

**РАСЧЁТНОЕ ЗАДАНИЕ**  
**по дисциплине «Техника высоких напряжений»**  
**для студентов III курса ИЭЭ**

**«ВЫБОР ЛИНЕЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ОПОРАХ И ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАССТОЯНИЙ**  
**НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ»**

**ЗАДАНИЕ НА РАСЧЁТ**

1. Определить параметры изолирующих подвесок для промежуточных опор воздушных линий электропередачи (ВЛ). Расчеты выполнить для обоих указанных в исходных данных классов напряжения. Определить импульсные разрядные напряжения для каждого расчётного случая.
2. Для каждого класса напряжения выбрать опору, фазный провод и молниезащитный трос ВЛ. Рассчитать стрелы провеса фазного провода и молниезащитного троса в пролёте.
3. Для промежутка «фазный провод - земля» для каждого класса напряжения сравнить выдерживаемое напряжение с минимальным разрядным напряжением при приложении коммутационного импульса положительной полярности.
4. Для каждого класса напряжения рассчитать напряжённость у поверхности фазного провода и сравнить её значение со значением начальной напряжённости для выбранной марки фазного провода. Рассчитать значение напряжённости электрического поля в расчётной точке, расположенной непосредственно под проводом, на котором в данный момент времени наблюдается максимум напряжения.
5. Оценить изменение параметров волн грозового происхождения при их движении по проводам ВЛ.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Исходные данные представлены в таблице 1.

*К пункту 1.*

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

Для ВЛ большего класса напряжения применить 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]<sup>1</sup>.

Изоляторы выбираются из таблиц 2 и 4 в соответствии с требованиями п. 7-9, 11 [3]. Пояснения к таблице 2 даны в таблице 3.

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 иное не указано преподавателем.

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 следует 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 4.

Эквивалентный диаметр любого полимерного изолятора из таблицы 4 менее 300 мм.

*К пункту 2.*

Выбор опор и проводов проводится по справочнику [5]. Выбор изоляционных расстояний производится согласно §23.4, 23.5 [1] или §31.1, 31.3 [2].

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 выбирается в соответствии с указаниями преподавателя.

---

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

Расчётная стрела провеса фазного провода  $f_{\text{пр ср}}$  определяется как

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

где  $l_{\text{прол}}$  – длина пролёта, м;  $S_{\text{ст}}$  – площадь сечения стального сердечника сталеалюминиевого провода марки АС, мм<sup>2</sup>.

*К пункту 3.*

Выдерживаемое напряжение определяется исходя из кратности коммутационных перенапряжений с учётом максимальной поправки на атмосферные условия и учёта числа параллельных изоляционных промежутков в пределах одного пролёта ВЛ. При расчёте числа параллельных изоляционных промежутков длину единичного промежутка принять равной 20 м, если преподаватель не укажет иное значение. При определении параметра  $z_m$  использовать линейную интерполяцию.

Минимальное разрядное напряжение рассчитывается для длины изоляционного промежутка «фазный провод – транспорт» в середине пролёта (длина промежутка «фазный провод – земля» за вычетом высоты проезжающего под проводом транспорта, принимаемой равной 4,5 м).

Критический радиус провода  $r$  определяется из условия  $k_n = k_{n \text{ кр}}$  путём подбора по формуле

$$k_n = \frac{2 \cdot H_{\text{пр-тр}}}{r} \cdot \frac{H_{\text{пр-тр}} + r}{(2 \cdot H_{\text{пр-тр}} + r) \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot H_{\text{пр-тр}} + r}{r}\right)}$$

где  $H_{\text{пр-тр}}$  – длина воздушного промежутка «фазный провод – транспорт». Значения величин  $H_{\text{пр-тр}}$  и  $r$  подставляются в одинаковых единицах измерения.

Критический коэффициент неоднородности определяется по эмпирической формуле

$$k_{n \text{ кр}} = 11 + 1,1 \cdot H_{\text{пр-тр}},$$

где  $H_{\text{пр-тр}}$  – длина воздушного промежутка «фазный провод – транспорт», м.

Отличие между коэффициентами неоднородности  $k_n$  и  $k_{n \text{ кр}}$ , определёнными по этим формулам, допускается в четвёртой значащей цифре. Значение критического радиуса провода округлять до трёх значащих цифр.

*К пункту 4.*

Расстояние между проводниками в расщеплённой фазе указаны в таблице 1.

Предлагается считать, что все ВЛ оборудованы молниезащитными тросами. Точки их крепления указаны в справочнике [5].

Для проводов марки АС принятый для расчётов коэффициент гладкости  $m = 0,82$ .

Значения стрел провеса тросов  $f_{тр}$  определяются по формуле, как и для фазных проводов ВЛ, если преподаватель не укажет иное.

