

ООО «Сибэлектросервис»

Россия, 630126, г. Новосибирск, Микрорайон Зеленый бор, д. 3.

Телефон/факс: 8 (383) 287-45-90 e-mail: cnite@mail.ru

«Утверждаю»

Исполнительный директор

Колесников А.А.



2010 г.

ОТЧЕТ

о выполнении работ

«Обследование заземляющего устройства
подстанции - ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская» Нижневартовских электри-
ческих сетей филиала ОАО «Тюменьэнерго»

Новосибирск 2010

Список исполнителей

Должность, Ф.И.О.	Подпись
Инженер 2 кат. Пшенов Р. И.	
Инженер 2 кат. Нагайко С. Д.	

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
1 ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ	4
2 ЦЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ	5
3 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА	6
4 ПРИБОРЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	7
5 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЙ	8
5.1 Составление реальной схемы заземляющих устройств	8
5.1.1 Определение трасс прокладки горизонтальных заземлителей	8
5.1.2 Определение глубины прокладки горизонтальных заземлителей	9
5.2 Измерение сопротивления растеканию	9
5.3 Измерение напряжения прикосновения	10
5.4 Измерение сопротивления металлосвязи	12
5.5 Измерение удельного сопротивления грунта	13
5.6 Уровень коррозии, термическая устойчивость заземляющих проводников	14
5.7 Измерение импульсного сопротивления заземлителей молниеприемников	14
5.8 Построение зон молниезащиты	15
6 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ	17
6.1 Климатические условия проведения обследования	17
6.2 Исполнительная схема заземляющего устройства	17
6.3 Удельное сопротивление грунта	19
6.4 Сопротивление растеканию заземляющего устройства	20
6.5 Напряжение на заземляющем устройстве	21
6.6 Напряжение прикосновения на рабочих местах	21
6.7 Сопротивление металлосвязи	22
6.8 Коррозионное состояние и термическая устойчивость заземляющих проводников	24
6.9 Импульсное сопротивление отдельно стоящих молниеприемников	24
6.10 Расчет зон защиты стержневых молниеотводов	27
7 ВЫВОДЫ	29
8 РЕКОМЕНДАЦИИ	30
9 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	32
ЛИТЕРАТУРА	33
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	34

1 ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

Аппаратура – совокупность приборов (элементов) с функциями, определенными их техническим назначением.

Заземлитель – проводник или совокупность металлических соединенных между собой проводников, находящихся в соприкосновении с землей.

Заземляющее устройство (ЗУ) – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземляющий проводник (ЗП) – проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем.

ОПН – ограничитель перенапряжений нелинейный

Электрическая подстанция (ПС) – электроустановка, предназначенная для преобразования и распределения электрической энергии

Электроустановка – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

Энергообъект – совокупность электроустановок, зданий и сооружений, функционально связанных друг с другом и расположенных на одной территории.

2 ЦЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ

- Составление реальной (исполнительной) схемы (РС) заземляющего устройства (ЗУ) подстанций (ПС) без вскрытия грунта.
- Измерение удельного сопротивления грунта методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ).
- Измерение сопротивления заземляющего устройства ПС.
- Расчет сопротивления заземляющего устройства ПС без учета влияния отходящих коммуникаций.
- Расчет напряжения прикосновения и шага.
- Измерение сопротивления металлосвязи заземляемого оборудования с заземляющим устройством.
- Измерение напряжения прикосновения на рабочих местах (приводы разъединителей).
- Определение степени коррозии заземлителей и заземляющих проводников методом выборочного вскрытия грунта, оценка их термической стойкости.
- Измерение импульсного сопротивления ЗУ молниеотводов.
- Выявление дефектов по результатам обследования.
- Разработка рекомендаций по устранению выявленных дефектов.

3 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА

Таблица 3.1 - Энергетические характеристики подстанции ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская»

Год пуска	Класс напряжения, кВ	Количество трансформаторов, шт.	Площадь ПС, м ²
-	110/35/6	2	3150

Данные предоставленные персоналом НВЭС:

- Токи замыкания на землю (таблица 3.2);

Таблица 3.2-Токи однофазного замыкания на землю

ОРУ ПС – 110/35/6 кВ «Кетовская»	Ток однофазного КЗ на землю и (или) двухфазного КЗ на землю, А
110 кВ	$I_{кз} = 3664$ $I_{кз 1Г} = 2698$ $I_{кз 2Г} = 2698$
35 кВ	$I_{кз} = 2029$

- Проектная схема н/д;
- Заземление спроектировано по сопротивлению растеканию.
- Расчетное эквивалентное удельное сопротивление н/д;
- Время срабатывания защит: ДЗШ - 0,15 с;
- Время выдержки резервных защит ОРУ — 110 кВ 1,5 сек, ОРУ — 35 кВ н/д;
- Паспортные данные заземляющего устройства ОРУ 110/35/6 кВ.

Нет данных.

4 ПРИБОРЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Измерительный комплекс для диагностики качества контуров заземления КДЗ-1 (заводской номер № 41): генератор переменного синусоидального тока ГСТ 200/400М, $I = 0 - 6$ А, $f = 200/400$ Гц; измеритель напряженности магнитного поля и напряжения ИМПН 50/200/400 с антенной преобразователем Н 05, свидетельство. о поверке №007768 до 11.03.2011.
- Определитель напряжения прикосновения ОНП-1, зав. № 42, свидетельство. о поверке № 007736 до 10.05.2011;
- Лазерный дальномер *Disto A5 s/n t 1072472341* свидетельство о поверке №007695 до 11.03.2011.
- Осциллограф *TPS - 2014*, № СО18183, свидетельство о поверке №004661 до 16.02.2011 г.
- Генератор импульсов тока ГИТ - 5 зав. № 02.
- Струбцины – 4 шт.
- Провод сечением 4 мм² длиной 200 м.
- Измерительный токовый электрод.
- Измерительный потенциальный электрод.
- Катушки с проводом – 2 шт., каждая длиной по 1000 м.
- Компьютерная программа по расчету заземляющих устройств "*Ground Analyzer*" ver. 3.0.5.
- Компьютерная программа по расчету зон защиты молниеотводов "*Protection Zones*" ver. 3.1.0.

5 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЙ

5.1 Составление реальной схемы заземляющих устройств

5.1.1 Определение трасс прокладки горизонтальных заземлителей

Для определения трассы прокладки продольных и поперечных горизонтальных заземлителей и заземляющих проводников, используется источник переменного синусоидального тока, который подключается к различным, удаленным друг от друга, точкам заземляющего устройства и создает в проводниках заземляющего устройства переменный синусоидальный ток частотой 419 Гц. С помощью измерителя напряженности магнитного поля и напряжения определяются и наносятся на план места прокладки и соединений поперечных и продольных заземлителей. Места залегания горизонтальных заземлителей определяются путем анализа распределения напряженности магнитного поля над поверхностью земли, создаваемого, протекающим по проводникам заземляющего устройства током от источника переменного синусоидального тока. Особенностью создаваемого магнитного поля является наличие ярко выраженных максимумов значений тангенциальной к земле составляющей его напряженности над местами залегания горизонтальных заземлителей. Место, где значение магнитной напряженности максимально, соответствует месту залегания горизонтальных заземлителей с током. Расположение антенны- преобразователя, представляющей собой плоскую катушку индуктивности, позволяет также определить направление залегания горизонтальных заземлителей. При максимальном значении напряженности (H), направление плоскости катушки соответствует направлению прокладки горизонтального заземлителя (рисунок 5.1) [1,2].

