МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИЙПРОЕКТ
ВСЕСОЮЗНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
«ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ТИПОВОЙ ПРОЕКТ

ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ОПОР
ВЛ 35-750 кВ
№3602-ТМ
АЛЬБОМ I
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА И УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

МОСКВА - 1974 г.

25-14

gost.e-ecolog.ru

№3602тм-аI

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ
ВСЕСОЮЗНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
«ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
Отделение Дальних Передач

ТИПОВОЙ ПРОЕКТ

Заземляющие устройства опор
ВЛ 35 - 750 кВ

№ 3602 тм

Альбом I

Пояснительная записка и указания по проектированию

Главный инженер /В. Ляшенко/
Нач технического отдела /Я. Самойлов/
Главный специалист /И. Коляков/
Нач. отдела линий /Б. Смирнов/
Главный инженер проекта /В. Горошкина/

Москва 1974г.

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ
ВСЕСОЮЗНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
«ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ТИПОВОЙ ПРОЕКТ

Заземляющие устройства опор
ВЛ 35 - 750 кв
N 3602 тм
Альбом I

Пояснительная записка и указания по проектированию

Главный инженер института /С Рокотян/

Нач. технического отдела института /Л Зеличенко/

Главные специалисты института /А Беляев/
/В Хотинский/

Москва 1974г.

№3602тм-а I

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ

ВСЕСОЮЗНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

«ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Северо - Западное отделение

ТИПОВОЙ ПРОЕКТ

Заземляющие устройства опор
ВЛ 35 - 750 кв

№3602-тм

Альбом I

Пояснительная записка и указания по проектированию

Главный инженер /К. Крюков/

Нач технического отдела /В Гальперин/

Зав лабораторий ТВН КТН /И. Фельдман/

Главный специалист /М. Кегел с/

Ленинград 1974г

№ 3602тм - аI

АННОТАЦИЯ

Типовая работа "Заземляющие устройства опор ВЛ 35-750 кВ" выполнена на основании двух работ:

I. "Заземляющие устройства опор ВЛ", выпущенной Северо-Западным отделением в соответствии с тематическим планом научно-исследовательских работ на 1973 г.

2. "Вертикальные глубинные заземлители для опор ВЛ 110--750 кВ", выпущенной Отделением Дальних Передач в соответствии с планом работ по новой технике Минэнерго СССР на 1973-1974 г.г.

В состав настоящей работы входят рабочие чертежи заземляющих устройств опор 35-750 кВ, а также изложены методы их выбора и расчета.

В работе принимали участие:

Ст.научный сотрудник лаборатории ТВН СЗО Зарецкая М.И., старшие инженеры отдела линий ОДП Крючкова М.Н. и Фомичев С.А.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

АННОТАЦИЯ 5
СОДЕРЖАНИЕ 6
1. ВВЕДЕНИЕ 7
2. Методика расчета и выбора заземляющих устройств опор ВЛ 8
2.1. Удельное сопротивление грунта 8
2.2. Учет сезонных изменений удельных сопротивлений верхних слоев грунта 9
2.3. Приведение многослойной структуры грунта к эквивалентной двухслойной модели 12
2.4. Фундаменты в качестве заземлителей опор и их расчет 15
2.5. Расчет вертикальных и протяженных заземлителей опор ВЛ 17
2.6. Расчет комбинированных заземлителей опор ВЛ 22
2.7. Расчет импульсных значений сопротивления фундаментных и искусственных заземлителей опор ВЛ 24
3. Порядок и методика проектирования заземляющих устройств опор ВЛ 27
3.1. Порядок проектирования 27
3.2. Методика проектирования 29
4. Указания по конструктивному выполнению заземлителей и присоединению их к опорам ВЛ 34
4.1. Выполнение заземлителей 34
4.2. Присоединение заземлителей к опорам ВЛ 35
4.3. Защита от коррозии заземляющих устройств опор ВЛ 38
5. Примеры выбора конструкции заземляющих устройств опор ВЛ 39
Список литературы 48
Выписка из патентного формуляра инв. № 3602тм 49

I. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа выполнена с учетом результатов исследований различными организациями вопросов, связанных с выбором заземляющих устройств, за последний более чем десятилетний период времени.

Новые конструкции заземляющих устройств опор ВЛ 35–750 кВ разработаны с учетом использования естественной проводимости фундаментов в более широких пределах, чем раньше, а также с применением вертикальных электродов из круглой стали диаметром 12–20 мм.

Кроме того, в задачу работы входило освещение современных инженерных методов выбора и расчета заземляющих устройств с учетом реальной многослойной структуры грунта, методов расчета естественной проводимости сборных железобетонных фундаментов, методов расчета импульсных значений сопротивления заземления и изложение методики проектирования заземляющих устройств опор ВЛ.

В работу включены следующие группы конструкций заземляющих устройств: фундаментные заземлители, фундаментные в сочетании с вертикальными, фундаментные в сочетании с протяженными, вертикальные и протяженные в отдельности, а также вертикальные в сочетании с протяженными.

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ВЫБОРА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ОПОР ВЛ

Исходными данными при проектировании заземляющих устройств опор ВЛ являются параметры электрической структуры земли и требования ПУЭ по величинам сопротивления заземления.

2.I. Удельное сопротивление грунта

Удельные сопротивления грунтов ρ и толщина слоев грунта с различными значениями ρ могут быть получены непосредственно при измерениях по трассе проектируемой ВЛ или: ρ – из таблиц, обобщающих результаты ранее выполненных измерений в грунтах аналогичных категорий, а толщина слоев – из материалов изысканий. Измерения могут выполняться с использованием метода пробного электрода или метода вертикального электрического зондирования. В случае выполнения измерений должны быть указаны: дата измерений и состояние влажности верхних слоев грунта. Измерения целесообразно выполнять в процессе изысканий трассы ВЛ с одновременным использованием данных геологических разрезов. При этом по геологическим разрезам могут быть намечены участки трассы с одинаковым строением, для каждого из которых следует провести несколько измерений. При обработке кривых, полученных методом пробного электрода или ВЭЗ, данные геологических изысканий могут быть также использованы для уточнения границ раздела слоев.

После обработки результатов измерений данные в составе изыскательских материалов передаются проектировщикам ВЛ.

Если непосредственные измерения по трассе проектируемой ВЛ не выполняются, но имеются данные замеров удельных сопротивлений аналогичных грунтов в районе трассы проектируемой ВЛ,

на площадках подстанций и т.д., эти данные должны быть приняты за основу при выборе конструкций заземляющих устройств.

Параметры электрической структуры верхних слоев грунта, полученные в результате измерений, должны быть, с учетом влажности почвы в момент измерений, приведены к расчетным условиям, т.е. к наиболее тяжелым условиям, могущим иметь место в летнее время года.

При отсутствии данных прямых измерений удельного сопротивления грунта проектировщикам следует пользоваться полученными от изыскателей геологическим разрезом грунта по трассе и обобщенными данными удельных сопротивлений различных категорий грунтов, приведенными в таблице на черт.№ 3602тм-ВП-П-49.

В этом случае в связи с ориентировочностью значения ρ при выборе конструкций заземляющих устройств введение поправок, учитывающих высыхание грунта, на удельные сопротивления грунта является нецелесообразным.

На основе анализа и обобщения данных об удельных сопротивлениях грунта, полученных по результатам прямых измерений на линиях и на подстанциях, следует составлять уточненные региональные таблицы удельных сопротивлений пород грунта для данного района. При использовании таких уточненных таблиц удельных сопротивлений грунтов погрешность оценки проводимости грунта будет несопоставимо меньше, чем при использовании обобщенных табличных данных.

2.2. Учет сезонных изменений удельных сопротивлений верхних слоев грунта

Параметры электрической структуры грунта (удельное сопротивление и толщина слоев), полученные путем измерения, не могут использоваться непосредственно для выполнения проекта заземляю-

щих устройств.

Известно, что в зависимости от времени измерения удельного сопротивления грунта верхний слой его, подверженный сезонным изменениям влажности, т.е. так называемый "слой сезонных изменений", может иметь различные значения удельного сопротивления. Основное влияние на величину ρ оказывает влажность грунта, которая оценивается степенью водонасыщения G. Принята следующая классификация грунтов по G: сухие и маловлажные $G<0,5$; средневлажные $0,5<G<0,8$; сильновлажные $G>0,8$. В связи с изменением влажности грунта параметры его электрической структуры, полученные в результате измерений, необходимо привести к расчетным условиям, т.е. наиболее тяжелым, могущим иметь место в летнее время, с помощью сезонных коэффициентов удельного сопротивления грунта Кс с учетом толщины слоя сезонных изменений h_c.

