

УО«Гродненский государственный электротехнический
колледж имени Ивана Счастливого»

**Методические указания и задания для
домашней контрольной работы**

Учебный предмет «Т е х н и к а в ы с о к и х
н а п р я ж е н и й»

Специальность 5-04-0712-08 «*Электроснабжение*»

Методические указания предназначены для обучающихся заочной формы обучения специальности 5-04-0712-08 «Электроснабжение». Указания разработаны в соответствии с учебной программой по учебному предмету «Техника высоких напряжений», содержат требования к контрольной работе, её структуру и задания.

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой комиссии преподавателей учебных предметов в области электротехники и энергетики

Протокол N____ от « ____» _____ 2025г.

Председатель цикловой комиссии _____ И. А. Юшкевич

ВВЕДЕНИЕ

Домашние контрольные работы проводятся с целью руководства самостоятельной работой учащихся и текущего контроля за их работой над учебным материалом в период между установочной и экзаменационными сессиями.

Выполненные домашние контрольные работы высылаются учащимися, курсантами в учреждение образования для рецензирования в сроки, установленные учебным графиком, который утверждается руководителем учреждения образования.

Рецензирование домашней контрольной работы проводится преподавателем соответствующего учебного предмета в течение 7(семи) дней со дня ее поступления в учреждение образования.

Рецензирование домашней контрольной работы включает ее проверку и составление рецензии.

На рецензирование одной домашней контрольной работы отводится 35 минут.

Результаты выполнения домашней контрольной работы оцениваются отметками «зачтено», «не зачтено», которые вносятся в журнал учета домашних контрольных работ и курсовых проектов (курсовых работ). В книжке успеваемости учащегося запись не делается. Домашняя контрольная работа с рецензией и выставленной отметкой возвращается учащемуся, курсанту.

Домашние контрольные работы, которые оценены отметкой «не зачтено», подлежат повторному рецензированию. Повторно выполненная домашняя контрольная работа должна направляться на рецензирование преподавателю, который ранее проверял эту работу. Рецензирование повторно выполненной домашней контрольной работы осуществляется в установленном порядке.

Домашняя контрольная работа, выполненная после установленного учебным графиком срока ее сдачи, принимается на рецензирование с разрешения заведующего заочным отделением учреждения образования.

Домашние контрольные работы, которые оценены отметкой «зачтено» и в которых устранены недостатки и ошибки, отмеченные при их рецензировании, предъявляются учащимися, курсантами преподавателю до начала экзамена или выполнения обязательной контрольной работы по учебному предмету.

После сдачи экзамена или выполнения обязательной контрольной работы по учебному предмету домашние контрольные работы учащихся, курсантов передаются преподавателем заведующему заочным отделением по акту и хранятся в учреждении образования в течение одного года, после чего уничтожаются в установленном порядке.

Требования к выполнению контрольной работы:

1. Контрольная работа выполняется в тетради объемом 12 листов или на листах формата А4.
2. На титульном листе обязательно указывается наименование специальности, предмета, номер группы, домашний адрес, фамилия, имя и отчество учащегося.
3. Контрольную работу необходимо выполнять строго в соответствии с вариантом учащегося. Номер варианта соответствует двум последним цифрам шифра учащегося.
4. В тетради для контрольной работы все страницы должны быть пронумерованы.
5. Обязательно оставлять в конце тетради одну страницу для рецензии.
6. На первом листе необходимо указывать содержание контрольной работы.
7. Каждый вопрос контрольной работы начинается с новой страницы.
8. На каждой странице оставляются поля не менее 15 мм.

9. Текст записывается четко и аккуратно, без помарок.
10. Контрольная работа, выполненная небрежно, неразборчивым почерком, либо не соответствующая варианту учащегося, возвращается без проверки с указанием причин.
11. Схемы должны быть вычерчены карандашом с соблюдением требований ГОСТ или выполняются на листах формата А4 при использовании программ AutoCAD, CorelDRAW и др. (в этом случае вся работа должна быть выполнена на листах формата А4).
12. Контрольная работа должна иметь список используемой литературы (не менее трёх источников), дату и подпись учащегося.
13. Контрольная работа сдаётся не позднее, чем за две недели перед началом сессии или в соответствии с графиком.
14. По результатам выполнения домашней контрольной работы выставляется **«зачтено»** или **«не зачтено»**. Отметка **«незачтено»** выставляется, если:
 - домашняя контрольная работа выполнена не в полном объеме, т.е. освещены не все вопросы варианта учащегося,
 - вопросы раскрыты поверхностно, не сделаны выводы,
 - имеются грубые ошибки в освещении теоретических вопросов,
 - неверно решены задачи (неправильная методика решения, либо неправильные расчеты).
 - использован лишь один литературный источник для освещения всех вопросов контрольной работы,
 - не выдержан объем работы (менее 50% от требуемого объема),
 - отдельные вопросы контрольной работы не соответствуют варианту,
 - контрольная работа со всей очевидностью выполнена самостоятельно.
15. Незачтённая контрольная работа возвращается на доработку вместе с первоначальной работой и замечаниями рецензента.
16. После получения проверенной работы учащийся должен изучить рецензию, обратить внимание на допущенные ошибки, доработать материал.
17. Исправление ошибок в отрецензированном тексте не допускается. Доработку контрольной работы необходимо выполнять после рецензии, озаглавив ее «Работа над ошибками».
18. Работа, выполненная по чужому варианту, не рецензируется и возвращается на переработку.

Структура домашней контрольной работы:

- ☐ титульный лист;
- ☐ содержание;
- ☐ основная часть;
- ☐ список литературы.

Дайте ответы на вопросы в соответствии с таблицей 1 вариантов заданий, которые следует иллюстрировать рисунками, схемами, эскизами.

Номер варианта данного контрольного задания определяется по двум последним цифрам шифра учащегося.

