



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра автоматизации производственных процессов

А. И. Бабин

О. Е. Фролова

РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

**Методические указания к контрольной работе
по курсу «Электроснабжение лесопромышленных предприятий»
для студентов специальностей 220301, 250401,
очной и заочной форм обучения
направлений 250300 «Технология и оборудование
лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств»,
220200 «Автоматизация и управление»**

Екатеринбург

2008

Печатаются по рекомендации методической комиссии Лесоинженерного факультета УГЛТУ. Протокол № 4 от 19.12.2007.

Рецензент доцент, канд. тех. наук. Г. Г. Ордуянц

Редактор Е.Л. Михайлова
Оператор А.А. Сидорова

Подписано в печать 25.05.08.

Плоская печать

Заказ № 246

Формат 60x84 1/16

Печ. л. 0,93

Поз. 40

Тираж 70 экз.

Цена 3 р. 20 к.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Расчет заземляющего устройства электроустановок

Электрический ток опасен

Развитие и совершенствование лесозаготовительной промышленности связано с ее дальнейшей электрификацией, ростом электропотребления в производстве и в быту. В этих условиях все большую значимость приобретают вопросы электробезопасности.

Особенностью электротравматизма является то, что поражение электрическим током приводит к смертельному исходу значительно чаще, чем другие виды травматизма. Повышенной восприимчивостью к электрическому току отличаются лица, страдающие сердечно-сосудистыми и нервными заболеваниями, болезнями кожи. Правила техники безопасности предусматривают отбор персонала для обслуживания электроустановок по состоянию здоровья. Для этого проводят медицинские освидетельствования рабочих при поступлении на работу и периодически, руководствуясь списком болезней и расстройств, препятствующих допуску к обслуживанию электроустановок.

Возможность поражения током возникает при прикосновении к участкам электрической цепи, между которыми существует напряжение. Статистика электротравматизма показывает, что свыше 80 % несчастных случаев происходит при эксплуатации электроустановок низкого напряжения. Наиболее опасно прикосновение к двум фазам. Разные ткани человека оказывают электрическому току различное сопротивление. При сухой, чистой и неповрежденной коже сопротивление составляет от 3 до 100 тыс. Ом и зависит от разных причин (увлажнения, выделения пота). Обычно в практике сопротивление тела человека току принимают равным 1000 Ом.

На лесозаготовительных предприятиях применяют сети напряжением 380 В (линейное напряжение). Тогда прикосновение человека к двум фазам вызовет прохождение тока, равное:

$$I_{ч} = 380 / 1000 = 0,38 \text{ А, или } 380 \text{ мА.}$$

Такой ток смертельно опасен для человека.

Случаи двухфазного прикосновения к токонесущим частям являются результатом работы под напряжением на щитах, сборках, применения неисправного монтерского инструмента (с поврежденной изоляцией), неисправных защитных средств (например, диэлектрических перчаток с проколами и разрывами). Более часто прикосновение к одной фазе. Напряжение в этом случае меньше, не превышает фазного. Сети лесозаготовительных предприятий при централизованном электроснабжении работают с глухозаземленной нейтралью. В такой сети величина тока, проходящего через

человека, определяется не только его сопротивлением, но и последовательно включенным сопротивлением обуви, основания (пола). С учетом всех этих сопротивлений величина тока составляет:

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч} + R_{об} + R_{п}},$$

где $R_{ч}$ – расчетное сопротивление тела человека, Ом; $R_{об}$ и $R_{п}$ – сопротивление обуви и пола, на котором находится человек.

Рассмотрим неблагоприятный случай. Человек имеет на ногах сырую, подбитую металлическими гвоздями обувь, стоит прямо на земле или на металлической детали. Величина тока в этом случае определяется только сопротивлением человека:

$$I_{ч} = 220/1000 = 0,22 \text{ А, или } 220 \text{ мА.}$$

Такой ток очень опасен для человека.

Основные причины поражения электрическим током:

- случайное прикосновение к токоведущим частям или приближение к ним на опасное расстояние;
- появление напряжения на металлических конструкциях электрооборудования, которые нормально под напряжением не находятся (например, в результате повреждения изоляции);
- появление напряжения на отключенных частях, на которых производится работа (ошибочное включение, работа в грозу).

Меры защиты от поражения током:

- обеспечение недоступности токоведущих частей для случайного прикосновения;
- организация безопасной эксплуатации электрооборудования, в том числе устранение опасности поражения током при появлении напряжения на корпусах, кожухах электроустановок, применение защитных средств.

