

1. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ, СОЗДАВАЕМОГО УСТАНОВКАМИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: изучить допустимые нормы напряженности электрического поля промышленной частоты, ознакомиться с применением измерителя напряженности поля промышленной частоты ПЗ-50. Измерить напряженность электрического поля в высоковольтной лаборатории и вблизи линии высокого напряжения.

Введение

Электрические сети высокого напряжения оказывают неблагоприятное влияние на техно- и биосферу. Напряжения и токи в проводах линий электропередач создают электромагнитные поля в пространстве и блуждающие токи в земле. Вследствие этого могут возникнуть мешающие, и даже опасные влияния на биосферу: электромагнитные поля отрицательно воздействуют на людей и животных. Опасное воздействие на персонал и население оказывают электрические и магнитные поля промышленной частоты (50 Гц). Воздушные линии создают в окружающем пространстве электрическое поле, напряженность которого снижается по мере удаления от ВЛ. Электротехнический персонал подвергается воздействию электромагнитного поля, что может неблагоприятно сказываться на состоянии здоровья. Поэтому нормирование воздействия электромагнитного поля является важной задачей для обеспечения безопасности работ в электроустановках, посредством технических и организационных мероприятий.

Электрическое поле промышленной частоты. Общие сведения

Источником электрических полей промышленной частоты (ЭП ПЧ) являются токоведущие части действующих электроустановок, находящиеся под напряжением: линии электропередач, генераторы, трансформаторы и др. (рис.1).



Рисунок 1. Характерные напряженности электрических и магнитных полей промышленной частоты

Большее влияние на людей оказывают поля промышленной частоты, т.к. при увеличении частоты сказывается инерционность открытия мембран, а при уменьшении частоты уменьшаются индуктированные и емкостные токи. Восприимчивость людей к полям сугубо индивидуальна, например, 5 % чувствуют ЭП с $E = 7$ кВ/м, а 60 % людей не ощущают поле с $E = 20$ кВ/м.

Электрическое поле оказывает вредное воздействие на человека. Различают следующие виды влияния:

1. непосредственное (физиологическое):

- воздействие емкостного тока I_c на сердечно-сосудистую, центральную и периферийную нервные системы при нахождении человека в зоне электрического поля, в том числе стоящего непосредственно на земле или, а также изолированного от земли;

- электростатическое влияние на волосяной покров человека (вибрация волос при напряженности ЭП 20...50 кВ/м);

2. косвенное воздействие:

- электрических разрядов (импульсного тока I_p), возникающих при прикосновении человека изолированного от земли, к растениям, заземленным конструкциям и другим заземленным объектам;

- электрических разрядов (импульсного тока I_p), возникающих при прикосновении человека к изолированным от земли конструкциям, корпусам машин и механизмов на пневматическом ходу;

- воздействие тока стекания I_s , проходящего через человека, находящегося в длительном контакте с изолированными от земли объектами.

Кроме того, электрическое поле может стать причиной воспламенения или взрыва паров горючих материалов и смесей в результате возникновения электрических разрядов при прикосновении предметов и людей с машинами и механизмами.

Степень опасности каждого из указанных факторов возрастает с увеличением напряженности электрического поля.

Нормы на предельно допустимые напряженности электрического поля на промышленной частоте для персонала установлены в СанПиН 2.2.4.1191 – 03:

- $E \geq 25$ кВ/м – пребывание в ЭП без средств защиты не допускается;
- $20 < E < 25$ кВ/м пребывание в ЭП не более 10 минут;
- при $5 < E \leq 20$ кВ/м допустимое время пребывания в ЭП вычисляют

как:

$$T, \text{ часов} = (50/E) - 2 \quad (1)$$

где E – напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м; T – допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности E .

- $E \leq 5$ кВ/м пребывание в ЭП допускается в течение полного рабочего дня.

Допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время необходимо находиться вне зоны влияния ЭП или применять средства защиты.

Время пребывания персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП (T_{np}) вычисляют по формуле:

$$T_{np} = 8 \cdot \left(\frac{t_1}{T_{E1}} + \frac{t_2}{T_{E2}} + \dots + \frac{t_i}{T_{Ei}} \right), \quad (2)$$

где T_{np} – приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности;

$t_{E1}, t_{E2}, \dots, t_{En}$ – время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью E_1, E_2, \dots, E_i ч;

$T_{E1}, T_{E2}, \dots, T_{En}$ – допустимое время пребывания для соответствующих контролируемых зон.

