

Безопасность эксплуатации воздушных линий напряжением 330 кВ

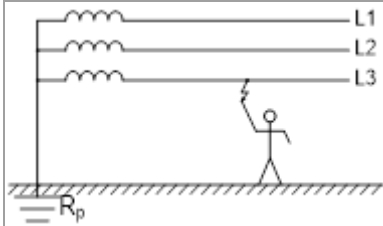
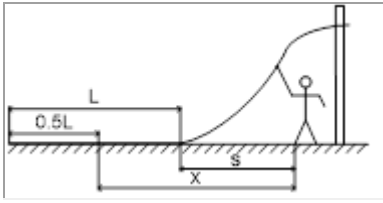
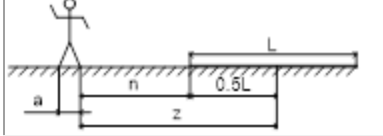
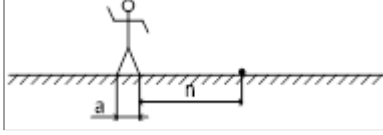
Безопасность эксплуатации воздушных линий напряжением 330 кВ

1. Анализ опасных и вредных факторов при эксплуатации воздушных линий напряжением 330 кВ

Опасные факторы.

Основным опасным фактором при эксплуатации воздушных линий напряжением 330 кВ является возможность поражения человека электрическим током. Оценим опасность действия электрического тока на человека в табличной форме.

Таблица 1. Анализ опасности действия электрического тока на человека.

Вид прикосновения или приближения	Схема	Формула	$I_{\text{ч}}, \text{А}$
Однофазное приближение		$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{д}} + R_{\text{з}}}$	$\frac{330 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (1500 + 0.5 + 2000)} = 54.428$
Прикосновение к оборванному проводу		$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{об}}}{R_{\text{ч}}}$	$\frac{48716.223}{1500} = 32.477$
Попадание под шаговое напряжение вдоль оси провода		$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ша}}}{R_{\text{ч}}}$	$\frac{1048.02}{2500} = 0.419$
Попадание под шаговое напряжение поперёк оси провода		$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ша}}}{R_{\text{ч}}}$	$\frac{2128.18}{2500} = 0.851$

Примечание. Для расчёта использовались следующие данные:

$U_{\text{ф}} = 330/\sqrt{3}$

– фазное напряжение сети, кВ;

$R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом. Для пути рука-нога $R_{\text{ч}} = 1500$, для пути гога-нога $R_{\text{ч}} = 2500$;

$R_{\text{п}} = 0.5$ – сопротивление рабочего заземления нейтрали, Ом;

$R_{\text{д}} = 2000$ – сопротивление электрической дуги, Ом;

$L_{\text{об}} = 50$ – длина линии до обрыва провода, км;

$r_0 = 0.122$ – погонное сопротивление провода АС 240/39, Ом/км;

$R_{\text{л}} = L_{\text{об}} \cdot r_0 / 2 = 50 \cdot 0.122 / 2 = 3.05$

– сопротивление провода до места обрыва провода, Ом;

$R_{\text{тр}} = 0.817$ – сопротивление трансформатора АТДЦТН-200000/330/110, Ом;

$\rho = 100$ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$L = 150$ – длина участка провода, лежащего на земле, м;

$d = 0.0216$ – диаметр провода, м;

$$R_{\text{г}} = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{d} = \frac{100}{3.14 \cdot 150} \cdot \ln \frac{2 \cdot 150}{0.0216} = 2.022$$

– сопротивление растекания тока провода, лежащего на земле, Ом

$$I_{\xi} = \frac{U_0}{R_{\xi} + R_{\delta} + R_{\delta\delta} + R_{\xi}} = \frac{330 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (3.05 + 0.5 + 0.817 + 2.022)} = 29820.878$$