Расчёты значений напряжённости электрического поля следует проводить для моментов времени, когда максимум напряжения наблюдается на проводах 2 и 3 (рис. 1). Таким образом, необходимо провести расчёт для двух моментов времени для каждого класса напряжения. Высоту расчётной точки под проводом принять равной 1,8 м, если преподавателем не указано иное.

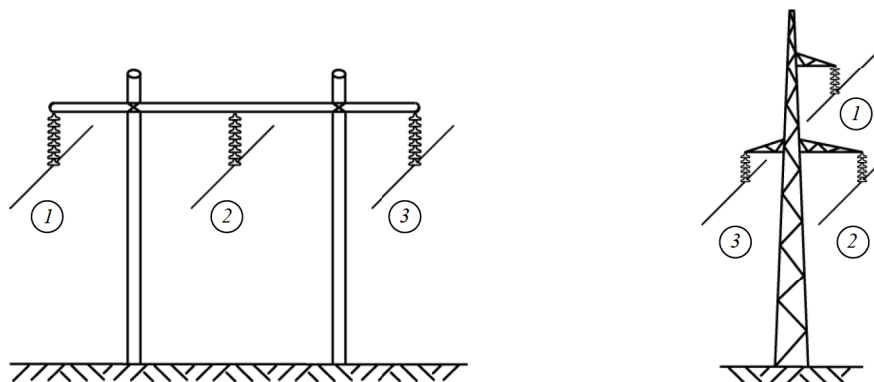


Рисунок 1 – Расположение проводов ВЛ на разных типах опор

К пункту 5.

Удлинение (затягивание) фронта импульса волны грозового происхождения определяется как

$$\Delta\tau_{\phi} = \left( 0,5 + \frac{0,008 \cdot U_{50\%}}{h_{пр\,ср}} \right) \frac{1}{K_{пр}},$$

где  $U_{50\%}$  – импульсное разрядное напряжение, полученное в пункте 1 данного задания, кВ;  $h_{пр\,ср}$  – средняя высота подвеса провода в пролёте воздушной линии, м;  $K_{пр}$  – коэффициент, учитывающий количество проводников в фазном проводе (§24.2 [2]).

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

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

где  $h_{пр\,оп}$  – высота подвеса провода на опоре, определяемое как

$$h_{пр\,оп} = h_{тр\,рав} - L_{г},$$

где  $h_{тр\,рав}$  – высота траверсы, к которой крепится изолирующая подвеска, м;  $L_{г}$  – длина изолирующей подвески, рассчитанной в пункте 1, м.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
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. Колечицкий Е.С., Романов В.А., Карташев В.Г. Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
7. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. – М.: Министерство энергетики Российской Федерации, 2002.



Таблица 1 - Исходные данные<sup>2</sup>

№	$U_{\text{ном}}$ , кВ		СЗА	$F_{\text{мех}}$ , кН		Район по го- лоледу	$l_{\text{прол}}$ , м		$l_{\text{л}}$ , км		$d$ , мм	$t_{\text{max}}$ , °С	$P$
	1	2		1	2		1	2	1	2			
1	220	110	III	80	50	III	200	225	150	100	–	26	746
2	330	110	II	110	60	III	275	210	200	110	300	28	748
3	330	150	III	130	80	II	325	250	220	130	400	30	750
4	330	220	I	90	80	I	365	310	240	180	485	32	752
5	500	110	II	180	60	I	400	305	360	90	300	34	754
6	500	220	I	200	100	III	330	280	320	210	400	36	756
7	750	220	II	220	90	II	430	345	400	150	850	38	758
8	220	110	II	90	60	III	295	250	250	100	–	40	760
9	330	110	I	130	80	IV	240	190	260	90	500	42	774
10	330	150	II	90	50	II	300	335	280	120	600	25	772
11	330	220	III	110	90	I	315	315	300	160	650	27	770
12	500	110	I	200	80	IV	290	225	390	80	485	29	768
13	500	220	II	150	80	I	365	340	370	190	500	31	766
14	750	220	I	250	100	II	450	300	320	220	800	33	764
15	220	110	III	100	80	III	280	190	200	110	–	35	762
16	330	110	I	90	50	IV	220	150	210	90	800	37	773
17	330	150	III	110	60	II	310	255	230	110	850	39	771
18	330	220	II	130	100	IV	230	220	250	170	300	41	769
19	500	220	IV	180	105	II	365	310	340	145	600	43	767
20	500	110	II	150	50	I	355	320	300	100	650	45	765
21	500	220	I	180	90	IV	280	240	370	230	800	26	763
22	750	220	I	200	80	III	380	280	330	240	600	29	761
23	330	220	III	90	80	I	335	310	240	180	400	32	759
24	500	220	I	200	100	IV	300	270	320	210	850	35	757
25	330	110	II	130	80	III	285	255	260	90	500	38	755
26	500	110	III	200	80	I	370	340	390	80	600	41	753
27	750	220	III	250	100	III	420	280	320	220	500	44	751
28	330	110	II	90	50	II	290	235	210	90	600	40	749
29	500	220	III	180	90	I	395	325	370	230	800	36	747
30	750	220	II	200	80	III	410	310	330	240	485	32	745