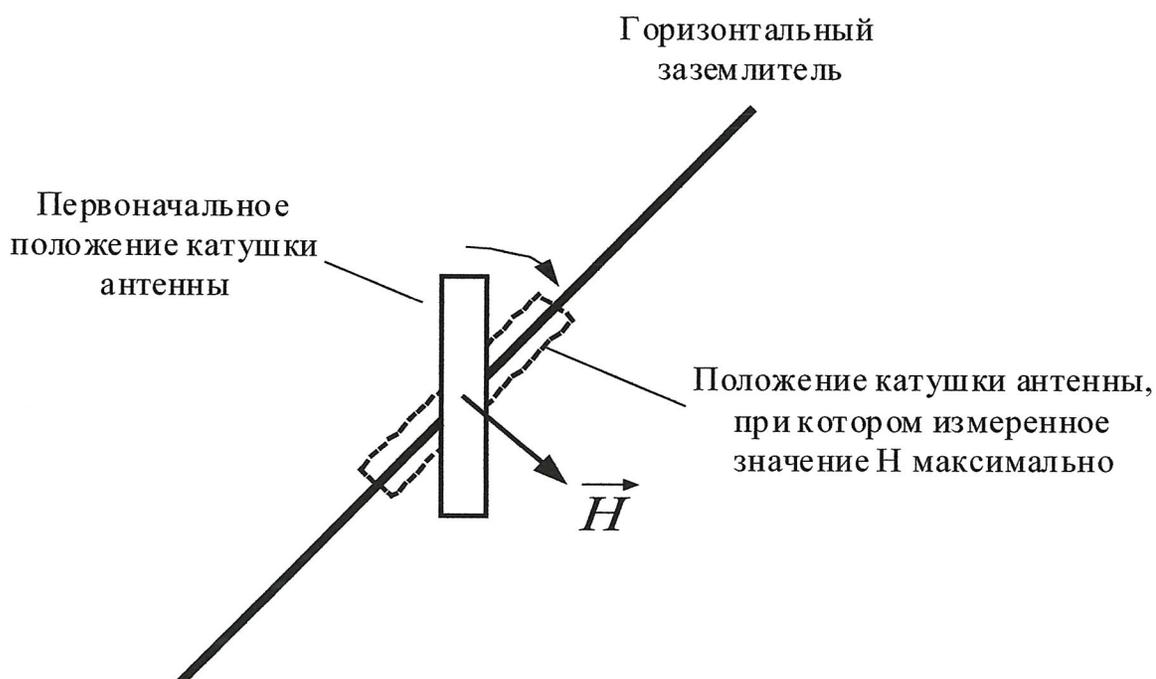


Рисунок 5.1 - Определение направления прокладки горизонтального заземлителя

5.1.2 Определение глубины прокладки горизонтальных заземлителей

Для определения глубины залегания заземлителей используется датчик измерителя напряженности магнитного поля и напряжения. С помощью датчика ИМП определяется трасса прокладки горизонтального проводника. Затем датчик ставится на поверхность земли над проводником так, чтобы направление горизонтальной оси датчика совпадало с направлением проводника. Фиксируется значение магнитной напряженности H , затем датчик ИМП поднимается над землей, на высоту h , при которой индикатор измерителя напряженности магнитного поля и напряжения будет показывать величину напряженности магнитного поля равную половине значения H на поверхности земли. Высота подъема датчика при этом равняется глубине залегания горизонтального заземлителя $h = t$ (рисунок 5.2). Погрешность определения глубины залегания горизонтального заземлителя этим методом, как правило, не превышает 10 см.

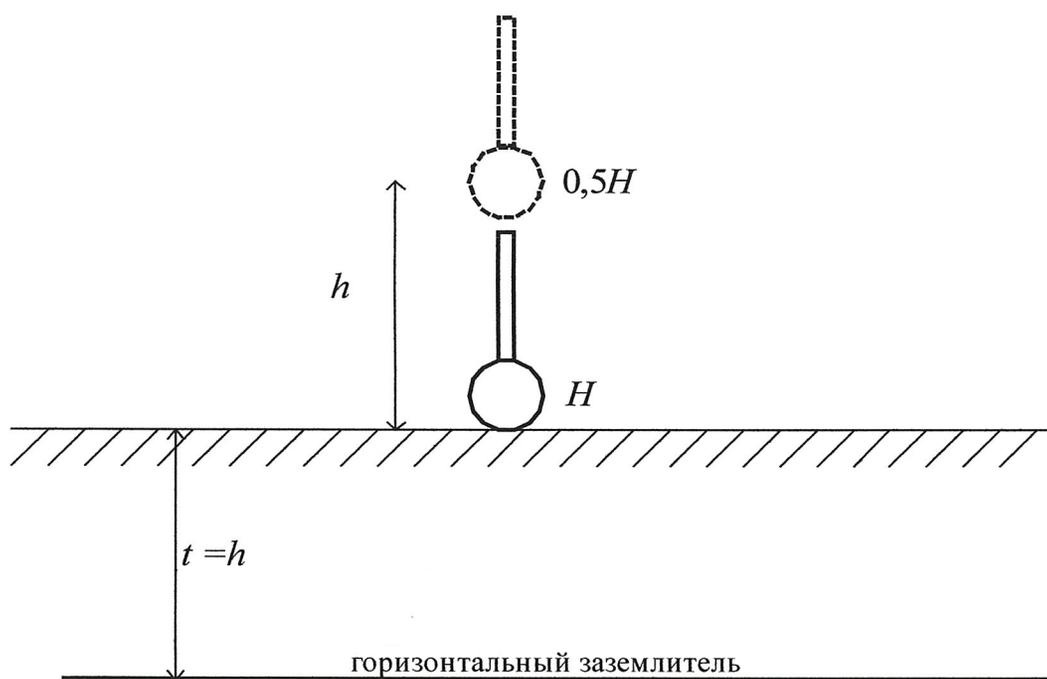


Рисунок 5.2 - Определение глубины залегания горизонтального заземлителя

5.2 Измерение сопротивления растеканию

Измерение сопротивления заземляющего устройства ($R_{3У}$) проводится по однолучевой схеме рисунок 5.3, в соответствии с требованиями [1], с помощью прибора ОНП-1. Для измерения клеммы Т1, П1 прибора ОНП-1 подключаются к заземляющему проводнику заземляющего устройства при помощи трубочин. Выносной токовый электрод забивается в грунт на глубину 1,0 м на расстоянии от заземляющего устройства 3 - 5 наибольших диагоналей заземляющего устройства. Токовая клемма Т2 присоединяется к выносному токовому электроду проводом соответствующей

