

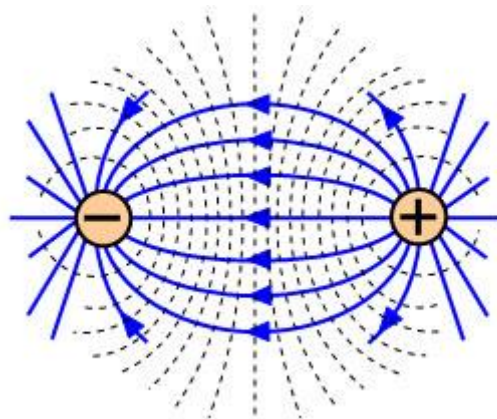
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»
федеральный опорный вуз

Кафедра "Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника"

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

*Методические указания
к выполнению расчетной части в ВКР
для бакалавров и магистров очной и заочной форм обучения
по направлениям подготовки
140400 «Электроэнергетика и электротехника»,
140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»*



Нижний Новгород 2020

Составители: **О.В. Маслеева, Е.Н. Соснина, Р.Ш. Бедретдинов**

УДК 621.3: 537.8 (075.5)

Расчет показателей интенсивности воздействия электромагнитного поля электрических подстанций: метод. указания к выполнению расчетной части в ВКР для бакалавров и магистров очной и заочной форм обучения по направлениям подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника», 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» / НГТУ им. Р.Е. Алексеева; сост.: О.В. Маслеева, Е.Н. Соснина, Р.Ш. Бедретдинов. – Нижний Новгород, 2020. – 19 с.

Изложены краткие сведения из теории электромагнитного поля и выявлены его источники на электрических подстанциях. Приведена информация по влиянию и оценке показателей интенсивности воздействия электромагнитного поля на живые организмы. Даны задания к работе и порядок ее выполнения, указания к составлению отчета.

Методические указания предназначены для студентов дневного и заочного обучения.

Редактор Э.Б. Абросимова

Подп. к печ. 18.05.2018. Формат 60x84 ¹/₁₆. Печать офсетная. Бумага газетная.
Усл. печ. л. 2,5. Тираж 100 экз. Заказ.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева.
Типография НГТУ, 603950. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

© Нижегородский государственный
технический университет
им. Р. Е. Алексеева, 2018

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является:

- изучение источников электромагнитного поля (ЭМП) в энергетике;
- изучение показателей, характеризующих электромагнитное поле;
- получение навыков по нормированию электрического и магнитного поля согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»;
- освоение методики расчета напряженности электрического и магнитного поля на главной понизительной подстанции (ГПП).

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Источники электромагнитного поля в электроэнергетике

Основными источниками электромагнитного поля промышленной частоты на ГПП являются силовые трансформаторы, высоковольтные отделители, разъединители, выключатели, воздушные линии (рис. 1).



Рис. 1. Источники электромагнитного поля на ГПП

2.2. Воздействие электромагнитного поля на человека

Интенсивность воздействия ЭМП на организм человека характеризуется следующими показателями:

- частота (50 Гц);
- напряженность электрического поля E , кВ/м;
- напряженность магнитного поля H , А/м;
- длительность и периодичность пребывания человека в зоне действия ЭМП, ч.;
- емкостной ток через тело человека I_h , мкА.

Электрическое поле, создаваемое высоковольтными линиями и установками, оказывает неблагоприятное влияние на живые организмы. Наиболее чувствительны к электрическим полям копытные животные и человек в обуви, изолирующей его от земли. Копыто животных также является хорошим изолятором. В этом случае на изолированном от земли проводящем объемном теле наводится потенциал, зависящий от соотношения емкости тела на землю и на провода ЛЭП. Чем меньше емкость на землю (чем толще, например, подошва обуви), тем больше наведенный потенциал, который может составлять несколько киловольт и даже достигать 10 кВ.

При приближении тела к заземленному предмету (например, ноги или руки человека к травинке или веточке куста) происходит искровой разряд, сопровождаемый звуковым эффектом (потрескивание) с протеканием импульса тока через тело. Сопротивление в цепи разряда определяется переходным сопротивлением кожного покрова и сопротивлением травинки или веточки, составляющим несколько МОм на 1 м длины ветки. В этих условиях максимум импульса тока через человека может достигать 100-200 мкА.