Защитное заземление

Устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электрооборудования, оказавшемуся под напряжением, достигается тем, что корпус электроустановки 2 (рис.1) заземляют, т.е. преднамеренно соединяют с заземляющим устройством (контуром заземления и электродами 3). Для эффективного действия заземляющего устройства необходимо, чтобы его сопротивление $R_{з}$ не превышало значений, установ-

Электронный архив УГПТУ
ленных правилами устройства электроустановок. Так как R_3 значительно меньше, чем сопротивление тела человека, ток (в случае замыкания на корпус) пойдет главным образом через заземляющее устройство. Это устройство состоит из заземления и заземляющих проводников. Заземлитель представляет собой один или несколько металлических соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в земле.

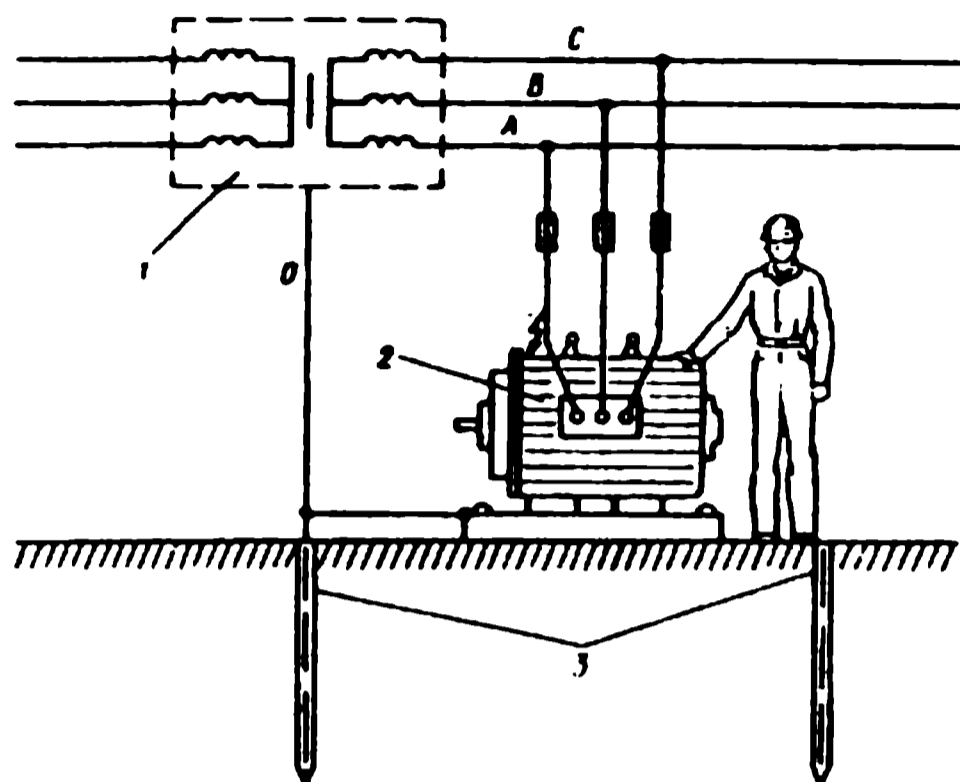


Рис. 1. Система заземления электроустановок:

- 1 – источник питания (корпус заземлен); А, В, С – фазные провода;
0 – нулевой провод; 2 – электроустановка (двигатель);
3 – электроды контура заземления

Для заземляющих устройств рекомендуется использовать в первую очередь естественные заземлители: находящиеся в земле металлоконструкции, арматуру железобетонных конструкций, металлические трубопроводы (кроме трубопроводов горючих жидкостей, газов и примесей), свинцовые оболочки кабелей. При недостаточно малом сопротивлении естественных заземлителей дополнительно применяются искусственные заземлители. В качестве них используют некондиционные металлические трубы с толщиной стенки более 3,5 мм, отрезки уголков металла (с толщиной полки более 4 мм), круглого металла диаметром 12...14 мм.

Электрические сети лесозаготовительных предприятий выполняются чаще всего с глухозаземленной нейтралью. В таких сетях в качестве основной защитной меры применяется зануление.

Занулением называют преднамеренное соединение частей электроустановки, нормально не находящейся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью силового трансформатора (рис. 2). Принцип действия зануления - превращение пробоя на корпус в однофазное короткое замыкание между фазой и нулем. Цель такого замыкания – обеспечить надежное срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежден-

поврежденную установку от питающей сети. В качестве средств отключения используют воздушные автоматы и плавкие предохранители.

