

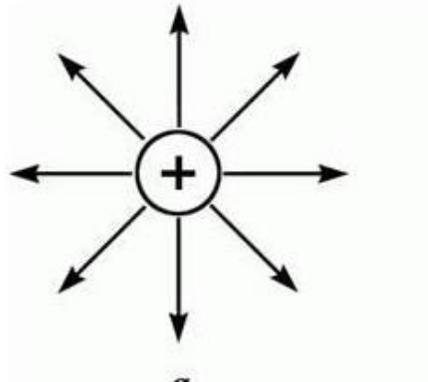
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

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

Кафедра «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника»

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ОРУ ПОДСТАНЦИЙ

Учебно-методическое пособие 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 электрического поля ОРУ подстанций: учебно-метод. пособие 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.: Маслеева О.В. и др. – Нижний Новгород, 2020. – 16 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. 18.06.2020. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага газетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1. Тираж 30 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, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	4
2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	4
2.1. Источники электромагнитного поля на ПС	4
2.2. Воздействие электромагнитного поля на человека	5
2.3. Нормирование электрического и магнитного поля.....	6
2.4. Методика расчета электрического поля на территории ОРУ	7
3. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ	8
4. ПРИМЕР РАСЧЕТА.....	10
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	16

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является:

- изучение источников электромагнитного поля в электроэнергетике;
- 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 поля на понизительной подстанции.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Электроэнергетика – это отрасль экономики РФ, включающая в себя процесс производства, преобразования, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Объектами электросетевого комплекса являются линии электропередачи (ЛЭП), электрические подстанции (ПС), распределительные пункты и иное оборудование, предназначенное для обеспечения электрических связей и осуществления передачи электрической энергии.

ПС предназначены для приема, преобразования и распределения электроэнергии и состоят из силовых трансформаторов, распределительных устройств, систем телемеханики, телеуправления и телесигнализации. ПС выполняются на напряжения 35, 110, 220 кВ и выше до 1150 кВ.

Основными отрицательными факторами влияния электросетевых объектов на окружающую среду являются отчуждение территории, изменение ландшафта, ограничение землепользования, вырубка лесов, электромагнитное излучение и шум от высоковольтного оборудования, возможные изменения состояния животного и растительного мира, воздействие на здоровье человека.

2.1. Источники электромагнитного поля на ПС

Основными источниками электромагнитного поля (ЭМП) промышленной частоты на ПС являются силовые трансформаторы, разъединители, выключатели, высоковольтные ЛЭП и ошиновка (рис. 1).

