

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

профессионального образования

"МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

СОГЛАСОВАНО:

Выпускающей кафедрой
«Электрификация и электроснабжение»
Зав. кафедрой _____ В.А. Бугреев
(подпись, Ф.И.О.)
« ____ » _____ 20 ____ г.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор - директор Российской -
открытой академии транспорта
_____ В.И. Апатцев
(подпись, Ф.И.О.)
« ____ » _____ 20 ____ г.

Кафедра: «Электрификация и электроснабжение»
(название кафедры)

Авторы:

(ф.и.о., ученая степень, ученое звание)

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Специзмерения в системах электроснабжения»

Направление/специальность: **23.05.05 (190901.65) Системы обеспечения движения поездов**

(код, наименование специальности /направления)

Профиль/специализация: **«Электроснабжение железных дорог» (СЭ)**

Квалификация (степень) выпускника: **специалист**

Форма обучения: **заочная**

Одобрена на заседании Учебно-методической комиссии РОАТ Протокол № _____ « ____ » _____ 20 ____ г Председатель УМК _____ С.Н.Климов (подпись, Ф.И.О.)	Одобрена на заседании кафедры «Электрификация и электроснабжение» Протокол № _____ « ____ » _____ 20 ____ г. Зав. кафедрой _____ В.А. Бугреев (подпись, Ф.И.О.)
--	--

Москва 2015 г.

ТЕМА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ
«СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА»

ЗАДАЧА № 1

РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО И НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ
ТРЕХФАЗНОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ

Для трехфазной линии Системы внешнего электроснабжения (СВЭ) тяговой подстанции переменного тока:

1. Рассчитать напряженность электрического поля в плоскости, перпендикулярной ЛЭП, на различном расстоянии от ее оси (от средней фазы) под опорой и в середине пролета на уровне головы человека ($h = 1,8$ м);
2. Построить кривые зависимости напряженности электрического поля от удаления от оси ЛЭП по результатам расчета в пункте 1;
3. Приняв за допустимое значение напряженности электрического поля $E = 5$ кВ/м, определить безопасную зону длительного нахождения работника тяговой подстанции вблизи линии СВЭ.

Исходные данные:

№	Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Напряжение линейное, кВ	220	225	230	215	210	230	210	220	225	210
2.	Расстояние между осями фаз Д, м	8,5	9	9,5	8	7,5	7	6,5	10	10,5	11
3.	Радиус провода r_0 , мм	7,6	9,4	10,8	6,5	5,5	7,2	5,9	11,2	13,0	12,0
4.	Количество проводов в фазе n, шт.	3	3	3	2	2	2	2	4	4	4
5.	Радиус расщепленной фазы r_p , м	0,25	0,25	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
6.	Высота подвески провода под опорой, Н м	21	21,5	22	19	19,5	20	20,5	22,5	23	23,5
7.	Габарит линии в середине пролета, м	8	8,5	9	6	7	7,5	7,5	9	9,5	10

номер варианта по пунктам 1,3 и 4 соответствует последней цифре шифра или студента, по пунктам 5 и 6 – предпоследней цифре, по пункту 7 – третьей цифре от конца обозначающей сотни.

Методические указания для решения задачи №1

Потенциал электрического поля, создаваемого трехфазной линией с конкретным расположением фазовых проводов, в произвольной точке М с координатами x, y , определяется выражением [1]:

$$\varphi_M = \frac{U_\phi}{a_{11} - a_{12}} \left[\begin{array}{l} -\ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}}{\sqrt{(H-y)^2 + (D+x)^2}} + (0,5 + j0,87) \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + x^2}}{\sqrt{(H-y)^2 + x^2}} + \\ + (0,5 - j0,87) \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}}{\sqrt{(H-y)^2 + (D+x)^2}} \end{array} \right] \quad (1)$$

где D – межфазовое расстояние; H – высота подвески проводов; U_ϕ – фазовое напряжение линии; a_{11}, a_{12} – потенциальные коэффициенты, определяемые по формулам

$$a_{11} = \frac{2H}{r_0} \quad (2)$$

где r_0 - радиус провода.

