/120/10/680	120	351	384	431	–
ОПН-П-220/154/10/680	154	450	493	553	–
ОПН-П-220/163/10/680	163	477	522	585	–
ОПН-П-220/176/10/680	176	515	563	632	–
ОПН-П-330/210/20/1450	210	–	609	671	739
ОПН-П-330/230/10/1000	230	670	736	810	–
ОПН-П-330/230/20/1450	230	–	667	735	809
ОПН-П-500/303/20/1800	303	–	879	966	1080
ОПН-П-500/318/20/1450	318	–	922	1020	1120
ОПН-П-500/318/20/2100	318	–	922	999	1100
ОПН-П-500/333/20/1450	333	–	966	1070	1170
ОПН-П-750/455/20/2100	455	–	1320	1430	1560
ОПН-П-750/465/20/2100	465	–	1350	1460	1610
ОПН-П-750/475/20/2100	475	–	1380	1490	1640

Таблица 7 – Поправочные коэффициенты K_n на число отходящих ВЛ

$n_{вл}$	1	2	3	4
K_n	1,0	2,0	4,0	8,0