– ток замыкания на землю, А;

s=20 – расстояние от человека до участка провода, лежащего на земле, м;

$$x = s + 0.5 \cdot L = 20 + 0.5 \cdot 150 = 95$$

– расстояние от человека до середины участка провода, лежащего на земле, м;

$$\varphi_{\xi} = \frac{I_{\xi} \cdot \rho}{\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{d} = \frac{29820.878 \cdot 100}{3.14 \cdot 150} \cdot \ln \frac{2 \cdot 150}{0.0216} = 60364.576$$

– потенциал провода, В ([Л12], стр. 86);

$$\varphi_{\text{в}} = \frac{I_{\xi} \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot x + L}{2 \cdot x - L} = \frac{29820.878 \cdot 100}{2 \cdot 3.14 \cdot 150} \cdot \ln \frac{2 \cdot 95 + 150}{2 \cdot 95 - 150} = 6771.371$$

– потенциал на поверхности земли в том месте, где стоит человек, В;

$$\alpha_2 = \frac{R_{\pm}}{R_{\pm} + 1.5 \cdot \rho} = \frac{1500}{1500 + 1.5 \cdot 100} = 0.909$$

– коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию ног человека ([Л12], стр. 123);

$$U_{\text{ис}} = (\varphi_{\xi} - \varphi_{\text{в}}) \cdot \alpha_2 = (60364.576 - 6771.371) \cdot 0.909 = 48716.223$$

– напряжение прикосновения, В;

n=2 – расстояние от человека до участка провода, лежащего на земле, м;

$$z = n + 0.5 \cdot L = 2 + 0.5 \cdot 150 = 77$$

– расстояние от человека до середины участка провода, лежащего на земле, м;

a = 0.8 – длина шага человека, м;

$$\varphi_x = \frac{I_{\xi} \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot z + L}{2 \cdot z - L} = \frac{29820.878 \cdot 100}{2 \cdot 3.14 \cdot 150} \cdot \ln \frac{2 \cdot 77 + 150}{2 \cdot 77 - 150} = 13702.847$$

– потенциал на поверхности земли в том месте, где стоит ближняя к проводу нога человека, вдоль оси провода, В

$$\varphi_{x+a} = \frac{I_{\xi} \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot (z+a) + L}{2 \cdot (z+a) - L} = \frac{29820.878 \cdot 100}{2 \cdot 3.14 \cdot 150} \cdot \ln \frac{2 \cdot (77+0.8) + 150}{2 \cdot (77+0.8) - 150} = 12654.827$$

– потенциал на поверхности земли в том месте, где стоит дальняя от провода нога человека, вдоль оси провода, В ([Л12], стр. 86);

$$U_{\text{ша}} = \varphi_x - \varphi_{x+a} = 13702.847 - 12654.827 = 1048.02$$

– напряжение шага вдоль оси провода, В;

$$\varphi_y = \frac{I_{\xi} \cdot \rho}{\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{\sqrt{L^2 + 4 \cdot n^2} + L}{2 \cdot n} = \frac{29820.878 \cdot 100}{3.14 \cdot 150} \cdot \ln \frac{\sqrt{150^2 + 4 \cdot 2^2} + 150}{2 \cdot 2} = 27322.997$$

– потенциал на поверхности земли в том месте, где стоит ближняя к проводу нога человека, поперёк оси провода, В ([Л12], стр. 86);

$$\varphi_{y+a} = \frac{I_{\xi} \cdot \rho}{\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{\sqrt{L^2 + 4 \cdot (n+a)^2} + L}{2 \cdot (n+a)} = \frac{29820.878 \cdot 100}{3.14 \cdot 150} \cdot \ln \frac{\sqrt{150^2 + 4 \cdot (2+0.8)^2} + 150}{2 \cdot (2+0.8)} = 25194.817$$

– потенциал на поверхности земли в том месте, где стоит дальняя от провода нога человека, поперёк оси провода, В ([Л12], стр. 86);

$$U_{\text{ши}} = \varphi_y - \varphi_{y+a} = 27322.997 - 25194.817 = 2128.18$$

– напряжение шага поперёк оси провода, В;

I_ч – ток, проходящий через человека, А.