Таблица 1
Варианты теоретических вопросов ДКР

		Последняя цифра шифра									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Продолжайте	0	01, 25	02, 26	03, 27	04, 28	05, 29	06, 30	07, 31	08, 32,	09, 33	10,34
	1	11, 35,	12, 36	13, 37	14, 38	15, 39	16, 40	17, 41	18, 42	19, 43	20,44
	2	21, 45	22, 46	23, 47	24, 48	25, 49	26, 50	27, 01	28, 02	29, 03	30,04
	3	31, 05	32, 06	33, 07	34, 08	35, 09	36, 10	37, 11	38, 12	39, 13	40,14
	4	41, 15	42, 16	43, 17	44, 18	45, 19	46, 20	47, 21	48, 22	49, 23	50,24
	5	01, 25	0, 26	03, 27	04, 28	05, 29	06, 30	07, 31	08, 32	09, 33	10,34
	6	11, 35	12, 36	13, 37	14, 38	15, 39	16, 40	17, 41	18, 42	19, 43	20,44
	7	21, 45	22, 46	23, 47	24, 48	25, 49	26, 50	27, 01	28, 02	29, 03	30,04
	8	31, 05	32, 06	33, 07	34, 08	35, 09	36, 10	37, 11	38, 12	39, 13	40,14
	9	41, 15	42, 16	43, 17	44, 18	45, 19	46, 20	47, 21	48, 22	49, 23	50,24

ЗАДАНИЕ № 2

Выполнить расчет молниезащиты в соответствии с данными вариантов заданий, приведенными в таблице 2. Для заданных исходных данных необходимо:

- определить параметры зон молниезащиты и изобразить их;
- определить габаритные размеры защищаемого объекта;
- определить возможную поражаемость объекта.

Номер варианта данного контрольного задания определяется числом из двух последних цифр шифра учащегося. Если это число более 50-ти, то для определения номера варианта из него надлежит вычесть 50. Таким образом, если последние две цифры шифра составляют число 72, то учащийся выполняет вариант 22, так как $72 - 50 = 22$.

Таблица 2
Варианты расчётного задания для ДКР

Вариант	Тип м/з	Зона	h_x , м	B , м	h_1 , м	h_2 , м	L , м	a , м	t_{cp} , ч/год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1С	А	20	15	40	–	–	–	110
2	2С	Б	20	20	50	50	50	–	100

3	2С	А	20	20	30	50	40	–	20
4	1Т	Б	15	–	32	–	40	–	30
5	2Т	А	15	–	32	32	20	40	40
6	2Т	Б	15	–	32	22	25	30	90
7	1С	Б	20	15	40	–	–	–	80
8	2С	А	10	12	30	30	45	–	50
9	2С	А	10	12	45	25	50	–	60
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	1Т	А	8	–	22	–	30	–	70
11	2Т	Б	8	–	22	27	30	45	110
12	2Т	Б	8	–	17	17	30	35	70
13	1С	А	12	10	35	–	–	–	100
14	2С	Б	15	15	50	50	35	–	60
15	2С	Б	15	15	50	40	40	–	20
16	1Т	А	16	–	27	–	40	–	50
17	2Т	А	12	–	22	27	35	20	30
18	2Т	Б	12	–	27	27	35	25	80
19	1С	А	25	30	60	–	–	–	40
20	2С	Б	16	20	50	50	40	–	90
21	2С	Б	16	20	50	40	50	–	90
22	1Т	А	12	–	27	–	30	–	40
23	2Т	Б	8	–	17	22	25	30	80
24	2Т	Б	8	–	27	27	25	20	30
25	1С	А	15	20	50	–	–	–	50
26	2С	Б	16	12	40	40	50	–	20
27	2С	Б	12	16	40	30	50	–	60
28	1Т	А	16	–	27	–	60	–	100
29	2Т	А	10	–	20	30	30	20	80
30	2Т	А	10	–	22	22	25	40	90
31	1С	Б	20	20	50	–	–	–	15
32	2С	А	20	22	50	50	40	–	80
33	2С	А	20	15	30	20	40	–	110
34	1Т	Б	8	–	20	–	50	–	80
35	2Т	А	15	–	30	30	40	20	20
36	2Т	А	15	–	30	20	20	10	70
37	1С	А	25	20	50	–	–	–	25
38	2С	А	10	15	30	30	30	–	10
39	2С	А	10	12	10	20	30	–	40
40	1Т	Б	12	–	20	–	50	–	60
41	2Т	Б	10	–	25	25	30	20	90
42	2Т	А	10	–	15	25	20	15	90
43	1С	Б	15	10	35	–	–	–	70
44	2С	А	30	30	40	40	30	–	30
45	2С	Б	30	25	40	30	50	–	50
46	1Т	Б	15	–	30	–	60	–	20
47	2Т	А	10	–	20	20	30	15	110
48	2Т	Б	10	–	25	15	20	15	110
49	1С	Б	12	15	40	–	–	–	90
50	2С	Б	20	16	40	40	50	–	40

Примечание.

L – расстояние между двумя стрелневыми молниеотводами (для типа м/з 2С) или расстояние между опорами тросового молниеотвода (для м/з типа Т);

a – длина Пролета между опорами троса (для м/з типа 2Т);

h_1, h_2 – высота опор (для м/з типа Т);

1С – одиночная стержневая м/з;

2С – двойная стержневая м/з;

1Т – одиночная тросовая м/з;

2Т – двойная тросовая м/з.

ВОПРОСЫ К ДОМАШНЕЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

1. Поясните цели и задачи техники высоких напряжений и охарактеризуйте их.
2. Опишите, как осуществляется развитие молнии, и укажите её характеристики.
3. Опишите физические свойства молнии.
4. Дайте характеристику шаровой молнии. Опишите возникновение и природу шаровой молнии.
5. Опишите, как происходит образование грозовых облаков. Приведите пример схемы разделения зарядов в облаках.
6. Опишите, как происходит ионизация воздуха, образование стримеров и образуется лидер
7. Опишите развитие грозового разряда и его избирательность.
8. Поясните сущность понятия молниезащита. Опишите устройство и принцип действия молниеотводов.
9. Охарактеризуйте зону защиты молниеотводов и объясните методику её расчёта.
10. Поясните классификацию перенапряжений и охарактеризуйте грозовые перенапряжения.
11. Поясните классификацию перенапряжений и охарактеризуйте коммутационные перенапряжения.
12. Поясните классификацию перенапряжений и охарактеризуйте квазистационарные и стационарные перенапряжения.
13. Опишите, как осуществляется грозозащита ЛЭП, приведите пример схемы защиты и опишите её.
14. Опишите, как осуществляется грозозащита ПС, приведите пример схемы защиты и опишите её.
15. Поясните средства защиты от перенапряжений и охарактеризуйте их.
16. Опишите устройство и принцип действия разрядников.
17. Поясните классификацию вентильных разрядников, их марки и характеристики.
18. Поясните назначение и типы изоляторов. Опишите основные характеристики изоляторов.
19. Опишите, как выбирают изоляторы в зависимости от степени загрязнения атмосферы.
20. Опишите устройство и принцип действия ограничителей перенапряжений.
21. Поясните волновые процессы в ЛЭП и охарактеризуйте их.
22. Поясните волновые процессы в трансформаторах. Опишите, как происходит начальное распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора.
23. Поясните волновые процессы в трансформаторах. Опишите, как происходит переходной процесс в обмотках трансформатора.
24. Поясните волновые процессы в трансформаторах. Опишите, как происходит распределение напряжения вдоль обмоток трёхфазного трансформатора при соединении их в звезду.
25. Поясните волновые процессы в трансформаторах. Опишите, как происходит распределение напряжения вдоль обмоток трёхфазного трансформатора при соединении их в треугольник.
26. Охарактеризуйте перенапряжения при отключении нагруженных ЛЭП.
27. Охарактеризуйте перенапряжения при отключении батарей конденсаторов.
28. Охарактеризуйте линейные изоляторы.
29. Охарактеризуйте стационарно-аппаратные изоляторы.
30. Поясните назначение высоковольтных конденсаторов и опишите устройство их изоляции.
31. Поясните назначение высоковольтных конденсаторов и опишите устройство их изоляции.
32. Охарактеризуйте изоляцию высоковольтного трансформатора.
33. Охарактеризуйте изоляцию масляного выключателя.