Разряд вызывает неприятное ощущение укола. Такие импульсы тока безопасны для здоровья человека, но могут привести к вторичным травмам вследствие испуга и непровольного движения. Зафиксировано, что такой неожиданный укол подчас приводит к неспецифической травме – падению с высоты, ушибу рабочего, стоящего ниже, инструментом, выпавшим из руки рабочего, стоящего выше, и т.д. Укол может возникнуть даже при рукопожатии двух работающих в случае, если один из них находится в сухой обуви с изолирующей подошвой, а второй не имеет ее или в момент рукопожатия другая рука товарища касается металлической конструкции. Неприятные ощущения, связанные с непрерывно следующими друг за другом разрядами, приводят к тому, что копытные животные предпочитают не находиться на трассах высоковольтных ЛЭП и не пересекать их в летнее время.

Ток значительно возрастает, если тело приближается к хорошо заземленному металлическому предмету. В этом случае максимум импульса тока определяется только переходным сопротивлением кожи и может достигать единиц

и даже десятков ампер. Однако непосредственное воздействие и таких импульсов тока из-за малой их длительности неопасно.

Опасные воздействия тока могут произойти при приближении (соприкосновении) тела человека с изолированными от земли механизмами, например, с трактором на резиновом ходу. Емкость таких механизмов на провода линии и на землю значительно больше, чем у человека. По этой причине все механизмы, находящиеся в зоне повышенной напряженности поля воздушной линии, должны быть надежно заземлены, например, с помощью металлической цепи. Многочисленные исследования в области биологического воздействия ЭМП позволили определить наиболее чувствительные системы организма человека: нервную, иммунную, эндокринную и половую. Переменное электрическое поле вызывает нагрев тканей живых организмов как за счет переменной поляризации диэлектрика (сухожилий, хрящей, костей), так и за счет появления емкостных токов. Наиболее чувствительны к перегреву органы зрения, мозг, почки, желчный и мочевой пузырь. Извещение предельно допустимых норм показателей ЭМП может спровоцировать повышенный риск развития хронического лимфолейкоза, рака грудной железы, злокачественной меланомы кожи, опухоли центральной нервной системы, острого миелоидного лейкоза.

2.3. Нормирование электрического и магнитного поля

СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» устанавливает санитарно-эпидемиологические требования к электрическому и магнитному полю промышленной частоты (50 Гц).

Оценка и нормирование электрических полей частотой 50 Гц осуществляется по напряженности электрического поля (E) в кВ/м в зависимости от времени его воздействия на работающего за смену.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) напряженности электрического поля частотой 50 Гц на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

При напряженностях в интервале больше 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в электрическом поле T (ч) рассчитывается по формуле

$$T = (50/E) - 2, \quad (1)$$

где E – напряженность электрического поля в контролируемой зоне, кВ/м;

T – допустимое время пребывания в электрическом поле при соответствующем уровне напряженности, ч.:

- при напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в электрическом поле составляет 10 мин.;

- при напряженности электрического поля, превышающей ПДУ, требуется применение средств защиты;

- при напряженности электрического поля, превышающей 25 кВ/м, работа без средств индивидуальной защиты запрещается;

Допустимое время пребывания в электрическом поле может быть реализовано однократно или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время необходимо находиться вне зоны влияния электрического поля или применять средства защиты.

Оценка и нормирование магнитного поля частотой 50 Гц осуществляется по напряженности (H) в А/м или индукции (B) в мкТл для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействия в зависимости от времени пребывания работающего в переменном магнитном поле за смену. ПДУ воздействия магнитного поля частотой 50 Гц приведены в табл. 1.

Таблица 1

ПДУ синусоидального (периодического) магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания, ч	Допустимые уровни магнитного поля (H , А/м / B , мкТл) при воздействии	
	общем	локальном
≤ 1	1 600 / 2 000	6 400 / 8 000
2	800 / 1 000	3 200 / 4 000
4	400 / 500	1 600 / 2 000
8	80 / 100	800 / 1 000

Допустимое значение тока, длительно проходящего через человека и обусловленное воздействием электрического поля, как показали исследования и опыт работы в электроустановках, составляет примерно 50 мкА, что соответствует напряженности электрического поля 5 кВ/м. При таком токе человек не испытывает болевых ощущений.

