

## 1 Основные теоретические сведения

### 1.1. Электромагнитные поля, воздействие на человека

Электромагнитное поле (ЭМП) это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами. Переменное ЭМП представляет собой совокупность магнитного и электрического полей. Электрическое поле возникает при наличии напряжения на токоведущих частях, а магнитное - при прохождении тока по этим частям.

Область распространения электромагнитных волн от источника излучения условно разделяют на три зоны: ближнюю (имеющую радиус менее  $1/6$  длины волны), промежуточную и дальнюю (расположенную на расстоянии более  $1/6$  длины волны от источника).

В ближней и промежуточной зонах электромагнитная волна еще не сформирована, поэтому интенсивность ЭМП в этих зонах оценивается раздельно напряженностью электрической  $E$  (В/м) и магнитной  $H$  (А/м) составляющих поля.

Персонал, обслуживающий высоковольтные электроэнергетические установки, находятся в ближней зоне ( $l < 1/6\lambda$ ) и подвергается воздействию электромагнитных полей, причем основное воздействие оказывает электрическая составляющая поля.

Воздействие ЭМП на человека состоит в следующем: в электрическом поле атомы и молекулы, из которых состоит тело человека, поляризуются. Полярные молекулы ориентируются по направлению распространения ЭМП, появляются ионные токи.

Длительное воздействие ЭМП низкой частоты небольшой интенсивности приводит к различным нервным и сердечно-сосудистым расстройствам (головной боли, утомляемости, нарушению сна, боли в области сердца и т.п.).

С увеличением напряженности электромагнитного поля, продолжительности облучения и частоты колебаний воздействие на человека возрастает.

При текущем санитарном контроле (не реже одного раза в год), а также в случае приемки источников ЭМП или изменения их конструкции и режимов работы, производится измерение параметров электромагнитного поля на рабочих местах. Измеренные значения сравниваются с нормативными по ГОСТ 12.1.002-84 /1/ и, если они не соответствуют, то применяются меры защиты.

## **1.2 Источники ЭМП промышленной частоты, расчет напряженности электрического поля от высоковольтных линий электропередач и аппаратов**

Источниками ЭМП промышленной частоты (50 Гц) являются линии электропередач (ЛЭП) напряжением выше 330 кВ, высоковольтные открытые распределительные устройства (коммутационные аппараты, устройства защиты автоматики, измерительные приборы, соединительные шины). Опасной зоной воздействия ЛЭП 500 кВ является пространство на расстоянии до 20 м от ближайших проводов, а у ЛЭП 750 кВ - до 30 м (рисунок 1).

