

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

*Кафедра «Атомные и тепловые станции»*

## **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЭС**

*Методические указания по выполнению практических работ по  
курсу “Экологическая безопасность” для магистров очной и заочной  
форм обучения по направлениям подготовки  
140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»,  
140400 «Электроэнергетика и электротехника»*



г. Н. Новгород, 2018

Составители: О.В.Маслеева,

УДК 621.311.25:621.039(075.8)

**Расчет электромагнитного поля на ТЭС:** методические указания к выполнению практических работ по курсу “Экологическая безопасность” для бакалавров и магистров очной и заочной форм обучения по направлениям подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», 140400 «Электроэнергетика и электротехника»,/ НГТУ; сост.: О.В.Маслеева,. Н. Новгород, 2017. - 27 с.

Даны краткие сведения из теории, методика расчёта электромагнитного поля и варианты заданий для практических работ.

Редактор Э.Б. Абросимова

Подп. к печ. .2018. Формат 60x841/16. Бумага газетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,25. Уч.-изд. л.1,5. Тираж 100 экз. Заказ .

---

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

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

2018г.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является:

- изучение источников электромагнитного поля (ЭМП) в теплоэнергетике;
- 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. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

### 2.1 Производство электроэнергии на ТЭС

Основными энергетическими установками, преобразующими энергию природного топлива в электрическую, являются тепловые электрические станции (рис. 1), на которых вырабатывается порядка 70% электроэнергии в России.



Рис.1 ТЭС

Основное оборудование ТЭС состоит из котла-парогенератора, турбины и генератора.

Топливо и воздух непрерывно поступает в топку котла. В качестве топлива чаще всего используются уголь, сланцы, природный газ и мазут. За счет тепла, образующегося в результате сжигания топлива, в паровом котле вода превращается в пар с температурой около 550°C. В турбине способ преобразования тепловой энергии пара в механическую энергию состоит в следующем. Пар высокого давления и температуры,

имеющий большую тепловую энергию, из котла поступает в сопла турбины. Механическая энергия потока пара превращается в механическую энергию ротора турбины, а точнее – в механическую энергию турбогенератора, так как валы турбины и электрического генератора соединены между собой.

Процесс производства электроэнергии на ТЭС условно можно разделить на три цикла: химический – горение, в результате которого внутренняя химическая энергия топлива превращается в тепловую и передается пару; механический – тепловая энергия пара превращается в энергию вращения турбины и ротора турбогенератора (рис.2); электрический – механическая энергия превращается в электрическую.



**Рис.2 Турбогенератор**

Современные тепловые электростанции превращают в электроэнергию около 40 % теплоты, выделившейся при сгорании топлива

На тепловых электростанциях применяются синхронные генераторы трехфазного переменного тока. Основными типами современных синхронных генераторов являются турбогенераторы, первичным двигателем которых является паровая турбина.

Синхронные генераторы всех электростанций вращаются с частотой 3000 об/мин, соответствующей номинальной частоте промышленного синусоидального тока  $f_{ном} = 50$  Гц.

Электрические генераторы электростанций вырабатывают электрическую энергию напряжением 6,3-36,75 кВ (в зависимости от типа генераторов). Передача электроэнергии в энергетической системе на большие расстояния с целью снижения потерь и капитальных затрат на построение электрических сетей производится на повышенном напряжении, поэтому электрическая энергия, вырабатываемая генераторами электростанций, перед передачей в энергосистему повышается до напряжения 110-750 кВ.

Преобразование электрической энергии, вырабатываемой генераторами на электростанциях, в требуемое значение напряжения для дальнейшей передачи электроэнергии потребителям осуществляется на повышающих подстанциях.

На данных подстанциях устанавливаются повышающие трансформаторы или автотрансформаторы, которые в распределительных устройствах подстанции передают электроэнергию непосредственно на потребительские распределительные подстанции или в энергосистему по высоковольтным линиям (рис.3).