К другим опасным факторам при эксплуатации воздушных линий напряжением 330 кВ относится работа на высоте (43 м).

Вредные факторы.

При эксплуатации воздушных линий напряжением 330 кВ наблюдаются также вредные факторы такие как: работа при плохих метеоусловиях (дождь, снег, туман, минусовые температуры, сильный ветер); работа в тёмное время суток; работа в зоне действия электрического поля напряжённость которого равна 5-20 кВ/м.

2. Защитные меры

Защитные меры от опасных факторов.

Защитные меры от возможного поражения человека электрическим током при нормальном режиме работы.

Изоляция токоведущих частей. На ВЛ напряжением 330 кВ в качестве изоляции используются стеклянные подвесные изоляторы типа ПС22-А, которые собираются в гирлянды. Количество изоляторов в гирлянде – 15. Электрические испытания стеклянных подвесных изоляторов не проводятся. Контроль их состояния осуществляется путём внешнего осмотра ([Л5], п. 1.8.32).

Недоступность токоведущих частей. Наименьшие расстояния от проводов ВЛ до поверхности земли указано в табл. 2.

Таблица 2.

Характеристика местности	Наименьшее расстояние, м
Ненаселённая местность	7.5
Населённая местность: нормальный режим обрыв провода в соседнем пролёте	8 6
Неэлектрифицированные железные дороги: нормальный режим обрыв провода в соседнем пролёте	9 7
Автомобильные дороги: нормальный режим обрыв провода в соседнем пролёте	6.5 6

Примечание. Данные взяты из [Л5], табл. 2.5.22, табл. 2.5.23, табл. 2.5.30, табл.2.5.31.

Ориентация обеспечивается за счёт:

а) Маркировка. Согласно [Л5], п. 2.5.15 на опорах ВЛ на высоте 2,5-3 м наносятся следующие постоянные знаки: порядковый номер – на всех опорах; номер ВЛ или её условное обозначение – на концевых опорах, первых опорах ответвлений от линий, на опорах в месте пересечения линий одного напряжения, на опорах, ограничивающих пролёт пересечения с железными дорогами и автомобильными дорогами I-V категорий, а также на всех опорах участков трассы с параллельно идущими линиями, если расстояние между их осями – менее 200 м. На двухцепных и многоцепных опорах ВЛ, кроме того, должна быть обозначена соответствующая цепь;

б) Знак постоянный предупреждающий «Осторожно! Электрическое напряжение». Укрепляется на опорах ВЛ на высоте 2,5-3 м; при пролётах менее 100 м укрепляется через опору, при пролётах более 100 м и переходах через дороги – на каждой опоре. При переходе через дороги знаки обращены в сторону дороги, в остальных случаях – сбоку опоры поочерёдно с правой и левой стороны. Знак выполняется в виде равнобедренного треугольника с ломаной стрелой внутри. Фон треугольника жёлтый, знак напряжения и кайма чёрный или красный;

в) Соответствующее расположение и раскраска фаз. Раскраска фаз производится на концевых опорах, опорах, смежных с транспозиционными, и на первых опорах ответвлений от ВЛ. Фаза L1 располагается верхней левой и окрашивается в жёлтый цвет. Фаза L2 располагается средней и окрашивается в зелёный цвет. Фаза L3 нижняя правая и окрашивается в красный цвет. Нейтраль N окрашивается продольными полосами жёлтого и зелёного цвета.

Защитные меры от возможного поражения человека электрическим током при аварийном режиме работы.

В аварийном режиме работы сети в качестве защитной меры применяют защитное заземление опор. Согласно [Л5], п. 2.5.76 при прохождении ВЛ в местностях с глинистыми,

суглинистыми, супесчаными и тому подобными грунтами с удельным сопротивлением $\rho \leq 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ следует использовать арматуру железобетонных фундаментов, опор и пасынков в качестве естественных заземлителей без дополнительной укладки или в сочетании с укладкой искусственных заземлителей. А также [Л5], п. 2.5.77, железобетонные фундаменты опор ВЛ могут быть использованы в качестве естественных заземлителей при осуществлении металлической связи между анкерными болтами и арматурой фундамента. Проверим, являются ли естественные заземлители достаточными в нашем случае.