длины. Производится контроль величины суммарного сопротивления токовой цепи (сопротивлений проводов, электродов и грунта на участке измерения). Величина сопротивления токовой цепи не должна превышать 3 кОм, для того чтобы прибор не выходил за пределы своей погрешности. Расстояние от заземляющего устройства до токового электрода разбивается на 10 равных промежутков на границах, которых поочередно забивается выносной потенциальный электрод на глубину 70-80 см, для создания точки измерения. В каждой точке измерения выносной потенциальный электрод подключается к клемме П2 ОНП-1 при помощи провода, далее выполняется измерение сопротивления в данной точке. Результаты измерений заносятся в таблицу измерений. По полученным точкам строится график «зависимость измеренного сопротивления от расстояния потенциального электрода до токового». Если кривая монотонно возрастает и имеет в средней части горизонтальный участок и разница сопротивлений, измеренных при $r_{п}=0,4 \times r_{т}$ и $r_{п}=0,6 \times r_{т}$ не превышает 10 %, за истинное значение сопротивления принимается значение при $r_{п}=0,5 \times r_{т}$.

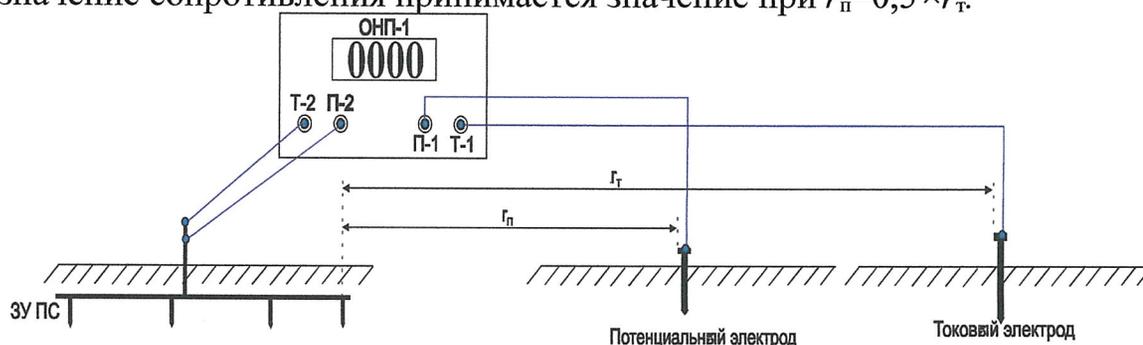


Рисунок 5.3 - Схема измерения сопротивления заземляющего устройства по однолучевой схеме

*ЗУ ПС – заземляющее устройство; $r_{т}$ – расстояние до токового электрода;
 $r_{п}$ – расстояние до потенциального электрода*

5.3 Измерение напряжения прикосновения

Оценка напряжения прикосновения $U_{пр}$ производится косвенным методом. Используя расчетные значения токов короткого замыкания обследуемой электроустановки, измеренного сопротивления и предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов согласно [1]. $U_{пр}$ определяется по выражению:

$$U_{пр} = \frac{I_3 \times R_{пр}^{изм} \times R_{ч}}{R_{ч} + R_{осн}}, \quad (5.1)$$

где I_3 - значение тока замыкания на землю в месте измерения;

$R_{пр}^{изм}$ - сопротивление, измеренное прибором;

R_v - сопротивление тела человека;

$R_{осн}$ - минимальное из всех измеренных на объекте значение сопротивления основания.

Измерение сопротивления прикосновения производится по схеме рисунок 5.4. Клемма П2 присоединяется к приводу разъединителя, Т2 к заземляющему проводнику разъединителя. Клемма П1 присоединяется к пластине, имитирующей стопы ног человека, которая располагается на расстоянии от привода разъединителя в 0,8-1,0 м, Т1 к выносному токовому электроду, расположенному на расстоянии двух наибольших диагоналей (2Д) от заземляющего устройства ПС. Между клеммами П1 и П2 устанавливается резистор с сопротивлением 1 кОм для имитации электрического сопротивления тела человека при протекании по нему электрического тока. Пластина, имитирующая стопы ног человека выполнена из доски размером 25 см × 25 см, поролона, медной сетки. Основание под пластиной должно быть выровнено и увлажнено водой объемом 250 мл. Давление на пластину должно быть около 70 кгс. Измерение сопротивления основания выполняется согласно рисунка 5.5.

Результаты измерений сопротивления прикосновения заносятся в таблицу и по формуле 5.1 пересчитываются в напряжения прикосновения. Расчетные данные напряжения прикосновения так же заносятся в таблицу.