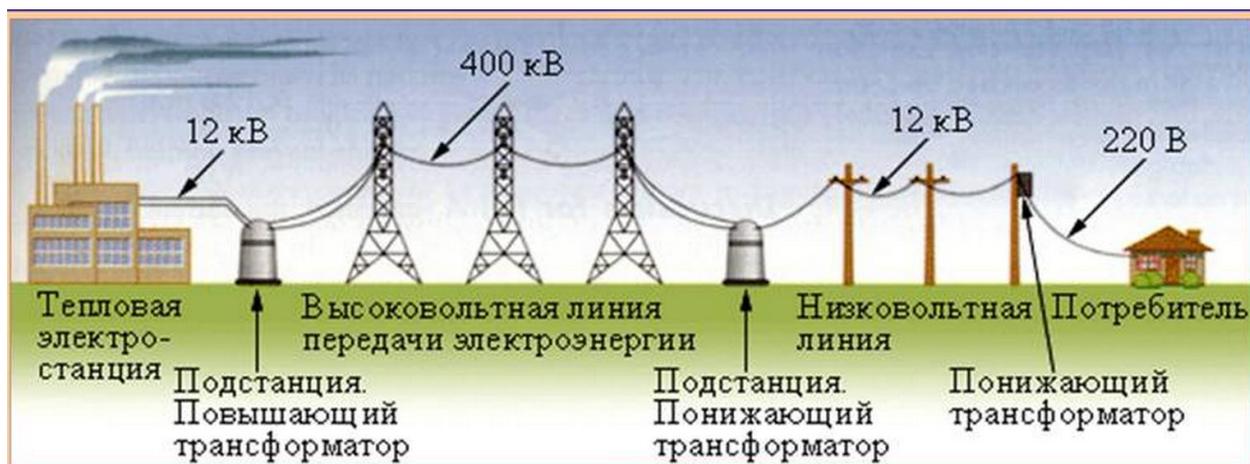


Рис.3 Передача электроэнергии от ТЭС к потребителю

На однолинейной схеме электрической части ТЭС (рис.4) показаны два турбогенератора, которые присоединяются к шинам генераторного напряжения. На шинах генераторного напряжения поддерживается напряжение, равное номинальному напряжению источника (генератора) – 6-35 кВ. От шин генераторного напряжения ТЭС на напряжении 6-35 кВ получают электроэнергию местные потребители и собственные нужды электростанции.

После шин генераторного напряжения поток мощности поступает на повышающие трансформаторы, где напряжение повышается с 6-35 кВ до 110-750 кВ, после чего энергия выдается по линиям электропередачи в энергосистему.

В качестве коммутационных аппаратов в схеме предусмотрены силовые выключатели, а токоограничивающим аппаратом является токоограничивающий реактор.



## 2.3 Воздействие электромагнитного поля на организм человека и животных

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,
- емкостной ток через тело человека  $I_h$ .

Электрическое поле, создаваемое и высоковольтными 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 непроизвольного 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. Известно, что превышение предельно допустимых норм (ПДУ) показателей ЭМП может спровоцировать повышенный риск развития хронического лимфолейкоза, рака грудной железы, злокачественной меланомы кожи, опухоли центральной нервной системы, острых лимфатических и миелоидных лейкозов.

## **2.4 Нормирование электрического и магнитного поля промышленной частоты**

Нормирование электромагнитного поля промышленной частоты производится в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

Электрические поля 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 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 Т (ч) рассчитывается по формуле:

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

где E - напряженность электрического поля, 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;

Магнитные поля промышленной частоты (50 Гц):

Оценка и нормирование магнитного поля частотой 50 Гц осуществляется по напряженности (H) в А/м или индукции (В) 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.2.

*Таблица 2.1.*

**ПДУ магнитного поля частотой 50 Гц**

Время пребывания, ч	Допустимые уровни магнитного поля, H [А/м] / В [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

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

ремонт 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;

### 3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

#### 3.1 Расчет электрического поля

Рассчитаем напряженность электрического поля, воздействующего на обслуживающий персонал, при осмотрах силовых трансформаторов.