К организации и проведению контроля уровней электрического и магнитного поля частотой 50 Гц предъявляются следующие требования:

- контроль уровней электрического и магнитного поля частотой 50 Гц должен осуществляться во всех зонах возможного нахождения человека при

выполнении им работ, связанных с эксплуатацией и ремонтом электроустановок;

- измерения напряженности электрического и магнитного поля частотой 50 Гц должны проводиться на высоте 0,5, 1,0 и 1,7 м от поверхности земли, пола помещения или площадки обслуживания оборудования и на расстоянии 0,5 м от оборудования и конструкций, стен зданий и сооружений.

2.4. Методика расчета электрического и магнитного поля

Вид на силовые трансформаторы ГПП 110/10 показан на рис. 2.



Рис. 2. Вид ГПП 110/10 кВ

В зоне действия высоковольтных установок потенциал человека относительно земли, а также ток, протекающий через человека, определяются вертикальной составляющей напряженности электрического поля.

Напряженность электрического поля определяется по формуле

$$E = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + x_2^2} - \frac{0,5}{h^2 + x_1^2} - \frac{0,5}{h^2 + x_3^2} \right), \quad (2)$$

где C – емкость единицы длины линии, Ф/м;

U – номинальное напряжение, кВ;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – электрическая постоянная, Ф/м;

h – высота от расчетной точки, м;
 x_1 – расстояние от первой фазы до расчетной точки, м;
 x_2 – расстояние от второй фазы до расчетной точки, м;
 x_3 – расстояние от третьей фазы до расчетной точки, м.

Емкость единицы длины линии:

$$C = \frac{24 \cdot 10^{-12}}{\lg\left(\frac{2 \cdot D}{d}\right)}, \quad (3)$$

где D – расстояние между фазами, м;

d – диаметр провода, м.

Высота от расчетной точки до точки с максимальной напряженностью для силового трансформатора рассчитывают по формуле

$$h = H_T - H_{ч}, \quad (4)$$

где H_T – высота трансформатора, м;

$H_{ч} = 1,7$ м (высота человека).

Расчетные формулы приведены в табл. 2

Расчетная структурная схема показана на рис.3.

Таблица 2

Расчетные формулы

№ расчетной точки	Расчетные формулы
1	2
1	$E_{T1} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$ $E_{T2} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$

Продолжение табл. 2

1	2
2	$E_{\tau 1} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$ $E_{\tau 2} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$
3	$E_{\tau 1} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + (D)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + (D)^2} \right)$ $E_{\tau 2} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + (b + L - D)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + (b + L)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + (b + L + D)^2} \right)$
4	$E_{\tau 1} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$ $E_{\tau 2} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{3L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{3L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{3L}{2} + D\right)^2} \right)$

Окончание табл.2

1	2
5	$E_{\tau 1} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + \frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + \frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + \frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$ $E_{\tau 2} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2} + D\right)^2} \right)$
6	$E_{\tau 1} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$ $E_{\tau 2} = \frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{h^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2} + D\right)^2} \right)$