Исходные данные: для металлических опор ВЛ напряжением 330 кВ в качестве естественного заземлителя используется железобетонные свайные основания; удельное сопротивление грунта $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ([Л11], стр. 145, табл. 10.1).

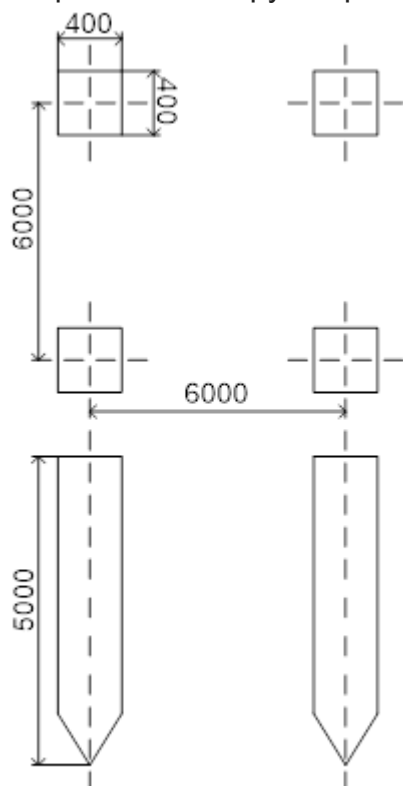


Рис. 1. Заземление опоры

Наибольшее сопротивление заземляющего устройства опоры ВЛ согласно [Л5], табл. 2.5.21 будет: $R_d = 10 \text{ Ом}$.

Для свайного фундамента сопротивление заземления сваи определяется по формуле:

$$R_{\text{св}} = \frac{1.3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{4 \cdot L}{d},$$

где $L = 5$ – длина сваи, м; $d = 0.5$ – диаметр сваи, м; 1.3 – коэффициент, учитывающий, что заземлитель представляет металлическую решетку, а не сплошную поверхность и находится в бетоне.

Тогда:

$$R_{\text{св}} = \frac{1.3 \cdot 100}{2 \cdot 3.14 \cdot 5} \cdot \ln \frac{4 \cdot 5}{0.5} = 15.265 \text{ Ом}$$

Сопротивление заземления всего свайного участка фундамента опоры:

$$R = \frac{R_{\text{св}}}{n \cdot \eta_{\text{св}}}, \text{ где } n = 4 \text{ – количество свай; } \eta_{\text{св}} = 0.8 \text{ – коэффициент использования,}$$

учитывающий взаимное экранирование свай ([Л11], стр. 147, табл. 10.4).

Тогда:

$$R = \frac{15.265}{4 \cdot 0.8} = 4.77 \text{ Ом}$$

Так как $R < R_d$ ($4.77 < 10$), то в качестве заземлителя достаточно использовать свайный фундамент.

В качестве защитной меры от такого опасного фактора как работа на высоте используются предохранительные пояса и страховочные канаты.

Защитные меры от вредных факторов.

Запрещается работать на ВЛ, находящейся под напряжением, при тумане, дожде, снегопаде; в тёмное время суток, а также при ветре. При приближении и во время грозы работы по монтажу проводов и пребывание людей возле опор запрещается.

При проведении работ в тёмное время суток используются переносные прожекторы.

При напряжённости электрического поля 5 – 20 кВ/м ограничивается время пребывания в зоне действия электрического поля, это время определяется по формуле

$$T = \frac{50}{E} - 2$$

Электрозащитные средства.

При эксплуатации ВЛ напряжением 330 кВ применяются электрозащитные средства, приведённые в табл. 6.3.

Таблица 6.3.