$$a_{12} = \ln\left(\frac{\sqrt{(2H)^2 + (D)^2}}{D}\right) \quad (3)$$

Если продифференцируем φ_m по x , то получим выражение для горизонтальной составляющей напряженности электрического поля, то есть $E_x = -d\varphi_m / dx$, аналогично, вертикальная составляющая напряженности будет равна $E_y = -d\varphi_m / dy$. Тогда модуль напряженности электрического поля в точке М определится выражением $E_m = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$.

На работника тяговой подстанции, находящегося перпендикулярно проводам, действует вертикальная составляющая E_y , (ток, протекающий через человека, создается именно этой составляющей), поэтому необходимо найти только E_y .

Из курса высшей математики известно $\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln a - \ln b$. Производная от логарифма равна $(\ln a)' = \frac{a'}{a}$. Поэтому производная будет равна:

$$\ln \sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2} = \frac{2(H+y)}{2\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2} \sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}} = \frac{(H+y)}{(H+y)^2 + (D+x)^2} \quad (4)$$

После нахождения производных от всех составляющих квадратной скобки формулы (1), получается (опуская знак минус):

$$E_y = \frac{d\varphi_m}{dy} = \frac{U_\phi}{a_{11} - a_{12}} \left[\begin{array}{l} - \left[\frac{H+y}{(H+y)^2 + (D+x)^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + (D+x)^2} \right] + \\ (0,5 + j0,87) \left[\frac{H+y}{(H+y)^2 + x^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + x^2} \right] + \\ (0,5 - j0,87) \left[\frac{H+y}{(H+y)^2 + (D-x)^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + (D-x)^2} \right] \end{array} \right] \quad (5)$$

Пример расчета: Вычислить напряженность электрического поля линии 220 кВ, построить график напряженности поля в поперечном сечении линии на высоте 1,8 м (рост человека) от поверхности земли при высоте

подвески проводов у опоры $H_1 = 22$ м и для середины пролета (габарит проводов), где $H_2 = 8$ м. После построения графика напряженности в указанных точках определить безопасную зону для человека, исходя из допустимого значения напряженности $E_{доп} = 5$ кВ /м.

Исходные данные: $U_n = 220$ кВ, $U_\phi = 127$ кВ; расстояние между фазами $D = 12$ м, $H_1 = 22$ м, $H_2 = 8$ м, $y = 1,8 \approx 2$ м; радиус провода АС-240 $r_0 = 10,8$ мм; количество проводов в расщепленной фазе $n = 3$, ее радиус $r_p = 0,23$ м

После подстановки найденных значений в формулу (4), получим выражение:

$$E_y = \frac{127}{5,82 - 1,14} \left[\begin{aligned} & - \left[\frac{24}{24^2 + (12+x)^2} + \frac{20}{20^2 + (12+x)^2} \right] + \\ & (0,5 + j0,87) \left[\frac{24}{24^2 + x^2} + \frac{20}{20^2 + x^2} \right] + \\ & (0,5 - j0,87) \left[\frac{24}{24^2 + (12-x)^2} + \frac{20}{20^2 + (12-x)^2} \right] \end{aligned} \right].$$

Задавая значения x , определяем соответствующие им значения модуля E_y , кВ/м, результаты сводим в таблицу:

Таблица 1

$x, м$	0	1	2	5	8	10	12	15	17	20	25	30
E_y при $H_1=22м$	1,4	1,6	1,4	1,8	2,1	2,5	2,7	2,9	2,9	2,7	2,3	2,0
E_y при $H_2=8м$	12,8	12,3	9,7	7,8	9,4	12,8	14,4	12,5	9,7	6,3	3,2	1,9

По данным табл. 1 строим графики зависимости E_y от x для $H_1 = 22$ м и $H_2 = 8$ (рис. 1).