Сопротивление заземления нейтрали силового трансформатора должно быть не более 4 Ом. Нулевой провод неоднократно заземляется. Назначение повторных заземлений – уменьшить опасность поражения током в случае обрыва нулевого провода при замыкании на корпус за местом обрыва.

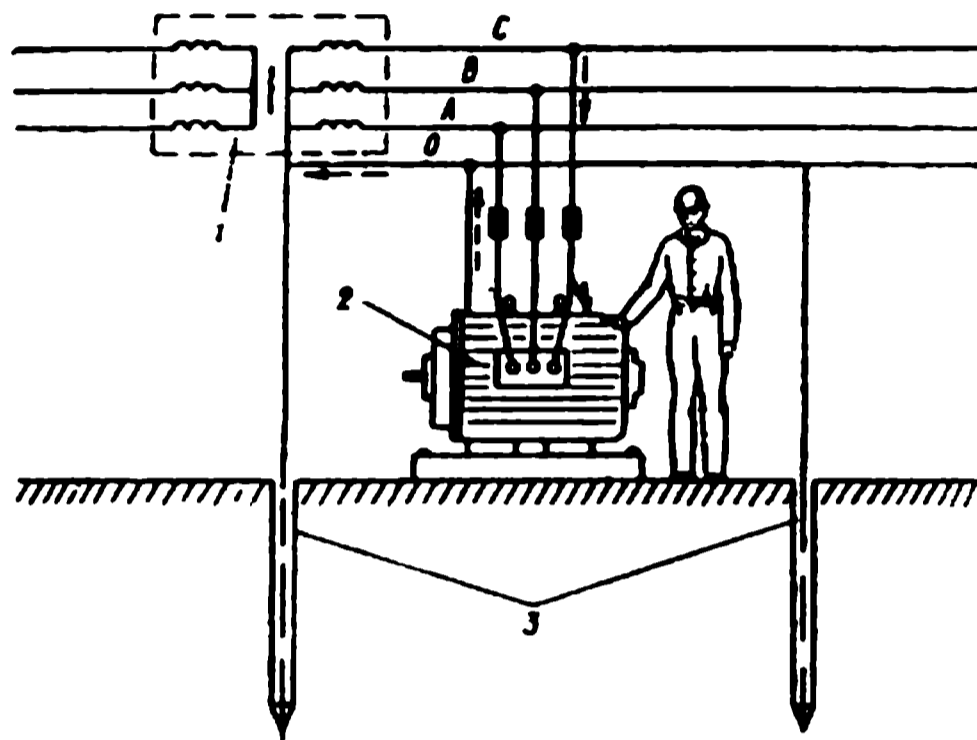


Рис. 2. Система заземления электроустановок:
 I – источник питания (с наглухо заземленной нейтралью);
 А, В, С – фазные провода; 0 – нулевой провод;
 2 – электроустановка (двигатель);
 3 – электроды контура заземления

Методика расчета

Рассчитать заземляющее устройство (ЗУ) в электроустановках (ЭУ) с изолированной нейтралью (ИН) – это значит:

- определить расчетный ток замыкания на землю (I_z) и сопротивление ЗУ (R_z);
- определить расчетное сопротивление грунта (ρ_p);
- выбрать электроды и рассчитать их сопротивление;
- уточнить число вертикальных электродов и разместить их на плане.

Примечание. При использовании естественных заземлений

$$R_{И} = \frac{R_e R_z}{R_e + R_z},$$

где $R_{И}, R_e$ – сопротивление искусственных и естественных заземлений, Ом.

Сопротивление заземления железобетонных фундаментов здания, связанных между собой металлическими конструкциями, определяются по формуле

$$R_e = \frac{\rho}{\sqrt{S}},$$

где $\rho=100$ Ом·м (суглинок); S – площадь, ограниченная периметром здания, м².

Определение I_z и R_z .

В любое время года согласно ПУЭ

$$R_z \leq \frac{250}{I_z},$$

где R_z – сопротивление заземляющего устройства, Ом (не более 10 Ом); I_z – расчетный ток замыкания на землю, А (не более 500 А).

Расчетный (емкостной) ток замыкания на землю определяется приближенно:

$$I_z = \frac{V_n (35L_{кл} + L_{вл})}{350},$$

где V_n – номинальное линейное напряжение сети, кВ; $L_{кл}, L_{вл}$ – длина кабельных и воздушных электрически связанных линий, км.

Примечание. В электроустановках с ИН до 1 кВ

$$R_z \leq \frac{125}{I_z} \quad (\text{не более } 4 \text{ Ом}),$$

при мощности источника до 100 кВ·А – не более 10 Ом.

