

ИНТЕНСИВНОСТЬ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПЕРЕХОДНЫХ ПУНКТАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ НАПРЯЖЕНИЕМ 35–110 КВ

АВТОРЫ:

С.В. РОДЧИХИН,
ООО «СЕВЗАП НПЦ
АРХИМЕТ»

Д.Н. СМАЗНОВ,
ООО «СЕВЗАП НПЦ
АРХИМЕТ»

В настоящее время все чаще переходные пункты воздушных линий электропередачи в кабельные линии размещаются

в городской черте. Как известно, такие переходы порождают значительные магнитные поля. Возникает вопрос о влиянии этих полей на экологию города.

Ключевые слова: переходные пункты; безопасность; воздушные линии (ВЛ); кабельные линии (КЛ); магнитное поле.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с размещением открытых переходных пунктов воздушных линий электропередачи (ВЛ) в кабельные линии (КЛ) в городской черте у жителей возникает вопрос о влиянии на них «невидимого» и «неосязаемого», но при этом «опасного» магнитного поля. Действительно, оно может неблагоприятно сказываться на населении, приводить к возникновению опасности для здоровья людей, потенциально находящихся вблизи комплектов переходных пунктов на опоре (ПКПО-КВ). Однако при удалении от источников магнитное поле ослабевает и на определенном расстоянии может считаться безопасным.

Исследования по влиянию магнитного поля промышленной частоты на живые организмы до сих пор ведутся и ещё не определена величина поля, которая будет однозначно безопасна для здоровья человека. Можно давать рекомендации по уровню поля (естественно, чем уровень ниже, тем лучше для человека). Также можно рассматривать статистику отклонений состояния здоровья у людей, пребывающих в областях повышенных полей, и делать по ней определенные выводы. Однако в данной статье «безопасный» уровень магнитного поля будет определяться не из рекомендаций (например, ВОЗ) и исследований, а в соответствии с нормами, действующими в Российской Федерации.

Источниками магнитных полей от ПКПО-КВ являются силовые кабели, прокладываемые вертикально по кабельной лестнице, а также провода ВЛ. Можно считать, что грозозащитные тросы (Дмитриев, Родчихин) не являются токоведущими элементами ВЛ (или создаваемое ими магнитное поле существенно меньше поля проводов ВЛ), в связи с чем тросы в дальнейшем не рассматриваются.

Единая энергосистема России работает на частоте 50 Гц, поля именно такой частоты могут создаваться источниками. Нормируемым параметром магнитного поля частотой 50 Гц в соответствии с гигиеническими нормативами [4] является его интенсивность, которая оценивается в единицах напряженности магнитного поля (Н, А/м) или индукции магнитного поля (В, мТл).

В населенной местности вне зоны жилой застройки, в том числе в зоне ВЛ и КЛ напряжением выше 1 кВ, при пребывании в зоне прохождения ВЛ и КЛ лиц, профессионально не связанных с эксплуатацией электроустановок, предельно допустимым значением магнитного поля является величина 20 мкТл (16 А/м). Напряженность (индукция) вне зданий измеряется на высоте 0,5; 1,5 и 1,8 м от поверхности земли [4]. Указанные высоты в дальнейшем будут называться контролируемыми.

ПРИНИМАЕМЫЕ УПРОЩЕНИЯ

Ввиду неоднородной картины магнитного поля (из-за влияния различных близко расположенных металлоконструкций и т.п.) расчет его величины проводится с учетом ряда упрощений и допущений:

- не учитывается влияние опоры, кабельной лестницы и прочих металлоконструкций;
- не учитывается влияние замкнутого вокруг кабелей стального кожуха. Поскольку суммарное магнитное поле кабелей не скомпенсировано (не равно нулю), то по закону электромагнитной индукции в окружающем кабеле кожухе станет наводиться электродвижущая сила (ЭДС), которая будет создавать ток. Причем направление тока в кожухе будет таким, что создаваемое им поле

ООО «ПАНАТЕСТ» приглашает посетить наш стенд В-71 на «Международном Форуме Электрические Сети» 4–7 декабря. Выставка будет развернута в павильоне №75 комплекса ВДНХ.