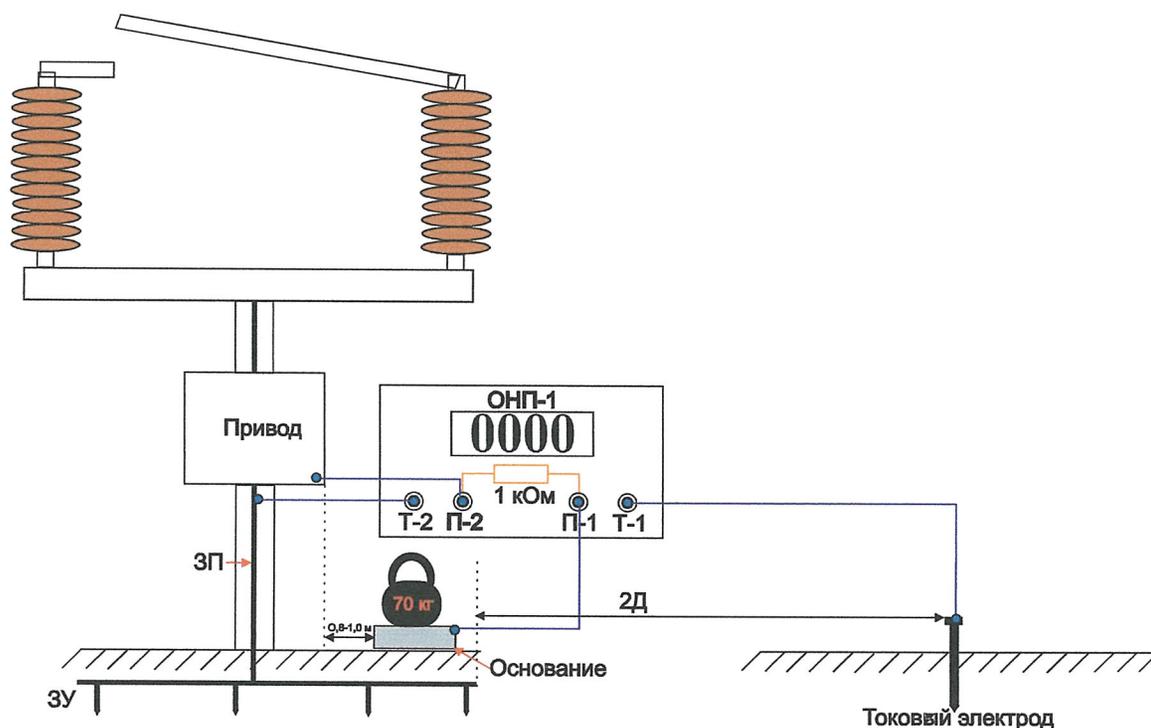


Рисунок 5.4 -Схема измерения сопротивления прикосновения на рабочем месте

ЗП – заземляющий проводник; ЗУ – заземляющее устройство

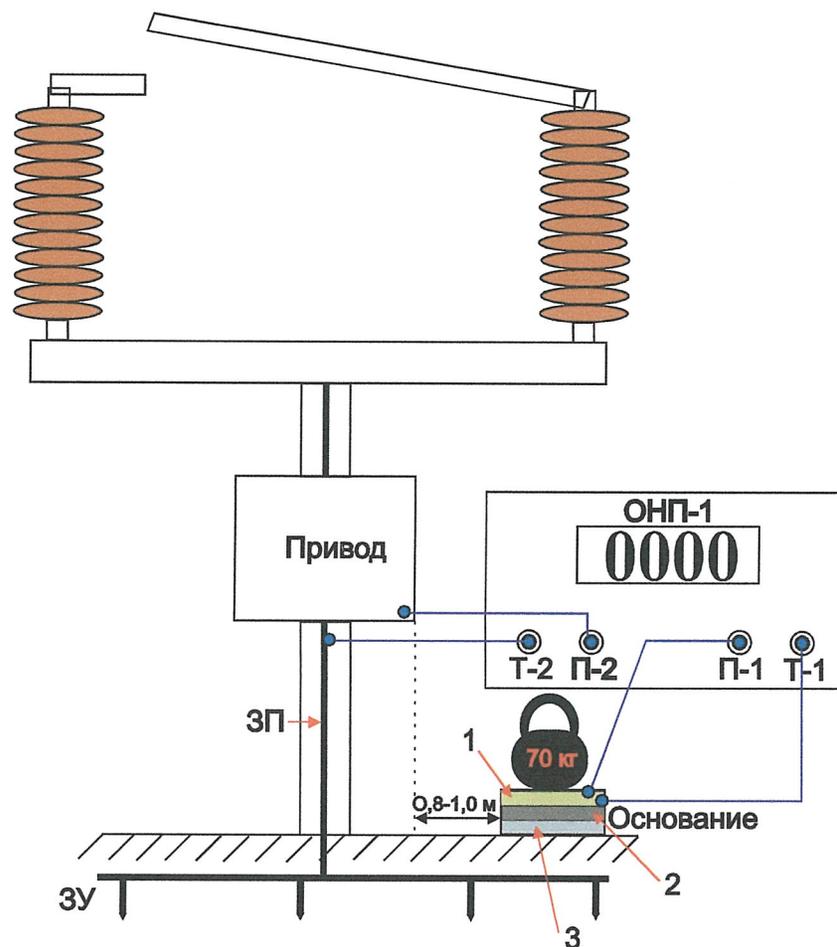


Рисунок 5.5 - Схема измерения сопротивления основания

*ЗП – заземляющий проводник; ЗУ – заземляющее устройство;
1 – доска; 2 – поролон; 3 – медная сетка*

5.4 Измерение сопротивления металlosвязи

Измерение сопротивления металlosвязи и проверка качества контактных соединений осуществляется следующим образом: клеммы Т1 и П1 прибора ОНП-1 присоединяются к заземляющему устройству объекта при помощи измерительных проводов и струбцин, а клеммы Т2 и П2 к заземляющим проводникам оборудования объекта (рисунок 5.6). Результаты измерений заносятся в таблицу. Опыт обследования показывает, что сопротивление 0,05 - 0,1 Ома может быть достигнуто при присоединении оборудования оболочками кабелей и болтовыми соединениями низкого качества, поэтому качество металlosвязи рекомендуется считать удовлетворительным, если величина сопротивления не превышает 0,05 Ома.

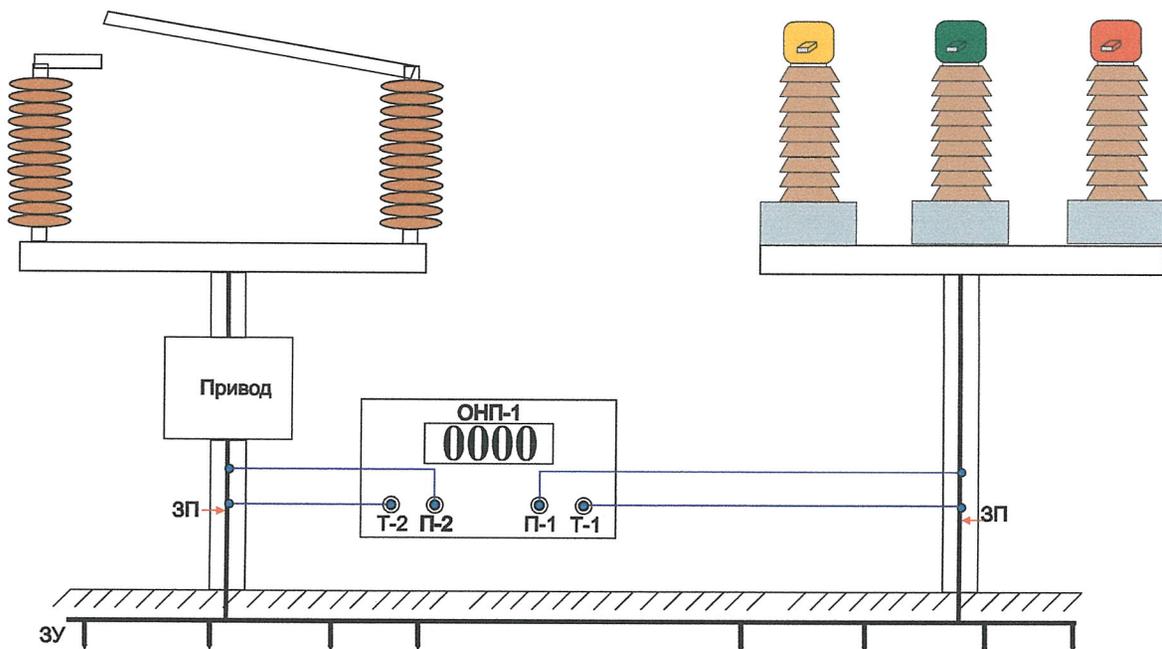


Рисунок 5.6 - Схема измерения сопротивления металlosвязи

ЗП – заземляющий проводник; ЗУ – заземляющее устройство

5.5 Измерение удельного сопротивления грунта

Удельное электрическое сопротивление грунта определяется методом вертикального зондирования (ВЭЗ) по схеме Шлюмберже [4]. К токовым электродам AB подключаются токовые выводы прибора $T1$ и $T2$, напряжение между потенциальными электродами MN подается на потенциальные выводы прибора $П1$ и $П2$ (рисунок 5.7). По измеренному значению сопротивления R определяется кажущееся удельное сопротивление.