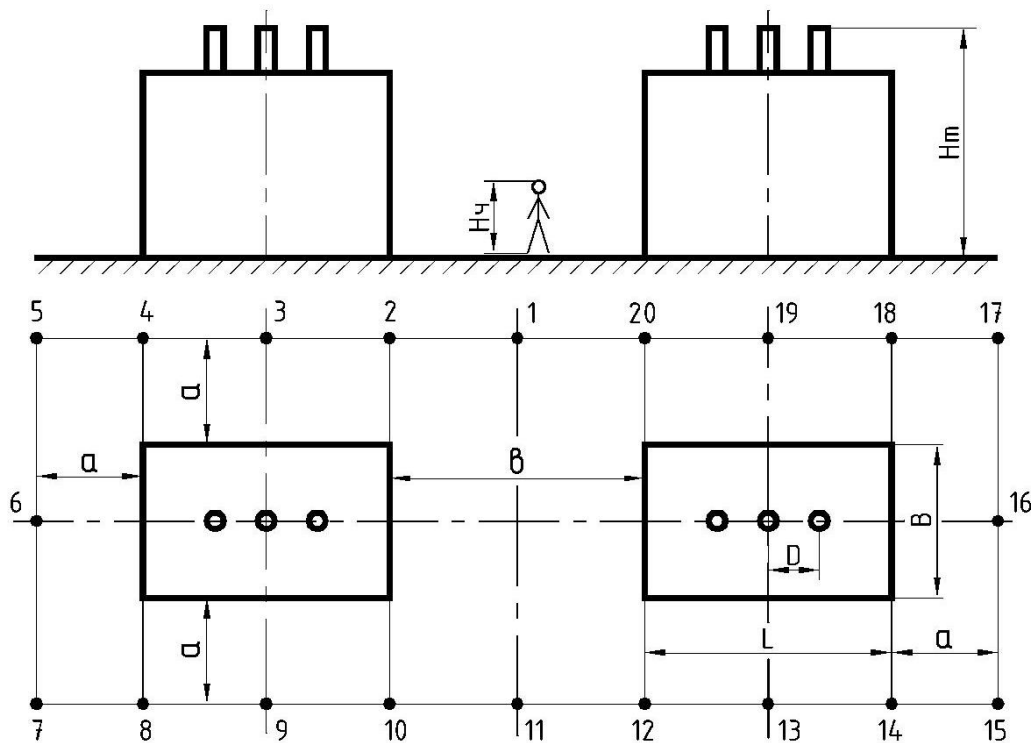


Рис. 3. Структурная схема расположения силовых трансформаторов

Оценка воздействия магнитного поля, создаваемого трансформаторным оборудованием, выполнена на основе коэффициентов пропорциональности между рабочим током проводников и максимальным значением напряженности магнитного поля:

$$H = \gamma \cdot I , \quad (5)$$

где γ – коэффициент пропорциональности между рабочим током проводника и напряженностью магнитного поля ($\gamma = 0,0893$);

I – рабочий ток проводника, А.

Емкостной ток, проходящий через тело человека, находящегося в электрическом поле высоковольтных установок, рассчитывается по формуле

$$I_h = k \cdot E, \quad (6)$$

где I_h – емкостной ток, мкА;

k – постоянный множитель ($k = 12 \text{ Ф}\cdot\text{м}/\text{с}$);

E – напряженность электрического поля, кВ/м.

3. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

Рассчитать напряженность электрического и магнитного поля и емкостной ток, проходящий через тело человека, для заданного варианта (табл. 5). Рассчитанные значения сравнить с допустимыми величинами и сделать вывод.

Расчетные формулы для всех точек указаны в табл. 2.

Технические характеристики трансформаторов приведены в табл. 6.

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- схему расположения трансформаторов (рис. 3);
- исходные данные;
- расчет для 1 - 6 точек;
- результаты расчетов, представленные в виде табл. 3, 4;
- график изменения напряженности электрического поля (рис. 4);
- выводы.

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Напряжение $U = 110$ кВ

Марка трансформатора - ТДН 16000 кВА.

Размеры трансформатора:

- длина $L = 5845$ мм, - ширина $B = 3570$ мм, - высота $H_T = 5390$ мм;

$D = 1,23$ м – расстояние между выводами высокого напряжения силового трансформатора;

$I = 265$ А – номинальный ток;

$d = 11,4$ мм = 0,0114 м для АС-70 по табл. 7;

$b = 6$ м – расстояние между трансформаторами;

$a = 3$ м – расстояние от расчетной точки до силового трансформатора.

Высота от расчетной точки:

$$h = H_T - H_q = 5,39 - 1,7 = 3,69 \text{ м}$$

Расчетная точка 1.