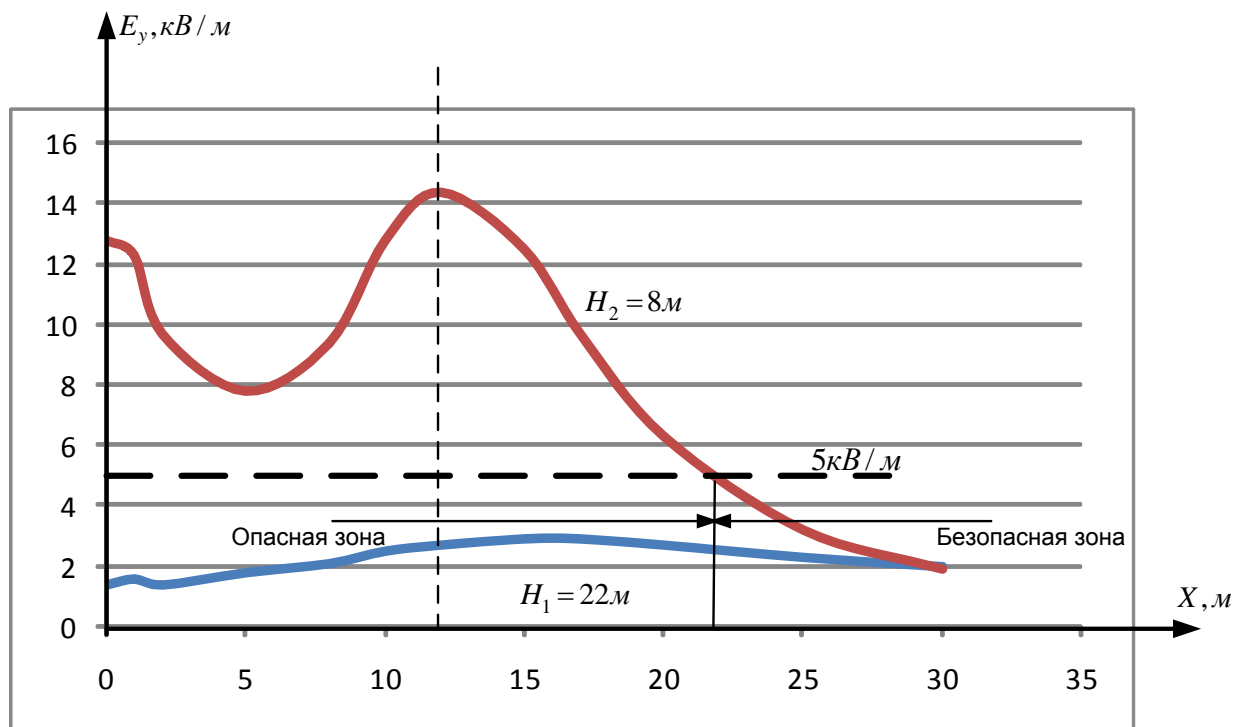


Рис. 1. Зависимость напряженности электрического поля под проводами ЛЭП

Проведя на этом рисунке горизонталь на уровне 5 кВ/м (допустимое значение напряженности поля), определяем безопасную зону для людей. Безопасная зона при $H_2 = 8$ находится на расстоянии 10 м от крайней фазы. Под опорой ($H_1 = 22$ м) опасная зона отсутствует, так как вся кривая E_y лежит ниже 5 кВ/м.

ЗАДАЧА № 2

РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО И НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1. Рассчитать для заданного варианта эквивалентный радиус контактной сети r_3 и высоту подвески h_3 .

2. Для двухпутного участка рассчитать напряженность электрического поля E_y на уровне головы человека ($h = 1,8$ м), стоящего на пути на разном расстоянии от оси первого пути.

3. Для этого же участка рассчитать E_y на уровне подвески к.п. h_K для разного расстояния от оси первого пути.

4. Произвести такие же расчеты E_y для $h = 1,8$ и $h = h_K$, для однопутного участка, при условии, что второй путь отсутствует.