Портативные оптические
УФ-дефектоскопы CoroCAM



«CoroCAM 6D» —

Двухспектральный
УФ-дефектоскоп
для диагностики
электроэнергетического
оборудования.
Вес 1,9 кг.



«CoroCAM 7» —

Универсальный
УФ-дефектоскоп
с видеокамерой
чувствительностью
0,01лк, коэффициентом
оптического масштабирования 28%.
Имеет порт Ethernet
для дистанционного управления.



«CoroCAM 8» —

Уникальный
трёхспектральный
диагностический
комплекс
с высокочувствительным
УФ-каналом, ИК-детектором
высокого разрешения
(640x512 пикселей) и цветной
цифровой видеокамерой.



ОБЩИЙ ВИД ПКПО-КВ



Рис. 1

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРЯМОГО ТОКА

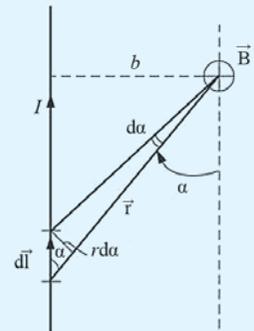


Рис. 2

начнет противодействовать основному полю. Таким образом, будет наблюдаться эффект «экранирования» (снижения суммарного поля), который учитываться не будет;

- не учитывается отклонение кабеля от оси опоры при подходе к муфте. Участок считается полностью прямолинейным до высотной отметки муфты. Отклонение кабелей приведет к снижению взаимной компенсации магнитного поля, т.е. к некоторому увеличению суммарного магнитного поля. Однако расхождение кабелей происходит при значительном удалении от контролируемых высот, а значит его неучет не приведет к заметному искажению итоговых результатов;
- кабель представляется токоведущей жилой, по которой протекает

ток I. Учитывается, что весь ток протекает по оси кабеля (не учитывается толщина кабеля). Не учитывается влияние токов в экранях кабеля (при их наличии), а также схема заземления экранов кабеля;

- рассматривается только нормальный режим работы, не учитывается возможное кратковременное превышение тока (например, при коротком замыкании).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

На рис. 1 показан общий вид ПКПО-КВ. Описание такого ре-

СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ КАБЕЛЕЙ НА: А) ПКПО-КВ-35-1; Б) ПКПО-КВ-35-2; В) ПКПО-КВ-110-1; Г) ПКПО-КВ-110-2

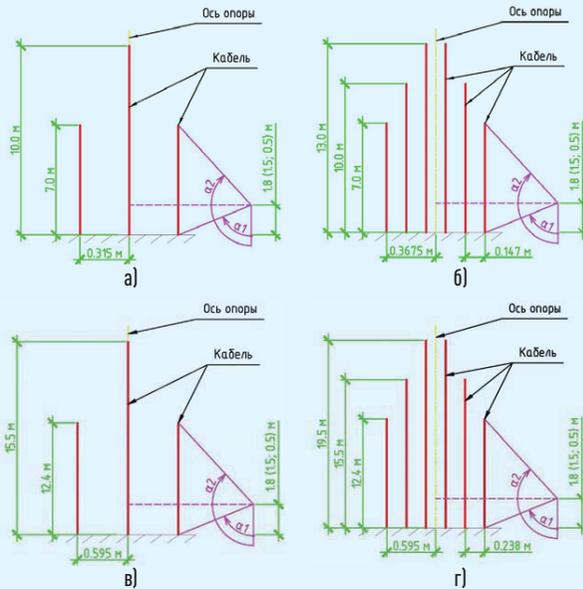


Рис. 3

шения представлено, например, в [АО «НПО «Стример»]. На данной фотографии зафиксирован момент монтажа, впоследствии один из пролетов ВЛ будет демонтирован.