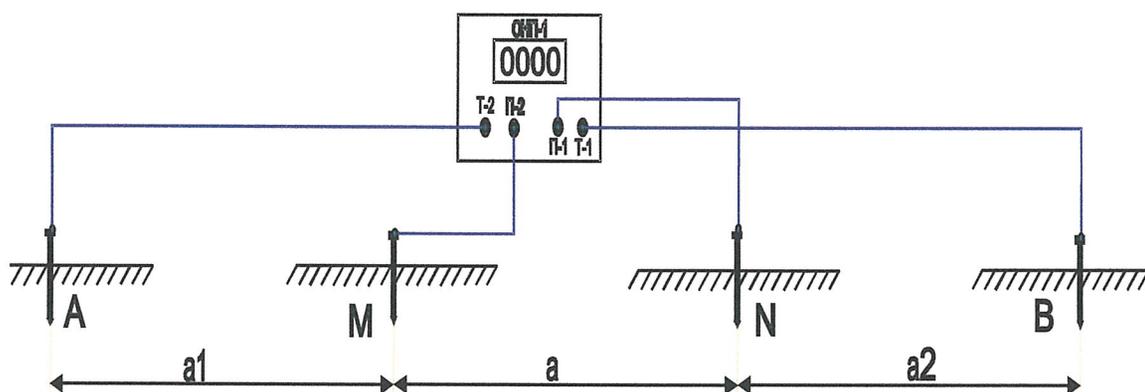


Рисунок 5.7 - Схема измерения удельного сопротивления грунта

*a – расстояние между потенциальными электродами;
 $a + a + a2$ – расстояние между токовыми электродами*

Расстояние между точками A и B изменяется от 2 до 140 м. Центр MN при этом изменяется от 2 до 20 м. При помощи программы «"Ground Analyzer" ver. 3.0.5» или иным математическим аппаратом вычисляются параметры двухслойной модели

грунта - сопротивление первого и второго слоя грунта, а также толщина первого слоя.

5.6 Уровень коррозии, термическая устойчивость заземляющих проводников

На территории объекта проводится выборочное вскрытие грунта вдоль заземляющего проводника до места его присоединения к горизонтальной сетке ЗУ. Проводник механическим способом очищается от слоя ржавчины, штангенциркулем измеряются линейные размеры проводника и вычисляется его поперечное сечение. Допустимое сечение заземляющих проводников по термической устойчивости, выбираемое из условия отсутствия перегрева более 400 °С, определяется соотношением:

$$S_{\text{зи}} = I \frac{\sqrt{\tau + 0,1}}{60}, \quad (5.2)$$

где I - расчетный ток замыкания на землю, А,

τ - время отключения замыкания на землю, с.

Для горизонтальных заземлителей допускается в 2,5 раза меньшее сечение, поэтому в данной работе ограничивались только проверкой заземляющих проводников.

5.7 Измерение импульсного сопротивления заземлителей молниеприемников

Измерение сопротивления заземлителей молниеприемников ($R_{\text{имп}}$) проводится с целью оценки эффективности этих заземлителей по рассеянию тока молнии. Измерения осуществляются по двулучевой схеме в соответствии с [1], с помощью генератора импульсных токов и пик-вольтметра (цифрового осциллографа). Схема измерений показана на рисунке 5.8.

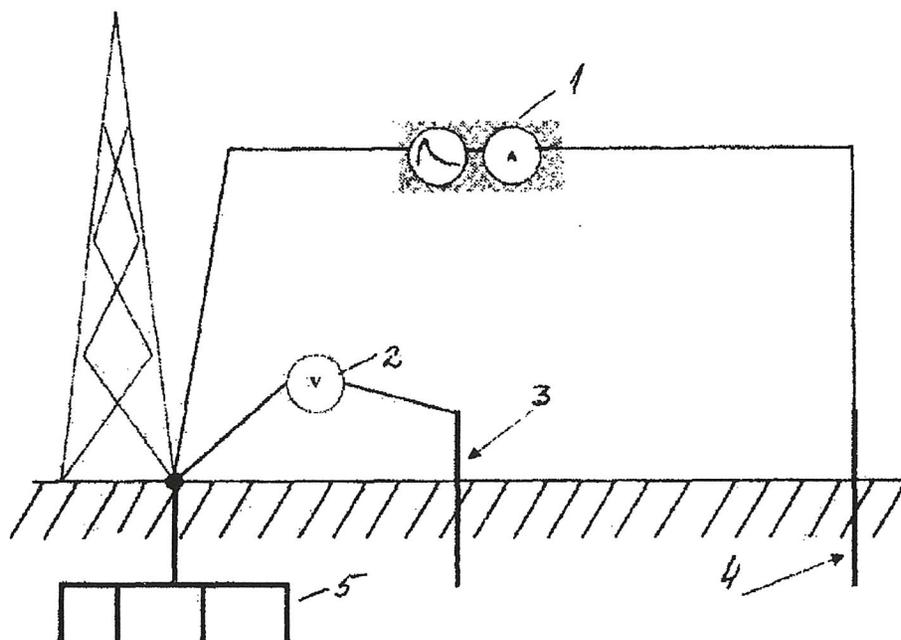


Рисунок 5.8 - Измерения импульсного сопротивления заземлителя:

1 - импульсный источник; 2 - пик-вольтметр; 3 - потенциальный электрод; 4 - токовый электрод; 5 - заземляющее устройство

Выносной токовый электрод забивается в грунт на расстоянии 50 метров от заземлителя. Потенциальный электрод выносится также на 50 метров и забивается в грунт, но расстояние от токового должно быть не менее 35 метров, далее производится измерение максимальной амплитуды импульса напряжения на потенциальном электроде при протекании поточковой цепи имитационного импульса грозового тока. Результаты измерений заносятся в таблицу измерений.

Импульсное сопротивление заземлителя молниеприемника (молниеотвода) определяется по формуле:

$$R_{\text{ЗУ имп}} = \frac{U_{\text{изм}}}{I_{\text{изм}}}, \quad (5.3)$$

где $I_{\text{изм}}$ - измеренное значение импульсного тока;

$U_{\text{изм}}$ - измеренное значение импульсного напряжения.