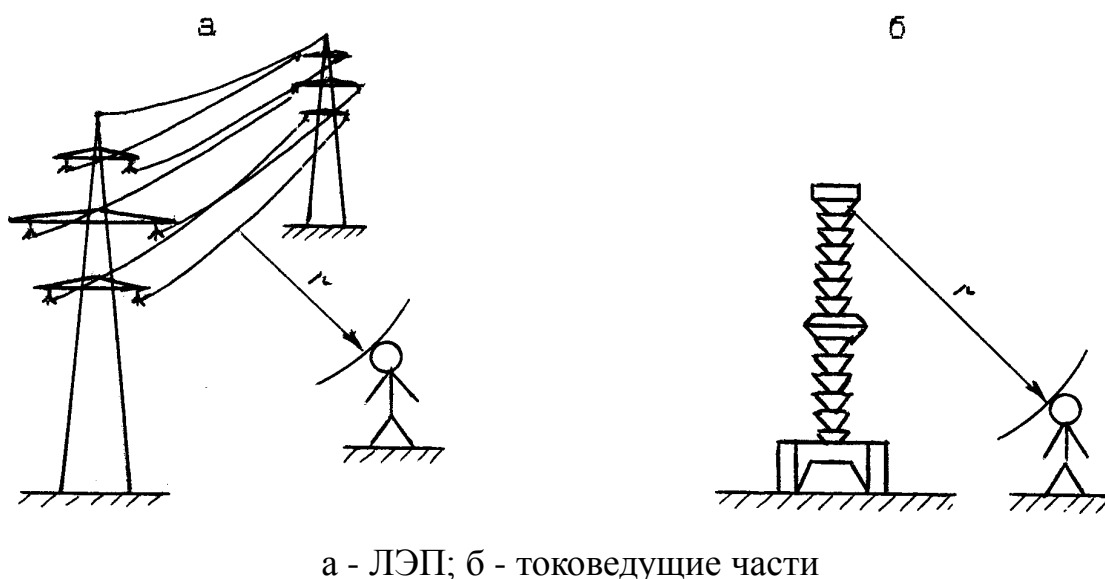


Рисунок 1 – Опасные зоны воздействия электрического поля высоковольтных линий электропередач и аппаратов

Напряженность электрического поля, создаваемого трехфазной воздушной линией электропередачи с горизонтальным расположением проводов (рисунок 1 а), определяется выражением

$$E = \frac{U \cdot k}{r \ln \left( 1,26 \frac{B_{\text{пр}}}{r_{\text{пр.э}}} \right)}, \quad (1)$$

где  $E$  - напряженность электрического поля на расстоянии  $r$  от ближайшего провода ЛЭП, кВ/м;

$U$  - эффективное значение фазного напряжения, кВ;

$k$  - коэффициент, учитывающий высоту подвеса проводов  $H_{\text{пр}}$ , расстояние между фазными проводами  $B_{\text{пр}}$  и расстояние от проводов до исследуемой точки  $r$  ( $k = 0,8 \dots 1$ );

$r$  - кратчайшее расстояние от провода до точки, в которой определяется напряженность, м.

$V_{\text{пр}}$  - расстояние между фазными проводами, м;  
 $r_{\text{пр.э}}$  - эквивалентный радиус провода, м;

При расщепленных фазах, состоящих каждая из  $n$  проводов, эквивалентный радиус провода  $r_{\text{пр.э}}$  вычисляется по формуле:

$$r_{\text{пр.э}} = P^n \sqrt[n]{r_{\text{пр}} \alpha_p^{n-1}}, \quad (2)$$

где  $P$  - поправочный коэффициент ( $P = 1$  при  $n \leq 3$ ,  $P = 1,09$  при  $n = 4$ );

$n$  - число проводов в фазе;

$r_{\text{пр}}$  - радиус провода, м;

$\alpha_p$  - расстояние между проводами одной фазы (шаг расщепления), м.

Например, при  $U = 500$  кВ,  $V_{\text{пр}} = 10$  м,  $r_{\text{пр}} = 15$  мм на расстоянии  $r=20$  м напряженность электрического поля

$$E = \frac{500 \cdot 1}{20 \ln \left( 1,26 \frac{10}{0,015} \right)} = 3,7 \text{ кВ/м.}$$

Если расщепленная фаза (3 провода диаметром 10 мм на расстоянии 40 см), то

$$r_{\text{пр.э}} = \sqrt[3]{0,01 \cdot 0,4^2} = 0,117 \text{ м; } E=5,34 \text{ кВ/м.}$$

### ***1.3. Нормирование воздействия электрических полей промышленной частоты***

Критерием безопасности для человека, находящегося в электрическом поле (ЭП) промышленной частоты 50 Гц, принята напряженность этого поля. Нормы установлены ГОСТ 12.1.002-84 [1].

Пребывание в ЭП напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня.

При напряженности ЭП свыше 5 до 20 кВ/м включительно нормируется время пребывания людей в электрическом поле. Допустимое время  $T$  вычисляется по формуле [1, с. 1]:

$$T = \frac{50}{E} - 2, \quad (3)$$

где  $T$  - допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч;

$E$  - напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м.

Например:  $E = 10$  кВ/м,  $T = 50 / 10 - 2 = 3$  ч.

При напряженности ЭП свыше 20 до 25 кВ/м время пребывания персонала в ЭП не должна превышать 10 мин.

Предельно допустимый уровень напряженности воздействующего ЭП устанавливается равным 25 кВ/м. Даже кратковременное пребывание в ЭП напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано одновременно или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время напряженность ЭП не должна превышать 5 кВ/м.