Величина магнитного поля с учетом ряда допущений определяется в некоторой точке на контролируемой высоте отдельно для каждого токоведущего проводника, в зависимости от удаления от оси опоры. Итоговое значение магнитной индукции (напряженности магнитного поля) в рассматриваемой точке рассчитывается как векторная сумма составляющих от каждого проводника.

Для определения магнитной индукции от проводника с током применяется закон Био-Савара-Лапласа [Савельев], а точнее, его частный случай, когда вычисляется поле прямого проводника с током конечной длины.

На рис. 2 показан проводник с током I. Магнитная индукция B рассчитывается на расстоянии b от проводника. Конечная длина учитывается границами изменения угла alpha: от низа проводника до его верха.

Формула для определения магнитной индукции конечного проводника с током имеет вид:

$$B = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \quad (1)$$

где B — магнитная индукция, Тл;

μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, Гн/м;

I — действующее значение тока в проводнике, А;

b — расстояние от проводника с током до рассматриваемой точки, м;

α_1 — угол между вертикальным лучом, начинающимся от рассматриваемой точки и направленным вниз, и отрезком, соединяющим данную точку с низом проводника, град.;

α_2 — угол между вертикальным лучом, начинающимся от рассматриваемой точки и направленным вниз, и отрезком, соединяющим данную точку с верхом проводника, град.

Итоговая величина магнитной индукции в некоторой точке будет определяться по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n B_{\text{каб},i} + \sum_{m=1}^k B_{\text{пров},m} \quad (2)$$

где $B_{\text{сум}}$ — суммарная магнитная индукция в рассматриваемой точке, Тл;

$B_{\text{каб},i}$ — магнитная индукция от i-го кабеля (n = 3 для однофазной модификации; n = 6 для двухфазной модификации), Тл;

$B_{\text{пров},m}$ — магнитная индукция от m-го провода ВЛ (k = 3 для однофазной модификации; k = 6 для двухфазной модификации), Тл.

Напряженность магнитного поля H (А/м) рассчитывается по формулам:

$$H_{\text{сум}} = B_{\text{сум}} / \mu_0; \quad (3.1)$$

$$H_{\text{ин}} = |H_{\text{сум}}|. \quad (3.2)$$

СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРОВОДОВ ВЛ НА: А) ПКПО-КВ-35-1; Б) ПКПО-КВ-35-2; В) ПКПО-КВ-110-1; Г) ПКПО-КВ-110-2

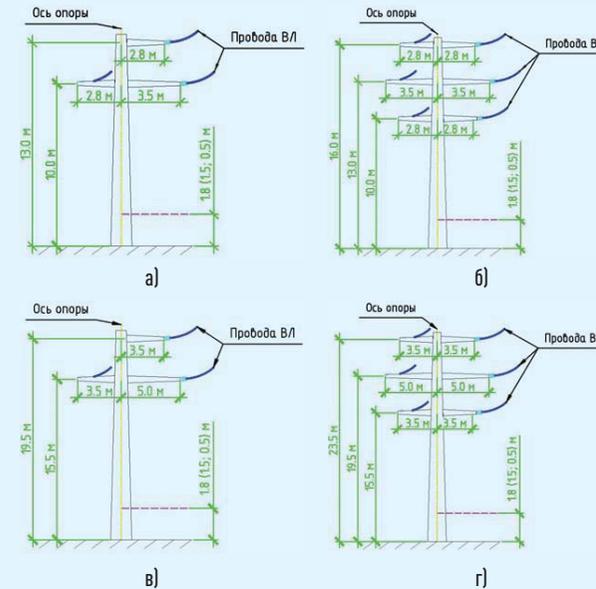


Рис. 4

Рассмотрим магнитное поле от четырех унифицированных решений переходных пунктов: 35 кВ в одноцепном и двухцепном исполнении — ПКПО-КВ-35-1 и ПКПО-КВ-35-2; 110 кВ в одноцепном и двухцепном исполнении — ПКПО-КВ-110-1 и ПКПО-КВ-110-2.