5.8 Построение зон молниезащиты

Построение зон системы молниезащиты ПС основывается на рекомендациях РД 153-34.3-35.125-99 «Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и коммутационных перенапряжений» [5], СО-153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» [12]. Согласно «Руководства по защите электрических сетей 6 - 1150

кВ от грозовых и внутренних перенапряжений», часть 3 Грозозащита линий и подстанций 6 - 1150 кВ, приложение 29, разработанного на основе РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений», для расчета зон системы молниезащиты ПС определяются два типа зон в зависимости от среднегодовой продолжительности гроз в месте нахождения здания или сооружения, а также от ожидаемого количества поражений его молнией в год:

- зона защиты типа «А» обладает надежностью не ниже 0,995 для заземленных объектов, на всех элементах которых отсутствует напряжение относительно земли, а также здания, сооружения или их части, помещения которых согласно ПУЭ относятся к зонам классов В-I и В-II;
- зона типа «Б» в этих случаях имеет надежность не ниже 0,95. Объект считается защищенным с надежностью не ниже заданной, если он размещается внутри пространства, ограниченного поверхностью зоны защиты.

Для расчетов зон системы молниезащиты подстанций классов напряжения до 500 кВ включительно, принимаем зону защиты типа «А».

При помощи программы "Protection Zones" на основе расположения элементов и данных об их высоте рассчитываются параметры зоны молниезащиты подстанции.

6 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ

6.1 Климатические условия проведения обследования

Измерения проводились днем в сухую погоду, при температуре воздуха $+15^{\circ}\text{C}$ - $+20^{\circ}\text{C}$.

6.2 Исполнительная схема заземляющего устройства

Источник переменного синусоидального тока (ИПТ) подключался между отдельными заземляющими проводниками оборудования. Ток источника составлял 3 - 5 А (в исключительных случаях 6 А). С помощью измерителя напряженности магнитного поля и напряжения ИМПН 50/200/400 (ИН) определялась трасса прокладки и глубина залегания продольных и поперечных горизонтальных заземлителей между точками подключения генератора.

На основании результатов трассировки ЗУ ПС «Кетовская – 110/35/6 кВ» составлена «Исполнительная схема заземляющего устройства ПС «Кетовская – 110/35/6 кВ»», которая представлена в приложении 1. Для удобства предоставления полученных результатов, была введена нумерация порталов и молниеприемников, см. приложение 1.

Глубина залегания поперечных и продольных горизонтальных заземлителей составляет 0,5 - 0,7 м для ОРУ - 110 кВ, 0,3 - 0,8 м для ОРУ - 35 кВ.

Выявленные недостатки:

Не обнаружено соединение оборудования с контуром ЗУ (см. приложение 1), что является нарушением [7, п.5.10.1]:

- ТР-110 2Т;
- ЛР-110 1Т;
- ОИ 6 кВ (1-й от 2Т).

Обнаружены горизонтальные заземлители расположенные на поверхности земли, (см. приложение 1), что является нарушением требований ПУЭ [8, п.1.7.90]:

- Между ЗОН 1Т и трансформатором 1Т;
- Между ЗОН 2Т и трансформатором 2Т;

Обнаружены горизонтальные заземлители на расстоянии 0,4-1,5 м от забора (см. приложение 1), что является нарушением требований ПУЭ [8, п.1.7.93]:

- Между КС-110 1Т и КС-110 2Т.

Обнаружены последовательно соединенные участки ЗУ, что является нарушением требований ПТЭ [7, п.5.10.3] (см. приложение 1):

- между 2ТСН и ЛР - 6 кВ 2Т;
- между порталом №1 ВЛ 6 кВ и ЛР - 6 кВ 1Т; (рисунок 6.1).



Рисунок 6.1 - Последовательное соединение ЛР - 6 кВ 1Т; с рядом расположенным порталом

Здание ОПУ-2 (рисунок 6.2) связаны с заземляющим устройством через металлический кабельный канал.

Не обнаружено выравнивающего контура заземления вокруг здания ОПУ.



Рисунок 6.2 - Здание ОПУ

На основании исполнительной схемы ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская» «Заземление ОРУ - 110/35 кВ» и требований ПУЭ были выработаны рекомендации по восстановлению контура заземляющего устройства. Рекомендации по восстановлению заземляющего устройства подстанции приведены в приложении 1.

6.3 Удельное сопротивление грунта

Измерение сопротивления грунта производилось на расстоянии 50 м от территории ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская» по схеме Шлюмберже. Результаты измерений сведены в таблицу 6.1. Параметры двухслойной модели грунта рассчитывались посредством программы "Ground Analyzer".

Таблица 6.1 - Результаты вертикального электрического зондирования грунта

Расстояние AB , м	Расстояние MN , м	Измеренное сопротивление $R_{изм}$, Ом
1,0	0,5	24
1,4	0,5	15
2,0	0,5	10
4,0	2,0	20
6,0	2,0	8
8,0	2,0	5
10,0	2,0	2
14,0	2,0	1,9
20,0	2,0	0,98

Результаты расчетов удельного сопротивления грунта:

- удельное сопротивление верхнего слоя $\rho_1 = 15,6 \text{ Ом}\times\text{м}$;
- удельное сопротивление нижнего слоя $\rho_2 = 153,4 \text{ Ом}\times\text{м}$;
- глубина разделения слоев $h = 0,21\text{м}$;
- среднеквадратическое отклонение $\delta = 19 \%$.

Приведение удельного сопротивления грунта, к наиболее неблагоприятным климатическим условиям ($K_C = 1,3$, согласно [1]):

- удельное сопротивление верхнего слоя $\rho_1 = 20,28 \text{ Ом}\times\text{м}$;
- удельное сопротивление нижнего слоя $\rho_2 = 199,42 \text{ Ом}\times\text{м}$.

Грунтовые воды во время измерений находились на глубине 20 см.

6.4 Сопротивление растеканию заземляющего устройства

Токовый электрод размещался на расстоянии 300 метров от подстанции, что превышает длину наибольшей диагонали заземляющего устройства ОРУ (порядка 150 метров). Сопротивление токовой цепи составило 1590 Ом, т.е. ниже предельного значения 3 кОм, при котором прибор ОНП-1 не выходит за предел основной допускаемой погрешности.

При измерениях сопротивление монотонно возрастало от 0,06 до 3,5 Ом (таблица 6.2 и рисунок 6.3). Причем, начиная с $0,3 \times r_T$ до $0,7 \times r_T$, сопротивление практически не изменялось и составляло в среднем 0,112 Ом. Поэтому измеренное сопротивление ЗУ было принято равным $R_{изм} \cong 0,112$ Ом.