Приведенное время не должно превышать 8 ч.

Количество контролируемых зон определяется перепадом уровней напряженности ЭП на рабочем месте. Различие в уровнях напряженности ЭП контролируемых зон устанавливается 1 кВ/м.

Электрические поля от линий электропередач также воздействуют на население. Существует определенная вероятность ошибок при проектировании и расположении питающих сетей в районах массовой застройки или разводки сетей в пределах дома (как правило, первый этаж). Первый признак превышения норм по этому показателю - частые сбои при работе бытовой техники: помехи на экранах телевизоров, мониторов персональных компьютеров, радиопомехи. Для населения существуют следующие уровни воздействия электрического поля промышленной частоты (табл.1).

Таблица 1

Допустимые уровни напряженности электрического поля промышленной частоты для населения

$E_{пду}$, кВ/м	Тип местности
0,5	внутри жилых зданий
1	территория зоны жилой застройки
5	населенная местность вне зоны жилой застройки (земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа в пределах поселковой черты и сельских населенных пунктов в пределах черты этих пунктов), а также на территории огородов и садов
10	участки пересечения ВЛ с автомобильными дорогами I-IV категории
15	ненаселенная местность (незастроенные местности, хотя бы и часто посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья)
20	труднодоступная местность (недоступная для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населению)

Предельно допустимые значения напряженности нормируются для электрического поля, не искаженного присутствием человека. Поэтому напряженность электрического поля определяется на высоте 1,8 м от уровня земли, а для помещений – от уровня пола. Измерения и расчет напряженности ЭП частотой 50 Гц должны производиться при наибольшем рабочем напряжении электроустановки или измеренные значения должны пересчитываться путем умножения измеренного значения на отношение U_{max}/U .

В целях защиты населения от воздействия электрического поля ВЛ устанавливаются санитарно-защитные зоны. Санитарно-защитной зоной является территория вдоль трассы ВЛ, в которой напряженность электрического поля превышает 1 кВ/м. Для вновь проектируемых ВЛ, а также зданий и сооружений допускается принимать границы санитарно-защитных зон вдоль трассы ВЛ с горизонтальным расположением проводов и без средств снижения напряженности электрического поля по обе стороны от нее на следующих расстояниях от проекции на землю крайних фазных проводов в направлении, перпендикулярном к ВЛ: 20м – для ВЛ напряжением 330 кВ; 30м – 500 кВ; 40м – 750 кВ; 55м – 1150 кВ.

В пределах санитарно-защитной зоны запрещается:

- размещение жилых и общественных зданий и сооружений, площадок для стоянки и остановки всех видов транспорта, предприятий по обслуживанию автомобилей и складов нефти и нефтепродуктов;
 - производство операций с горючим, выполнение ремонта машин и механизмов.

Меры защиты персонала от воздействия электрического поля

Если напряженность электрического поля превышает предельно допустимые уровни, должны быть приняты меры по ее снижению. В местах возможного пребывания человека напряженность электрического поля может быть уменьшена путем удаления жилой застройки от ВЛ, применением экранирующих устройств и других средств снижения напряженности электрического поля. Основными видами средств коллективной защиты от воздействия электрического поля токов промышленной частоты являются экранирующие устройства – составная часть электрической установки, предназначенная для защиты персонала в открытых распределительных устройствах и на воздушных линиях электропередач.

Экранирующее устройство необходимо при осмотре оборудования и при оперативном переключении, наблюдении за производством работ. Конструктивно экранирующие устройства оформляются в виде козырьков, навесов или перегородок из металлических канатов, прутков, сеток.

Переносные экраны также используются при работах по обслуживанию электроустановок в виде съемных козырьков, навесов, перегородок, палаток и щитов. Экранирующие устройства должны иметь антикоррозионное покрытие и быть заземлены.