Метод приведения измеренной многослойной структуры грунта к расчетной структуре для трех возможных случаев соотношения между толщиной первого слоя многослойного грунта, полученного путем измерений (h_1, изм.), и глубиной слоя сезонных изменений (h_c) приведен на рис. I.

Глубину слоя сезонных изменений h_c следует принимать по материалам изысканий (в среднем приближенно ее можно принимать равной I,5÷I,8 м).

Значение сезонного коэффициента Кс принимается в зависимости от степени влажности грунта во время измерений. Если при измерении удельного сопротивления грунт был сильновлажный, то принимается Кс=I,8, в условиях средней влажности – Кс=I,4÷I,5,

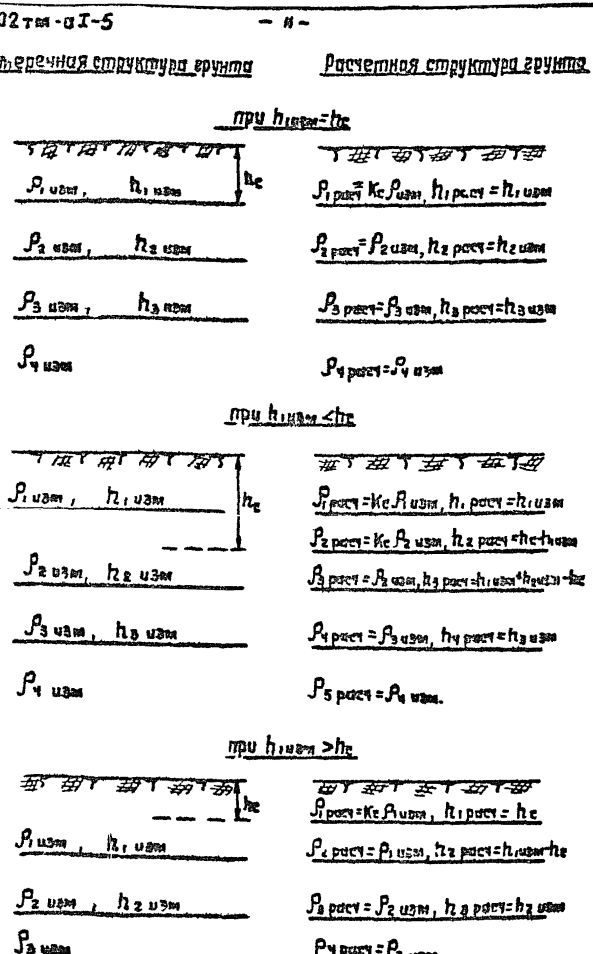


Рис 1 Учет сезонных изменений удельного сопротивления верхних слоев грунта

при сухом или маловлажном грунте – I÷I,2 (Л.6, 7, 8, 9).

Конструкции заземляющих устройств, представленные на типовых чертежах настоящей работы (Альбом II), разработаны для средних по влажности условий грунта, т.е. с введением коэффициента I,4÷I,5. Если измерения производились в сильновлажном или сухом грунте, то при использовании типовых чертежей удельное сопротивление верхнего слоя грунта должно быть пересчитано на условия средней влажности путем введения дополнительных поправочных коэффициентов, равных: при сильновлажном грунте I,2÷I,3 и при сухом – 0,7÷0,8.

2.3. Приведение многослойной структуры грунта к эквивалентной двухслойной модели

Инженерные методы расчета естественных и искусственных заземлителей разработаны для двухслойной структуры грунта. Поэтому первым этапом расчета заземлителей является приведение реальной многослойной структуры грунта к эквивалентной двухслойной модели. Способы приведения зависят от типа заземляющего устройства и характера электрической структуры грунта.

Приближенные методы приведения многослойной структуры грунта к эквивалентной двухслойной модели для различных типов заземлителей разработаны ВИЭСХ (Л.I , 2).

2.3.I. Вертикальные электроды, свайные и железобетонные фундаменты при использовании их в качестве естественных заземлителей и комбинированные заземлители.

При приведении многослойной структуры грунта к эквивалентной двухслойной модели в рассматриваемых случаях в качестве первого эквивалентного слоя h_1 принимается слой от поверхности земли до глубины погружения вертикальных электродов или

свайных и железобетонных фундаментов, которые могут рассматриваться как вертикальные электроды, т.е.

$$h_{1э} = \ell_в + t \qquad (1)$$

где. $\ell_в$ – длина вертикального электрода, м;

t – глубина заложения вертикального электрода (глубина траншеи), м.

Эквивалентное удельное сопротивление верхнего слоя двухслойной модели определяется по формуле

$$\rho_{1э} = \frac{1}{\gamma_{1э}} \qquad (2)$$

где $\gamma_{1э}$ – усредненная удельная проводимость слоев, составляющих толщину $h_{1э}$, $См/м$

$$\gamma_{1э} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} \gamma_i h_i}{h_{1э}}; \quad h_{1э} = \sum_{i=1}^{i=k} h_i \qquad (3)$$

где. γ_i и h_i -удельная проводимость и толщина каждого из слоев, составляющих первый эквивалентный слой двухслойной модели грунта, $См/м$ и $м$

К – число слоев, составляющих первый эквивалентный слой.

Таким образом, эквивалентное удельное сопротивление первого слоя эквивалентной двухслойной модели для рассматриваемого типа заземлителей определяется путем усреднения проводимостей слоев, расположенных в зоне вертикального электрода.

Для приближенного учета влияния на результирующее эквивалентное сопротивление слоев грунта, лежащих ниже вертикального электрода, в качестве расчетной глубины принимается:

$$H_{расч} = (1{,}3 + 1{,}4)\,\ell_в \qquad (4)$$

Если ниже первого эквивалентного слоя в пределах $H_{расч}$ имеется один слой, то его удельное сопротивление и принимается за $\rho_{2э}$

Если ниже первого эквивалентного слоя в пределах $H_{расч}$ имеется два слоя или более, то их приводят ко второму эквивалентному слою следующим образом:

а) При уменьшении удельных сопротивлений слоев по глубине по формуле

$$\rho_{2э} = \frac{\sum_{i=к+1}^{i=n} \rho_i h_i}{H_{расч} - h_{1э}}, \qquad (5)$$

где ρ_i и h_i – удельное сопротивление и толщина каждого из слоев, составляющих второй эквивалентный слой; Ом·м и м

б) При увеличении удельных сопротивлений слоев по глубине по формуле

$$\rho_{2э} = \frac{1}{\gamma_{2э}}, \qquad \gamma_{2э} = \frac{\sum_{i=к+1}^{i=n} \gamma_i h_i}{H_{расч} - h_{1э}}, \qquad (6)$$

где γ_i и h_i – удельная проводимость и толщина каждого из слоев, составляющих второй эквивалентный слой; См/м и м

2.3.2. Протяженные заземлители без вертикальных электродов.

При приведении расчетной многослойной структуры грунта к эквивалентной двухслойной модели в случе протяженных лучевых заземлителей без вертикальных электродов в качестве границы раздела между двумя эквивалентными слоями принимается нижняя граница слоя, в котором находится протяженный заземлитель.

Поскольку глубина прокладки протяженного заземлителя 0,5–I м, то практически можно считать, что протяженный заземлитель всегда располагается в верхнем слое с $\rho_{1э}$, равным действительному удельному сопротивлению этого слоя ρ_1

Учет параметров грунта может быть ограничен до глубины

$$H_{расч} = (0{,}1 \div 0{,}2)\, n_л\, \ell_л \,, \qquad (7)$$

причем $2h_{1э} < H_{расч} \leqslant 10\ м$,

где $n_л$ и $\ell_л$ – число и длина лучей.

Эквивалентное удельное сопротивление второго слоя $\rho_{2э}$ определяется путем усреднения по формулам, аналогичным формулам (5) и (6), в зависимости от характера изменения удельного сопротивления слоев по глубине.

2.3.3. Эквивалентное удельное сопротивление грунта

По полученным в п.п. 2.3.I и 2.3.2. значениям $\rho_{1э}$ и $\rho_{2э}$ для соответствующей конструкции заземляющего устройства определяется эквивалентное значение удельного сопротивления грунта $\rho_э$. Зависимости $\rho_э/\rho_{2э} = f\left(\frac{\rho_{1э}}{\rho_{2э}}, \frac{h_{1э}-t}{\ell_л}\right.$ или $\left.\frac{h_{1э}-t}{n_л\,\ell_л}\right)$, рассчитанные с помощью ЦВМ, приведены на чертежах №№ 3602тм-ВД-П-I,2,3.