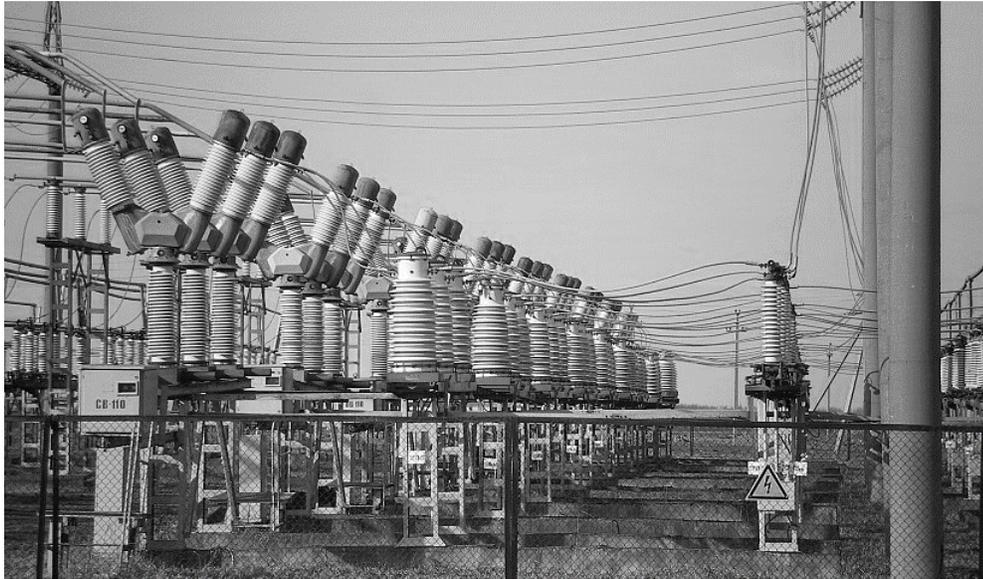


Рис. 1. Источники электромагнитного поля на открытом распределительном устройстве (ОРУ) ПС

2.2. Воздействие электромагнитного поля на человека

ЭМП наносит вред человеку и окружающей природной среде – этот факт подтвержден Всемирной организацией здравоохранения, министерствами здравоохранения всех развитых стран, многочисленными научными исследованиями.

Анализ исследований в области биологического воздействия ЭМП позволил 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.

При обследовании персонала, обслуживающего ПС напряжением 220, 330, 400 и 500 кВ, были отмечены изменения в здоровье. При напряжении 500 кВ у персонала жалобы носили неврологический характер (утомляемость, раздражительность, головная боль, снижение памяти и внимания, тремор век и пальцев рук), а также жалобы были на сердечно-сосудистую систему (тахикардия, артериальная гипертензия или гипотония, нарушение ритма и частоты сердечных сокращений, не резко выраженные изменения состава крови) и желудочно-кишечный тракт.

2.3. Нормирование электрического и магнитного поля

Воздействие 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.

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 осуществля-

ется 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 поля на территории ОРУ

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

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

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_i – расстояние от расчетной точки (РТ) до оси i -го блока линия-трансформатор, м;

D – расстояние между фазами, м.

Емкость единицы длины линии:

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

где d – диаметр провода, м.

Высота от расчетной точки до точки с максимальной напряженностью рассчитывают по формуле:

$$h = H - H_{\text{ч}}, \quad (4)$$

где H – высота подвеса провода, м;

$H_{\text{ч}} = 1,7$ м (высота человека).

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

$$I_h = kE, \quad (6)$$

где I_h – емкостной ток, мкА;

k – постоянный множитель ($k = 12$ Ф·м/с);

E – напряженность электрического поля, кВ/м.

3. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

Цель расчета – оценить напряженность электрического поля, действующего на оперативный персонал при обходе электрооборудования открытого распределительного устройства (ОРУ) ПС.

Расчет выполнить для двух вариантов – для минимальной высоты подвеса провода ($H_{\text{min}}=6$ м) и над дорогой ($H_{\text{max}}=11$ м). Расстояние между фазами $D=2,5$ м.

На рис. 2 изображен план и разрез ПС 110 кВ. На плане показаны начало координат, совпадающее с внешним ограждением, и направление оси X , на разрезе – расчетные минимальная и максимальная расстояния от ошиновки до земли.

На рис.2 имеются обозначения: B – расстояние между блоками линия – трансформатор, D – расстояние между проводами разных фаз.