Способы ограничения напряженности поля под воздушными линиями высших классов напряжения

Наиболее простым конструктивным способом ограничения напряженности поля под линиями является установка заземленных тросов под проводами линий. Габарит до земли нормируется с учетом необходимости обеспечения безопасности перемещения под линиями различных механизмов высотой до 4...4,5 м. Поэтому, если высота троса в месте его максимального провеса не будет превышать 4...4,5 м высота подвески проводов над землей не изменится. Наведенные на заземленных тросах заряды частично компенсируют поле проводов линии и ограничивают напряженность поля. Более эффективна подвеска под каждым проводом линии двух тросов, разнесенных в горизонтальной плоскости. На заземленных тросах наводятся заряды, знак которых противоположен знаку заряда соответствующего провода.

Следует заметить, однако, что подвеска дополнительных тросов приводит к заметному удорожанию линии. Расчеты показывают, что экономически более целесообразно увеличивать высоту подвески провода. Поэтому тросовые экраны применяются только при пересечениях линией дорог. При этом они натягиваются между дополнительными железобетонными стойками.

Ограничение напряженности поля под линиями электропередачи может быть достигнуто без изменения конструкции линии при использовании растительного массива под линиями. Стволы и ветки деревьев, кустарников имеют высокую проводимость в течение всего года. Погонное сопротивление составляет 1...3,5 МОм/м при положительных температурах и 100...500 МОм/м при отрицательных температурах. В связи с этим при высоте древесно-кустарниковой растительности под проводами 4 м напряженность поля не превышает 1 кВ/м при отрицательных температурах и 0,01 кВ/м при положительных температурах. Это обеспечивает полную экологическую безопасность людей и животных под линиями.

Расчет напряженности электрического поля под линией высокого напряжения

Электрическое поле в рассматриваемой точке пространства (рис.2) имеет горизонтальную (E_x) и вертикальную (E_y) составляющие. Потенциал человека относительно земли, а также ток, протекающий через человека, определяются вертикальной составляющей напряженности поля, которая определяется с учетом зарядов всех проводов линии и их отражений в поверхности земли. В общем случае провода ВЛ могут располагаться на различной высоте над поверхностью земли. В расчетах принимают, что рабочие емкости фаз равны между собой и пренебрегают активными проводимостями крайних фаз. Кроме этого, определяют распределение напряженности для моментов времени, соответствующих максимуму зарядов на одной из фаз. В этом случае

$$q_1=q; q_2=q_3=-0,5q$$

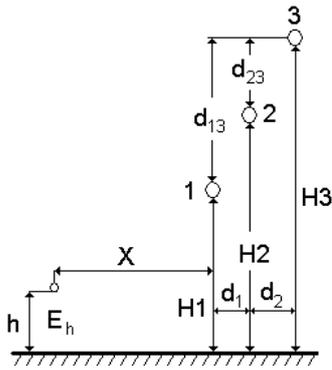


Рисунок 2 Расчетная схема расположения линейных зарядов на линии.

С учетом этих допущений можно записать, что напряженность под линией на расстоянии X от нижней фазы (рис.1) определяется как

$$E_h = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left[\left(\frac{H1-h}{X^2 + (H1-h)^2} + \frac{H1+h}{X^2 + (H1+h)^2} \right) - 0,5 \left(\frac{H2-h}{(X+d_1)^2 + (H2-h)^2} + \frac{H2+h}{(X+d_1)^2 + (H2+h)^2} \right) - 0,5 \left(\frac{H3-h}{(X+d_2)^2 + (H3-h)^2} + \frac{H3+h}{(X+d_2)^2 + (H3+h)^2} \right) \right], \quad (3)$$

где q - линейный заряд на проводе, Кл/м;

$H1, H2, H3$ – средняя высота подвеса проводов в каждой фазе, м;

d_{12}, d_{23}, d_{13} – расстояние между проводами, м;

d_1, d_2 – расстояние между проекциями средней и верхней фаз до нижней фазы, м.

$h=1,8$ м – высота на которой рассчитывается напряженность электрического поля

Линейный заряд на проводе рассчитывается как

$$q = \frac{C \cdot U}{\sqrt{3}}, \quad (4)$$

где U – класс напряжения ВЛ, В;

C – емкость фазы на единицу длины, Ф/м.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{S}{r}\right)}, \quad (5)$$

где r - радиус провода, м;

S - среднегеометрическое расстояние между фазами, м.

$$S = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}}. \quad (6)$$

Высота провода над поверхностью земли определяется как:

$$H = H_n - m \cdot H_{из} - \frac{2}{3} f, \quad (7)$$

где H_n – высота точки крепления провода на опоре, м;

m – число изоляторов в гирлянде;

$H_{из}$ – строительная высота изолятора, м;

f – стрела провеса провода в пролете, м.