5. По результатам расчета построить кривые зависимости E_y от x для всех четырех случаев.

6. Сравнив максимальное расчетное значение E_y под контактным проводом на высоте $h_K = 6,24$ м на однопутном и двухпутном участке с допустимой нормой напряженности электрического поля 5 кВ/м, сделать вывод о возможности длительной работы людей под напряжением с изолированной вышки.

Исходные данные:

№	Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Напряжение контактной сети, кВ.	25	26	27	28	29	30	29	28	27	26
2.	Высота подвеса к.п., h_k , м.	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,1	6,0	5,9	5,8
3.	Радиусы к.п. (числитель) и н.т. (знаменатель), мм.	$\frac{5,6}{6,0}$	$\frac{5,8}{6,2}$	$\frac{6,0}{6,0}$	$\frac{6,2}{6,0}$	$\frac{6,0}{5,8}$	$\frac{5,8}{6,0}$	$\frac{5,6}{5,6}$	$\frac{5,4}{5,8}$	$\frac{6,0}{6,2}$	$\frac{5,6}{6,0}$
4.	Среднее расстояние между к.п. и н.т., $a_{кт}$, м	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
5.	Расстояние между осями путей d , м	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,0	5,0	4,8	4,6	4,4

Номер варианта по пункту 1 соответствует последней цифре шифра студента, по пункту 2 – предпоследней цифре, по пункту 4 – третьей цифре от конца, по пунктам 3 и 5 – последней цифре.

Методические указания для решения задачи №2

Пример расчета: Цепная подвеска на дорогах переменного тока, как правило, состоит из троса ПБСМ-95 и провода МФ-100; примем, что их радиусы одинаковы: $r_T = r_{пр} = 0,0056$ м. Заменим цепную подвеску одним эквивалентным проводом $r_э = 0,095$ м; при расстоянии между тросом и проводом $a_{КТ} = 1,6$ м высота подвеса эквивалентного провода будет равна $h_э = h_k + a_{КТ}/2$, или $h_э = 6,25 + 1,6/2 = 7,05$ м ($h_k = 6,25$ м – габарит контактного провода на перегоне). По аналогии с задачей 1 потенциал в точке М (рис. 2, а), наведенный электрическим полем эквивалентного контактного провода, будет равен:

$$\varphi_M = \varphi \frac{\ln(b_{1M} / a_{1M})}{\ln(2h_э / r_э)} \quad (6)$$

где $\varphi = U_K = 27,5$ кВ,

$$b_{1M} = \sqrt{(h_3 + y)^2 + x^2}, \quad a_{1M} = \sqrt{(h_3 - y)^2 + x^2}. \quad (7)$$

С учетом формул (7) выражение (6) представим в виде:

$$\varphi_M = \frac{U_K}{p} \ln \frac{\sqrt{(h_3 + y)^2 + x^2}}{\sqrt{(h_3 - y)^2 + x^2}}. \quad (8)$$