34. Охарактеризуйте изоляцию воздушного выключателя.
35. Охарактеризуйте изоляцию кабелей до 35 кВ.
36. Охарактеризуйте изоляцию кабеля напряжением 110 кВ.
37. Охарактеризуйте изоляцию высоковольтной электрической машины.
38. Поясните цели и задачи профилактики изоляции.
39. Поясните методы испытания изоляции и охарактеризуйте метод измерения сопротивления изоляции.
40. Поясните методы испытания изоляции и охарактеризуйте метод измерения тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta$.
41. Поясните методы испытания изоляции и охарактеризуйте метод измерения ёмкости.
42. Поясните методы испытания изоляции и охарактеризуйте метод определения частичных разрядов.
43. Поясните методы испытания изоляции и охарактеризуйте метод измерения распределения напряжения.
44. Поясните методы испытания изоляции и охарактеризуйте метод приложения повышенного напряжения.
45. Поясните методы испытания изоляции и опишите, как выполняют контроль влажности изоляции.
46. Охарактеризуйте газовую изоляцию и укажите области её применения.
47. Охарактеризуйте вакуумную изоляцию и укажите области её применения.
48. Охарактеризуйте вакуумную изоляцию и укажите области её применения.
49. Поясните назначение и классификацию органической изоляции и охарактеризуйте её.
50. Поясните назначение и классификацию неорганической изоляции и охарактеризуйте её.

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Рассчитать молниезащиту - это значит определить тип защиты, её зону и параметры.

По типу молниезащита (м/з) может быть следующей:

- одностержневой;
- двухстержневой одинаковой или разной высоты;
- многократной стержневой;
- одиночной тросовой;
- многократной тросовой.

По степени надежности защиты различают два типа зон:

А - степень надежности защиты $\geq 99,5 \%$;

Б- степень надежности защиты $95 \dots 99,5 \%$.

Параметрами молниезащиты являются:

h – полная высота стержневого молниеотвода, м;

h_0 – высота вершины конуса стержневого молниеотвода, м;

h_x – высота защищаемого сооружения, м;

h_m – высота стержневого молниеприемника, м;

h_a – активная высота молниеотвода, м;

r_0, r_x – радиусы защиты на уровне земли и на высоте защищаемого сооружения, м;

h_c – высота средней части двойного стержневого молниеотвода, м;

$2r_c, 2r_x$ – ширина средней части зоны двойного стержневого молниеотвода на уровне земли и на высоте защищаемого объекта, м;

α – угол защиты (между вертикалью и образующей), град;

L – расстояние между двумя стержневыми молниеотводами, м;

a – длина пролета между опорами троса, м;

$h_{оп}$ – высота опоры троса, м;

$r_x + r_x$ – ширина зоны тросового молниеотвода на уровне защищаемого сооружения, м;

$a + 2r_{cx}$ – длина зоны двойного тросового молниеотвода на уровне защищаемого сооружения, м;

$a + 2r_c$ – длина зоны двойного тросового молниеотвода на уровне земли, м.

Ожидаемое количество поражений (N) молнией в год производится по формулам:

--для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни)

$$N = 9\pi h_x^2 n \cdot 10^{-6},$$

где h_x – наибольшая высота здания или сооружения, м;

n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности в месте нахождения здания или сооружения (т. е. удельная плотность ударов молнии в землю), $1 / (\text{км}^2 \cdot \text{год})$, определяется по таблице 4;

--для зданий и сооружений прямоугольной формы

$$N = \left[(B + 6h_x)(A + 6h_x) - 7,7h_x^2 \right] n \cdot 10^{-6},$$

где A и B – длина и ширина здания или сооружения, м.

Примечание. Если здание и сооружение имеют сложную конфигурацию, то A и B – это стороны прямоугольника, в который вписывается на плане защищаемый объект.

Таблица 3

Расчетные формулы молниеотводов при $h \leq 150$ м

Зона А	Зона Б
Одиночные стержневые молниеотводы (рис.1)	
$h_0 = 0,85h$ $r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3}h)h$ $r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3}h)(h - 1,2h_x)$	$h_0 = 0,92h$ $r_0 = 1,5h$ $r_x = 1,5(h - 1,1h_x)$
Двойные стержневые молниеотводы одинаковой высоты (рис. 2)	
При $L \leq h$ $h_c = h_0$ $r_{cx} = r_x$ $r_c = r_0$	
При $h < L \leq 2h$ $h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(L - h)$ $r_c = r_0$ $r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}$	При $h < L \leq 6h$ $h_c = h_0 - 0,14(L - h)$ $r_c = r_0$ $r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}$
При $2h < L \leq 4h$ $h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(L - h)$ $r_c = r_0 \left[1 - \frac{0,2}{h}(L - 2h) \right]$ $r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}$	
При $L > 4h$ Молниеотводы рассматривать как одиночные	При $L > 6h$ Молниеотводы рассматривать как одиночные
Двойные стержневые молниеотводы разной высоты (рис. 3)	
Габаритные размеры торцевых областей зон защиты $h_{01}, h_{02}, r_{01}, r_{02}, r_{x1}, r_{x2}$ определяются как для одиночных стержневых молниеотводов. Габаритные размеры внутренней области зоны защиты определяются по формулам: $r_c = 0,5(r_{01} + r_{02}); h_c = 0,5(h_{c1} + h_{c2}); r_x = 0,5(h_c + h_x) \frac{r_c}{h_c}.$ Значения h_{c1} и h_{c2} определяются как для двойных стержневых молниеотводов одинаковой высоты.	
Многократные стержневые молниеотводы (рис. 4)	