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

На ВЛ классом напряжения 35 кВ обычно применяются провода АС 70/11 — АС 150/24. По табл. 1.3.29 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [6] максимальное значение длительно допустимого тока для данных типов проводов (вне помещений при температуре +25 °С) составляет 450 А. Однако реальные токи на линиях 35 кВ намного ниже данного значения. Рассмотрим три величины тока: 450 А (как длительно допустимое значение

МИНИМАЛЬНЫЕ РАССТОЯНИЯ ОТ ОСИ ОПОРЫ

Высота над поверхностью земли, м	Номинальное напряжение 35 кВ		Номинальное напряжение 110 кВ			
	Ток, А	Минимальное расстояние, м		Ток, А	Минимальное расстояние, м	
		ПКПО-КВ-35-1	ПКПО-КВ-35-2		ПКПО-КВ-110-1	ПКПО-КВ-110-2
0,5	450	1,47	1,52	605	2,24	2,14
1,5		1,65	1,71		2,55	2,42
1,8		1,66	1,72		2,59	2,46
0,5	200	1,06	1,08	300	1,70	1,61
1,5		1,12	1,15		1,89	1,76
1,8		1,12	1,15		1,90	1,78
0,5	50	0,62	0,65	100	1,16	1,10
1,5		0,62	0,65		1,21	1,14
1,8		0,62	0,65		1,21	1,14

Таблица 1

тока для провода АС 150/24), 200 А (как некоторое максимальное эксплуатационное значение) и 50 А (как некоторое малое эксплуатационное значение).

На ВЛ классом напряжения 110 кВ обычно применяются

провода АС 95/16 — АС 240/32. По табл. 1.3.29 ПУЭ [6] максимальное значение длительно допустимого тока для данных типов проводов (вне помещений при температуре +25 °С) составляет 605 А. Однако, как правило, аналогично линиям 35 кВ на линиях 110 кВ реальные токи ниже данного значения. Рассмотрим три величины тока: 605 А (как длительно допустимое значение тока для провода АС 240/32), 300 А (как некоторое максимальное эксплуатационное значение) и 100 А (как некоторое малое эксплуатационное значение).

На рис. 3 показаны геометрические схемы, по которым определяется магнитное поле от кабелей. На рис. 4 показаны геометрические схемы, по которым определяется магнитное поле от проводов ВЛ. При этом принимается, что длина пролета намного больше вертикальных расстояний до проводов, т.е. провода «уходят в бесконечность».

На рис. 5 показано расположение фаз для одноцепного и двухцеп-

РАСПОЛОЖЕНИЕ ФАЗ НА: А) ОДНОЦЕПНЫХ ПКПО-КВ; Б) ДВУХЦЕПНЫХ ПКПО-КВ

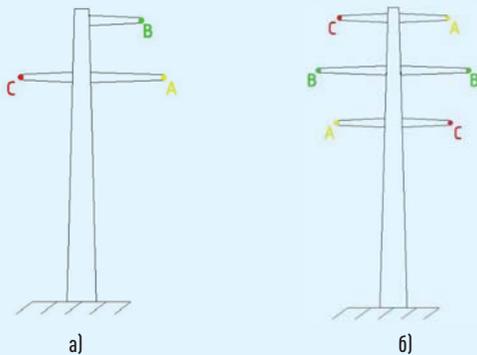


Рис. 5

НАПРЯЖЕННОСТЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ: А) ПКПО-КВ-35-1; Б) ПКПО-КВ-35-2