<sup>2</sup> Обозначения, принятые в табл. 1:

№ – номер индивидуального варианта задания;  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение линии, кВ; СЗА – степень загрязнения атмосферы;  $F_{\text{мех}}$  – механическая нагрузка на изоляторы (изолирующую подвеску), кН;  $l_{\text{прол}}$  – длина пролёта линии, м;  $l_{\text{л}}$  – длина линии, км;  $d$  – расстояние между проводниками в расщеплённой фазе, мм;  $t_{\text{max}}$  – максимальная температура воздуха, °С;  $P$  – давление воздуха, мм рт. ст.

Таблица 2 - Характеристики стеклянных подвесных линейных изоляторов<sup>3</sup>

Тип изолятора	$F$ , кН	$D$ , мм	$H$ , мм	$L_{ут}$ , мм
ПС 70Е (127)	70	255	127	320
ПС 70Е (146)		255	146	320
ПС 70И		255	146	407
ПСВ 70А		280	146	445
ПСД 70Е (127)		270	127	411
ПСД 70Е (146)		270	146	411
ПСС 70А (127)		310	127	310
ПСС 70А (170)		310	170	310
ПС 80А	80	255	140	320
ПС 120Б (127)	120	255	127	320
ПС 120Б (146)		255	146	320
ПС 120Б (170)		255	170	320
ПС 120В		255	146	407
ПСВ 120Б (127)		280	127	445
ПСВ 120Б (146)		280	146	445
U 120ВР1		320	146	555
ПСС 120Б (127)		330	127	330
ПСС 120Б (146)		330	146	330
ПС 160Д (146)	160	280	146	385
ПС 160Д (170)		280	170	385
ПС160К		280	170	460
ПСВ 160А (146)		320	146	545
ПСВ 160А (170)		320	170	545
ПСД 160А		350	146	440
ПС 190А (170)	190	280	170	428
ПС 190А (190)		280	190	428
ПСВ 190А		340	196	617
ПС 210В (170)	210	280	170	380
ПС 210В (190)		280	190	380
ПС 210Д		280	170	482
ПСВ 210А (170)		330	170	555
ПСВ 210А (195)		330	195	555
ПСК 210А		410	155	410
ПСС 210Б		410	156	410

<sup>3</sup> Обозначения, принятые в табл. 2: $F$  – механическая разрушающая сила при растяжении, кН, не менее;  $D$  – диаметр тарелки изолятора, мм;  $H$  – строительная высота изолятора, мм;  $L_{ут}$  – длина пути утечки изолятора, мм.

Тип изолятора	$F$ , кН	$D$ , мм	$H$ , мм	$L_{ут}$ , мм
ПС 240А (170)	240	280	170	428
ПС 240А (190)		280	190	428
ПСВ 240А (170)		340	170	617
ПСВ 240А (195)		340	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 3 – Аббревиатуры конфигурации изоляционной детали

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

Таблица 4 – Характеристики полимерных линейных подвесных стержневых изоляторов<sup>4</sup>

Тип изолятора	$U_{ном}$ , кВ	$F$ , кН	$H$ , мм	$H_{из}$ , мм	$L_{ут}$ , мм	$U_{50\%}$ , кВ
ЛК-70/110-2	110	70	1203	1015	2700	630
ЛК-70/110-3			1203	1015	3140	630
ЛК-70/110-4			1333	1145	3545	700
ЛКК 70/110-III			1275	1078	3360	550
ЛКК 70/110-IV			1395	1192	3800	650
ЛК-120/110-2		120	1316	1085	2790	630
ЛК-120/110-3			1316	1085	3340	630
ЛК-120/110-4			1446	1215	3745	700
ЛК-120/110-4			1252	1021	3850	550
ЛКК 120/110-III			1345	1078	3360	550
ЛКК 120/110-IV			1460	1192	3800	650
ЛК-160/110-4		160	1273	1021	3850	550

<sup>4</sup> Обозначения, принятые в табл. 4:

$F$  – механическая разрушающая сила при растяжении, кН, не менее;  $H$  – строительная высота изолятора, мм;  $H_{из}$  – длина изоляционной части изолятора, мм;  $L_{ут}$  – длина пути утечки изолятора, мм, не менее;  $U_{50\%}$  – выдерживаемое напряжение грозových импульсов, кВ, не менее.