В тех случаях, когда имеет место реальная двухслойная структура грунта, значение $\rho_э$ определяется также, только:

$$\rho_{1э} = \rho_1 \,, \quad \rho_{2э} = \rho_2 \,, \quad h_{1э} = h_1$$

2.4. Фундаменты в качестве заземлителей опор и их расчет

При разработке существовавших до сих пор чертежей заземляющих устройств естественная проводимость фундаментов учитывалась только в грунтах с $\rho \leqslant 300$ Ом.м. На основании выполненных в последние годы многочисленных измерений в настоящей работе в качестве предельного значения ρ , до которого учитывается естественная проводимость сборных железобетонных

фундаментов, принято $\rho = 500$ Ом.м.

На основании исследований, битумная обмазка фундаментов с точки зрения использования их проводимости не учитывается.

Методика расчета естественной проводимости фундаментов, рекомендуемая в данной работе, разработана в НИИПТ (Л.3) по заданию института "Энергосетьпроект".

Сопротивление заземления сборных железобетонных фундаментов и свай, обеспечиваемое за счет естественной проводимости, при токах промышленной частоты рассчитывается по формуле

$$R_ф = K_f \frac{\rho_э}{H} \qquad (8)$$

где: K_f – коэффициент формы заземлителя;

H – максимальная глубина заложения фундамента в грунт; м.

Здесь и ниже: $\rho_э$ – эквивалентное удельное сопротивление двухслойной модели грунта, определяемое в соответствии с п.2.3.3.

Значения коэффициента формы для фундаментов разных типов, полученные в результате измерений на модели в электролитической ванне, приведены на чертежах № 3602тм-ВП-П-50,5I.

Зависимости отношения $\rho_э / \rho_{2э}$ от параметров грунта и основных параметров фундаментного заземлителя приведены на чертеже № 3602тм-ВП-П-I.

Результаты расчетов эквивалентного удельного сопротивления грунта, до которого естественная проводимость фундаментов различных типов опор ВЛ 110-750 кВ обеспечивает нормированное сопротивление заземляющего устройства, приведены на чертеже № 3602тм-ВП-П-4.

На ВЛ 35 кВ естественная проводимость железобетонных фундаментов не должна учитываться.

2.5. Расчет вертикальных и протяженных заземлителей опор ВЛ

Рекомендуемый в настоящей работе метод расчета искусственных заземлителей опор ВЛ при токе промышленной частоты в грунте с двухслойной электрической структурой разработан в лаборатории электробезопасности и молниезащиты ВНИСХ. Он получен путем обработки на основе теории подобия массовых расчетов заземлителей в однородном и двухслойном грунте, выполненных на ЦВМ "МИНСК-22" по методу наведенных потенциалов. Расчеты выполнялись для большого количества возможных конструкций искусственных заземлителей опор ВЛ. Результаты обработки позволили определить расчетные формулы и построить графики для входящих в эти формулы коэффициентов.

Метод расчета позволяет сравнительно просто и вместе с тем с достаточной для практики точностью рассчитывать искусственные заземлители опор ВЛ в однородном и двухслойном грунтах.

2.5.I. Расчет заземлителей из одиночных вертикальных электродов

Расчет заземлителя из одиночного вертикального электрода в двухслойном грунте при промышленной частоте производится по формуле:

$$R_{вз} = 0{,}366 \frac{\rho_1}{l_в} \lg \frac{4l_в}{d_в}, \qquad (9)$$

где: $\ell_в$ – длина вертикального электрода, м;

$d_в$ – диаметр вертикального электрода, м.

В случае применения угловой стали эквивалентный диаметр электрода может быть определен по формуле:

$$d_в = 0{,}95\ C, \qquad (10)$$

где: C – размер полки уголка, м.

Зависимости отношения $\rho_э/\rho_{2э}$ от параметров грунта и основных параметров вертикального заземлителя приведены на чертеже № 3602тм-НЛ-П-I.

По формуле (9) могут рассчитываться и заземлители, которые поставляются комплектно со стойками железобетонных опор. При этом диаметр эквивалентного электрода следует принимать равным $d_{вэ} = \sqrt{d\,a}$

где: d – фактический диаметр круглой стали, из которой выполнен заземлитель, м,

a – расстояние между вертикальными элементами заземлителя, м.

2.5.2. Расчет заземлителей из двух или нескольких вертикальных электродов

Сопротивление двух или нескольких вертикальных электродов при промышленной частоте рассчитывается по формуле:

$$R_{\Sigma вэ} = \frac{R_{вэ}}{n} \cdot \frac{1}{\eta} \qquad (11)$$

где: $R_{вэ}$ – сопротивление одного вертикального электрода, рассчитанное по формуле (9), Ом,

n – число вертикальных электродов,

η – коэффициент использования вертикальных заземлителей.

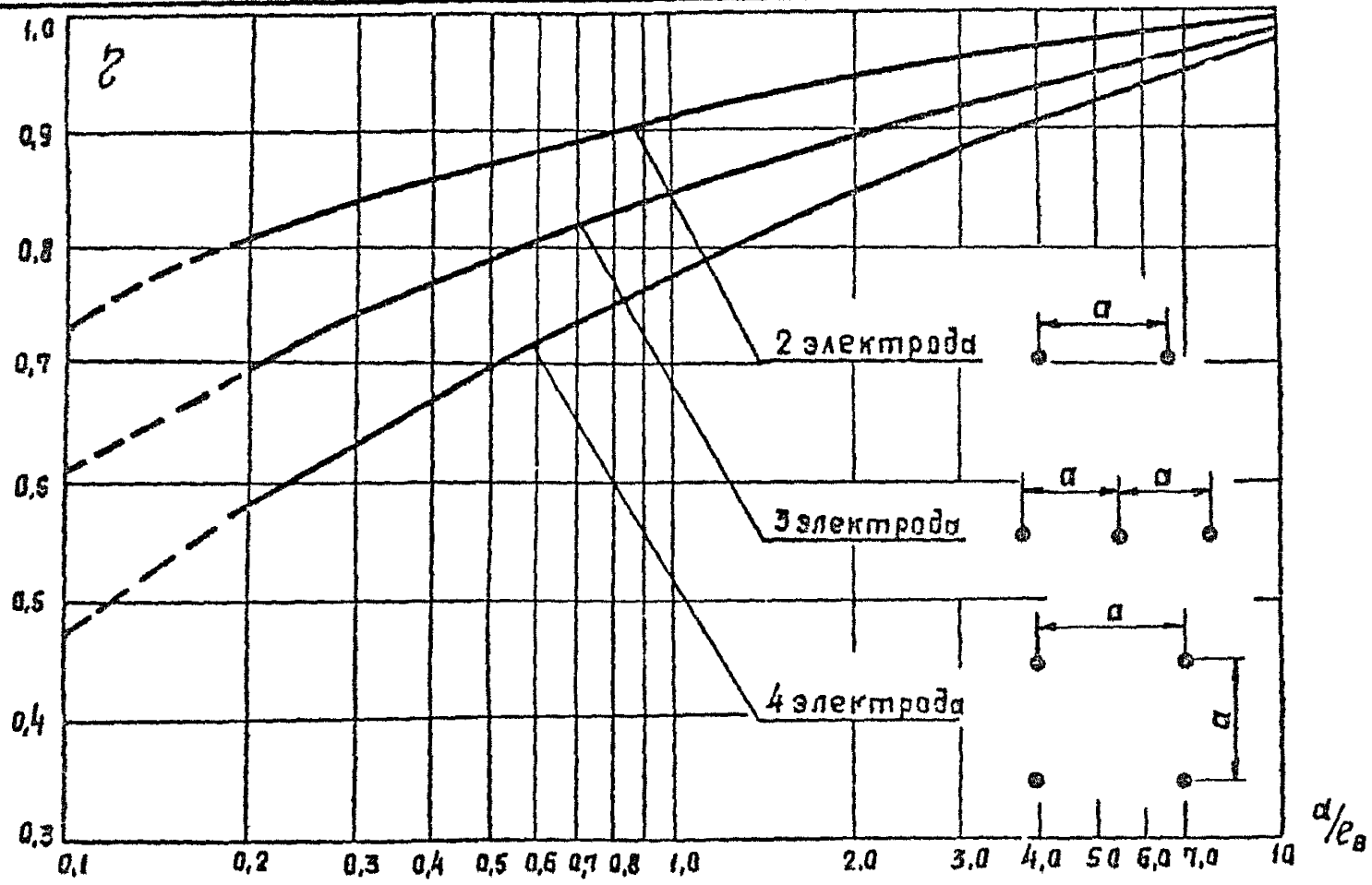


Рис 2 Зависимость $\psi = f(a/e_в)$ для вертикальных электродов

Величины коэффициента η приведены на рис.2 в виде зависимостей от числа вертикальных электродов и отношения $a/\ell_в$, где a – расстояние между вертикальными электродами.