Таблица 6.2 - Зависимость сопротивления от расстояния потенциального электрода до токового

$r_{п}/r_T$, о.е.	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$R_{зy}$, Ом	0,06	0,08	0,09	0,1	0,11	0,13	0,13	0,16	0,24	0,35

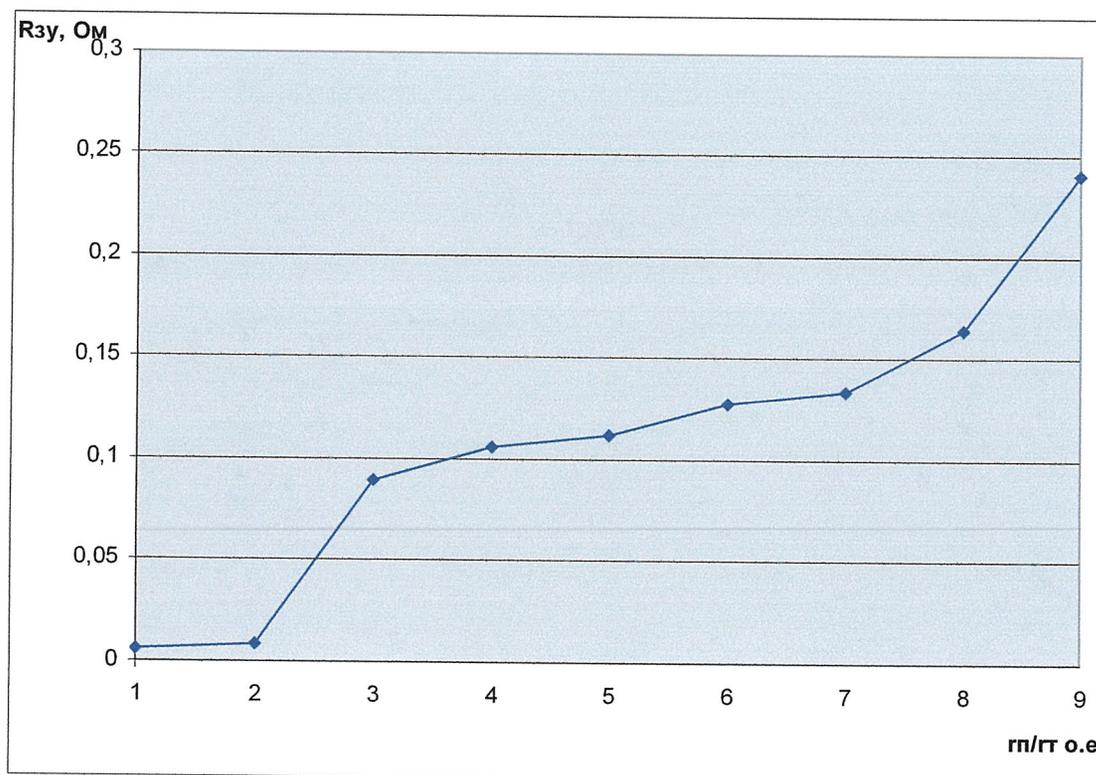


Рисунок 6.3 - Зависимость измеренного сопротивления от расстояния потенциального электрода до токового

Сезонный коэффициент сопротивления выбран равным $K_C = 1,3$, согласно [1].

Вывод: сопротивление ЗУ с учетом сезонного коэффициента: $R_{зy} = K_C \times R_{зy} = 0,112 \times 1,3 = 0,145$ Ом. Полученное значение удовлетворяет норме 0,5 Ом [8].

6.5 Напряжение на заземляющем устройстве

Согласно предоставленным данным, максимальный расчетный ток, стекающий с ЗУ при однофазном замыкании на землю $I_3 = 3664$ А, при этом напряжение, возникающее на заземляющем устройстве: $U_{3y} = I_3 \times R_{3y} = 3664 \times 0,145 = 531,3$ В. Полученное значение удовлетворяет норме 5 кВ [8].

6.6 Напряжение прикосновения на рабочих местах

При определении значения допустимого напряжения прикосновения в качестве расчетного времени воздействия принята сумма времени действия резервной защиты и полного времени отключения выключателя. Исходя из этого времени, предельно допустимый уровень напряжения прикосновения при аварийном режиме принят в соответствии с таблицей 3 ГОСТ 12.1.038-82. Минимальное сопротивление основания составило на ОРУ-110 кВ — 215 Ом, ОРУ-35 кВ — 200 Ом. В таблице 6.3 приведены предельно допустимые уровни напряжения прикосновения для рабочих мест ОРУ-110 кВ и ОРУ-35 кВ. В таблице 6.4 приведены результаты измерения и расчетов напряжения прикосновения на рабочих местах. Красным цветом выделены присоединения с повышенным напряжением прикосновения.

Таблица 6.3 -Предельно допустимый уровень напряжения прикосновения

Класс напряжения, кВ	Тип рабочего места	Время срабатывания защиты, с	Предельно допустимый уровень $U_{\text{пр}}$, В
110	Привода разъединителей	1,6	65
35	Привода разъединителей	-	65

Таблица 6.4 -Напряжение прикосновения на рабочих местах

№№	Место измерения	$R_{\text{пр}}$, Ом	$U_{\text{пр}}$, В
1	ШР-110 2Т	0,002	6,000
2	ТР-110 2Т	1	3016
3	ТР-110 1Т	0,011	33,00
4	ШР-110 1Т	0,002	6,000
5	ЛР-110 1Т	0,031	93,00
6	1РРП-110	0,026	78,00
7	2РРП-110	0,015	45,00
8	ЛР-110 2Т	0,012	36,00
9	ЗН 1Т, 2Т	0,001	3,000

№№	Место измерения	$R_{ГП}$, Ом	$U_{ГП}$, В
10	ЛР-6 1Т	0,028	46,00
11	ЛР-6 2Т	0,031	51,00
12	ШР-35 1ТН	0,018	30,00
13	ЛР-35 ф. №1	0,011	18,00
14	ШР-35 ф. №1	0,011	18,00
15	ШР-35 ф. №2	0,022	36,00
16	ЛР-35 ф. №2	0,022	36,00
17	1ШР-35 СВ	0,053	87,00
18	2ШР-35 СВ	0,051	84,00
19	ЛР-35 ф. №4	0,03	49,00
20	ШР-35 ф. №4	0,035	58,00
21	ШР-35 2ТН	0,047	77,00
22	ШР-35 ф. №3	0,024	39,00
23	ЛР-35 ф. №3	0,027	44,00

Напряжение прикосновения на рабочих местах ТР-110 2Т, ЛР-110 1Т, 1РРП-110, 1ШР-35 СВ, 2ШР-35 СВ, ШР-35 2ТН выше нормы 65 В.

6.7 Сопротивление металlosвязи

Результаты измерения сопротивления металlosвязи представлены в таблице 6.5. Присоединения с высоким уровнем сопротивления выделены красным цветом, синим цветом выделено присоединение внешнего ограждения с заземляющим устройством подстанции.