№	Средство защиты	Тип	Количество
1	Основные: Штанга измерительная универсальная	ШИУ-500	1 шт.
2	Дополнительные:	ЗПМЗ	3 пары
3	Диэлектрические перчатки		2 пары
4	Диэлектрическая обувь		2 шт.
5	Защитные ограждения		4 комплекта
6	Плакаты безопасности		2 шт.
	Переносное заземление		

опасность электрический ток воздушная линия

3. Молниезащита ВЛ напряжением 330 кВ

Одностоечные металлические опоры с одним тросом должны иметь угол защиты (α) по отношению к крайним проводам не более 30° ([Л5], п. 2.5.65).

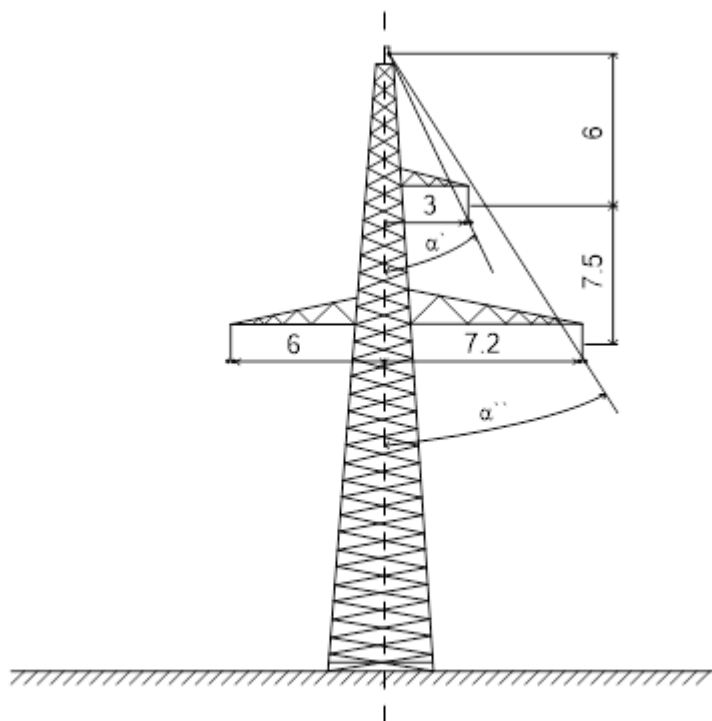


Рис. 2. Положение проводов на опоре

Согласно рис. 2 для верхнего провода:

$$\alpha' = \arctg\left(\frac{3}{6}\right) = 26.565^\circ$$

Для нижнего провода:

$$\alpha'' = \arctg\left(\frac{7.2}{7.5+6}\right) = 28.072^\circ$$

Так как $28.072^\circ < 30^\circ$, следовательно защита ВЛ обеспечена.

4. Электрозащитные средства

На ОРУ напряжением 110 кВ применяются следующие электрозащитные средства:

Основные:

— штанга измерительная универсальная ШИУ – 110 – 2 шт.;

Дополнительные:

— диэлектрические боты – 4 пары;

— диэлектрические перчатки – 4 пары;

— защитные очки – 4 шт.;

— переносные заземления – 4 шт.;

— переносные ограждения (щиты) – 4 шт.;

— плакаты безопасности – 4 комплекта;

— предохранительные монтерские пояса – 2 комплекта.

Предохранительные монтерские пояса предназначены для обеспечения безопасности обслуживающего персонала при работах на высоте.

5 Меры и средства защиты от вредных факторов

5.1 Защита от электрических полей промышленной частоты

В электроустановках напряжением 330 кВ существует интенсивное электрическое поле промышленной частоты, его напряженность составляет 5-7 кВ/м.

Поэтому применяют защитные меры для защиты персонала от напряжённости электрического поля (ЭП) или снижения её до допустимых значений:

1) Основная защита, есть защита временем, то есть ограничение времени пребывания в поле Т, часов, напряжённостью в интервале выше 5 до 7 кВ/м включительно вычисляются по формуле:

$$T_{\text{дон}} = \frac{50}{E} - 2 = \frac{50}{7} - 2 = 5,14 \text{ ч,}$$

где E – напряжённость действующего ЭП в контролируемой зоне, кВ/м.