При нахождении персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП время пребывания вычисляется по формуле:

$$T_{\text{пр}} = 8 \left( \frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \dots + \frac{t_{En}}{T_{En}} \right), \quad (4)$$

где  $T_{\text{пр}}$  - приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности, ч;

$t_{E1} \dots t_{En}$  - время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью  $E_1 \dots E_n$ ;

$T_{E1} \dots T_{En}$  - допустимое время пребывания в ЭП для соответствующих контролируемых зон, ч.

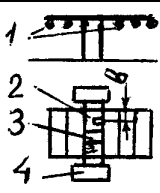
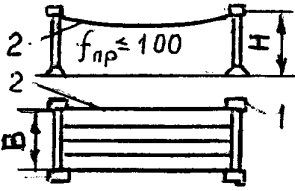
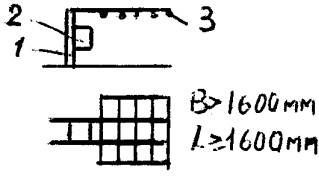
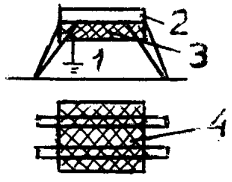
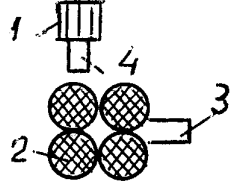
Приведенное время не должно превышать 8 ч.

#### ***1.4 Защита от воздействия электрических полей***

Для защиты от электрических полей промышленной частоты необходимо увеличить высоту подвеса фазных проводов ЛЭП.

Для защиты работающих на открытых распределительных устройствах (ОРУ) и воздушных линиях электропередачи напряжением 330-750 кВ от электрических полей промышленной частоты используются экраны по ГОСТ 12.4.154-85 [3]. В зависимости от назначения установлены типы экранирующих устройств, указанных в таблице 1.

Таблица 1 - Экранирующие устройства для защиты работающих на открытых распределительных устройствах и воздушных линиях электропередачи напряжением 330 - 750 кВ

Обозначение	Зона экранирования	Схемы, основные параметры
ЭМ Экран межячейковый	Рабочие места у выключателя и выключателя- отключателя	
ЭР Экран навес у разъединителя	Рабочие места у приводов разъединителей типа РНДЗ-330, РНДЗ-500	 <p> <math>H = 2 - 2,5 \text{ м}</math>  <math>B \geq 500 \text{ мм}</math> </p> <p>1 - портал; 2 - привод ПРН; 3 - привод ПДН; 4 - рама</p>
ЭД Экран-навес над пешеход. дорожками	Участки маршрута обхода	 <p> <math>f_{пр} \leq 100</math>  <math>H = 2,8 - 3 \text{ м}</math>  <math>B = 2 \text{ м}</math> </p> <p>1 - конструкция; 2 - канат;</p>
ЭК Экран-козырек у шкафов	Рабочие места у приводов и отдельно стоящих шкафов различного назначения	 <p> <math>B \geq 1600 \text{ мм}</math>  <math>L \geq 1600 \text{ мм}</math>  <math>H = 2,3 - 2,5 \text{ м}</math> </p> <p>1 - стойка; 2 - привод; 3 - решетка;</p>
ЭП Экран переносной (без подъема)	Рабочие места, находящиеся вне зоны действия экранов	 <p>1 - заземл. пр. 2 - рама; 3 - навес. бок. 4 - навес гор.</p>
ЭС Экран съемный для люлек подъемн.	То же, при обслуживании оборудования с применением подъемников	 <p>1 - экран осн.; 2 - экран доп.; 3 - стрела; 4 - люлька</p>

Экран выполняются в виде стальных канатов, металлических решеток или сеток, закрепленных на раме из уголковой стали. Диаметр канатов и прутков должен быть не менее 6 мм, расстояние между канатами должно составлять 500 мм, ячейки сетки экранов должны быть не более 50×50 мм.

Экраны должны быть заземлены путем присоединения к

заземляющему устройству или заземленному объекту.