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:

$$E = \frac{C \cdot U \cdot h}{\sqrt{3} \pi \varepsilon_0} \cdot \left( -\frac{0,5}{h^2 + x_1^2} + \frac{1}{h^2 + x_2^2} - \frac{0}{h^2} \right), \quad (2)$$

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

$U$  – номинальное напряжение, кВ;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  – 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:

$$C = \frac{24 \cdot 1}{\lg(\quad)}, \quad (3)$$

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:

$$h = H_T ; \quad (4)$$

где  $H_T$  – высота трансформатора, м.  
 $H_ч = 1,7$  м (высота человека).

### 3.2 Расчет магнитного поля

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

$$H = , \quad (5)$$

где  $\gamma$  – коэффициент пропорциональности между рабочим током проводника и напряженностью магнитного поля ( $\gamma = 0,0893$ );  
 $I$  – рабочий ток проводника, А.

### 3.3 Расчет емкостного тока через тело человека

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

$$I_h = k \cdot E , \quad (5)$$

где  $I_h$  – емкостной ток, мкА,  
 $k$  – постоянный множитель ( $k = 12 \text{ Ф} \cdot \text{м/с}$ ),  
 $E$  – напряженность электрического поля, кВ/м.

Допустимое значение тока, длительно проходящего через человека и обусловленное воздействием электрического поля, как показали исследования и опыт работы в электроустановках, составляет примерно 50 – 60 мкА, что соответствует напряженности электрического поля 5 кВ/м. при таком токе человек не испытывает болевых ощущений.

## 4.ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

Рассчитать напряженность электрического и магнитного поля на ПС и емкостной ток, проходящий через тело человека, для заданного варианта (табл.6). Рассчитанные значения сравнить с допустимыми величинами и сделать вывод.

Технические характеристики трансформаторов приведены в

табл.8.

Отчет должен содержать:

- Цель работы.
- Схему ПС с расположением электрооборудования (рис. 6).
- Исходные данные.
- Расчетные формулы (табл.2).
- Результаты расчетов представить в виде табл. 4, 5.
- Начертить график – изменения напряженности электрического поля по территории ПС (рис.7)
- Выводы.

Таблица 2 расчетные формулы

Р Т	Расчетные формулы
1	$E_{\tau 1} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}} \cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$ $E_{\tau 2} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}} \cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$
2	$E_{\tau 1} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}} \cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$

	$E_{\tau 2} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}}$ $\cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{L}{2}\right)^2} \right.$ $\left. - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$
3	$E_{\tau 1} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}} \cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + (D)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + (D)^2} \right)$ $E_{\tau 2} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}}$ $\cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + (b + L - D)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + (b + L)^2} \right.$ $\left. - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + (b + L + D)^2} \right)$
4	$E_{\tau 1} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}}$ $\cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} \right.$ $\left. - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$ $E_{\tau 2} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}}$ $\cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{3L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{3L}{2}\right)^2} \right.$ $\left. - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(b + \frac{3L}{2} + D\right)^2} \right)$

5	$E_{\tau 1} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}} \cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + \frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + \frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + \frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$ $E_{\tau 2} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}} \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{B}{2}\right)^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2} + D\right)^2} \right)$
6	$E_{\tau 1} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}} \cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + \frac{L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + \frac{L}{2} + D\right)^2} \right)$ $E_{\tau 2} = \frac{C * U * h}{\sqrt{3\pi\epsilon_0}} \cdot \left( \frac{1}{h^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2} - D\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2}\right)^2} - \frac{0,5}{h^2 + \left(a + b + \frac{3L}{2} + D\right)^2} \right)$

## 5. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Таблица 3

### Исходные данные

Напряжение, кВ	Марка трансформатора	Расстояние между трансформаторами $b$ , м	Мах ток, $I$ , А	Марка провода	Расстояние $a$ , м
110	ТДН 16000	6	265	АС-70	2,5

Марка трансформатора	Размеры, мм			Межфазное расстояние $D$ , м
	длина, $L$	ширина $B$	высота $H$	
ТДН 16000	5845	3570	5390	1,23