Зависимости отношения $\rho_в/\rho_{2э}$ от параметров грунта и основных параметров вертикальных заземлителей приведены на чертеже № 3602тм-ВЛ-П-I.

2.5.3. Расчет протяженных заземлителей.

Расчет сопротивления протяженных лучевых заземлителей при промышленной частоте в двухслойном грунте производится по формуле:

$$R_л = A \frac{\rho_в}{\rho_{2э}} \frac{\rho_{2э}}{\ell_л} \qquad (I2)$$

где $A = f\left(\frac{d_л}{\ell}, n_л\right)$ – коэффициент подобия, зависящий от длины лучей ($\ell_л$), диаметра лучей ($d_л$) и их количества ($n_л$).

В случае применения полосовой стали эквивалентный диаметр протяженного заземлителя может быть определен по формуле:

$$d_л = \frac{в}{2} \qquad (I3)$$

где: $в$ – ширина полосы, м.

Графики для определения коэффициента А приведены на рис.3.

Зависимости значения $\rho_в/\rho_{2э}$ от параметров грунта и основных параметров лучевых заземлителей приведены на чертеже № 3602тм-ВЛ-П-3.

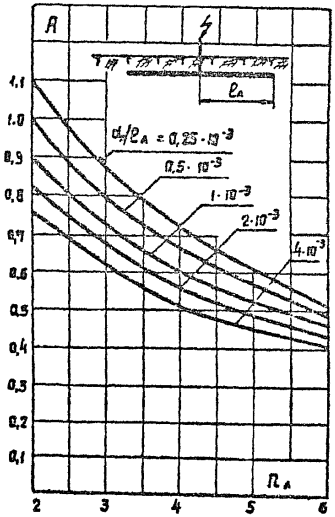


Рис 3. Коэффициент A для расчета сопротивления протяженных заземлителей.

2.6. Расчет комбинированных заземлителей опор ВЛ

В качестве комбинированных заземлителей могут рассматриваться: фундаментные заземлители в сочетании с вертикальными, фундаментные в сочетании с протяженными, а также вертикальные в сочетании с протяженными.

2.6.I. Фундаменты с вертикальными и протяженными заземлителями.

В тех грунтах, в которых может использоваться естественная проводимость железобетонных фундаментов, но ее не достаточно для обеспечения нормированного сопротивления заземляющих устройств, дополнительно к фундаментам должны сооружаться искусственные заземлители: вертикальные или протяженные.

Фундаменты с вертикальными заземлителями

В случае, если вертикальные электроды длиной $l_в$ заглубляются в непосредственной близости от фундаментов, использование той части вертикального электрода, которая находится рядом с фундаментом, т.е. от поверхности земли и до подошвы фундамента, будет ничтожно мало, и ее проводимость может не учитываться при определении общего сопротивления заземляющего устройства. Поэтому такая конструкция в целом рассматривается как условный вертикальный заземлитель общей длиной $l_в$ и состоящий из двух частей: заглубленной части фундамента длиной H и вертикального электрода длиной $(l_в - H)$.

Расчет заземляющего устройства, состоящего из таких заземлителей, при промышленной частоте производится по формуле:

$$R_з = \frac{R_{зв} \cdot R_ф}{R_{зв} + R_ф} \cdot \frac{1}{\eta}, \qquad (I4)$$

где: $R_{\Sigma вэ}$ – суммарное сопротивление подфундаментной части вертикальных электродов длиной ($l_в - H$), определяемое по формуле (II), Ом.

$R_ф$ – сопротивление фундамента опоры в целом, определяемое по формуле (8); Ом

η – коэффициент использования фундамента и подфундаментной части вертикального электрода, 0,95

При принятом подходе система "фундаменты – вертикальные электроды" при определении $\rho_э$ может рассматриваться как обычные вертикальные электроды. Величины $\rho_э/\rho_{2э}$ приведены на чертеже № 3602тм-ВЛ-П-I.

Фундаменты с протяженными заземлителями.

Расчет сопротивления заземления, обеспечиваемого за счет совместного действия естественных и протяженных лучевых заземлителей (R_Σ) сводится к определению сопротивления, получаемого отдельно за счет каждого вида заземлителя и введения коэффициента использования на их параллельную работу по формуле

$$R_\Sigma = \frac{R_ф \cdot R_л}{R_ф + R_л} \cdot \frac{1}{\eta} \qquad (I5)$$

где: $R_ф$ – сопротивление фундаментных заземлителей, Ом

$R_л$ – сопротивление протяженных лучевых заземлителей, Ом

η – коэффициент использования.

В качестве ориентировочного значения до проведения соответствующих натурных измерений, рекомендуется принимать коэффициент использования при токах промышленной частоты – 0,8÷0,9.

Величины $\rho_э/\rho_{2э}$ приведены на чертеже № 3602тм-ВЛ-П-2.

2.6.2. Протяженные заземлители с вертикальными

Сопротивление протяженных лучевых заземлителей с вертикальными электродами при промышленной частоте определяется по формуле:

$$R = A\,\delta \cdot \frac{\rho_3}{\rho_{23}} \cdot \frac{\rho_{23}}{l_л} \qquad (16)$$

где A – коэффициент подобия для лучевых заземлителей, определяемый по рис.3

δ – коэффициент, характеризующий снижение сопротивления заземления в зависимости от относительной длины вертикальных электродов и расстояния между ними, определяемый по рис.4.

Величина относительного эквивалентного удельного сопротивления грунта $\rho_э/\rho_{23}$ для данного типа заземлителей приведена на чертеже № 3602тм-ВЛ-П-2.

2.7. Расчет импульсных значений сопротивления фундаментных и искусственных заземлителей опор ВЛ

Конструкция и сопротивление растеканию заземлителей опор ВЛ напряжением 110 кВ и выше определяются требованиями грозозащиты, а на ВЛ 35 кВ и ниже, как правило, требованиями электробезопасности.

Критерием качества грозозащиты линии электропередачи является число грозовых отключений в год. Расчет числа грозовых отключений линии выполняется в соответствии с рекомендациями "Руководящих указаний по защите от перенапряжений электрических сетей" (Д.70)

Для определения числа грозовых отключений линий электропередач используются импульсные значения сопротивлений заземления опор ВЛ ($R_{имп.}$):

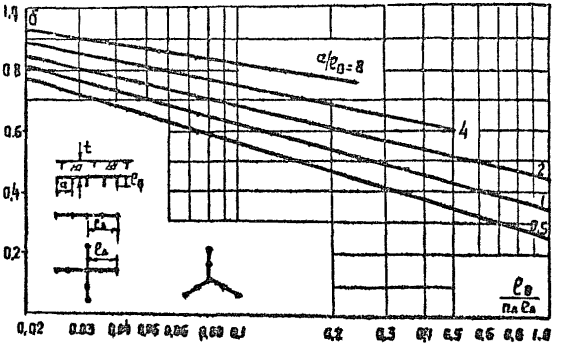


Рис 4. Коэффициент δ для расчета сопротивления комбинированных заземлителей.

$$R_{имп} = \alpha \cdot R \qquad (17)$$

где: α – импульсный коэффициент заземлителя, зависящий от величины тока молнии, удельного сопротивления грунта и типа заземляющего устройства;

R – сопротивление заземлителя при токе промышленной частоты, Ом.

Значение импульсного сопротивления заземлителей рекомендуется определять при среднем значении тока молнии, равном 26кА.

В настоящее время нет достаточно достоверных данных по импульсным коэффициентам всех рассматриваемых в работе конструкций.

Однако, чтобы можно было выполнять расчеты грозоупорности ВЛ, в работе приведены ориентировочные значения α для различных конструкций заземляющих устройств.

Импульсные коэффициенты фундаментных заземлителей приведены на чертежах № 3602тм-ВЛ-П-50, 51.