В качестве индивидуальных средств защиты от воздействия электрических полей промышленной частоты открытых распределительных устройств (ОРУ) и воздушных линий электропередачи применяются индивидуальные экранирующие комплекты Эп-1, Эп-2, Эп-3 и Эп-4 (спецодежда, спецобувь, средства защиты рук, лица) по ГОСТ 12.4.172-87 [4].

## 1.5 Примеры расчетов

1.5.1. Пример. Определить какое время в смену допускается находиться персоналу в зоне воздействия электрического поля (ЭП) без применения средств защиты. Источником ЭП является высоковольтная линия электропередачи напряжением 500 кВ частотой 50 Гц. Линия имеет горизонтальное расположение проводов с расстоянием между ними  $B_{\text{пр}} = 10,5$  м; фазы – расщепленные, состоящие из трех проводов АСО-500 радиусом  $r_{\text{пр}} = 15,1$  мм с шагом расщепления  $\alpha_p = 40$  см.

Высота подвеса проводов на опорах  $H_{\text{пр}} = 22$  м, габарит линии (наименьшее расстояние до земли)  $H_0 = 8,65$  м. На расстоянии 10 м (по прямой линии) от ближайшего из проводов ЛЭП необходимо выполнить работу.

Решение проводится в следующем порядке.

По формулам (2) и (1) вычисляются эквивалентный радиус провода  $r_{\text{пр.э}}$  и напряженность электрического поля  $E$  на расстоянии 10 м от ближайшего провода ЛЭП:

$$r_{\text{пр.э}} = P \sqrt[n]{r_{\text{пр}} \alpha_p^{n-1}} = 1 \cdot \sqrt[3]{0,0151 \cdot 0,4^2} = 0,134 \text{ м,}$$

$$E = \frac{U \cdot k}{r \ln \left( 1,26 \frac{B_{\text{пр}}}{r_{\text{пр.э}}} \right)} = \frac{500 \cdot 1}{10 \cdot \ln \left( 1,26 \frac{10,5}{0,134} \right)} = 10,9 \text{ кВ/м.}$$

Так как напряженность электрического поля составляет 10,9 кВ/м, то допустимое время пребывания персонала определяется по формуле (3):

$$T = \frac{50}{E} - 2 = \frac{50}{10,9} - 2 = 2,6 \text{ ч,}$$

то есть работа персонала без средств защиты на расстоянии 10 м от ЛЭП-500 должна проводиться не более 2 часов 35 минут.

1.5.2. Пример. Персонал, обслуживающий высоковольтные установки промышленной частоты, в течение рабочего дня находится в

зонах с различной напряженностью электрического поля:

0,2 ч при  $E_1 = 18$  кВ/м, 0,5 ч при  $E_2 = 10$  кВ/м,

3,5 ч при  $E_3 = 6$  кВ/м и 2,8 ч при  $E_4 = 4$  кВ/м.

Определить, можно ли выполнять эти работы персоналом без средств защиты?

Решение проводим в следующем порядке.

По формуле (3) вычисляем допустимое время пребывания людей в зонах с напряженностью  $E_1 \dots E_4$ :

$$T = \frac{50}{E_1} - 2 = \frac{50}{18} - 2 = 0,8 \text{ ч},$$

аналогично  $T_{E2} = 3$  ч,  $T_{E3} = 6,3$  ч.

Время нахождения в зоне, где  $E_4 = 4$  кВ/м не рассчитывается, так как допускается в остальное рабочее время напряженность электрического поля не более 5 кВ/м.

По формуле (4) вычисляется приведенное время, эквивалентное пребыванию людей в ЭП напряженностью 5 кВ/м:

$$T_{\text{пр}} = 8 \left( \frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \frac{t_{E3}}{T_{E3}} \right) = 8 \left( \frac{0,2}{0,8} + \frac{0,5}{3} + \frac{3,5}{6,3} \right) = 7,8 \text{ ч}.$$

Приведенное время  $T_{\text{пр}}$  меньше 8 ч, поэтому персоналу допускается выполнение работы без средств защиты.