Зона защиты строится посредством попарно взятых соседних стержневых молниеотводов. Основным условием защищенности одного или нескольких объектов высотой с надежностью зона А или Б является $r_{cx} > 0$.	
Одиночные тросовые молниеотводы (рис. 5)	
$h_0 = 0,85h$ $r_0 = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4}h)$ $r_x = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4}h)(h - 1,2h_x)$	$h_0 = 0,92h$ $r_0 = 1,7h$ $r_x = 1,7(h - 1,1h_x)$
<i>Продолжение табл. 3</i> Двойные тросовые молниеотводы одинаковой высоты (рис. 6)	
При $L \leq h$ $h_c = h_0$ $r_{cx} = r_x$ $r_c = r_0$	
При $h < L \leq 2h$ $h_c = h_0 - (0,14 + 5 \cdot 10^{-4}h)(L - h)$ $r'_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$ $r_c = r_0$ $r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}$	При $h < L \leq 6h$ $h_c = h_0 - 0,12(L - h)$ $r'_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$ $r_c = r_0$ $r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}$
Двойные тросовые молниеотводы разной высоты (рис. 7)	
Значения $h_{01}, h_{02}, r_{01}, r_{02}, r_{x1}, r_{x2}$ определяются по формулам одиночных тросовых молниеотводов. Для определения размеров r_c и h_c используются формулы: $r_c = 0,5(r_{01} + r_{02}); h_c = 0,5(h_{c1} + h_{c2}).$ Значения $h_{c1}, h_{c2}, r'_{x1}, r'_{x2}, r_{cx}$ вычисляются по выше приведённым формулам двойного тросового молниеотвода.	

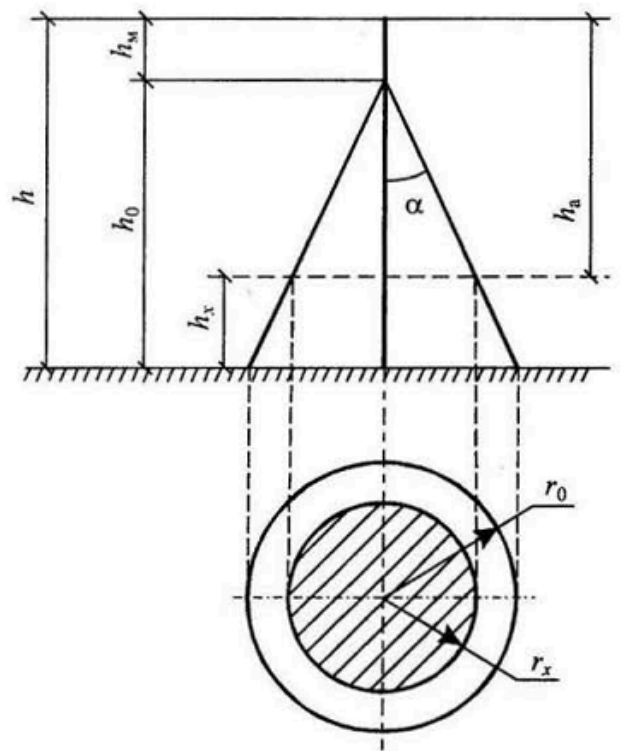
Примечание. Для одиночного тросового молниеотвода h – это высота троса в середине пролета. С учетом провеса троса сечением 35...50 мм² при известной высоте опор ($h_{оп}$) и длине пролета (a) высота троса (в метрах) определяется по формулам:

$$h = h_{оп} - 2 - \text{при } a \leq 120 \text{ м;}$$

$$h = h_{оп} - 3 - \text{при } 120 < a \leq 150 \text{ м.}$$

Зависимость $n = F(t_{\text{cp}})$

$t_{\text{cp}}, \text{ч/год}$	10...20	21...40	41...60
$n, 1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$	1	2	4
$t_{\text{cp}}, \text{ч/год}$	61...80	81...100	101 и более
$n, 1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$	5,5	7	8,5



Примечание. t_{cp} – среднегодовая

продолжительность гроз, ч/год. Определяется по картам, составленным на основании метеосводок за 10 лет.

Рис. 1. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

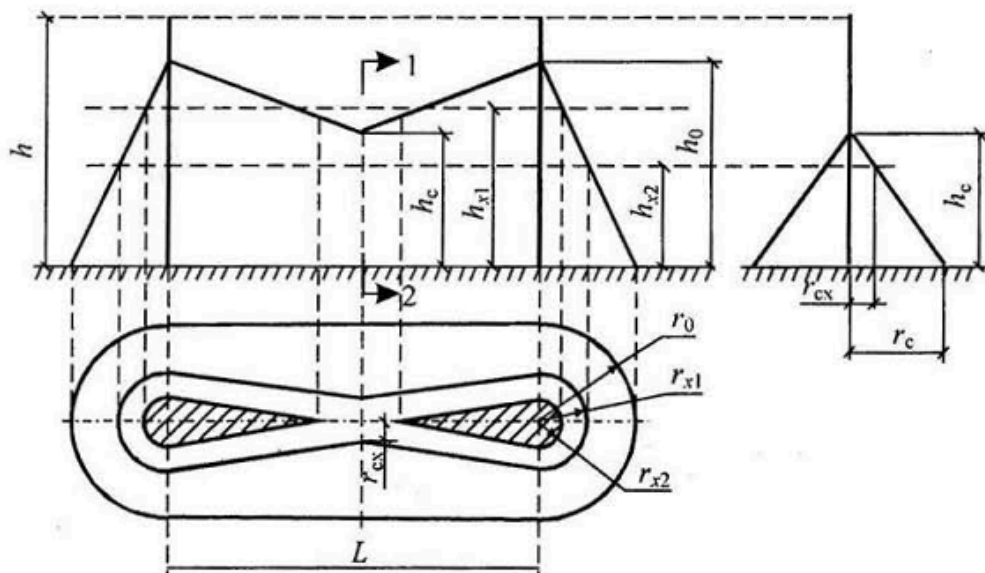


Рис. 2. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода одинаковой высоты