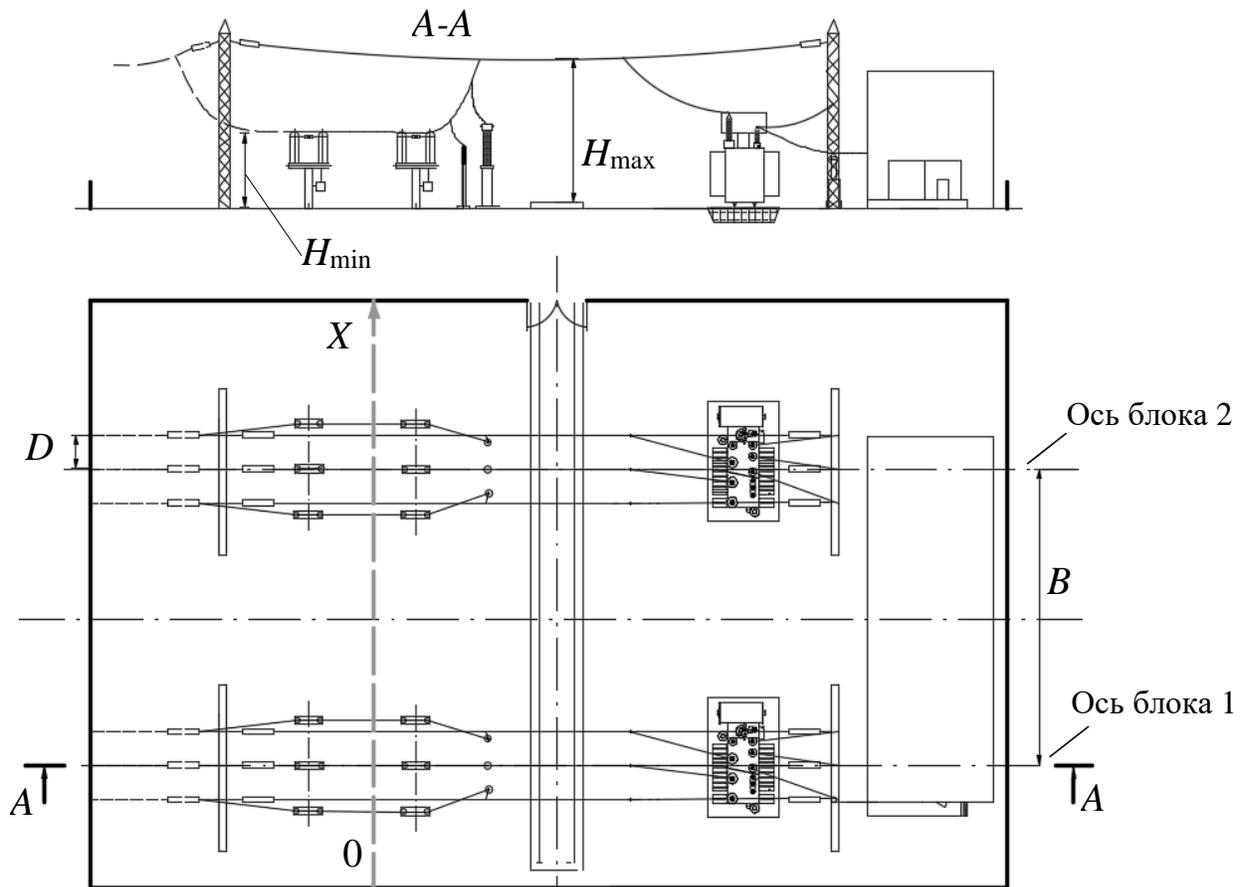


Рис.2. План и разрез ПС 110 кВ

Выполнить расчет напряженности электрического поля на ПС и емкостного тока, проходящий через тело человека, для заданного варианта (табл. 4).

Принять расстояние от оси блока до забора – 10 м.

Рассчитанные значения сравнить с допустимыми величинами и сделать вывод.

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- исходные данные;
- расчетные формулы;
- результаты расчетов, представленные в виде табл. 3;
- график изменения напряженности электрического поля по территории ОРУ ПС (рис. 3, 4);
- выводы.

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Таблица 2

Исходные данные

Напряжение U , кВ	110
Расстояние между осями блоков (B), м	15
Расстояние между фазами (D), м	2,5
Расстояние от оси блока до забора, м	10
Минимальная высота, м	6
Высота над дорогой, м	11
Марка провода	АС-70
Диаметр провода, мм	11,4

В точках с координатами 10 и 25 находятся оси блоков линия-трансформатор.