2) Экранирование рабочих мест или оборудования. Экраны могут быть стационарными или переносными. Стационарные – алюминиевая сетка, переносные – в виде сетки, навесов, палаток из брезента покрашенного металлизированной краской. Экран обязательно должен быть заземлен. На ОРУ 330 кВ применяют конструктивные методы защиты от полей промышленной частоты: увеличение высоты подвеса проводов, уменьшение диаметра проводов, уменьшение шага расщепления и количества проводов в расщепленной фазе.

3) Методы ориентации – на плане станции наносятся линии за напряженностью.

5.2 Защита от шума

В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски.

5.3 Защита от метеоусловий

Теплая одежда предупреждает чрезмерное охлаждение организма человека при низких температурах воздуха. Для защиты головы от атмосферных осадков предназначены каски. При работах в условиях высоких температур воздуха в течение смены устраиваются перерывы.

5.4 Защита от неудовлетворительного освещения

ОРУ 110 кВ освещается естественным и искусственным светом. Искусственное освещение применяется в тёмное время суток.

Согласно ПУЭ для наружного освещения используются газоразрядные лампы типа ДРЛ. Для аварийного освещения применяются лампы накаливания. Светильники рабочего и аварийного освещения на открытом пространстве питаются от разных независимых источников. Аварийное освещение присоединяется к независимому источнику питания или на него переключается при погасании рабочего освещения.

6. Пожарная безопасность

Пожарная опасность на ОРУ напряжением 110 кВ обусловлена наличием в принимаемом оборудовании горючих веществ и материалов: изоляция обмоток трансформаторов тока и напряжения, маслонаполненное оборудование (больше 1000 кг в единице) – трансформаторы, краска корпусов электрических аппаратов, изоляция контрольных кабелей релейной защиты.

Причины пожара на ОРУ могут быть электрического и неэлектрического характера.

Причины электрического характера:

- при коротких замыканиях по проводникам протекают большие токи, вследствие чего происходит нагрев проводников, загорается изоляция и окружающие предметы. Устраняется максимальной токовой защитой (МТЗ);
- перегрузка проводников при протекании по проводникам токов, на которые они не рассчитаны. Устраняется тепловой защитой;
- удары молнии на территории ОРУ. Устраняется с помощью грозозащитных тросов и стержневых молниеотводов, установленных на порталах;
- электрические искры и дуги, которые появляются в аварийных режимах, а также в нормальных режимах при коммутационных процессах. Не опасны для невзрывоопасной среды;
- большое переходное сопротивление при сужении пути протекания тока и в местах контактов возникает местный нагрев. Устраняется путем выполнения контактов массивными или неразъемными (сварными).

Причины неэлектрического характера:

- неисправность оборудования;
- несоблюдение персоналом правил пожарной безопасности.

Практические меры пожарной безопасности:

- выполнение под всем маслonaполненным оборудованием, маслоприёмников засыпанных гравием. Маслоприёмник рассчитывается на поглощение 80 % масла для выключателя с большим объемом масла;
 - фундаменты маслonaполненного оборудования выполнены из огнеупорных материалов;
 - маслоприёмники трансформаторов выполняются с маслоотводами, выполненными в виде подземных трубопроводов или открытых кюветов или лотков. С помощью последних масло отводится в маслоприемник закрытого типа, удалённого от оборудования станции на пожаробезопасное расстояние.
 - прокладывание кабельных линий в железобетонных желобах закрытых сверху железобетонными плитами;
- Площадка ОРУ 110 кВ оборудована стационарной системой пожаротушения. Тушение пожаров происходит с помощью воды. При возникновении пожара система приводится в действие с пульта системы пожаротушения ОРУ 110 кВ.
- Также тушение пожара производится с помощью ручных огнетушителей типа ОУ-4.

Литература

1. Охрана труда в электроустановках / Под ред. Б.А. Князевского. - М.: Энергоатомиздат, 1983.-336 с.
2. Долин П.А. «Основы техники безопасности в электроустановках». - М.: Энергия, 1984.-484 с.
3. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1986.-648 с.