По этой же формуле рассчитываются R_z , если ЗУ выполняется общим для сетей до 1 кВ и выше.

При совмещении ЗУ различных напряжений принимается R , наименьшее из требуемых значений (табл. 1).

Определение ρ_p грунта

$$\rho_p = K_{сез} \rho,$$

где ρ_p – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м; $K_{сез}$ – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта, $K_{сез} = F$ (климатическая зона, вид заземлителей), принимается по табл. 2.

Выбор и расчет сопротивления электродов

Выбор электродов – по табл. 4.

Приближенно сопротивление одиночного вертикального заземления определяется по формуле

$$r_e = 0,3 \rho_p.$$

Сопротивление горизонтального электрода (полосы) определяется по формуле

$$r_p = \frac{0,4 \rho_p}{L_n} \lg \frac{2L_n^2}{bt}.$$

где L_n – длина полосы, м; b – ширина полосы, м; для круглого горизонтального заземления $b=1,1d$; t – глубина заложения, м.

Определение сопротивлений с учетом коэффициента использования:

$$R_e = \frac{r_e}{\eta_e}; \quad R_p = \frac{r_p}{\eta_p}.$$

где R_e и R_p – сопротивление вертикального и горизонтального электродов с учетом коэффициентов использования, Ом; η_e и η_p – коэффициенты использования вертикального и горизонтального электродов, определяются по табл. 5; $\eta = F$ (тип ЗУ, вид заземлителя, $\frac{a}{L}$, N_e); a – расстояние между вертикальными заземлителями, м; L – длина вертикального заземлителя, м; N_e – число вертикальных заземлителей.

Необходимое сопротивление вертикальных заземлителей с учетом соединительной оси:

$$R_e \leq \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

Уточнение числа вертикальных электродов

Необходимое число вертикальных заземлителей определяется следующим образом:

$$N'_g = \frac{R_g}{R_{\text{И}} \eta_g}$$
 (при использовании естественных и искусственных заземлителей);

$$N'_g = \frac{R_g}{R_3 \eta_g}$$
 (при использовании только искусственных заземлителей);

$$N_g = \frac{r_g}{R_{\text{И}} \eta_{g, \text{ут}}}$$
, $\eta_{g, \text{ут}}$ - уточненное значение коэффициента использования вертикальных заземлителей.

Таблица 1

Наибольшие допустимые значения R_3 , для 3 – фазных сетей

Напряжение сети, кВ	Режим нейтрали	R_3 , Ом	Вид ЗУ
110 и выше	ЗН	0,5	Заземление
3...35	ИН	10	
0,66	ГЗН	2	Зануление
0,38		4	
0,22		8	
0,66; 0,38; 0,22	ИН	4	Заземление

Примечание. При удельном электрическом сопротивлении грунта более 1000 Ом·м допускается увеличивать указанные выше значения в 0,01ρ раз, но не более 10-кратного.

Таблица 2

Коэффициенты сезонности $K_{\text{сез}}$

Климатическая зона	Вид заземлителя		Дополнительные сведения
	вертикальный	горизонтальный	
I	1,9	5,8	Глубина заложения вертикальных заземлителей от поверхности земли 0,5...0,7 м
II	1,7	4,0	Глубина заложения горизонтальных заземлителей 0,3...0,8 м
III	1,5	2,3	
IV	1,3	1,8	

Примечание. Зона I имеет наиболее холодный климат, IV – наиболее теплый; ρ – удельное сопротивление грунта, измерено при нормальной влажности, Ом·м, принимается по табл. 3.

Удельное сопротивление грунта ρ

Грунт	Торф	Глина, земля садовая	Чернозем	Суглинок	Каменистая почва	Супесь	Песок с галь- кой
ρ , Ом·м	20	40	50	100	200	300	800

Таблица 4

Рекомендуемые электроды

Вид электрода	Размеры, мм	L , м	l , м
Стальной уголок	50 × 50 × 5	2,5...3	0,5...0,7
	60 × 60 × 6		
	75 × 75 × 8		
Круглая сталь	∅ 12...16	5...6	
Труба стальная	∅ 60	2,5	
Полоса стальная	∅ 40 × 4	расчетная	
Пруток стальной	10...12		