Высота расчетной точки для минимальной высоты подвеса:

$$h = H - H_{\text{ч}} = 6 - 1,7 = 4,3 \text{ м.}$$

Емкость единицы длины проводника:

$$C = \frac{24 \cdot 10^{-12}}{\lg\left(\frac{2 \cdot 2,5}{0,0114}\right)} = 9,08 \cdot 10^{-12},$$

РТ «0»: $x_1 = 10$ м, $x_2 = 25$ м.

(x_1 – расстояние от расчетной точки до оси блока 1; x_2 – расстояние от расчетной точки до оси блока 2).

$$E_1 = \frac{9,08 \cdot 10^{-12} \cdot 110 \cdot 4,3}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left[\frac{1}{4,3^2 + (10 - 2,5)^2} - \frac{0,5}{4,3^2 + 10^2} - \frac{0,5}{4,3^2 + (10 + 2,5)^2} \right] = 0,563 \text{ кВ/м,}$$

$$E_2 = \frac{9,08 \cdot 10^{-12} \cdot 110 \cdot 4,3}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left[\frac{1}{4,3^2 + (25 - 2,5)^2} - \frac{0,5}{4,3^2 + 25^2} - \frac{0,5}{4,3^2 + (25 + 2,5)^2} \right] = 0,043 \text{ кВ/м.}$$

Результирующая напряженность электрического поля для РТ «0»:

$$E_{\text{РТ}} = E_1 + E_2 = 0,563 + 0,043 = 0,606 \text{ кВ/м.}$$

РТ «1»: $x_1 = 9$ м, $x_2 = 24$ м.

$$E_1 = \frac{9,08 \cdot 10^{-12} \cdot 110 \cdot 4,3}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left[\frac{1}{4,3^2 + (9 - 2,5)^2} - \frac{0,5}{4,3^2 + 9^2} - \frac{0,5}{4,3^2 + (9 + 2,5)^2} \right] = 0,726 \text{ кВ/м,}$$

$$E_2 = \frac{9,08 \cdot 10^{-12} \cdot 110 \cdot 4,3}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left[\frac{1}{4,3^2 + (24 - 2,5)^2} - \frac{0,5}{4,3^2 + 24^2} - \frac{0,5}{4,3^2 + (24 + 2,5)^2} \right] = 0,049 \text{ кВ/м.}$$

Результирующая напряженность электрического поля для РТ «1»:

$$E_{\text{РТ}} = E_1 + E_2 = 0,726 + 0,049 = 0,775 \text{ кВ/м.}$$

Высота расчетной точки над дорогой:

$$h = H - H_{\text{ч}} = 11 - 1,7 = 9,3 \text{ м.}$$

РТ «0»: $x_1 = 10 \text{ м}$, $x_2 = 25 \text{ м}$.

$$E_1 = \frac{9,08 \cdot 10^{-12} \cdot 110 \cdot 9,3}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left[\frac{1}{9,3^2 + (10 - 2,5)^2} - \frac{0,5}{9,3^2 + 10^2} - \frac{0,5}{9,3^2 + (10 + 2,5)^2} \right] = 0,438 \text{ кВ/м,}$$

$$E_2 = \frac{9,08 \cdot 10^{-12} \cdot 110 \cdot 9,3}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left[\frac{1}{9,3^2 + (25 - 2,5)^2} - \frac{0,5}{9,3^2 + 25^2} - \frac{0,5}{9,3^2 + (25 + 2,5)^2} \right] = 0,076 \text{ кВ/м.}$$

Результирующая напряженность электрического поля для РТ «0»:

$$E_{\text{РТ}} = E_1 + E_2 = 0,438 + 0,076 = 0,513 \text{ кВ/м.}$$

РТ «1»: $x_1 = 9 \text{ м}$, $x_2 = 24 \text{ м}$.