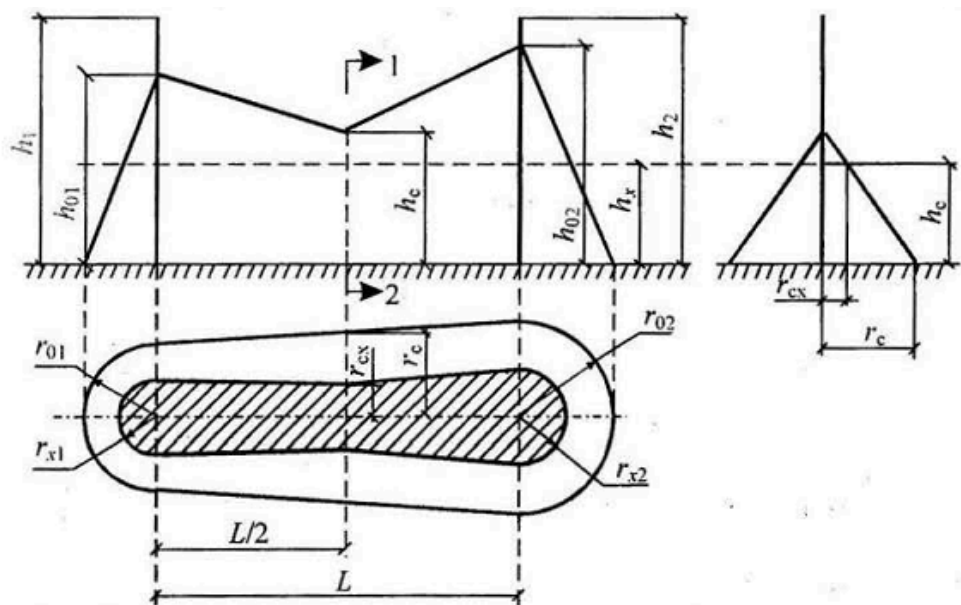


Рис. 3. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода разной высоты

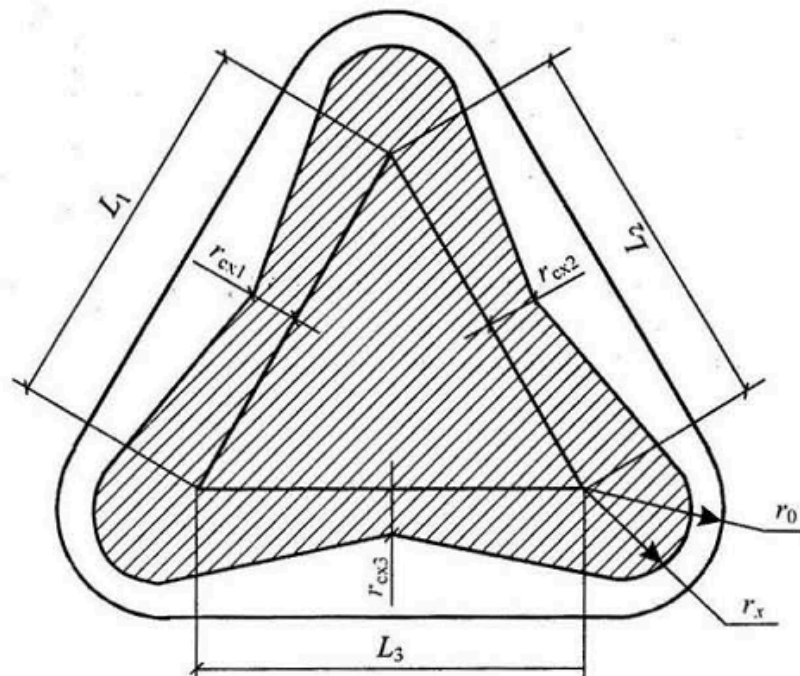


Рис. 4. Зона защиты (в плане) многократного стержневого молниеотвода

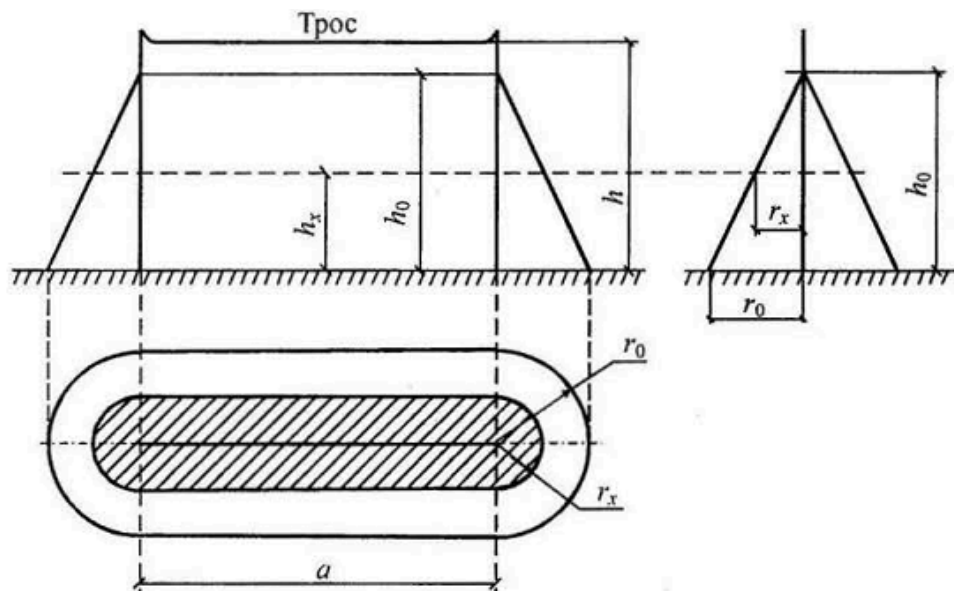


Рис. 5. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

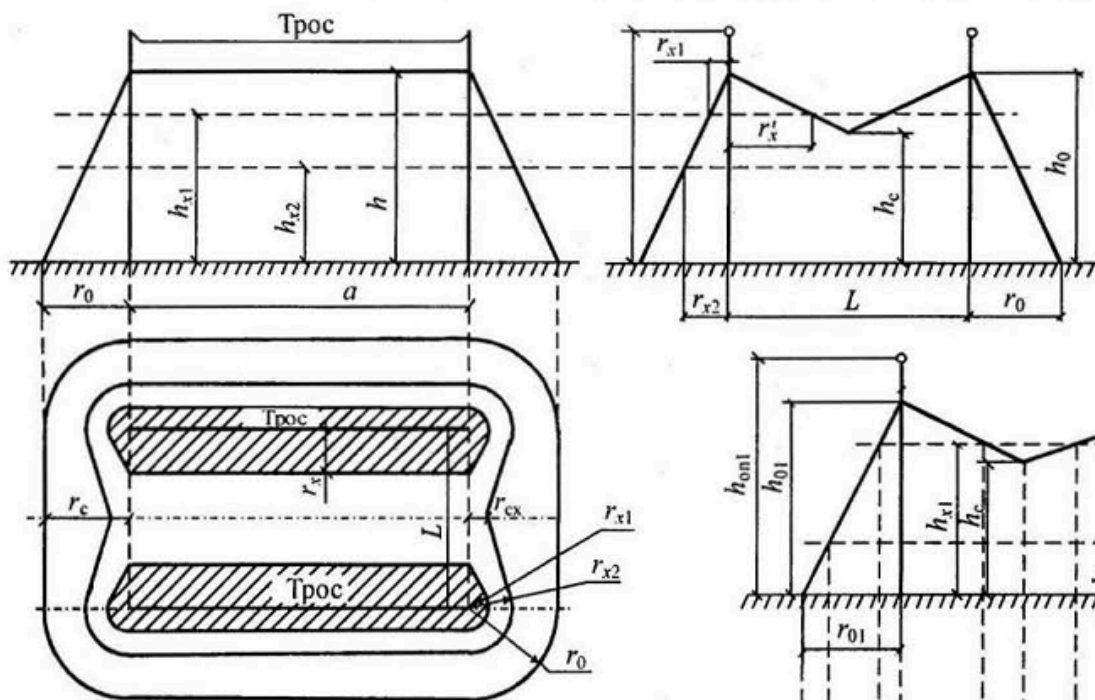


Рис. 6. Зона защиты двойного тросового молниеотвода одинаковой высоты

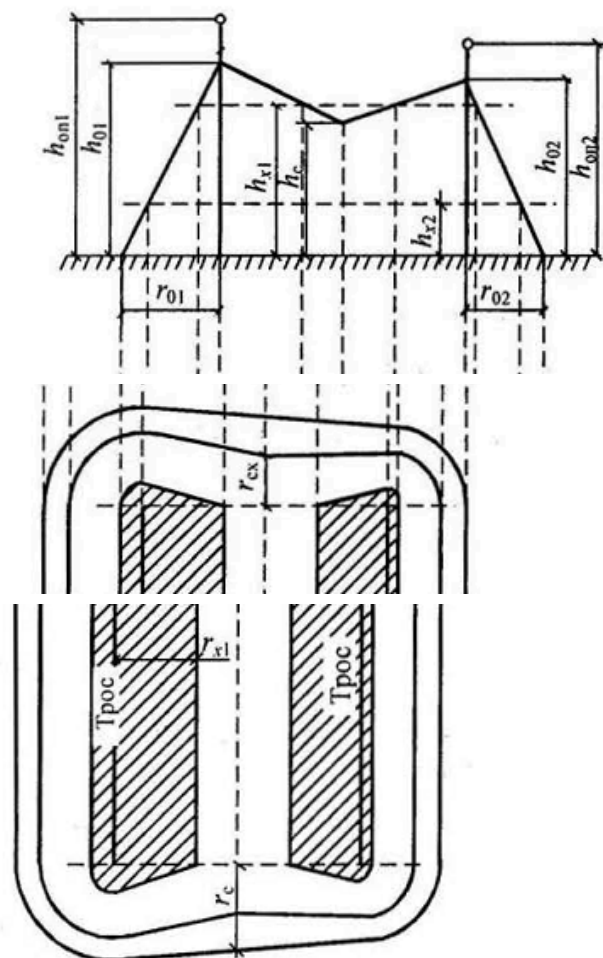


Рис. 7. Зона защиты двойного тросового молниеотвода разной высоты

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1

Исходные данные:	Требуется:
$T_{\text{типм/з}} - 1\text{С},$ $h = 50 \text{ м},$ $h_x = 20 \text{ м},$ $B = 20 \text{ м},$ $n = 6 \text{ 1/}(\text{км}^2 \cdot \text{год}).$	1. определить параметры зон молниезащиты и изобразить их; 2. определить габаритные размеры защищаемого объекта; 3. определить возможную поражаемость объекта.

Решение:

1. По формулам (таблица 3) для одиночного стержневого молниеотвода определяются параметры молниезащиты (м/з) для зон. В масштабе изображаются зоны А и Б (рис. 8).

Зона А:

$$h_0 = 0,85h = 0,85 \cdot 50 = 42,5 \text{ м};$$

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} h)h = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 50)50 = 50 \text{ м};$$

$$r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} h)(h - 1,2h_x) = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 50)(50 - 1,2 \cdot 20) = 26 \text{ м};$$

$$h_m = h - h_0 = 50 - 42,5 = 7,5 \text{ м};$$

$$h_a = h - h_x = 50 - 20 = 30 \text{ м};$$

$$\alpha^{(A)} = \arctg \frac{r_0}{h_0} = \arctg \frac{50}{42,5} = 49,6^\circ.$$

Зона Б:

$$h_0 = 0,92h = 0,92 \cdot 50 = 46 \text{ м};$$

$$r_0 = 1,5h = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ м};$$