Таблица 5

Значение коэффициентов использования электродов

N_e	$\frac{a}{L}$					
	1		2		3	
	η_e	η_r	η_e	η_r	η_e	η_r
4	0,69 (0,74)	0,45 (0,77)	0,78 (0,83)	0,55 (0,89)	0,85 (0,88)	0,7 (0,92)
6	0,62 (0,63)	0,4 (0,71)	0,73 (0,77)	0,48 (0,83)	0,8 (0,83)	0,64 (0,88)
10	0,55 (0,59)	0,34 (0,62)	0,69 (0,75)	0,4 (0,75)	0,76 (0,81)	0,56 (0,82)
20	0,47 (0,49)	0,27(0,42)	0,64 (0,68)	0,32 (0,56)	0,71 (0,77)	0,45(0,68)
30	0,43 (0,43)	0,24 (0,31)	0,6 (0,65)	0,3 (0,46)	0,68 (0,75)	0,41(0,58)

Примечание. Число перед скобками дано для контурного ЗУ, в скобках – для рядного.

Дано:

$$A \times B = 15 \times 12 \text{ м.}$$

$$V_{\text{лэп}} = 20 \text{ кВ}$$

$$L_{\text{лэп(кл)}} = 10 \text{ км}$$

$$V_{\text{н}} = 0,4 \text{ кВ}$$

$$\rho = 300 \text{ Ом}\cdot\text{м (супесь)}$$

$$t = 0,7 \text{ м.}$$

Климатический район – IV

Вертикальный электрод – уголок 75×75 , $L_{\theta} = 3 \text{ м}$

Вид ЗУ – контурное

Горизонтальный электрод – полоса ($40 \times 4 \text{ мм}$).**Требуется:**

- определить количество вертикальных и длину горизонтальных заземлителей;
- показать размещение ЗУ на плане;
- определить фактическое значение сопротивления ЗУ.

Решение

1. Определяется расчетное сопротивление одного вертикального электрода:

$$r_{\theta} = 0,3 \rho K_{\text{сез.в}} = 0,3 \cdot 300 \cdot 1,3 = 117 \text{ Ом.}$$

По табл. 2 $K_{\text{сез.в}} = F(\text{верт., IV}) = 1,3$.

2. Определяется предельное сопротивление совмещенного ЗУ

$$R_{\text{ЗУ1}} \leq \frac{125}{I_{\text{з}}} = \frac{125}{20} = 6,25 \text{ Ом (для ЛЭП ВН);}$$

$$I_{\text{з}} = \frac{V_{\text{лэп}} 35 L_{\text{кл}}}{350} = \frac{20 \cdot 35 \cdot 10}{350} = 20 \text{ А.}$$

Требуемое по ИН $R_{\text{ЗУ2}} \leq 4 \text{ Ом}$ (на ИН), принимаем $R_{\text{ЗУ2}} = 4 \text{ Ом}$ (наименьшее из двух). Так как $\rho > 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, то для расчета принимается:

$$R_{\text{ЗУ}} = 4 \frac{\rho}{100} = 4 \frac{300}{100} = 12 \text{ Ом.}$$

3. Определяется количество вертикальных электродов:

- без учета экранирования (расчетное)

$$N'_{в.р} = \frac{r_в}{R_{з.у.}} = \frac{112}{12} = 9,75. \text{ Принимается } N'_{в.р} = 10,$$

- с учетом экранирования

$$N_{в.р} = \frac{N'_{в.р}}{\eta_в} = \frac{10}{0,69} = 14,5. \text{ Принимается } N_в = 15.$$

По табл. 5 $\eta_в = F$ (тип ЗУ, вид заземления, $\frac{a}{L} \cdot N_в$) = F (контурное, вертикальное, 2, 10) = 0,69.

4. Размещается ЗУ на плане (рис. 3) и уточняются расстояния, наносятся на план.

Так как контурное ЗУ закладывается на расстоянии не менее 1 м, то длина по периметру закладки равна:

$$L_n = (A + 2)2 + (B + 2)2 = (15 + 2)2 + (12 + 2)2 = 62 \text{ м.}$$

Тогда расстояние между электродами уточняется с учетом формы объекта. По углам устанавливается по одному вертикальному электроду, а оставшиеся – между ними.

Для равномерного распределения электродов окончательно принимается $N_в = 16$, тогда:

$$a_B = \frac{B'}{n_B - 1} = \frac{14}{4} = 3,5 \text{ м}; a_A = \frac{A'}{n_A - 1} = \frac{17}{4} = 4,25 \text{ м,}$$

где a_B – расстояние между электродами по ширине объекта, м; a_A – расстояние между электродами по длине объекта, м; n_B – количество электродов по ширине объекта; n_A – количество электродов по длине объекта.