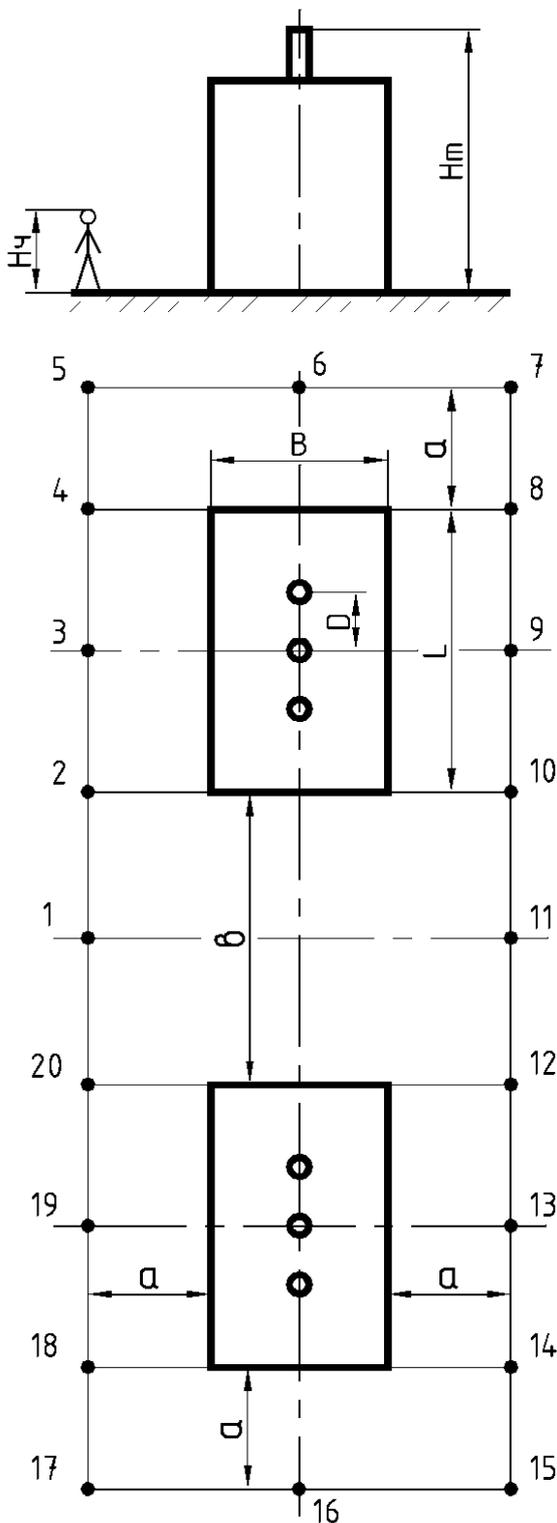
Провод АС-70  $d = 11,4 \text{ мм} = 0,0114 \text{ м}$  по табл.6  
 $b = 6 \text{ м}$  - расстояние между трансформаторами;

$a = 4$  м – расстояние от расчетной точки (место нахождения электромонтера обслуживающего ГПП) до силового трансформатора.

Высота от расчетной точки:

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

Расчетная структурная схема показана на рис.3.



**Рис. 6. Структурная схема расположения электрооборудования проектируемой подстанции**

Расчетная точка 1.

Емкость единицы длины проводника:

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

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

$$E_{\tau 1} = 86,8 \cdot \left( \frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(4 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(\frac{6}{2} + \frac{5,845}{2} - 1,23\right)^2}{0,5}} - \frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(4 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(\frac{6}{2} + \frac{5,845}{2}\right)^2}{0,5}} - \frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(4 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(\frac{6}{2} + \frac{5,845}{2} + 1,23\right)^2}{0,5}} \right) = 0,286 \frac{\text{кВ}}{\text{м}};$$