Значения импульсных коэффициентов для основных видов искусственных заземлителей в зависимости от величины удельного сопротивления грунта и геометрических размеров заземлителей при амплитуде тока молнии 26 кА приведены на чертежах №№ 3602тм-ВЛ-П-52,53,54.

Импульсное сопротивление сплошных одиночных противовесов в грунтах даже с большими значениями ρ может быть принято 50 Ом (Л.5,11).

3. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ОПОР ВЛ

Рабочие чертежи заземляющих устройств опор ВЛ выполняются исходя из нормированных ПУЭ сопротивлений заземлений в зависимости от эквивалентного удельного сопротивления грунта $\rho_э$

Эквивалентное удельное сопротивление грунта $\rho_э$, Ом.м	Сопротивление заземляющего устройства; $R_{доп.}$, Ом
До 100	10
Более 100 до 500	15
Более 500 до 1000	20
Более 1000 до 5000	30
Более 5000	$6 \cdot 10^{-3} \rho_э$

3.1. Порядок проектирования

3.1.1. На основании электрической структуры грунта, т.е. удельных сопротивлений слоев грунта (ρ_1, ρ_2 и т.д.) и их толщины (h_1, h_2 и т.д.) для данного типа опоры выбирается предварительная конструкция заземляющего устройства (в виде фундамента, сочетания фундамента с искусственными заземлителями или состоящая только из искусственных заземлителей), т.е.

электрическая структура грунта

(ρ_1, ρ_2 _ h_1, h_2 _) → предварительная конструкция заземляющего устройства.

3.I.2. В пределах расчетной толщины грунта $h_{расч}$ выбранной конструкции производится приведение многослойной структуры грунта к эквивалентной двухслойной и определяется $\rho_э$:

предварительная конструкция заземляющего устройства, $\rho_1, \rho_2 \ldots h_1, h_2 \ldots \rightarrow \rho_э$

3.I.3. Для найденного $\rho_э$ по ПУЭ определяется допустимое сопротивление заземления $R_{доп}$:

$$\rho_э \rightarrow R_{доп}$$

3.I.4. а) В случае использования типовых конструкций заземляющих устройств, представленных на чертежах Альбома II настоящей работы, производится проверка соответствия предварительно выбранной конструкции заземляющего устройства для конкретного типа опоры и типовой конструкции по чертежам Альбома II для интервала удельных сопротивлений грунтов, в котором находится полученное выше $\rho_э$:

предварительная конструкция заземляющего устройства для $\rho_э$ соответствует типовой конструкции для интервала $\rho_{эI} \div \rho_{эII}$

причем $\rho_{эI} < \rho_э \leq \rho_{эII}$

Если при этом оказывается, что выбранная конструкция не соответствует типовой, производится корроктировка выбранной предварительно конструкции (размеров и количества электродов), и все указанные выше действия повторяются.

б) Если конструкция заземляющего устройства рассчитывается (например, для специального типа опоры или в каких-то особых случаях, не вошедших в настоящую типовую работу), то для найденного выше $\rho_э$ рассчитывается сопротивление за-

земления R предварительно выбранной конструкции. Полученное значение должно быть равным или близким допустимому значению сопротивления, т.е.

$$R \leq R_{доп}$$

Если величина R значительно отличается от $R_{доп.}$, производится соответствующая корректировка выбранной конструкции, и все указанные выше действия повторяются.

3.2. Методика проектирования

3.2.I. В качестве исходной многослойной электрической структуры грунта принимается структура, полученная путем прямых измерений (методом пробного электрода или методом ВЭЗ) на наиболее характерных участках трассы ВЛ, или структура, полученная на основании геологического разреза по трассе ВЛ с использованием обобщенных значений удельных сопротивлений грунтов (по чертежу № 3602тм-ВЛ-П-49), а после появления уточненных региональных таблиц удельных сопротивлений различных категорий грунта – по этим таблицам.

3.2.2. Исходная многослойная электрическая структура грунта, полученная путем непосредственных измерений при данных конкретных условиях (время года, влажность верхних слоев грунта и т.п.), приводится с помощью сезонных коэффициентов к расчетным условиям. При этом следует руководствоваться рекомендациями раздела 2.2 настоящей работы.

Если исходная многослойная электрическая структура грунта получена по данным таблицы чертежа № 3602тм-ВЛ-П-49 или с использованием региональных таблиц, то введение сезонных коэффициентов не целесообразно.

3.2.3. В связи с тем, что инженерные методы расчета заземлителей разработаны для двухслойного грунта, расчетная многослойная электрическая структура грунта приводится к эквивалентной двухслойной структуре. Метод приведения зависит от выбранного типа заземлителя и характера изменения удельных сопротивлений слоев расчетной структуры грунта по глубине (см. п.2.3.)

Если исходная структура грунта является двухслойной, то она принимается за расчетную.

3.2.4. Исходя из характера электрической структуры грунта выбирается тип заземлителя.

Прежде всего для ВЛ напряжением 110 кВ и выше оценивается возможность использования естественной проводимости железобетонных фундаментов, анкеров или стоек.

Если верхний слой грунта толщиной $H_{расч}$ (см.п.2.3.1) имеет удельное сопротивление менее значений, при которых достаточно естественной проводимости фундаментов (для типовых конструкций см.черт.№ 3602тм-ВЛ-П-4), выполнение искусственных заземлителей не требуется.

Если в пределах $H_{расч}$ имеется два или более слоев и хотя бы один из них имеет $\rho < 500$ Ом.м, то следует выполнить эквивалентирование грунта и в соответствии с величиной $\rho_э$ установить возможность использования фундаментов.

При этом эквивалентирование производить по графикам чертежа №3602тм-ВЛ-П-I, принимая $l_в = H$, где Н – глубина заложения фундамента.

3.2.5. Если удельное сопротивление (действительное в случае однородного или эквивалентное в случае многослойного

грунта) превышает значения, при которых достаточно естественной проводимости фундаментов, но меньше 500 Ом.м, следует применять искусственные заземлители.

В этом случае искусственный заземлитель должен дополнить до нормы величину сопротивления заземления, обеспечиваемую естественной проводимостью железобетонных фундаментов.

Вид искусственного заземлителя зависит от структуры грунта и соотношения удельных сопротивлений слоев.

В однородном грунте и в грунте с убывающим по глубине удельным сопротивлением наиболее целесообразными являются вертикальные заземлители. Их количество и длина определяются с одной стороны размерами фундамента и, следовательно, участием его в отводе токов в землю, с другой – удельным сопротивлением грунта и нормированным сопротивлением заземления (типовые заземляющие устройства "фундамент-вертикальные электроды" представлены на чертежах №№ 3602тм-ВЛ-П-I7, 22, 27, 3I, 32, 37).

Если нижележащие слои грунта имеют значительно более высокие значения удельных сопротивлений, чем верхние, или когда погружение вертикальных электродов затруднено или невозможно из-за плотности грунтов, в качестве искусственных заземлителей рекомендуется применять протяженные лучевые заземлители. (Чертежи №№ 3602тм-ВЛ-П-2I,26,30,35,36,40).

Для трехстоечных опор ВЛ расчет заземляющих устройств производится с учетом объединения стоек между собой посредством перемычек. Это позволяет расширить область использования естественной проводимости фундаментов и уменьшить расход металла на устройство искусственных заземлителей (чертеж № 3602тм-ВЛ-П-4I).

При наличии на одностоечных железобетонных опорах заземлителей, поставляемых заводом комплектно со стойками, целесообразно их использование.

3.2.6. Если естественная проводимость фундаментов не может быть учтена (в грунтах с $\rho > 500$ Ом.м и для ВЛ 35 кВ, работающих в сети с изолированной нейтралью), нормированное сопротивление заземления обеспечивается только искусственными заземлителями – вертикальными и протяженными.

Как уже указывалось выше, вертикальные электроды следует применять в однородных грунтах и грунтах с убывающим по глубине сопротивлением. Предельная глубина погружения вертикальных электродов при существующих в настоящее время механизмах в достаточно мягких (не выше II–III категории) грунтах – 20 м. Количество вертикальных электродов также ограничено количеством элементов фундамента (подножников, анкерных плит), т.к. при забивке у каждого элемента фундамента двух и более вертикальных электродов из-за сильного их взаимного экранирования использование вертикальных электродов неэффективно (Типовые заземляющие устройства из вертикальных электродов представлены на чертежах №№ 3602тм-ВЛ-П-5,8,II,I4,I8,23,28,33,38,55).