Емкость единицы длины проводника:

$$C = \frac{24 \cdot 10^{-12}}{\lg\left(\frac{2 \cdot 1,23}{0,0114}\right)} = 10,28 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}};$$

$$\frac{CUh}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} = \frac{10,28 \cdot 10^{-12} \cdot 110 \cdot 3,69}{\sqrt{3} \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 86,8 \text{ кВ} \cdot \text{м};$$

$$E_{T1} = 86,8 \cdot \left(\frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(3 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(\frac{6}{2} + \frac{5,845}{2} - 1,23\right)^2}{0,5}} - \frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(3 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(\frac{6}{2} + \frac{5,845}{2}\right)^2}{0,5}} \right) = 0,438 \frac{\text{кВ}}{\text{м}};$$

$$E_{T2} = E_{T1} = 0,438 \text{ кВ/м}$$

$$E_{PT1} = 0,438 + 0,438 = 0,876 \text{ кВ/м}$$

Расчетная точка 2

$$E_{T1} = 86,8 \cdot \left(\frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(3 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(\frac{5,845}{2} - 1,23\right)^2}{0,5}} - \frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(3 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(\frac{5,845}{2}\right)^2}{0,5}} \right) = 0,538 \frac{\text{кВ}}{\text{м}};$$

$$E_{T2} = 86,8 \cdot \left(\frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(3 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(6 + \frac{5,845}{2} - 1,23\right)^2}{0,5}} - \frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(3 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(6 + \frac{5,845}{2}\right)^2}{0,5}} \right) = 0,242 \frac{\text{кВ}}{\text{м}};$$

$$E_{PT1} = 0,538 + 0,242 = 0,780 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

Исходя из расположения расчетных точек на плане ГПП, можно определить, что точки 1 и 11 расположены симметрично, поэтому величины напряженности электрического поля будут одинаковыми. Аналогично расположены точки 2, 10, 12, 20 и т.д.

Результаты расчета напряженности электрического поля на территории ГПП представлены в табл.3 и на рис. 4.

Емкостной ток, проходящий через тело человека, рассчитан по формуле:

$$I_h = 12 \cdot E.$$

Результаты расчета емкостного тока, проходящего через человека в землю для различных расчетных точек, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета напряженности электрического поля на территории ГПП и емкостного тока, проходящего через тело человека

Расчетная точка	E_{T1} , кВ/м	E_{T2} , кВ/м	E_{PT} , кВ/м	I_h , мкА
1	0,438	0,438	0,876	10,5
2	0,538	0,242	0,780	9,4
3	0,123	0,134	0,257	3,1
4	0,538	0,079	0,617	7,4
5	0,475	0,053	0,528	6,3
6	1,024	0,059	1,083	13,0
7	0,475	0,053	0,528	6,3
8	0,538	0,079	0,617	7,4
9	0,123	0,134	0,257	3,1
10	0,538	0,242	0,780	9,4
11	0,438	0,438	0,876	10,5
12	0,538	0,242	0,780	9,4
13	0,123	0,134	0,257	3,1
14	0,538	0,079	0,617	7,4
15	0,475	0,053	0,528	6,3
16	1,024	0,059	1,083	13,0
17	0,475	0,053	0,528	6,3
18	0,538	0,079	0,617	7,4
19	0,123	0,134	0,257	3,1
20	0,538	0,242	0,780	9,4
ПДУ, кВ/м			5	50

Напряженность магнитного поля:

$$H = \gamma \cdot I = 0,0893 \cdot 265 = 23,7 \text{ А/м,}$$

Результаты расчета напряженности магнитного поля на территории ГПП и величина ПДУ представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчета напряженности магнитного поля

Параметр	Трансформаторное оборудование	
	Трансформатор 1	Трансформатор 2
γ	0,0893	0,0893
I , А	265	265
H , А/м	23,7	23,7
ПДУ, А/м	80	80