Для уточнения:

$$\left(\frac{a}{L_в}\right)_{ср} = \frac{1}{2} \left(\frac{a_B + a_A}{3}\right) = \frac{1}{2} \left(\frac{3,5 + 4,25}{3}\right) = 1,3.$$

Тогда по табл. 5 уточняется коэффициент использования:

$$\eta_в = F \text{ (контурное; 1,3; 16)} = 0,56;$$

$$\eta_г = F \text{ (контурное; 1,3; 16)} = 0,32.$$

5. Определяются уточненные значения сопротивлений вертикальных и горизонтальных электродов:

$$R_{г.} = \frac{0,4 \rho K_{сез.г}}{L_n \eta_г} \lg \frac{2L_n^2}{bl} = \frac{0,4 \cdot 300 \cdot 1,8}{62 \cdot 0,32} \lg \frac{2 \cdot 62^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 54,2 \text{ Ом.}$$

По табл. 2 $K_{сез.з} = F(IV) = 1,8$.

$$R_{\sigma} = \frac{r_{\sigma}}{N_{\sigma} \eta_{\sigma}} = \frac{117}{16 \cdot 0,56} = 13,1 \text{ Ом.}$$

6. Определяется фактическое сопротивление, ЗУ:

$$R_{3У.ф} = \frac{R_{\sigma} R_2}{R_{\sigma} + R_2} = \frac{13,1 \cdot 54,2}{13,1 + 54,2} = 10,6 \text{ Ом;}$$

$R_{3У.ф}(10,6) < R_{3У}(12)$, следовательно, ЗУ эффективно.

Ответ: ЗУ объекта состоит из:

$N_{\sigma} = 16$; $L_{\sigma} = 3 \text{ м}$; $a_B = 3,5 \text{ м}$; $a_A = 4,25 \text{ м}$; $L_{\Pi} = 62 \text{ м}$; $R_{3У} = 10,6 \text{ Ом}$.

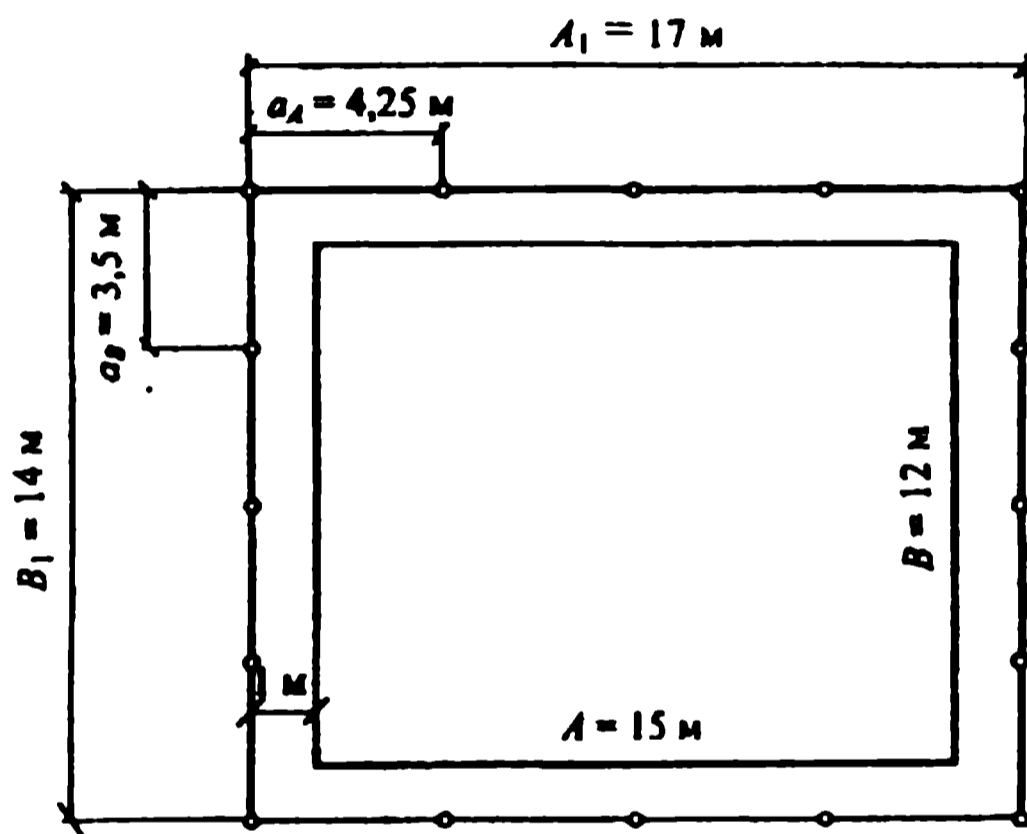


Рис. 3. План ЗУ подстанции

Пример 2

Дано:

$L_{кл} = 5 \text{ км}$;

$L_{вн} = 5 \text{ км}$;

ТП-10/0,23 кВ;

$\rho = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (грунт – щебень);

$A \times B = 15 \times 12 \text{ м}$;

$r = 0,5 \text{ м}$;

Вид ЗУ – рядное;

Климатическая зона – I;

Вертикальный электрод – сталь $\varnothing 16$, $L = 5 \text{ м}$;

Горизонтальный – полоса стальная $40 \times 4 \text{ мм}$.