Для трехстоечных опор ВЛ расчет вертикальных заземлителей производится с учетом перемычек между стойками (чертежи №№ 3602тм-ВЛ-П-42, 58).

Если вертикальные электроды не обеспечивают нормированных значений сопротивления, дополнительно к вертикальным прокладываются протяженные, т.е. применяются комбинированные заземлители (чертежи №№ 3602тм-ВЛ-П-6,9,I2,I5,I9,24,29,34,39,43, 56,59).

В грунтах с возрастающим по глубине сопротивлением и в тех случаях, когда невозможно погружение вертикальных электродов, следует применять только протяженные лучевые заземлители. В качестве наиболее распространенного решения рекомендуется применение четырехлучевых протяженных заземлителей (чертежи №№ 3602тм-ВЛ-П-7, I0, I3, I6, 20, 2I, 25, 26, 30, 35, 36, 44, 57, 60).

3.2.7. В отдельных случаях (например, в условиях стесненной трассы, при очень высоких ρ грунта в целом или верхних слоев и т.д.) могут оказаться целесообразными двух- и шестилучевые заземлители, а также заземлители с двумя вертикальными электродами на каждом протяжении. Такие конструкции могут быть рассчитаны в случае необходимости при проектировании в соответствии с рекомендациями настоящей работы. При этом двухлучевые заземлители целесообразно располагать вдоль оси ВЛ.

В случаях особо тяжелых грунтовых условий с точки зрения величины удельного сопротивления грунта, когда отказ от подвески тросов не возможен (на подходах ВЛ к подстанциям и т.д.), заземление опор следует выполнять с помощью противовесов.

Противовесами называют лучевые горизонтальные заземлители, прокладываемые вдоль оси линии. Если длина их равна или больше половины пролета, противовесы оказываются сплошными.

При двух противовесах, расположенных на расстоянии I2 м и более друг от друга, коэффициент экранирования может быть принят равным единице.

При расстоянии между противовесами, равном 8 м, коэффициент экранирования может быть принят равным 0,85. При меньших расстояниях коэффициент экранирования уменьшается линейно до

значения 0,5, когда расстояние между двойными противовесами сокращается до нуля.

4. УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУКТИВНОМУ ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ И ПРИСОЕДИНЕНИЮ ИХ К ОПОРАМ ВЛ

4.I. Выполнение заземлителей

Заземлители ВЛ как вертикальные, так и лучевые выполняются из круглой стали диаметром I2-I6 мм, а в отдельных случаях - I8+20 мм.

Соединение элементов заземлителей между собой следует выполнять сваркой. При этом длина нахлестки должна быть равной шести диаметрам. Сварку необходимо выполнять по всему периметру нахлестки.

В местах пересечения горизонтальных заземлителей с подземными сооружениями (кабелями, трубопроводами), железнодорожными и проезжими путями, а также в местах, где возможны механические повреждения, заземлители следует защищать отрезками стальных труб.

При прокладке заземлителей параллельно кабелям или трубопроводам необходимо выдерживать расстояния, нормированные ПУЭ.

Горизонтальные заземлители с наименьшими затратами труда могут погружаться в грунт с помощью монтажного плуга.

Однако в тех случаях, когда монтажный плуг по каким-либо причинам не может быть использован, заземлители укладываются в траншеи. В большинстве случаев при механизированной копке траншей используется экскаватор с ковшом емкостью 0,35 м^3, что и определяет ширину траншей. На чертеже № 3602тм-ВЛ-П-48 приведены объемы земляных работ в случае рытья траншей, а также

типы траншей в различных грунтах при механизированной и ручной копке.

При укладке горизонтальных участков комбинированных заземлителей с помощью монтажного плуга следует учитывать необходимость рытья траншей длиной до I м для погружения со дна ее вертикального электрода.

Вертикальные электроды должны погружаться методом вибропогружения или засверливания. В частности, для заглубления вертикальных электродов могут быть использованы: вибропогружатель ПГЭ-20-74, разработанный в институте "Энергосетьпроект"; машина УЗК с гидравлическим вибромолотом, разработанная в ПКБ Главэнергостроймеханизации, и др.механизмы.

При выполнении проекта ВЛ в части заземляющих устройств необходимо учитывать возможности мехколонны, которая будет строить данную линию,с точки зрения оснащения ее механизмами.

4.2. Присоединение заземлителей к опорам ВЛ

4.2.I. Присоединение заземлителей к стойкам металлических и железобетонных опор.

Металлические опоры

В соответствии с рекомендациями ПУЭ, на металлических опорах соединение заземляющего устройства с опорой может быть как сварным, так и болтовым.

Учитывая, однако, что все унифицированные металлические опоры должны выполняться оцинкованными, присоединение должно быть болтовым. Болтовое присоединение облегчает такие эксплуатационный контроль заземляющих устройств.

Из-за наличия естественной проводимости фундаментов болтовое присоединение заземлителей без отсоединенного троса не всегда обеспечивает достаточно точное измерение сопротивления заземляющего устройства. Поэтому целесообразно использовать для эксплуатационного контроля заземлителей специальные приборы, позволяющие измерять сопротивление без отсоединения троса.

Присоединение заземлителей к металлическим опорам дано на чертеже № 3602тм-ВП-П-45.

Железобетонные опоры

Роль заземляющих спусков от грозозащитных тросов к заземлителям на унифицированных железобетонных опорах выполняет стальная арматура.

На железобетонных портальных опорах с оттяжками, у которых нижние оголовники должны быть оцинкованы, присоединение должно быть болтовым. На железобетонных опорах одностоечных и портальных свободностоящих, на стойках которых предусматриваются выводы арматуры для присоединения заземлителей, присоединение может быть сварным и болтовым. Сказанное выше в отношении болтового присоединения и использования специальных приборов для контроля заземлителей относится также и к железобетонным опорам. Сварное присоединение может быть применено на опорах, не имеющих тросов, но заземленных (35 кВ), и на опорах с изолированным тросом. На подходах ВЛ к подстанциям, где выполняется глухое крепление тросов к опорам, присоединение должно быть болтовым; сварным в этом случае оно может быть только при наличии энергосистемы вышеупомянутых приборов.

Присоединение заземлителей к железобетонным опорам дано на чертеже № 3602тм-ВЛ-II-46.

4.2.2. Присоединение заземлителей к тросам ВЛ на деревянных опорах.

Для присоединения заземлителей к тросам ВЛ на деревянных опорах по стойкам опор прокладываются спуски из круглой стали диаметром не менее 10 мм. Эти спуски присоединяются к грозозащитным тросам с помощью ответвительных зажимов, а к заземлителю – с помощью разъемного болтового соединения (по ПУЭ).

Наличие болтового соединения заземляющего спуска с заземлителем обеспечивает возможность осуществления контроля заземляющих устройств опор ВЛ без подъема на опору и отключения линии.

При наличии приборов для контроля заземлителей соединение заземляющего спуска с заземлителем может выполняться неразъемным.

Присоединение заземлителей к деревянным опорам дано на чертеже № 3602тм-ВЛ-II-47.

4.2.3. Присоединение заземлителей к оттяжкам

Присоединение заземлителей к оттяжкам выполняется с помощью специальной планки заземления, закладываемой между двумя гайками U-образного болта.

Вывод заземлителя приваривается к планке заземления.

Присоединение заземлителей к оттяжкам опор дано на чертежах №№3602тм-ВЛ-II-45, 46.

4.3. Защита от коррозии заземляющих устройств опор ВЛ

Для защиты заземлителей от почвенной коррозии и удлинения срока службы рекомендуются следующие меры.

I. Применение стали увеличенного диаметра до I6, а в отдельных случаях - до I8÷20 мм.

2. Применение оцинкованной стали.

На основании исследований СибНИИЭ, интенсивная коррозия заземлителей наблюдается при пересечении заземлителями различных по воздухопроницаемости слоев грунта. В первую очередь это касается спусков к заземлителям, пересекающим границу воздух-грунт.

Поэтому, кроме известных и указанных выше мер, в некоторых случаях защита от коррозии может быть обеспечена путем:

I. Выполнения гидроизоляции заземлителя на длине по I0см в обе стороны от границы слоев посредством обмотки заземлителя хлопчатобумажной лентой, пропитанной горячим битумом.

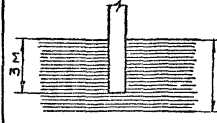
2. Засыпки траншей (для протяженных заземлителей) однородным грунтом слоем толщиной I0-I5 см и последующей его утрамбовки.