$$E_1 = \frac{9,08 \cdot 10^{-12} \cdot 110 \cdot 9,3}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left[\frac{1}{9,3^2 + (9 - 2,5)^2} - \frac{0,5}{9,3^2 + 9^2} - \frac{0,5}{9,3^2 + (9 + 2,5)^2} \right] = 0,438 \text{ кВ/м,}$$

$$E_2 = \frac{9,08 \cdot 10^{-12} \cdot 110 \cdot 9,3}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left[\frac{1}{9,3^2 + (24 - 2,5)^2} - \frac{0,5}{9,3^2 + 24^2} - \frac{0,5}{9,3^2 + (24 + 2,5)^2} \right] = 0,076 \text{ кВ/м.}$$

Результирующая напряженность электрического поля для РТ «1»:

$$E_{\text{РТ}} = 0,438 + 0,076 = 0,513 \text{ кВ/м.}$$

Результаты расчета напряженности электрического поля ОРУ 110 кВ и величина ПДУ для рабочих мест приведены в табл.3 и на рис. 3 для минимальной высоты подвеса провода, на рис.4 – над дорогой.

Рассчитаем емкостной ток, проходящий через тело человека, при максимальной величине напряженности электрического поля.

$$E_{\max} = 2,72 \text{ кВ/м},$$

$$I_h = kE = 12 \cdot 2,72 = 32,64 \text{ мкА}.$$

Таблица 3

Результаты расчета напряженности электрического поля ОРУ 110

РТ	x_1 , м	Мини- мальная высота	Над до- рогой	x_2 , м	Мини- мальная высота	Над до- рогой	Мини- мальная высота	Над до- рогой
		E_1 , кВ/м	E_1 , кВ/м		E_2 , кВ/м	E_2 , кВ/м	$E_{рт}$, кВ/м	$E_{рт}$, кВ/м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10	0,563	0,438	25	0,043	0,076	0,606	0,513
1	9	0,726	0,483	24	0,049	0,084	0,775	0,566
2	8	0,945	0,522	23	0,055	0,093	1,000	0,616
3	7	1,234	0,551	22	0,063	0,104	1,297	0,655
4	6	1,595	0,560	21	0,072	0,116	1,667	0,676
5	5	1,987	0,540	20	0,083	0,130	2,070	0,671
6	4	2,278	0,485	19	0,097	0,147	2,375	0,631
7	3	2,227	0,388	18	0,113	0,165	2,340	0,554
8	2	1,629	0,255	17	0,133	0,187	1,762	0,442
9	1	0,563	0,095	16	0,159	0,212	0,721	0,306
10	0	-0,611	-0,075	15	0,190	0,240	-0,420	0,165
11	1	0,563	0,095	14	0,231	0,272	0,794	0,367
12	2	1,629	0,255	13	0,283	0,308	1,912	0,563
13	3	2,227	0,388	12	0,352	0,349	2,578	0,737
14	4	2,278	0,485	11	0,442	0,392	2,720	0,877
15	5	1,987	0,540	10	0,563	0,438	2,550	0,978
16	6	1,595	0,560	9	0,726	0,483	2,321	1,042
17	7	1,234	0,551	8	0,945	0,522	2,179	1,073
18	8	0,945	0,522	7	1,234	0,551	2,179	1,073
19	9	0,726	0,483	6	1,595	0,560	2,321	1,042
20	10	0,563	0,438	5	1,987	0,540	2,550	0,978
21	11	0,442	0,392	4	2,278	0,485	2,720	0,877
22	12	0,352	0,349	3	2,227	0,388	2,578	0,737
23	13	0,283	0,308	2	1,629	0,255	1,912	0,563
24	14	0,231	0,272	1	0,563	0,095	0,794	0,367
25	15	0,190	0,240	0	-0,611	-0,075	-0,420	0,165
26	16	0,159	0,212	1	0,563	0,095	0,721	0,306
27	17	0,133	0,187	2	1,629	0,255	1,762	0,442
28	18	0,113	0,165	3	2,227	0,388	2,340	0,554
29	19	0,097	0,147	4	2,278	0,485	2,375	0,631
30	20	0,083	0,130	5	1,987	0,540	2,070	0,671
31	21	0,072	0,116	6	1,595	0,560	1,667	0,676