Требуется:

- определить количество вертикальных электродов (N_e) и длину горизонтальной полосы;
- определить фактическое сопротивление ЗУ ($R_{3У}$);
- разместить ЗУ на плане.

Решение

1. Определяется расчетное сопротивление одного вертикального электрода:

$$r_e = 0,3\rho \cdot K_{сез.в} = 0,3 \cdot 200 \cdot 1,9 = 114 \text{ Ом.}$$

По табл. 2

$$K_{сез.в} = F \text{ (зона I)} = 1,9;$$

$$K_{сез.г} = F \text{ (зона I)} = 5,8.$$

2. Определяется расчетное сопротивление совмещенных ЗУ подстанции:

$$I_3 = \frac{V_n(35L_{к1} + L_{а1})}{350} = \frac{10(5 \cdot 35 + 5)}{350} = 5,1 \text{ А, тогда}$$

$$R_{3У} \leq \frac{125}{I_3} = \frac{125}{5,1} = 24,5 \text{ Ом.}$$

$R_{3У2} = 8$ Ом, для сети ГЗН, но допустимое при данном грунте определяется как:

$$R_{3У.дон} = R_{3У2} \cdot 0,01\rho = 8 \cdot 0,01 \cdot 200 = 16 \text{ Ом.}$$

Следовательно, для расчета принимается $R_{3У} = 16$ Ом.

3. Определяется расчетное количество вертикальных электродов:

- без учета экранирования

$$N'_{э.р} = \frac{r_e}{R_{3У}} = \frac{114}{16} = 7,1, \text{ принимается } N'_{э.р} = 8;$$

- с учетом экранирования

$$N_{э.р} = \frac{N'_{э.р}}{\eta_e} = \frac{8}{0,6} = 13,3, \text{ принимается } N_e = 14.$$

По табл. 5 $\eta_e = F$ (рядное; 1,8) = 0,6.

4. Размещение ЗУ на плане (рис.4).

Так как выбрано $\frac{a}{L} = 1$, то $a = L = 5$ м. Минимальное расстояние от объекта – 1 м.

Примечание. При прямой прокладке получится большая протяженность по территории, что нецелесообразно.

$$L_{\Pi} = a(N_e - 1) = 5(14 - 1) = 65 \text{ м.}$$

5. Определяются уточненные значения сопротивлений вертикальных и горизонтальных электродов:

$$R_e = \frac{r_e}{N_e \eta_e} = \frac{114}{14 \cdot 0,54} = 15,1 \text{ Ом.}$$

По табл. 5 $\eta_e = F$ (рядное; 1,14) = 0,54; $\eta_z = F$ (рядное; 1,14) = 0,54.

$$R_z = \frac{0,4 \rho K_{\text{сез.з}}}{L_n \eta_z} \lg \frac{2L_n^2}{bt} = \frac{0,4 \cdot 200 \cdot 5,8}{65 \cdot 0,54} \lg \frac{2 \cdot 65^2}{17,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5} = 79 \text{ Ом,}$$

так как вертикальный электрод круглый, то $b = 1,1 \cdot 16 = 17,6 \text{ мм.}$

6. Определяется фактическое сопротивление ЗУ:

$$R_{3У.ф} = \frac{R_e R_z}{R_e + R_z} = \frac{15,1 \cdot 79}{15,1 + 79} = 12,7 \text{ Ом.}$$

$R_{3У.ф}(12,7) < R_{3У.дон}(16)$, следовательно, ЗУ будет эффективным.