$$r_x = 1,5(h - 1,1h_x) = 1,5(50 - 1,1 \cdot 20) = 42 \text{ м};$$

$$h_m = h - h_0 = 50 - 46 = 4 \text{ м};$$

$$h_a = h - h_x = 50 - 20 = 30 \text{ м};$$

$$\alpha^{(B)} = \arctg \frac{r_0}{h_0} = \arctg \frac{75}{46} = 58^\circ.$$

2. Определяются габаритные размеры защищаемого объекта в каждой зоне молниезащиты. Для этого на расстоянии $\frac{B}{2}$ от средней линии параллельно проводится линия до пересечения с окружностью r_x (рис. 8).

Зона А:

$$\varphi^{(A)} = \arcsin \arcsin \frac{B}{2r_x^{(A)}} = \arcsin \frac{20}{2 \cdot 26} = 22,6^\circ;$$

$$\cos \cos \varphi^{(A)} = \cos \cos 22,6^\circ = 0,92;$$

$$A^{(A)} = 2r_x^{(A)} \cos \cos \varphi^{(A)} = 2 \cdot 26 \cdot 0,92 = 48 \text{ м};$$

$$A \times B \times C = 48 \times 20 \times 20 \text{ м}.$$

Зона Б:

$$\varphi^{(B)} = \arcsin \arcsin \frac{B}{2r_x^{(B)}} = \arcsin \frac{20}{2 \cdot 42} = 13,8^\circ;$$

$$\cos \cos \varphi^{(B)} = \cos \cos 13,8^\circ = 0,97;$$

$$A^{(B)} = 2r_x^{(B)} \cos \cos \varphi^{(B)} = 2 \cdot 42 \cdot 0,97 = 81,6 \text{ м. Принимается } A = 81 \text{ м}.$$

$$A \times B \times C = 81 \times 20 \times 20 \text{ м}.$$

3. Определяется возможная поражаемость защищаемого объекта в зонах при отсутствии молниезащиты.

$$\begin{aligned} N_A &= \left[(B + 6h_x)(A + 6h_x) - 7,7h_x^2 \right] n \cdot 10^{-6} = \left[(20 + 6 \cdot 20)(48 + 6 \cdot 20) - 7,7 \cdot 20^2 \right] \cdot 6 \cdot 10^{-6} = \\ &= 12,3 \cdot 10^{-2} \text{ поражений.} \end{aligned}$$

$$N_B = \left[(B + 6h_x)(A + 6h_x) - 7,7h_x^2 \right] n \cdot 10^{-6} = \left[(20 + 6 \cdot 20)(81 + 6 \cdot 20) - 7,7 \cdot 20^2 \right] \cdot 6 \cdot 10^{-6} =$$

$$= 15 \cdot 10^{-2} \text{ поражений.}$$

В зоне молниезащиты Б количество поражений в год больше.