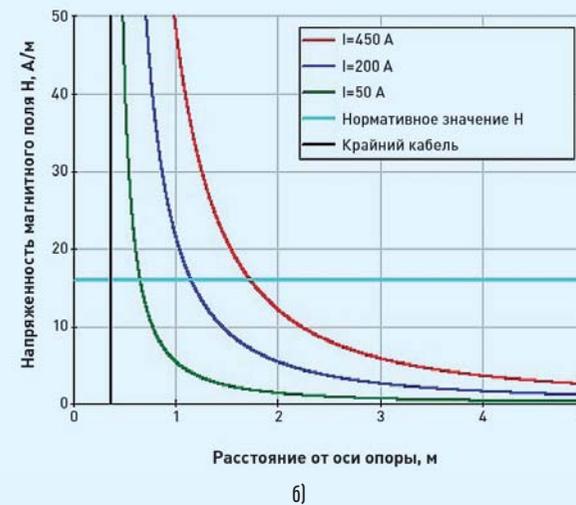
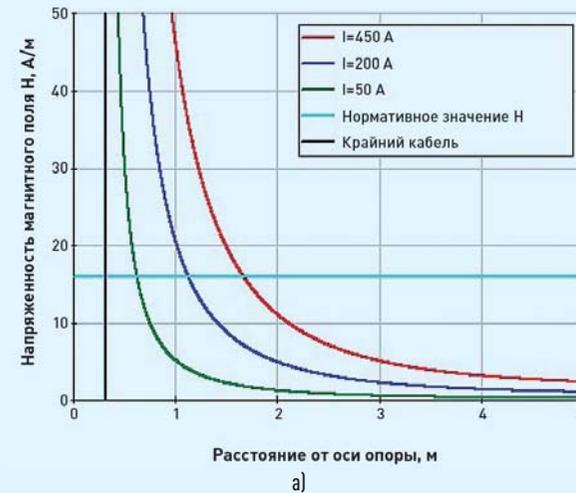


Рис. 6

ного вариантов ПКПО-КВ. Ввиду симметрии расположения кабелей относительно оси опоры и малого влияния фазных проводов магнитное поле одноцепных ПКПО-КВ не зависит от расположения фаз. Но для двухцепных ПКПО-КВ расположение фаз влияет на суммарное магнитное поле [Высотные опоры]. В данном случае рассматривается вариант, когда поле имеет наибольшее значение (по причине меньшей взаимной компенсации полей кабелей шести фаз) — при «встречном» расположении двух фаз на опоре.

Для принятых исходных данных по формулам (1–3) получена зависимость напряженности магнитного поля при удалении рассматриваемой точки от оси опоры на каждой из контролируемых высот, определено минимальное расстояние от оси опоры до точки, в которой соблюдается норматив по величине магнитного поля. Результаты расчета сведены в табл. 1.

Как правило, наибольшее значение напряженности магнитного поля имеет место на высоте 1,8 м над уровнем земли. Графики зависимости напряженности магнитного поля при удалении от оси опоры для высоты 1,8 м представлены на рис. 6 и 7. Также на каждом графике показан нормированный уровень напряженности поля и расположение крайнего кабеля (для удобства определения расстояния не от оси опоры, а непосредственно от кабеля).

Для обобщения данных табл. 1 построены графики зависимости минимального расстояния от оси ПКПО до точки, в которой нормы соблюдаются, в зависимости от величины тока. Для ПКПО-КВ 35 кВ токи изменяются в пределах 50–450 А, для ПКПО-КВ 110 кВ — 55–605 А. Графики приведены на рис. 8 и 9 для высоты 1,8 м над уровнем

земли. На графиках также показано расположение крайнего кабеля. Для удобства восприятия на оси абсцисс даны расстояния от оси опоры, на оси ординат — действующие значения тока. В этом случае крайний кабель показан в естественном для него положении (вертикальном).

Данными графиками можно воспользоваться для определения расстояния от ПКПО-КВ до «безопасной зоны», в которой соблюдаются нормы по магнитному полю для конкретного значения тока. Ток в линии известен, и, чтобы определить расстояние, на котором начинают соблюдаться нормы, достаточно провести на графике на необходимой высоте, соответствующей току, горизонтальную линию. Расстояние от оси ординат до точки пересечения с кривой «Минимальное расстояние» даст необходимую величину.