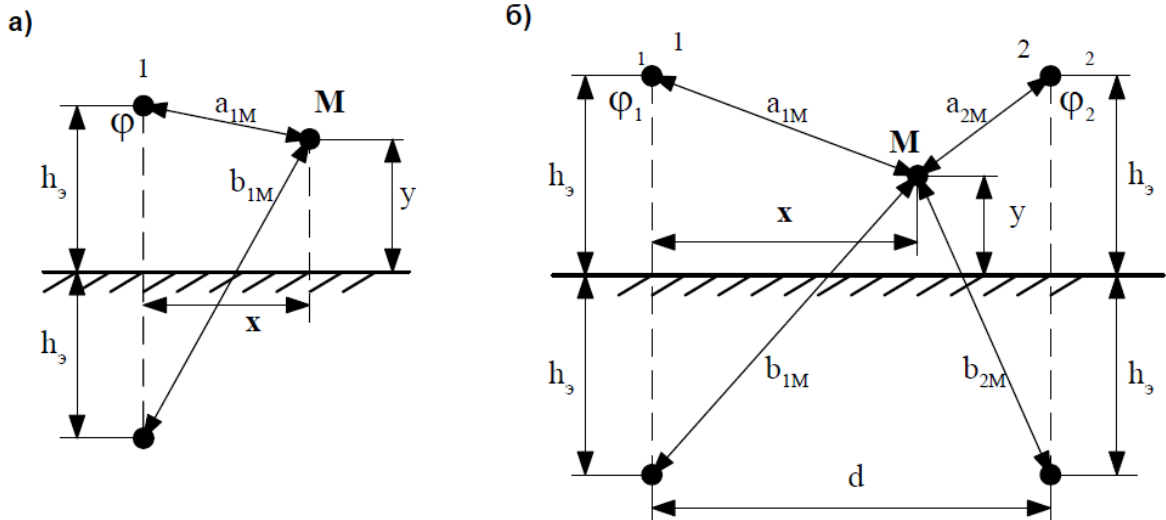


Рис. 2. Расчетные схемы для определения E_y : а) для однопутного участка, б) для двухпутного участка

Вертикальную составляющую напряженности электрического поля в произвольной точке М с координатами x, y найдем, продифференцировав выражение (7):

$$E_y = \frac{d\varphi_M}{dy} = \frac{U_K}{p} \left[\frac{h_3 + y}{(h_3 + y)^2 + x^2} + \frac{h_3 - y}{(h_3 - y)^2 + x^2} \right]. \quad (9)$$

Рассчитаем напряженность поля на уровне головы человека, стоящего на земле ($y = 1,8$ м), и на уровне головы человека, работающего под напряжением с изолированной вышки (т.е. на поверхности контактного провода, $y = h_K - r_K = 6,25 - 0,0056 = 6,24$ м).

Тогда для $y = 1,8$ выражение E_y получит вид:

$$E_y = 5,5 \left[\frac{8,85}{8,85^2 + x^2} + \frac{5,25}{5,25^2 + x^2} \right]. \quad (10)$$

Задавая разные значения x , находим по формуле (9) соответствующие значения E_y , кВ/м, результаты представлены в табл. 2

Для $y = 6,24$ м расчетная формула имеет вид

$$E_y = 5,5 \left[\frac{13,29}{13,29^2 + x^2} + \frac{0,81}{0,81^2 + x^2} \right]. \quad (11)$$

Задаваясь различными значениями x , определяем соответствующие значения E_y , результаты заносим в табл. 2. Кривые зависимости E от x для однопутного участка изображаются аналогично задаче номер 1.

Таблица 2

Напряженность E_y , кВ/м	Расстояние x , м										
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3	4	5	6	8
Однопутный участок, $y=1,8$ м	1,7		1,6		1,5		1,3		1,0		0,6
Однопутный участок, $y=6,24$ м	7,2	5,4	3,1	1,9	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3
Двухпутный участок, $y=1,8$ м	2,2		2,3			2,3		2,3	2,2	2,0	1,6
Двухпутный участок, $y=6,24$ м	6,3	4,8	3,1	2,2	1,8	1,7	1,8	3,1	6,3	2,9	1,0

Допустимое значение напряженности электрического поля, при котором человек может длительно работать, составляет 5 кВ/м. При работе под напряжением на изолирующей вышке эксплуатационный персонал контактной сети подвергается воздействию напряженности электрического поля выше допустимого значения. Следовательно, время работы людей под напряжением с изолирующей вышки должно быть ограничено в соответствии с санитарными нормами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадер М.П. и др. Электромагнитная совместимость. – М.: МИИТ, 2002.
2. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1982.
3. Справочник по электроснабжению железных дорог / Под ред. К.Г. Марквардта. – Т. 1. – М.: Транспорт, 1980.
4. Михайлов М. И. и др. Защита контактной сети от опасных и мешающих влияний. – М.: Транспорт, 2000.