Ответ: ЗУ ТП-10/0,23 состоит из 14 вертикальных электродов, $L_e = 5 \text{ м, } d = 16 \text{ мм, } L_{\Pi} = 65 \text{ м, } R_{3У} = 12,7 \text{ Ом.}$

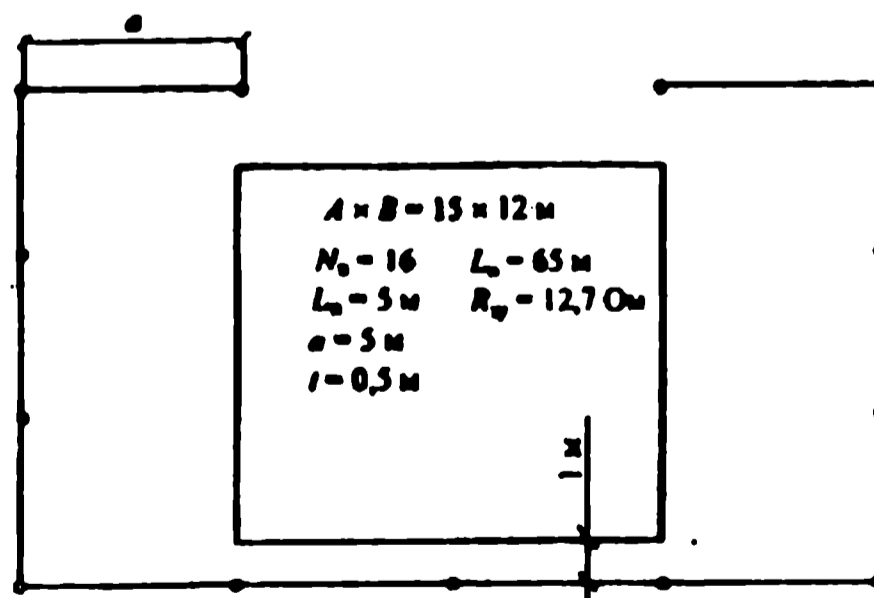


Рис. 4. План ЗУ ТП-10/0,23 кВ

Электронный архив УГПТУ
Индивидуальные задания

Вариант	ЛЭП, км		ТП- V_1/V_2 , кВ	Грунт, ρ, Ом·м	А×В, м	l, м	Вид ЗУ	Климат. зона	Искусств. заземлители, размер, мм	
	$L_{\text{л}}$	$L_{\text{кв}}$							в	г
1	15	5	35/0,4	Песок, 800	18×8	0,5	К	IV	Стальной уголок 50×50×5, L=2.5 м	полоса 40×4
2	20	-	20/0,4	Супесь, 300	15×10	0,6	Р	III		
3	-	3	10/0,4	Щебень, 200	10×8	0,7	К	II		
4	5	1	6/0,4	Суглинок, 100	12×10	0,7	Р	I		
5	3	-	3/0,4	Чернозем, 50	10×10	0,6	К	II	Круглая сталь d=12 L=5 м	пруток d=10
6	-	5	35/0,65	Глина, 40	18×10	0,5	Р	III		
7	15	1	20/0,65	Торф, 20	16×8	0,5	К	IV		
8	8	2	10/0,65	Песок, 800	15×8	0,6	Р	IV	Стальной уголок 60×60×6, L=3 м	пруток d=12
9	6	-	6/0,65	Супесь, 300	12×8	0,7	К	III		
10	-	2	3/0,65	Щебень, 200	10×9	0,7	Р	II		
11	25	1	35/0,23	Суглинок, 100	20×10	0,6	К	I	Труба стальная d=60 L=2.5 м	полоса 40×4
12	10	5	20/0,23	Чернозем, 50	15×12	0,5	Р	I		
13	10	-	10/0,23	Глина, 40	15×8	0,5	К	II		
14	-	6	6/0,23	Торф, 20	12×6	0,6	Р	III		
15	2	-	3/0,23	Песок, 800	10×10	0,7	К	IV		
16	-	10	20/0,4	Супесь, 300	15×12	0,7	Р	IV	Стальной уголок 75×75×8, L=3 м	полоса 40×4
17	4	5	10/0,4	Щебень, 200	16×10	0,6	К	III		
18	5	-	6/0,4	Суглинок, 100	10×8	0,5	Р	II		
19	-	2,5	3/0,4	Чернозем, 50	12×10	0,5	К	I		
20	15	4	20/0,65	Глина, 40	18×10	0,6	Р	I	Круглая сталь d=15 L=6 м	пруток d=12
21	9	1	10/0,65	Торф, 20	18×8	0,7	К	IV		
22	4	2	6/0,65	Песок, 800	16×10	0,7	Р	III		
23	1	2	3/0,65	Супесь, 300	12×8	0,6	К	II		
24	5	5	10/0,23	Щебень, 200	15×12	0,5	Р	I		
25	3	3	6/0,23	Суглинок, 100	12×10	0,5	К	I	полоса 40×4	

Примечание. К – контурное, Р – рядное, в – вертикальный, г – горизонтальный.