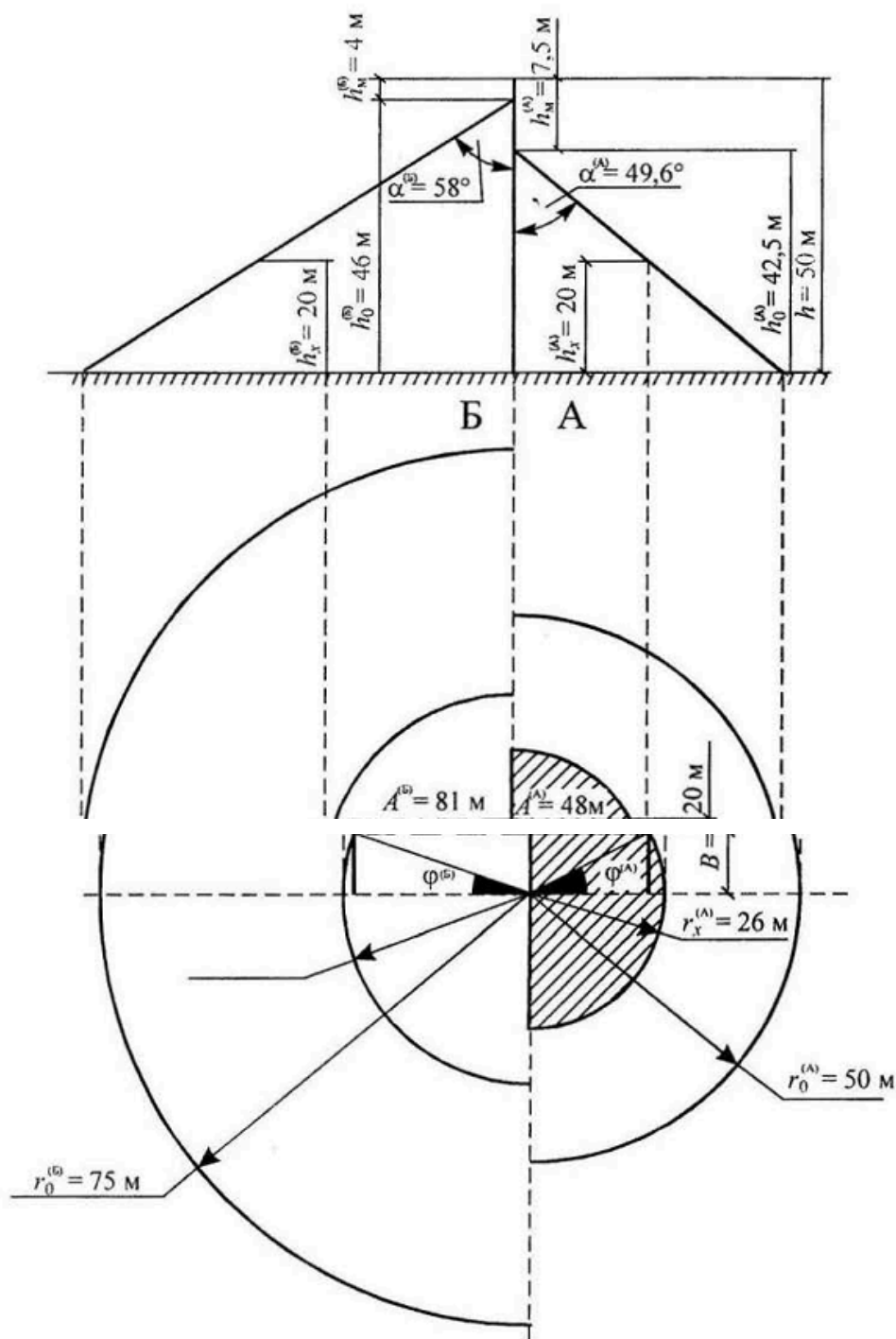


Рис. 8. Зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Ответ: Параметры зон молниезащиты указаны на рис. 8.

Для зоны А: $A \times B \times C = 48 \times 20 \times 20 \text{ м. } N_A = 12,3 \cdot 10^{-2} \text{ поражений.}$

Для зоны Б: $A \times B \times C = 81 \times 20 \times 20 \text{ м. } N_A = 15 \cdot 10^{-2} \text{ поражений.}$

Исходные данные:	Требуется:
$T_{\text{ипм/з}} = 2\text{Т},$ $h_{\text{оп1}} = h_{\text{оп2}} = 22\text{ м},$ $h_x = 10\text{ м},$ $L = 25\text{ м},$ $a = 40\text{ м},$ $n = 7\text{ 1/}(\text{км}^2 \cdot \text{год}).$	1. определить параметры зон молниезащиты и изобразить их; 2. определить габаритные размеры защищаемого объекта; 3. определить возможную поражаемость объекта.

Решение:

1. По формулам (таблица 1) для двойных тросовых молниеотводов одинаковой высоты определяются параметры м/з для зоны А.