Для двухцепных линий с вертикальным расположением проводов напряженность поля в рассматриваемой E_h точке можно рассчитать по формуле

$$E_h = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}, \quad (8)$$

где E_1 и E_2 напряженность электрического поля в расчетной точке от каждой цепи линии.

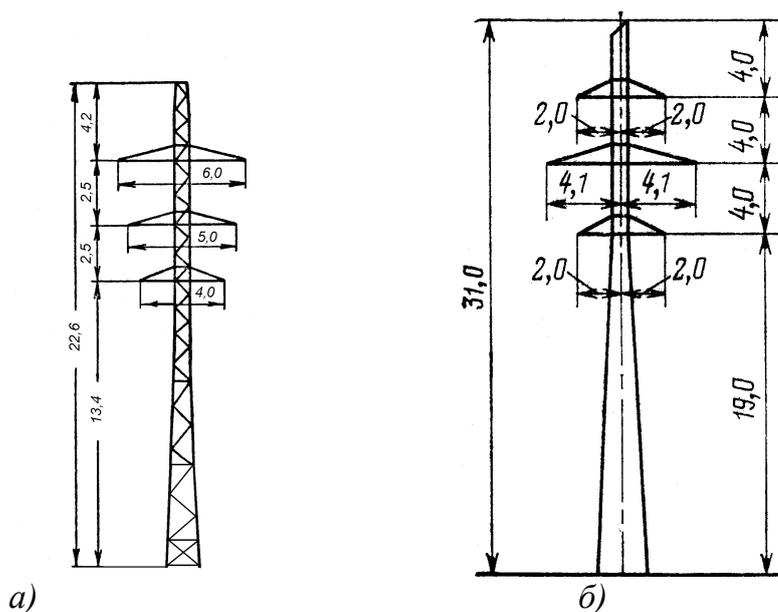


Рисунок 3. Унифицированные стальные опоры, для ВЛ 35 кВ – ПЛА 1/3 (а) и для ВЛ 110 кВ – П110-2 (б)

Аппаратура для измерения

Измеритель напряженности поля промышленной частоты ПЗ-50А (рис.4) предназначен для измерения среднеквадратичного значения напряженности электрического поля промышленной частоты, возбуждаемого вблизи электроустановок высокого напряжения в диапазоне от 0,01 до 100 кВ/м.

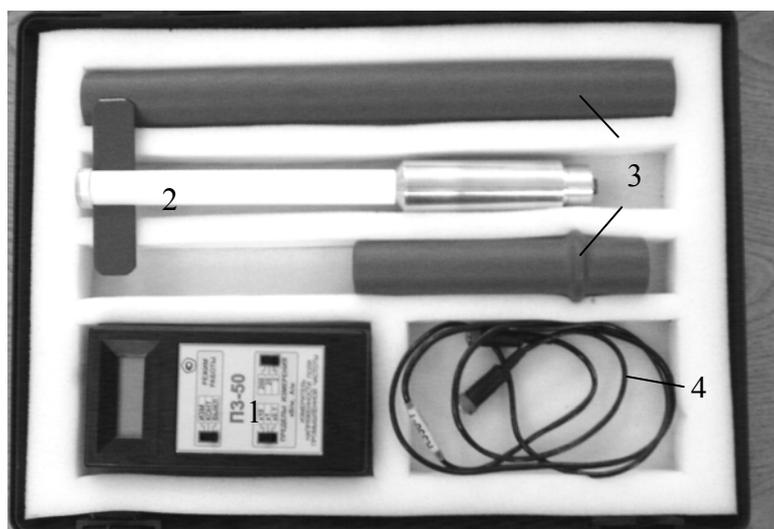


Рисунок 4. Внешний вид прибора ПЗ-50А
1– устройство отсчетное УОЗ-50; 2– антенна преобразователь ЕЗ-50;
3– изоляционные ручки; 4– соединительный кабель.