Для удобства на графике представлено положение крайнего кабеля. Расстояние допускается измерять от него (горизонтальное расстояние между точками пересечения построенной линии с кривой «Минимальное расстояние» и прямой «Крайний кабель»).

Для унифицированного ПКПО-КВ-35-1 наибольшее расстояние от оси опоры до «безопасной» величины напряженности магнитного поля составляют 1,66 м, для ПКПО-КВ-35-2 — 1,72 м; для ПКПО-КВ-110-1 — 2,59 м, для ПКПО-КВ-110-2 — 2,46 м.

При большем удалении от ПКПО-КВ магнитное поле удовлетворяет нормам. Однако это не означает, что кратковременное нахождение в зоне, где нормативы не соблюдаются, недопустимо и опасно. В соответствии с Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок [8] в течение 8 ч

НАПРЯЖЕННОСТЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ: А) ПКПО-КВ-110-1; Б) ПКПО-КВ-110-2

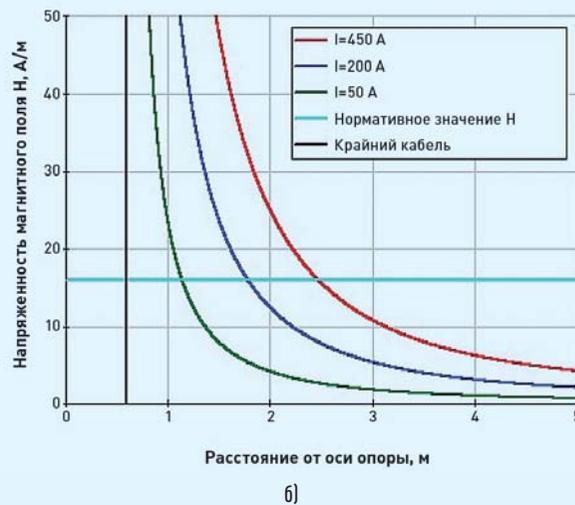
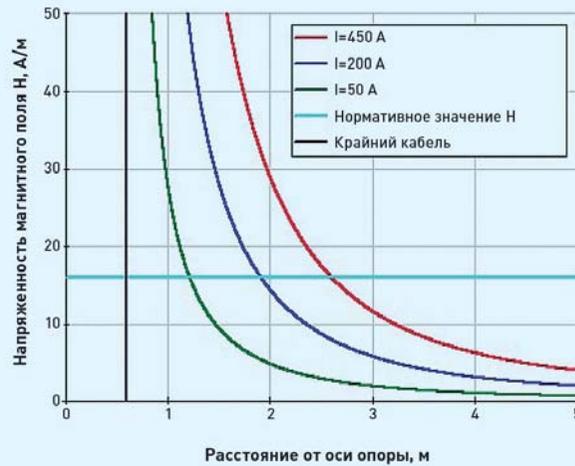


Рис. 7

МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЕ РАССТОЯНИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ТОКА ДЛЯ: А) ПКПО-КВ-35-2; Б) ПКПО-КВ-35-1



Рис. 8

человек может находиться в зоне с напряженностью магнитного поля 80 А/м, а такие величины поля достигаются в непосредственной близости от ПКПО-КВ.

К тому же, указанные расстояния определены для наибольших значений токов, которые на практике редко имеют место. Следовательно, рассмотренные расстояния для реальных токов в линиях будут меньше.

ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В качестве примера применения результатов рассмотрим установленный в г. Петрозаводск двухцепный ПКПО-КВ-35-2 индивидуального исполнения.

В отличие от унифицированного решения в данном случае требовалось увеличить высоту до нижних траверс до 18,5 м (вместо 10,0 м). Ток в нормальном режиме работы имеет достаточно большую величину для линии 35 кВ — 342 А. Ввиду отсутствия информации по расположению фаз двух цепей на опоре принимается худший вариант — «встречное» расположение.