$$E_{\tau 2} = E_{\tau 1} = 0,286 \text{ кВ/м};$$

$$E_{\text{рТ1}} = 0,286 + 0,286 = 0,572 \text{ кВ/м}.$$

Расчетная точка 2

$$E_{\tau 1} = \frac{C \cdot U \cdot h}{\sqrt{3}\pi\varepsilon_0} \left( \frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(4 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(\frac{5,845}{2} - 1,23\right)^2}{0,5}} - \frac{1}{\frac{3,69^2 + \left(4 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(\frac{5,845}{2}\right)^2}{0,5}} - \frac{1}{\frac{3,6^2 + \left(4 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(\frac{5,845}{2} + 1,23\right)^2}{0,5}} \right) = 0,283 \frac{\text{кВ}}{\text{м}};$$

$$E_{r2} = \frac{C \cdot U \cdot h}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{3,69^2 + \left(4 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(6 + \frac{5,845}{2} - 1,23\right)^2} - \frac{1}{3,69^2 + \left(4 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(6 + \frac{5,845}{2}\right)^2} - \frac{1}{3,69^2 + \left(4 + \frac{3,57}{2}\right)^2 + \left(6 + \frac{5,845}{2} + 1,23\right)^2} \right) = 0,185 \frac{\text{кВ}}{\text{м}};$$

$$E_{рт1} = 0,283 + 0,185 = 0,468 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

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 таблице 4 и на рис. 4.

Емкостной ток, проходящий через тело человека рассчитан по формуле:

$$I_n = .$$

Результаты расчета емкостного тока, проходящего через человека в землю для различных расчетных точек, приведены в таблице 4.

**Таблица 4**

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

Расчетная точка	$E_{m1}$ , кВ/м	$E_{m2}$ , кВ/м	$E_{рт}$ , кВ/м	$I_n$ , мкА
1	0,286	0,286	0,572	6,86
2	0,283	0,185	0,468	5,61
3	0,057	0,113	0,170	2,04
4	0,283	0,070	0,352	4,23
5	0,253	0,039	0,292	3,50
6	0,638	0,047	0,685	8,22
7	0,253	0,039	0,292	3,50
8	0,283	0,070	0,352	4,23
9	0,057	0,113	0,170	2,04
10	0,283	0,185	0,468	5,61
11	0,286	0,283	0,568	6,82
12	0,283	0,185	0,468	5,61
13	0,057	0,113	0,170	2,04
14	0,283	0,070	0,352	4,23

15	0,253	0,039	0,292	3,50
16	0,638	0,047	0,685	8,22
17	0,253	0,039	0,292	3,50
18	0,283	0,070	0,35	4,23
19	0,057	0,113	0,170	2,04
20	0,283	0,185	0,468	5,61
ПДУ, кВ/м			5	50

Напряженность магнитного поля:

$$H = \gamma \cdot I = 0,0893 \cdot 265 = 23,7;$$

где  $\gamma = 0,0893$ ;

$I = 265$  А - рабочий ток проводника,

Результаты расчета напряженности магнитного поля на территории ГПП и величина ПДУ представлены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты расчета напряженности магнитного поля