Таблица 4 – Характеристики полимерных линейных подвесных стержневых изоляторов<sup>5</sup>  
(продолжение)

Тип изолятора	$U_{ном}$ , кВ	$F$ , кН	$H$ , мм	$H_{из}$ , мм	$L_{ут}$ , мм	$U_{50\%}$ , кВ
ЛК-70/150-2	150	70	1525	1330	3480	885
ЛК-70/150-3			1525	1330	4080	885
ЛК-70/150-4			1675	1480	4520	885
ЛКК 70/150-III			1550	1328	4250	720
ЛКК 70/150-IV			1896	1664	5400	920
ЛК-120/150-2			120	1555	1330	3480
ЛК-120/150-3		1555		1330	4080	885
ЛК-120/150-4		1705		1480	4520	885
ЛКК 120/150-III		1620		1328	4250	720
ЛКК 120/150-IV		1970		1664	5400	920
ЛКК 160/150-II		160	1595	1320	3820	720
ЛКК 160/150-III			1735	1450	4230	760
ЛКК 160/150-IV			2125	1840	5360	1070
ЛК-70/220-2		220	70	2143	1955	5200
ЛК-70/220-3	2048			1676	5770	920
ЛК-70/220-4	2308			1936	6580	1050
ЛКК 70/220-II	2055			1842	5910	1070
ЛКК 70/220-III	2193			1976	6300	1100
ЛКК 70/220-IV	2687			2470	7900	1200
ЛК-120/220-3	120			2096	1755	5770
ЛК-120/220-4			2226	1854	6170	1050
ЛК-120/220-4			2097	1866	7100	950
ЛКК 120/220-II			2120	1842	5910	1070
ЛКК 120/220-III			2270	1976	6300	1100
ЛКК 120/220-IV			2760	2470	7900	1200
ЛК-160/220-3	160		2117	1755	5770	980
ЛК-160/220-4			2118	1866	7100	950
ЛКК 160/220-II			2140	1846	5300	1070
ЛКК 160/220-III			2470	2182	6300	1100
ЛКК 160/220-IV			3000	2714	7900	1400

<sup>5</sup> Обозначения, принятые в табл. 4:

$F$  – механическая разрушающая сила при растяжении, кН, не менее;  $H$  – строительная высота изолятора, мм;  $H_{из}$  – длина изоляционной части изолятора, мм;  $L_{ут}$  – длина пути утечки изолятора, мм, не менее;  $U_{50\%}$  – выдерживаемое напряжение грозowych импульсов, кВ, не менее.

Таблица 4 – Характеристики полимерных линейных подвесных стержневых изоляторов<sup>6</sup>  
(продолжение)

Тип изолятора	$U_{ном}$ , кВ	$F$ , кН	$H$ , мм	$H_{из}$ , мм	$L_{ут}$ , мм	$U_{50\%}$ , кВ		
ЛКК 70/330-III	330	70	2930	2695	7900	1410		
ЛК-120/330-3			120	3136	2590	9000	1470	
ЛК-120/330-4		3461		2884	10015	1540		
ЛК-120/330-4		3657		3426	13150	1540		
ЛКК 120/330-III		2965		2695	7900	1410		
ЛК-160/330-3		160	3000	3157	2590	9000	1470	
ЛК-160/330-4				3482	2915	10015	1540	
ЛКК 160/330-III				3000	2695	7900	1410	
ЛК-210/330-3		210	3536	3505	3231	10500	1540	
ЛК-210/330-4				3536	3231	13500	1540	
ЛК-300/330-3		300	3586	3555	3231	10500	1540	
ЛК-300/330-4				3586	3231	13500	1540	
ЛКК 70/500-III		500	70	4125	3795	10520	1940	
ЛК-120/500-4				120	4762	4531	17400	1740
ЛКК 120/500-III	4170		3815		10520	1940		
ЛК-160/500-3	160		4247	4457	3890	13150	1740	
ЛК-160/500-4				4795	4531	17400	1740	
ЛКК 160/500-III				4247	3855	10520	1940	
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		6901	160	8162	7595	24700	2700
ЛК-210/750-4				210	6851	6546	27000	2700
ЛК-300/750-4		300		6901	6546	27000	2700	

<sup>6</sup> Обозначения, принятые в табл. 4:

$F$  – механическая разрушающая сила при растяжении, кН, не менее;  $H$  – строительная высота изолятора, мм;  $H_{из}$  – длина изоляционной части изолятора, мм;  $L_{ут}$  – длина пути утечки изолятора, мм, не менее;  $U_{50\%}$  – выдерживаемое напряжение грозowych импульсов, кВ, не менее.