Рассчитанное расстояние от оси опоры до «безопасного» значения напряженности магнитного поля составляет 1,44 м. Подобное значение можно было получить, воспользовавшись графиком на рис. 8б.

На рисунке 10 представлены фотографии ПКПО, установленного в г. Петрозаводске. Как видно, ПКПО расположен в городской зоне на небольшом удалении от жилых домов и в непосред-

ственной близости от автомобильной дороги. Однако ПКПО находится за дорогой (расстояние до нее больше 1,5 м), к тому же, на берегу реки. Доступ людей к ПКПО ограничен автомобильной дорогой и берегом реки (пешеходной зоны вблизи ПКПО нет). Таким образом, длительное нахождение людей поблизости с ПКПО исключается.

Если учесть расположение ПКПО (на расстояние 1,5 м к ПКПО не будут приближаться люди), то можно считать нормы по величине магнитного поля выполненными. Если даже люди, перейдя через дорогу и придорожные насыпи, приблизятся к ПКПО на расстояние меньше 1,5 м, то время их пребывания будет менее установленного Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок [8], и такое их присутствие допустимо. Таким образом, можно считать, что ПКПО-КВ-35-2 с точки зрения влияния магнитного поля не противоречит нормам, установленным в РФ.

Полученные с учетом принятых допущений величины напряженности магнитного поля ПКПО-КВ уже на расстоянии 2,6 м от оси опоры удовлетворяют нормативам, установленным в Российской Федерации. Причем данное значение указано для максимально допустимого тока. С учетом реальных токов на линиях 35–110 кВ (как правило, заметно меньших допустимых) это значение будет не более 1–2 м.

Для того чтобы минимизировать влияние магнитного поля на людей или вообще свести его к нулю, переходные пункты желательно размещать в значительном удалении от населения (вне жилых зон). Однако ПКПО-КВ по причине своих достоинств, в том числе из-за компактности и минимального землеотвода, зачастую размещается как раз в городской черте.

МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЕ РАССТОЯНИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ТОКА ДЛЯ: А) ПКПО-КВ-110-1; Б) ПКПО-КВ-110-2



Рис. 9

ПКПО-КВ-35-2 В Г. ПЕТРОЗАВОДСКЕ



а)



б)

Рис. 10

В таком случае рекомендуется располагать ПКПО-КВ на удалении минимум 2–3 м от места возможного длительного пребывания людей или применять ограждения, если они не были установлены по другим причинам. Не требуется применять дополнительные мероприятия по снижению магнитного поля, например, располагать фазы кабеля в треугольник при их спуске или применять специализированные экраны. Кратковременное нахождение людей в пределах указанного расстояния ближе к ПКПО-КВ допускается и это не противоречит нормам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев М.В., Родчихин С.В. Расчет термической стойкости грозозащитных тросов ВЛ 110–750 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение. 2017. № 3. С. 32–35.
2. Дмитриев М.В., Родчихин С.В. Грозозащитные тросы ВЛ 35–750 кВ. Выбор мест заземления // Новости электротехники. 2017. № 2 (104).
3. Современное решение для соединения высоковольтных воздушных и кабельных линий. АО «НПО «Стример» // Электроэнергия: передача и распределение. 2018. № 2 (47). С. 68–69.
4. Гигиенические нормативы ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07. Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях.
5. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие для студентов вузов в 3-х т. 2-е изд., перераб. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. М.: Наука, 1982.
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. Утв. приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.
7. Смазнов Д.Н., Родчихин С.В., Москалев А.В., Зимин К.Н. Высотные опоры в индивидуальном проектировании воздушных линий // Энергия Единой сети. 2017. № 1 (30). С. 46–53.
8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утв. приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24.07.2013 № 328н (с изменениями на 19 февраля 2016 г.).