

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, определить минимально допустимую длину разрядного промежутка «фазный провод - земля». Рассчитать стрелы провеса провода в пролёте.
3. Построить для обоих заданных классов напряжения распределения значений напряжённости электрических полей вдоль земли под проводами ВЛ в серединах их пролётов в плоскостях, перпендикулярных проводам линий. Определить ширину санитарно-защитных зон 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]¹.

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.

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

Максимальная стрела провеса фазного провода $f_{\text{пр}_{\text{max}}}$ определяется для самого нижнего провода линии как разность высоты подвеса провода на его изоляционной подвеске на опоре и минимального допустимого расстояния $h_{\text{пр}_{\text{min}}}$ между землёй и проводом в середине пролёта.

Необходимо учитывать, что фазные провода ВЛ 330-750 кВ расщеплены. Поэтому минимальная высота геометрической оси расщеплённого фазного провода (РФП) линии в середине её пролёта определяется как $h_{\text{пр}_{\text{min}}} + R_p$, где R_p – радиус расщепления РФП.

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

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

где $l_{\text{прол}}$ – длина пролёта, м; $S_{\text{ст}}$ – площадь сечения стального сердечника сталеалюминиевого провода марки АС, мм².

К пункту 3.

Расчёты проводятся для высот проводов в пролёте, определяемых различными стрелами провеса $f_{\text{пр}_{\text{расч}}}$ и $f_{\text{пр}_{\text{max}}}$. Предлагается считать, что все ВЛ оборудованы молниезащитными тросами. Точки их крепления указаны в справочнике [5].

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

Расстояние между проводниками в расщеплённой фазе указаны в таблице 1.

Санитарно-защитной зоной ВЛ является территория вдоль трассы ВЛ, в которой напряжённость поля превышает 1 кВ/м. Расчёты напряжённости электрического поля проводить на высоте роста человека, т. е. 1,8 метра.

По результатам расчётов напряжённости электрического поля под проводами ВЛ необходимо сделать вывод о соответствии её значений нормативным документам, ограничивающим воздействие электрических полей промышленной частоты на население [6].

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 данные²

| № | $U_{\text{ном}}$, кВ | | СЗА | $F_{\text{мех}}$, кН | | Район по го- лоледу | $l_{\text{прол}}$, м | | $l_{\text{л}}$, км | | d , мм | t_{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 |

² 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_{max} – максимальная температура воздуха, °С; P – давление воздуха, мм рт. ст.

Таблица 2 - Характеристики стеклянных подвесных линейных изоляторов³

| 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 120BP1 | | 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 |

³ 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 |
| Специальные исполнения | |
| 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 изоляторов⁴

| 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 |
| 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 |

⁴ 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 грозовых импульсов, кВ, не менее.

Таблица 4 – Характеристики полимерных линейных подвесных стержневых изоляторов⁵
(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 |
| 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 |
| 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 |

⁵ 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 грозовых импульсов, кВ, не менее.

Таблица 4 – Характеристики полимерных линейных подвесных стержневых изоляторов⁶
(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 | 160 | 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 | 210 | 3505 | 3231 | 10500 | 1540 |
| ЛК-210/330-4 | | | | 3536 | 3231 | 13500 | 1540 |
| ЛК-300/330-3 | | 300 | 300 | 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 |
| ЛКК 120/500-III | 4170 | | 3815 | | 10520 | 1940 | |
| ЛК-160/500-3 | 160 | | 160 | 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 | | 160 | 8162 | 7595 | 24700 | 2700 |
| ЛК-210/750-4 | | 210 | 6851 | 6546 | 27000 | 2700 | |
| ЛК-300/750-4 | | 300 | 6901 | 6546 | 27000 | 2700 | |

⁶ 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.