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

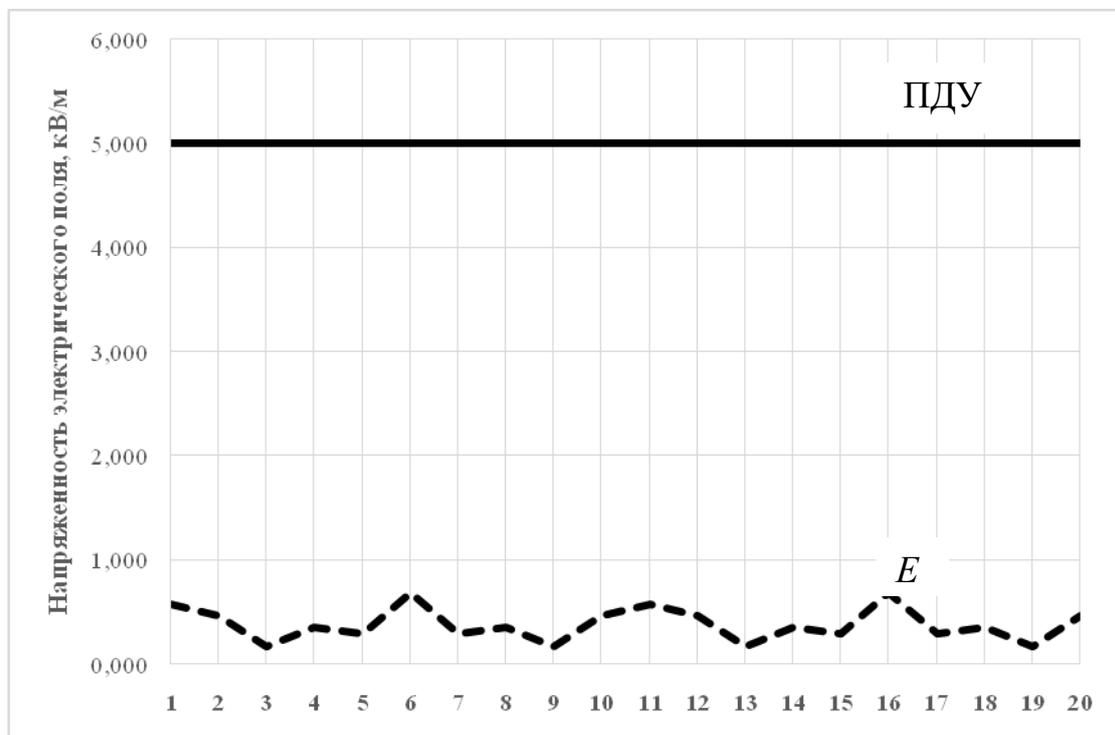


Рис. 7.

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 сетело);
- 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.

### 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Источники электромагнитного излучения промышленной частоты,
2. Характеристики электромагнитного излучения промышленной частоты,
3. Воздействие электромагнитных полей на человека.
4. Нормирование электромагнитных полей промышленной частоты.
5. Методы и средства защиты от электромагнитных излучений промышленной частоты.

### 7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»
2. Пальцев Ю. П., Походзей Л. В., Рубцова Н. Б., Перов С. Ю., Богачева Е. В. Проблема изучения влияния электромагнитных полей на здоровье человека. Итоги и перспективы // Медицина труда и промышленная экология. 2013. № 6. С. 35–40.
3. Правила устройства электроустановок.
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. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 357 с.
6. Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1983.- 168с.
7. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 488 с.
8. Справочник по проектированию электрических сетей, под ред. Д.Л.Файбисовича.-3-е изд., перераб. и доп.-М.: ЭНАС, 2009.-392 с



Таблица 6

## Варианты заданий

№	Напряжение, кВ	Марка Трансформатора	Мощность, МВА	Расстояние между трансформаторами b, м	Мах ток, I, А	Марка провода	Расстояние а, м
1	110	ТМН-6300/110	6,3	7	46	АС-70	2
2	110	ТДН-10000/110	10	9	68	АС-70	2,4
3	110	ТДН-16000/110	16	11	115	АС-70	3,0
4	110	ТРДН-25000/110	25	12	184	АС-95	3,1
5	110	ТРДН-32000/110	32	13	235	АС-120	2,7
6	110	ТДН-40000/110	40	11	294	АС-150	3,0
7	110	ТРДН-63000/110	63	13	463	АС-240	4,5
8	110	ТДТН-80000/110	80	16	588	АС-300	4,1
9	110	ТДЦ-125000/110	125	18	920	АС-500	
10	110	ТДЦ-200000/110	200	19	1471	АС-2x400	
11	110	ТДЦ-250000/110	250	20	1839	АС-2x500	
12	110	ТДЦ-400000/110	400	21	2943	АС-3x600	
13	220	ТРДН-32000/220	32	14	118	АС-240	
14	220	ТРДНС-40000/220	40	12	147	АС-240	
15	220	ТРДН-63000/220	63	14	232	АС-240	
16	220	ТРДН-80000/220	80	17	294	АС-240	
17	220	АТДТН-125000/220	125	19	460	АС-240	
18	220	ТДЦ-200000/220	200	20	736	АС-400	
19	220	ТДЦ-250000/220	250	21	920	АС-500	
20	220	ТДЦ-400000/220	400	22	1471	АС-2x400	
21	220	ТНЦ-630000/220	630	24	2317	АС-2x700	
22	330	ТРДНС-40000/330	40	13	98	АС-240	
23	330	ТРДЦН- 63000/330	63	16	154	АС-240	
24	330	ТДЦ-125000/330	125	20	307	АС-240	
25	330	ТДЦ-200000/330	200	21	490	АС-240	
26	330	ТДЦ-250000/330	250	22	613	АС-2x240	
27	330	ТДЦ-400000/330	400	23	981	АС-600	
28	330	ТЦ-630000/330	630	25	1545	АС-2x240	
29	330	ТНЦ-1000000/330	1000	26	2452	АС-3x400	
30	500	ТЦ-250000/500	250	23	405	АС-3x300	
31	500	ТЦ-400000/500	400	24	647	АС-3x300	
32	500	ТДЦ-630000/500	630	26	1020	АС-3x300	
33	500	ТНЦ-1000000/500	1000	27	1618	АС-3x300	