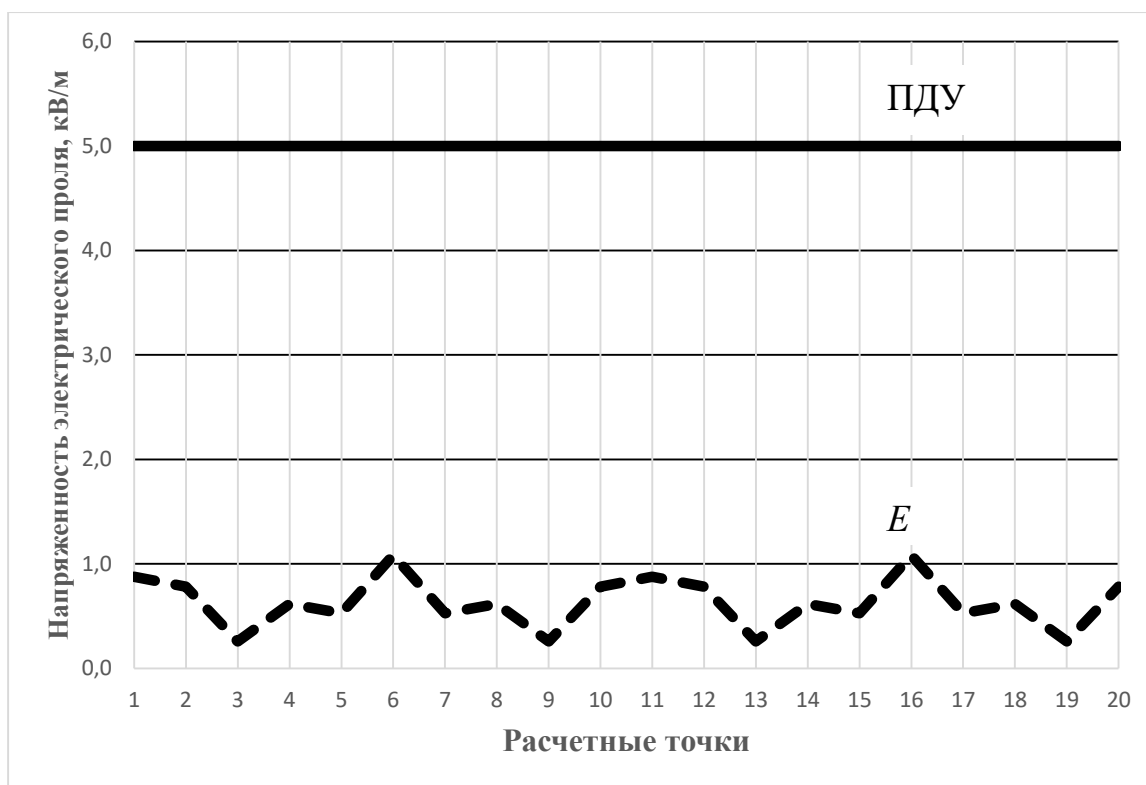


Рис. 4. Результаты расчета напряженности электрического поля на территории ГПП

Выводы:

- напряженность электрического поля на всех рабочих местах на территории ГПП не превышает в течение всей смены допустимый уровень 5 кВ/м;
- напряженность магнитного поля ниже допустимого значения 80 А/м при общем воздействии (на все тело);
- максимальное значение величины емкостного тока, проходящего через тело человека, составляет 13 мкА, не превышает максимального значения 50 мкА, поэтому не представляет опасности для обслуживающего персонала.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – Новосибирск: Норматика, 2017. – 68 с.
2. Проблема изучения влияния электромагнитных полей на здоровье человека. Итоги и перспективы / Ю. П. Пальцев [и др.] // Медицина труда и промышленная экология, 2013. № 6. – С. 35–40.
3. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы 6 и 7 изданий. – М. : КНОРУС, 2015. – 491 с.
4. **Александров, Г. Н.** Передача электрической энергии / Г. Н. Александров. – 2-е изд. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 412 с.
5. **Александров, Г. Н.** Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды / Г. Н. Александров. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 357 с.
6. **Долин, П. А.** Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / П. А. Долин. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 488 с.