В будущем целесообразно предусмотреть выводы арматуры сборных железобетонных фундаментов под землей, как это имеет место в зарубежной практике. Тогда заземлители можно будет присоединять к арматуре фундаментов, не выводя на поверхность земли. Тем самым в ряде случаев удастся избежать коррозии заземлителей.

5 Примеры выбора конструкции заземляющих устройств опор ВЛ

Расчеты и выбор конструкции заземляющих устройств опор ВЛ выполняются в соответствии с разделом „ Порядок и методика проектирования заземляющих устройств опор ВЛ"

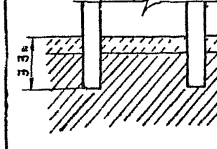
Пример 1



Опора ВЛ 110кв, одностоечная, железобетонная тип ПБ 110
Грунт: верхний слой - глина,
нижний слой - песок влажный

По данным измерений удельное сопротивление верхнего слоя грунта $\rho_1 = 50$ Ом м, нижнего слоя $\rho_2 = 600$ Ом м
Замеры производились в грунте средней влажности Поэтому введение дополнительной поправки на высыхание грунта не требуется
По черт N3602тм ВЛ-1-4 нормируемое значение сопротивления заземления в грунте с $\rho < 60$ Ом м обеспечивается естественной проводимостью подземной части стойки Выполнение искусственных заземлителей не требуется

Пример 2



Опора ВЛ 330кв, портальная, железобетонная, тип ПБ 330
Грунт верхний слой - супесь,
нижний слой - суглинок

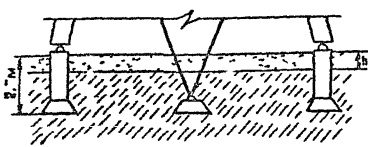
По черт. N3602тм-ВЛ-II-49 удельное сопротивление верхнего слоя грунта ρ_1=300 ом м, нижнего слоя ρ_2=100 ом м.

По черт N3602тм-ВЛ-II-1 производится эквивалентирование-определение эквивалентного удельного сопротивления

$\frac{h_1}{\ell_в} = \frac{1}{3,3} = 0,3, \frac{\rho_1}{\rho_2} = 3, \frac{\rho_э}{\rho_2} = 1,2; \quad \rho_э = 120$ ом м

По черт N 3602 тм-ВЛ-II-4 нормируемое значение сопротивления заземления в грунте с $\rho_э$ ≤ 150 ом м обеспечивается естественной проводимостью фундамента. Выполнение искусственных заземлителей не требуется.

Пример 3



Опора ВЛ500 к3, портальная, металлическая с оттяжками, тип ПС-1.

Грунт верхний слой- песок, нижний слой-супесь.

По черт. N3602тм-ВЛ-II 49 удельное сопротивление верхнего слоя грунта ρ_1 = 1000 ом м, нижнего слоя ρ_2 = 300 ом м.

Для определения возможности использования естественной проводимости фундаментов производится эквивалентирование по черт. N3602тм ВЛ-II-1

$\frac{h_1}{\ell_в} = \frac{1}{2,5} = 0,4; \frac{\rho_1}{\rho_2} = 3,3; \frac{\rho_э}{\rho_2} = 1,25; \quad \rho_э = 375$ ом м

По черт N3602тм-ВЛ II-4 фундамент обеспечивает нормируемое значение сопротивления заземления в грунте с $\rho < 300$ Ом м

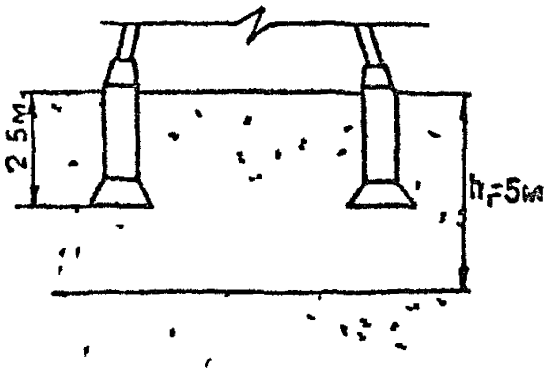
Поскольку полученное значение $300 < \rho_э < 500$ Ом м наряду с использованием естественной проводимости фундаментов следует предусмотреть устройство вертикальных электродов

Длина вертикальных электродов принимается равной 5м и по черт N3602тм-ВЛ-II-1 определяется

$\rho_э$ $\frac{h_1}{\ell_в} = \frac{1}{5} = 0,2$, $\frac{\rho_1}{\rho_2} = 3,3$, $\frac{\rho_э}{\rho_2} = 1,15$, $\rho_э = 345$ Ом м

По черт N3602тм ВЛ II-37 нормируемое значение сопротивления заземления в грунте с $300 < \rho_э < 500$ Ом м обеспечат 4 вертикальных электрода длиной по 5м

Пример 4



Опора ВЛ 500 кв, свободностоящая металлическая, тип р-2
Грунт верхний слой песок сухой
нижний слой песок влажный

По черт. N3602тм ВЛ-II-49 удельное сопротивление верхнего слоя грунта $\rho_1 = 1000$ Ом м, нижнего слоя $\rho_2 = 600$ Ом м

Фундамент опоры полностью находится в грунте с $\rho = 1000$ Ом·м, т.е. естественная проводимость железобетонных подножников не может быть использована, и требуется устройство вертикальных электродов.

Длина вертикальных электродов принимается равной 10м и по черт. N 3602тм-ВЛ-II-1 определяется $\rho_э$

$$\frac{h_1}{\ell_B} = \frac{5}{10} = 0.5; \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = 1.66; \quad \frac{\rho_э}{\rho_2} = 1.2; \quad \rho_э = 720 \text{ Ом·м}.$$

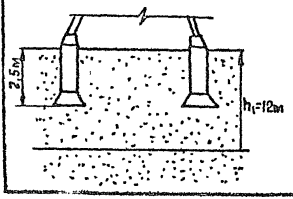
По черт. N 3602тм-ВЛ-II-33 вертикальные электроды длиной 10м в грунте с $\rho_э = 720$ Ом·м не обеспечат нормируемое значение сопротивления заземления.

Длина вертикальных электродов принимается равной 15м и по черт. N 3602тм-ВЛ-II-1 производится повторное эквивалентирование

$$\frac{h_1}{\ell_B} = \frac{5}{15} = 0.33; \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = 1.66; \quad \frac{\rho_э}{\rho_2} = 1.1; \quad \rho_э = 667 \text{ Ом·м}.$$

По черт. N 3602тм-ВЛ-II-33 нормируемое значение сопротивления заземления в грунте с $500 < \rho_э < 850$ Ом·м обеспечат 4 вертикальных электрода длиной по 15м.

Пример 5



Опора ВЛ 500кВ, свободностоящая, металлическая, тип Р-2
Грунт: Верхний слой - песок сухой, сыпучий, нижний слой - песок сухой.

По черт N 3602тм-ВЛ-II-49 удельное сопротивление верхнего слоя грунта $\rho_1 = 15000$ ом м, нижнего слоя $\rho_2 = 1000$ ом м

Длина вертикальных электродов принимается равной 20м и по черт N3602тм-ВЛ-II-1 определяется $\rho_э$

$$\frac{h_1}{\ell_в} = \frac{12}{20} = 0.6 \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = 15, \quad \frac{\rho_э}{\rho_2} = 2 \quad \rho_э = 2000 \text{ ом м}$$

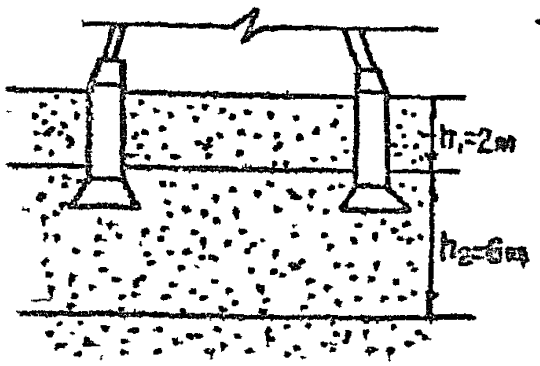
По черт N3602тм-ВЛ-II-33 вертикальные электроды длиной 20м в грунте с $\rho_э = 2000$ ом м не обеспечат нормируемое значение сопротивления заземления

По условиям монтажа для вертикальных электродов длина 20м является предельной, и следует использовать комбинированные заземляющие устройства, состоящие из вертикальных и протяженных заземлителей По черт N3602тм-ВЛ-II-2 производится эквивалентирование для комбинированного заземляющего устройства с вертикальными электродами той же длины (20м)

$$\frac{h_1 - t}{\ell_в} = \frac{12 - 0.5}{20} = 0.575, \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = 15; \quad \frac{\rho_э}{\rho_2} = 2.05, \quad \rho_э = 2050 \text{ ом м}$$

По черт N 3602тм-ВЛ-II-34 нормируемое значение сопротивления заземлечия в грунте с $1900 < \rho_э < 2100$ ом м обеспечат 4 протяженных заземлителя длиной по 20м с 4 вертикальными электродами длиной по 20 м

Пример 6



Опора ВЛ 500 кВ, одностоечная металлическая, тип Р-2

Грунт: первый верхний слой - песок сухой

второй слой - песок влажный

третий слой - песок водоносный.