В масштабе зона А изображается на плане (рис. 9), так как $a < 120\text{ м}$, то

$$h = h_{\text{оп}} - 2 = 22 - 2 = 20;$$

$$h_0 = 0,85h = 0,85 \cdot 20 = 17;$$

$$r_0 = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4}h)h = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4} \cdot 20) \cdot 20 = 26;$$

$$h_c = h_0 - (0,14 + 5 \cdot 10^{-4}h)(L - h) = 17 - (0,14 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 20)(25 - 20) = 16,05;$$

$$r_c = r_0 = 26;$$

$$r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c} = 26 \cdot (16,05 - 10) \frac{1}{16,05} = 9,8;$$

$$r_x = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4}h)(h - 1,2h_x) = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4} \cdot 20)(20 - 1,2 \cdot 10) = 10,4.$$

Примечание. При пересечении верхней отметки сооружения с линией в пролете определяется r'_x .

$$\alpha^{(A)} = \arctg \frac{r_0}{h_0} = \arctg \frac{26}{17} = 56,8^\circ.$$

2. Определяются максимальные габариты защищаемого сооружения по рис. 9:

$$A = a + 2r_{cx} = 40 + 2 \cdot 9,8 = 59,6\text{ м}.$$

Принимается целое значение $A = 59\text{ м}$.

$$B = L + 2r_x = 25 + 2 \cdot 10,4 = 45,8\text{ м}.$$

Принимается целое значение $B = 45\text{ м}$.

$$A \times B \times C = 59 \times 45 \times 10\text{ м}.$$

3. Определяется возможная поражаемость защищаемого объекта в зоне А при отсутствии молниезащиты.

$$N_A = \left[(B + 6h_x)(A + 6h_x) - 7,7h_x^2 \right] n \cdot 10^{-6} = \left[(45 + 6 \cdot 10)(29 + 6 \cdot 10) + 7,7 \cdot 10^2 \right] \cdot 7 \cdot 10^{-6} =$$

$$= 8,2 \cdot 10^{-2} \text{ поражений.}$$

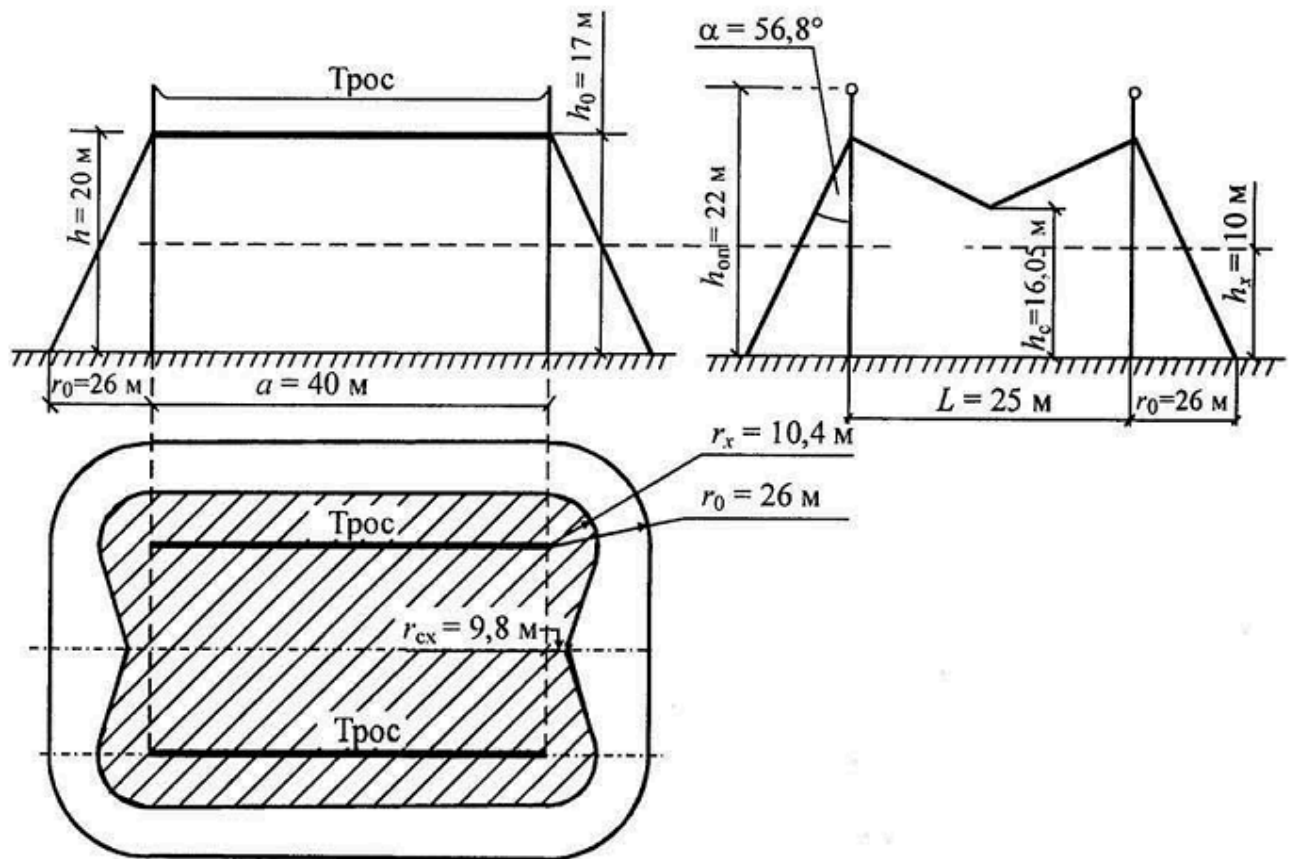


Рис. 9. Зона А защиты двойного тросового молниеотвода одинаковой высоты

Ответ: Параметры зоны Амолниезащиты указаны на рис. 9.

$$A \times B \times C = 59 \times 45 \times 10 \text{ м. } N_A = 8,2 \cdot 10^{-2} \text{ поражений.}$$

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений.–М.: «Энергоатомиздат», 1990.
2. Ларионов В. П. Основы молниезащиты.– М.: «Знак», 1999.
3. Техника высоких напряжений./ Под ред. Д.В. Разевега. –М.: «Энергия», 1996.
4. Васильев А.А., Крючков И.П., Наяшкова Е.Ф., Околович М.Н. Электрическая часть станций и подстанций. /Под ред. А.А. Васильева (2-е издание). – М.: «Энергоатомиздат», 1990.

Дополнительная:

5. Важов В.Ф., Кузнецов Ю.И., Куртенок Г.Е., Лавринович В.А., Лопатин В.В., Мытников А.В. Техника высоких напряжений. Учебное пособие. – Томск.:ТПУ, 2009. – 232 с.
6. Техника высоких напряжений. Под редакцией Кучинского Г.С. – СПб.: «Энергоатомиздат», 2003. – 608 с.
7. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. – М.: ФОРУМ-ИНФРА, 2010. – 216 с.
8. Процук Ю., Терзи И.З. Техника высоких напряжений. Сборник задач с решениями. /Под ред. Стратан И. –К.: ТУМ, 2004.
9. Сви П.М. Контроль изоляции оборудования высоких напряжений.Лабораторные работы по технике высоких напряжений. –М.: «Энергоиздат», 1982.