1	2	3	4	5	6	7	8	9
32	22	0,063	0,104	7	1,234	0,551	1,297	0,655
33	23	0,055	0,093	8	0,945	0,522	1,000	0,616
34	24	0,049	0,084	9	0,726	0,483	0,775	0,566
35	25	0,043	0,076	10	0,563	0,438	0,606	0,513
ПДУ, кВ/м	5							

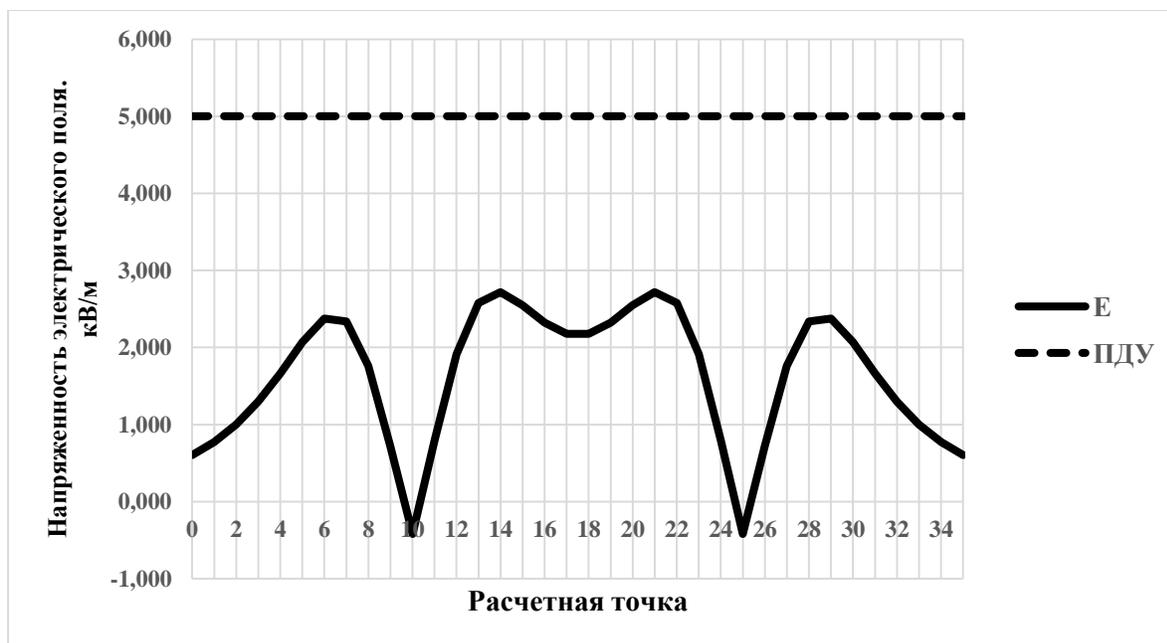


Рис. 3. Результаты расчета напряженности электрического поля для минимальной высоты подвеса