По черт. №3602тм-ВЛ-II-49 удельное сопротивление первого слоя грунта $\rho_1 = 1000$ ом·м, второго слоя $\rho_2 = 600$ ом·м третьего слоя $\rho_3 = 150$ ом·м.

Длина вертикальных электродов принимается равной 10 м. Производится приведение многослойной структуры грунта к эквивалентной двухслойной. В качестве первого эквивалентного слоя $h_{1э}$ принимается слой от поверхности земли до глубины погружения вертикальных электродов. Эквивалентное удельное сопротивление первого эквивалентного слоя определяется по формуле:

$$\rho_{1э} = \frac{h_{1э}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{h_i}{\rho_i}} = \frac{10}{\frac{2}{1000} + \frac{6}{600} + \frac{2}{150}} \approx 400 \text{ ом·м.}$$

Для рассматриваемой структуры грунта ниже первого эквивалентного слоя находится один слой с удельным сопротивлением 150 ом·м. Он принимается в качестве второго эквивалентного слоя с $\rho_{2э} = 150$ ом·м.

Таким образом, в результате приведения 3-х слойный грунт может быть представлен в виде двухслойной модели с эквивалентным удельным сопротивлением $\rho_{1э} = \rho_{13} = 400$ Ом·м

$\rho_{2э} = \rho_{22} = 150$ Ом·м

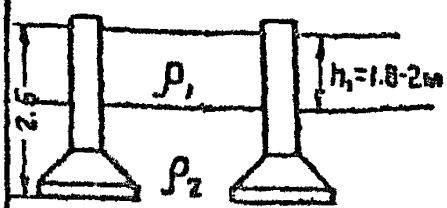
Дальнейший расчет выполняется аналогично приведенным выше примерам.

По чертежу № 3602тм-ВА-II-1 определяется $\rho_э$

$\frac{h_{1э}}{e_в} = \frac{10}{10} = 1$; $\frac{\rho_{1э}}{\rho_{2э}} = \frac{400}{150} = 2.7$; $\frac{\rho_э}{\rho_{2э}} = 2.3$; $\rho_э = 345$ Ом·м.

По чертежу № 3602тм-ВА-II-33 нормируемое значение сопротивления заземления в грунте с $250 < \rho_э < 350$ Ом·м обеспечат 3 вертикальных электрода длиной по 10 м.

Пример 7



Опора ВА 220кВ, одностоечная металлическая, типа 220-3.

По данным измерений удельное сопротивление верхнего слоя

$\rho_1 = 250$ Ом·м $\rho_2 = 500$ Ом·м.

Измерения производились в сильно влажном грунте. В связи с этим

$\rho_{1\,расчет} = 1{,}2\ 250 = 300$ Ом м

$\rho_{2\,расчет.} = \rho_2 = 500$ Ом м.

По чертежу №3602тм -ВЛ-II-1 для фундаментного заземлителя

$\frac{\rho_э}{\rho_{2э}} = 0.69$ $\rho_э = 345$ Ом м.

В соответствии с чертежам №3602тм ВЛ-II-4, фундамент обеспечивает нормируемое значение сопротивления только в грунте с $\rho < 300$ Ом м

В связи с возрастанием ρ по глубине в качестве искусственных заземлителей принимается 4 протяженных длиной по 5м

По чертежу N 3602 тм -ВЛ-II-2

$\frac{\rho_э}{\rho_2} = 0{,}75$ $\rho_э = 375$ Ом м

По чертежу №3602 тм - ВЛ-II-35 нормируемое значение сопротивление в грунте с $300 < \rho_э < 400$ Ом·м обеспечивается фундаментом в сочетании с четырьмя протяженными заземлителями длиной по 5м

Пример 8

опора одностоечная металлическая 220кВ, типа П220 -3.

Грунт. первый слой - песок сухой, толщина первого слоя -3м.
второй слой - валунно - галечные отложения с песчаным заполнением

По чертежу №3602тм - ВЛ-II-49

$\rho_1 = 1000$ Ом м $\quad \rho_2 = 3000$ Ом м.

Принимается 4 протяженных заземлителя длиной по 40 м, по чертежу №3602тм-ВЛ-II -3

$\frac{\rho_3}{\rho_2} = 0,61 \quad \rho_э = 1830$ Ом м

по чертежу №3602тм-ВЛ-II-35 4 луча по 40м обеспечивают нормируемое значение сопротивления только в грунтах с $1300 < \rho_э < 1500$ Ом м.

Поэтому принимается длина 50м.

Для четырех протяженных заземлителей длиной 50 м

$\frac{\rho_3}{\rho_2} = 0,62 \quad \rho_э = 1860$ Ом м

В соответствии с чертежом №3602тм-ВЛ-II-35 четыре протяженных заземлителя длиной по 50 м обеспечивают нормируемое значение сопротивления в грунтах с

$1500 < \rho_э < 1900$ Ом м

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Рекомендации по проектированию искусственных заземлителей опор линий электропередачи. Отчет ВИЭСХ, 1970 г.

2. Инструкция по расчету искусственных заземлителей опор ВЛ и молниеотводов. Отчет ВИЭСХ, 1972 г.

3. А.В.Корсунцев, К.И.Покровская. Методика расчета сопротивлений заземления железобетонных фундаментов. "Электрические станции", 1968 г., № 11.

4. Разработка проекта руководящих указаний по защите от коммутационных и грозовых перенапряжений сетей 3-750 кВ (II-я редакция), часть I. Техническая информация по научно-исследовательской работе НИИПТ. Тема № 17 п.7а.

5. Е.Я.Рябкова и В.З.Анненков. Исследование противовесов в плохопроводящих грунтах. "Электричество", 1971 г., № 6.

6. Д.И.Михайлов. О поправочных коэффициентах при измерениях сопротивлений заземляющих устройств. "Известия высших учебных заведений. Энергетика", 1958 г. № 12.

7. Д.И.Михайлов. Сколько лет потребуется для определения максимально возможного сопротивления заземления? "Всесоюзная конференция по заземлениям" 1966 г.

8. А.Л.Вайнер. "Заземления", 1938 г.

9. А.П.Беляков. "Основания для проектирования заземлений электрических установок". 1938 г.

10. Руководящие указания по защите от перенапряжений электрических сетей 3-500 кВ (проект). "Электрические станции". 1965 г. № 6, 7.

11. В.З.Анненков. Расчет импульсного сопротивления противовесов. "Электричество", 1970 № 2.

В Ы П И С К А

из патентного формуляра инв.№ 3602тм

Типовой проект "Заземляющие устройства опор ВЛ 35-750 кВ",
(наименование работы, обозначение и назначение объекта)

инв.№ 3602тм

Страны, в отношении которых объект обладает патентной чистотой СССР, США, ФРГ

Наименование составных элементов объекта, разработанных по данной теме, не обладающих патентной чистотой (с указанием стран и номеров патентов, лишающих объект патентной чистоты):

нет

Наименование комплектующих изделий с их обозначением, не обладающих патентной чистотой (с указанием в скобках "непатентно-чистых" стран) нет

Номера и дата заявок (авт.свидетельств) на изобретения, посланные (полученные) в связи с разработкой объекта: нет

Дата составления формуляра 23.XII.74 г.

Цель проверки выпуск типового проекта
(экспорт, новая разработка, усовершенствование и т.п.)

Составитель выписки гл.инж.проекта (В.Горожкин)
(должность, фамилия, подпись)

Дата составления выписки 24.XII.1974 г.

gost.e-ecolog.ru

50 тир 150 ЭСП