Таблица 7

## Сечение и диаметр провода АС

Сечение алюминий/сталь, мм <sup>2</sup>	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

Таблица 8

## 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-16000/110	5650	3600	5450	1,078
4	ТРДН-25000/110	5900	4350	5300	1,084
5	ТРДН-32000/110	6200	3776	6200	1,564
6	ТДН-40000/110	6500	4500	5700	1,277
7	ТРДН-63000/110	6730	4600	6700	1,234
8	ТДТН-80000/110	8300	4800	7050	1,453
9	ТДЦ-125000/110	7380	4900	6920	2,015
10	ТДЦ-200000/110	7930	5340	7300	2,125
11	ТДЦ-250000/110	8916	5088	8466	2,231
12	ТДЦ-400000/110	10800	5200	8800	2,234
13	ТРДН-32000/220	8420	5500	7850	2,235
14	ТРДНС-40000/220	7820	5200	7895	2,283
15	ТРДН-63000/220	7826	5388	8320	1,846
16	ТРДН-80000/220	8250	6316	8100	2,000
17	АТДТН-125000/220	10650	5326	7310	2,800
18	ТДЦ-200000/220	8500	5000	8350	2,000
19	ТДЦ-250000/220	8916	5088	8466	2,000
20	ТДЦ-400000/220	11080	5520	8880	2,800
21	ТНЦ-630000/220	13800	5300	8200	2,900
22	ТРДНС-40000/330	10100	4600	8000	2,295
23	ТРДЦН- 63000/330	11050	5400	8850	2,300
24	ТДЦ-125000/330	10500	5350	8700	2,400
25	ТДЦ-200000/330	10500	5250	9000	2,850
26	ТДЦ-250000/330	11150	5800	9100	2,970
27	ТДЦ-400000/330	11725	5660	9100	3,188
28	ТЦ-630000/330	12000	5185	9225	3,188
29	ТНЦ-1000000/330	14750	5450	8950	3,600
30	ТЦ-250000/500	11150	5350	9850	3,050
31	ТЦ-400000/500	11550	6200	9950	3,067
32	ТДЦ-630000/500	12200	4400	10450	3,100
33	ТНЦ-1000000/500	13250	5600	10250	3,800

Основными источниками электро и теплоэнергии в Нижегородской области являются Сормовская, Автозаводская, Дзержинская и Новогорьковская ТЭЦ, характеристики которых приведены в таблице 1.

*Таблица 1 –*

**Характеристики ТЭЦ Нижегородской области**

ТЭЦ	Установленная электрическая мощность, МВт	Топливо	Удельный расход условного топлива, г/квт час	Ввод в эксплуатацию, год
Сормовская	350	Газ – 40% мазут – 60%	384	1974
Автозаводская	580	Газ – 88% мазут – 12%	334	1931
Дзержинская	565	Газ – 80% мазут – 20%	544	1961
Новогорьковская (г.Кстово)	557	газ	317	1956