Измеритель состоит из антенны-преобразователя (АП) ЕЗ-50 и устройства отсчетного УОЗ-50. АП типа ЕЗ-50 представляет собой симметричную

дипольную антенну, электрически малых размеров (полный размер диполя 100 мм). Работа прибора основана на возбуждении в АП под воздействием измеряемого поля переменного напряжения с той же частотой и пропорционального напряженности поля. Устройство отсчетное УОЗ–50, преобразует аналоговый сигнал, поступающий с АП в цифровой сигнал и производит индикацию напряженности ЭП в абсолютных единицах кВ/м.

В зависимости от положения переключателей при измерении напряженности ЭП могут быть установлены пределы измерения, указанные в табл.2.

Для определения среднеквадратического значения модуля вектора напряженности ЭП следует измерить в выбранной точке пространства проекции вектора напряженности поля на три взаимно ортогональные оси E_x , E_y и E_z . После чего определить модуль вектора напряженности электрического поля E по формуле:

$$E = \sqrt{(E_x)^2 + (E_y)^2 + (E_z)^2} \quad (9)$$

Таблица 2

Предел измерения, кВ/м	Положение переключателя х0,1/х1/х10	Положение переключателя 2/20/200
200	х1	200
20	х1	20
2	х1	2
0,2	х0,1	2

Порядок работы

1. Перед началом работы ознакомится с устройством измерителя напряженности поля ПЗ-50А, порядком проведения измерений.

2. Измерить среднеквадратическое значение модуля вектора напряженности электрического поля. Для этого в выбранной точке пространства измеряются проекции вектора напряженности поля на три взаимно ортогональные оси X, Y, Z. Провести измерения в высоковольтной лаборатории на разном расстоянии от пульта управления. Измерения проводить на высоте 1,8 метра от земли. Высоковольтную установку не включать. Результаты занести в табл.3.

3. Включить высоковольтную установку, установить напряжение на электродной системе 40...50 кВ. Произвести измерения согласно п.2 и значения E пересчитать на максимальное напряжения установки. Сравнить измеренные значения с нормами для персонала.

4. Измерить напряженность электрического поля под ВЛ (35 или 110 кВ) на разных расстояниях X от проекции нижней фазы на открытой местности. Результаты занести в табл. 4.

5. Измерить напряженность электрического поля под ВЛ (35 или 110 кВ) на разных расстояниях X от проекции нижней фазы при наличие растительности под ВЛ. Результаты занести в табл.4.

6. Произвести расчет напряженности электрического поля на разных расстояниях от X оси нижней фазы ВЛ на высоте 1,8 м от земли. Параметры для расчета:

ВЛ 35 кВ: Опора – ПЛА 1/3 (рис.3,а), изоляция ЗПФ-6А, марка провода АС 70/11, стрела провеса $f=0,5$ м.

ВЛ 110 кВ: Опора – П110-2 (рис.3,б), изоляция 7ПС-11, марка провода АС 95/16, стрела провеса $f=1$ м.

7. Построить поперечный профиль изменения напряженности электрического поля от расстояния до проекции нижней фазы $E=f(X)$ по экспериментальным и расчетным данным табл.4. Объяснить характер изменения напряженности поля. Сравнить измеренные уровни напряженности поля с допустимыми нормами для населения.

8. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 3

Расстояние от пульты управления, м	E_x , кВ/м	E_y , кВ/м	E_z , кВ/м	E , кВ/м	Примечания
					Установка выключена
					Установка включена, U= кВ

Таблица 4

X , м	E_x , кВ/м	E_y , кВ/м	E_z , кВ/м	$E_{эксп}$, кВ/м	E_1 , кВ/м	E_2 , кВ/м	$E_{расч}$, кВ/м	Примечания
								ВЛ кВ
								Растительный массив под ВЛ

Контрольные вопросы

1. Что является причиной появления электрического поля от высоковольтных устройств?

2. Перечислить факторы, влияющие на величину напряженности электрического поля под линией высокого напряжения.

3. Какие мероприятия применяются для снижения напряженности электрического поля вблизи ВЛ?

4. Почему наличие растительности под ВЛ снижает напряженность электрического поля?