Таблица 5

Варианты заданий

№	Напряжение, кВ	Марка трансформатора	Расстояние между трансформаторами b , м	Мах ток, I , А	Марка провода	Расстояние a , м
1	110	ТМН-6300/110	7	46	АС-70	3,0
2	110	ТДН-10000/110	9	68	АС-70	3,1
3	110	ТДН-10000/110	10	70	АС-70	3,2
4	110	ТДН-10000/110	8	69	АС-70	3,3
5	110	ТДН-10000/110	11	72	АС-70	3,4
6	110	ТДТН-10000/110	12	78	АС-70	3,5
7	110	ТДТН-10000/110	13	73	АС-70	3,6
8	110	ТДН-16000/110	11	115	АС-70	3,7
9	110	ТДН-16000/110	12	118	АС-70	3,8
10	110	ТДН-16000/110	13	120	АС-70	3,9
11	110	ТДТН-16000/110	10	16	АС-70	4,0
12	110	ТДТН-16000/110	9	122	АС-70	3,9
13	110	ТРДН-25000/110	12	184	АС-70	3,1
14	110	ТРДН-25000/110	13	180	АС-70	3,0
15	110	ТРДН-25000/110	10	185	АС-70	3,2
16	110	ТДТН-25000/110	9	186	АС-70	3,3
17	110	ТДТН-25000/110	11	190	АС-70	3,4
18	110	ТДТН-25000/110	14	188	АС-70	3,5
19	110	ТРДН-32000/110	13	235	АС-95	3,6
20	110	ТДН-40000/110	11	294	АС-120	3,0
21	110	ТДН-40000/110	10	290	АС-120	3,5
22	110	ТДТН-40000/110	12	298	АС-120	3,4
23	110	ТДТН-40000/110	14	296	АС-120	3,1
24	110	ТДТН-40000/110	15	295	АС-120	3,3
25	110	ТРДН-63000/110	13	463	АС-185	4,5
26	110	ТРДН-63000/110	14	460	АС-185	4,0
27	110	ТДТН-63000/110	13	468	АС-185	4,3
28	110	ТДТН-80000/110	16	588	АС-240	4,1
29	220	АТДЦТН-63000/220/110	17	231	АС-240	4,2
30	220	АТДЦТН-125000/220/110	19	459	АС-240	5,0

Таблица 6

Технические характеристики силовых трансформаторов

№	Марка трансформатора	Размеры, мм			Межфазное расстояние D, м
		длина, <i>L</i>	ширина <i>B</i>	высота <i>H</i>	
1	2	3	4	5	6
1	ТМН-6300/110	5090	2685	5110	1,100
2	ТДН-10000/110	5800	3500	5300	1,210
3	ТДН-10000/110	5385	3320	4250	1,292
4	ТДН-10000/110	4900	3400	5100	1,328
5	ТДН-10000/110	5140	3224	5160	1,170
6	ТДТН-10000/110	6400	3700	5300	1,157
7	ТДТН-10000/110	5630	4600	4896	1,300
8	ТДН-16000/110	5650	3600	5450	1,078
9	ТДН-16000/110	5510	3500	5160	1,215
10	ТДН-16000/110	5500	3350	5200	1,188
11	ТДТН-16000/110	5840	4410	4880	1,350
12	ТДТН-16000/110	5700	4450	5300	1,140
13	ТРДН-25000/110	5900	4350	5300	1,084
14	ТРДН-25000/110	6100	4300	5380	1,150
15	ТРДН-25000/110	5710	4860	5335	1,650
16	ТДТН-25000/110	6600	4600	6000	1,205
17	ТДТН-25000/110	6050	4600	5100	1,450
18	ТДТН-25000/110	6380	4800	5220	1,354
19	ТРДН-32000/110	6200	3776	6200	1,564
20	ТДН-40000/110	6500	4500	5700	1,277
21	ТДН-40000/110	6250	4680	5680	1,322
22	ТДТН-40000/110	6750	4730	6250	1,250
23	ТДТН-40000/110	7200	4600	5400	1,146
24	ТДТН-40000/110	6170	5140	5840	1,195
25	ТРДН-63000/110	6730	4600	6700	1,234
26	ТРДН-63000/110	6700	5100	6200	1,410
27	ТДТН-63000/110	7080	4850	7400	1,331
28	ТДТН-80000/110	8300	4800	7050	1,453
29	АТДЦТН-63000/220/110	10500	5250	7350	2,160
30	АТДЦТН-125000/220/110	11030	5360	8290	2,206

*Таблица 7***Сечение и диаметр провода АС**

Сечение алюминий/сталь, мм ²	Диаметр провода, мм	Токовая нагрузка, А
70/11	11.4	265
95/16	13.5	330
120/19	15.2	390
150/19	16.8	45
185/24	18.9	520
240/32	21.6	605
300/39	24.0	710
400/51	27,5	825