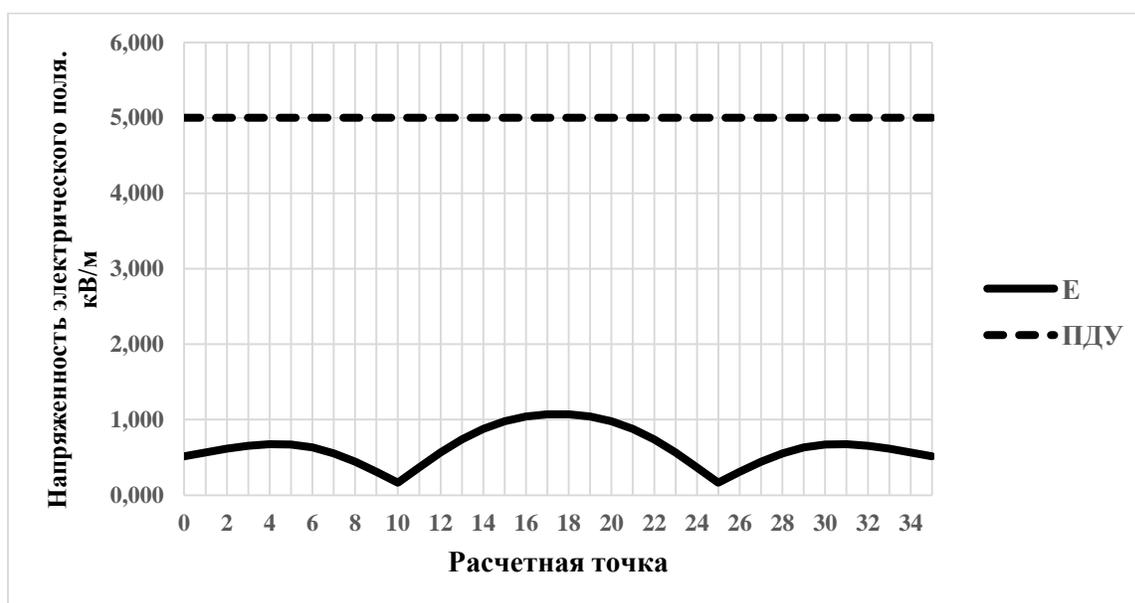


Рис. 4. Результаты расчета напряженности электрического поля над дорогой

График зависимости напряженности электрического поля от расстояния на территории ПС не имеет четко выраженной зависимости – а имеет 4 максимума и 2 минимума, что объясняется наложением полей, создаваемых ошиновкой разных фаз.

Проведенный расчет показывает, что минимальная величина напряженности электрического поля находится на оси блоков линия-трансформатор, а максимальная на расстоянии 4 м от оси.

Выводы:

- при напряжении 110 кВ напряженность электрического поля на всей территории ОРУ ПС не превышает ПДУ = 5 кВ/м, что обеспечивает безопасные условия труда.

- емкостной ток, проходящий через тело человека, при максимальной величине напряженности электрического поля не превышает допустимой величины в 50 мкА.

Таблица 4

Варианты заданий

№	Напряжение, кВ	Расстояние между блоками B , м	Марка провода	Диаметр провода, мм
1	110	7	АС-70	11,4
2	110	8	АС-70	11,4
3	110	9	АС-70	11,4
4	110	10	АС-70	11,4
5	110	11	АС-70	11,4
6	110	12	АС-70	11,4
7	110	13	АС-70	11,4
8	110	14	АС-70	11,4
9	110	15	АС-95	13,5
10	110	16	АС-95	13,5
11	110	17	АС-95	13,5
12	110	16	АС-120	15,2
13	110	17	АС-120	15,2
14	110	18	АС-120	15,2
15	110	18	АС-150	16,8
16	110	19	АС-150	16,8
17	110	20	АС-150	16,8
18	110	21	АС-185	18,9
19	110	22	АС-185	18,9
20	110	23	АС-185	18,9
21	110	22	АС-240	21,9
22	110	23	АС-240	21,9
23	110	24	АС-240	21,9
24	110	24	АС-300	24,0
25	110	25	АС-300	24,0
26	110	26	АС-300	24,0
27	110	23	АС-400	27,5
28	110	24	АС-400	27,5
29	110	25	АС-400	27,5
30	110	26	АС-400	27,5

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. Гигиена труда: учебник / Под ред. Н. Ф. Измерова, В. Ф. Кириллова. 2010. – 592 с.
3. Правила устройства электроустановок. – 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. Электробезопасность. Теория и практика: учеб. пособие для вузов / П. А. Долин [и др.], под ред. В.Т. Медведева. – М. : Издательский дом МЭИ, 2012. – 280 с.
7. **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.