Таблица 6.5 -Сопротивление металlosвязи с контуром ЗУ

№№	Место измерения сопротивления	$R_{СВ}$, Ом
1	РК-110 2Т	0,018
2	ОИ около РК-110 2Т	0,022
3	ТР-110 2Т	1,000
4	В-110 2Т, ТТ-110 2Т.	0,030
5	ШР-110 2Т	0,029
6	ОИ около РК-110 1Т	0,045

№№	Место измерения сопротивления	R_{CB} , Ом
7	РВМГ-110 2Т	0,073
8	ТР-110 1Т	0,070
9	В-110 1Т, ТТ-110 1Т.	0,025
10	ШР-110 1Т	0,054
11	ЛР-110 1Т	1,000
12	КС-110 1Т	0,055
13	ТН-110 1СШ	0,062
14	1РРП-110	0,043
15	2РРП-110	0,068
16	ТН-110 2СШ	0,042
17	ЛР-110 2Т	0,060
18	КС-110 2Т	0,062
19	Забор ст. ВЛ-110	0,053
20	Забор ст. ВЛ-6	0,061
21	ЗН, РК, 1Т	0,037
22	1Т	0,035
23	ТР-35 1Т	0,032
24	ОИ-35 (1-й от 1Т)	0,032
25	ШР-35, В-35, ТТ-35, ЛР-35 Ф№1	0,039
26	ШР-35, В-35, ТТ-35, ЛР-35 Ф№2	0,029
27	1ШР СВ-35, В-35 СВ, 2ШР СВ-35	0,035
28	ШР-35, В-35, ЛР-35 Ф№3	0,027
29	ШР-35, В-35, ЛР-35 Ф№3	0,031
30	ШР-35 2ТН	0,022
31	РК-35 2Т, ТР-35 2Т, ШР-35 2Т, В-35 2Т	0,033
32	ОИ-35 (1-й от 2Т)	0,043
33	Забор со стороны ОПУ	0,058
34	Забор со стороны ВЛ-35	0,047
35	2Т	0,034

№№	Место измерения сопротивления	$R_{св}$, Ом
36	ОИ 6 кВ (1-й от 2Т)	1,000
37	ОИ 6 кВ (2-й от 2Т)	0,33
38	ОИ 6 кВ (3-й от 2Т)	0,039
39	2ТСН 6 кВ	0,047
40	ЛР-6 кВ 2Т	0,043
41	ЛР-6 кВ 1Т	0,045
42	Молниеприёмник со стороны	0,039
43	Портал 6 кВ	0,037
44	1ТСН 6 кВ	0,029
45	ОПУ-1	0,029
46	ОПУ-2	0,030

Сопротивление металlosвязи ТР-110 2Т, РВМГ-110 2Т, ТР-110 1Т, ШР-110 1Т, ЛР-110 1Т, КС-110 1Т, ТН-110 1СЩ, 2РРП-110, ЛР-110 2Т, КС-110 2Т, ОИ 6 кВ (1-й от 2Т), ОИ 6 кВ (2-й от 2Т) выше нормы 0,05 Ом.

6.8 Коррозионное состояние и термическая устойчивость заземляющих проводников

Выборочное вскрытие грунта до мест присоединения заземляющих проводников не производилось т. к. грунтовые воды находятся на глубине 20 см.

Полное время действия тока КЗ на ОРУ - 110 кВ — 1,5 сек. Таким образом, допустимые сечения, должны быть не менее указанных: ОРУ-110 кВ $S_{зп} = 77 \text{ мм}^2$, ОРУ-35 кВ $S_{зп} = 42,7 \text{ мм}^2$.

Сечения горизонтальных заземлителей и заземляющих проводников для ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская» составляет 154 мм^2 .

Вывод: Сечение заземляющих проводников и горизонтальных заземлителей удовлетворяет требованиям по термической устойчивости, для ОРУ - 110 кВ и ОРУ - 35 кВ.

6.9 Импульсное сопротивление отдельно стоящих молниеприемников

На ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская» молниеприемники установлены на мачтах освещения, а также выполнены в виде отдельно стоящих элементов. У каждого молниеприемника было измерено импульсное сопротивление, результаты измерений и результаты расчетов внесены в таблицу 6.6 и приведены на рисунках 6.4, 6.5, 6.6.

Измерения производились при помощи генератора импульсных токов ГИТ-5, безиндуктивного токового шунта (1,0 Ом, 20 Вт), щупов-делителей 1:10, цифрового осциллографа *Tektronix TDS 2014*. В соответствии с ПУЭ [8 п.4.2.137] импульсное сопротивление отдельно стоящих молниеприемников не должно превышать 80 Ом.

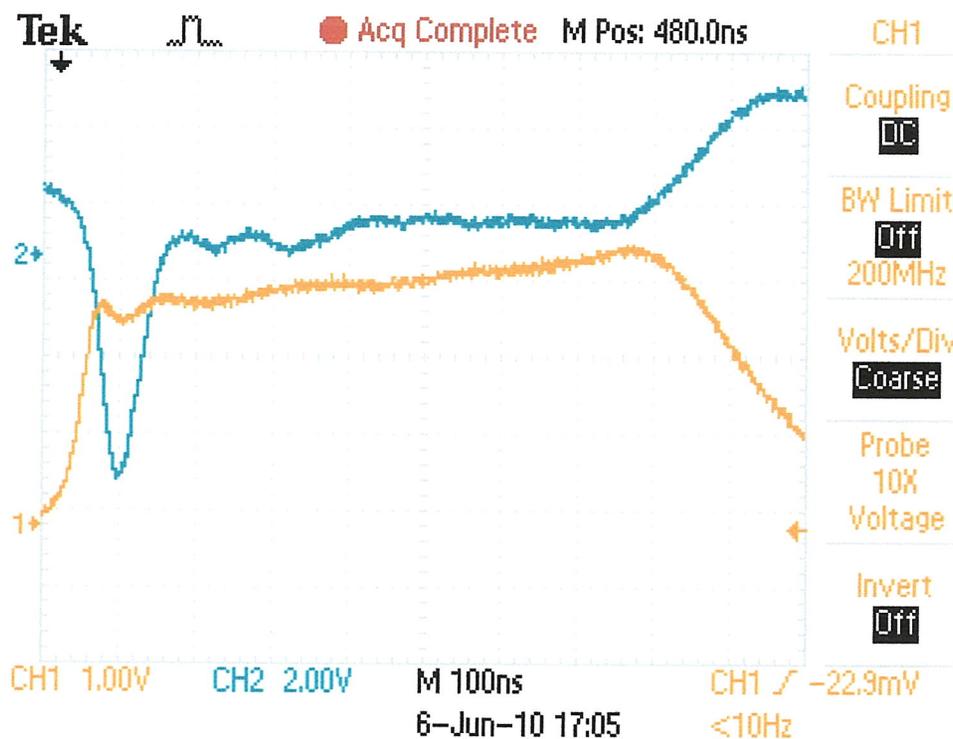


Рисунок 6.4 - Осциллограмма тока и напряжения МПР № 1, щуп 1:10

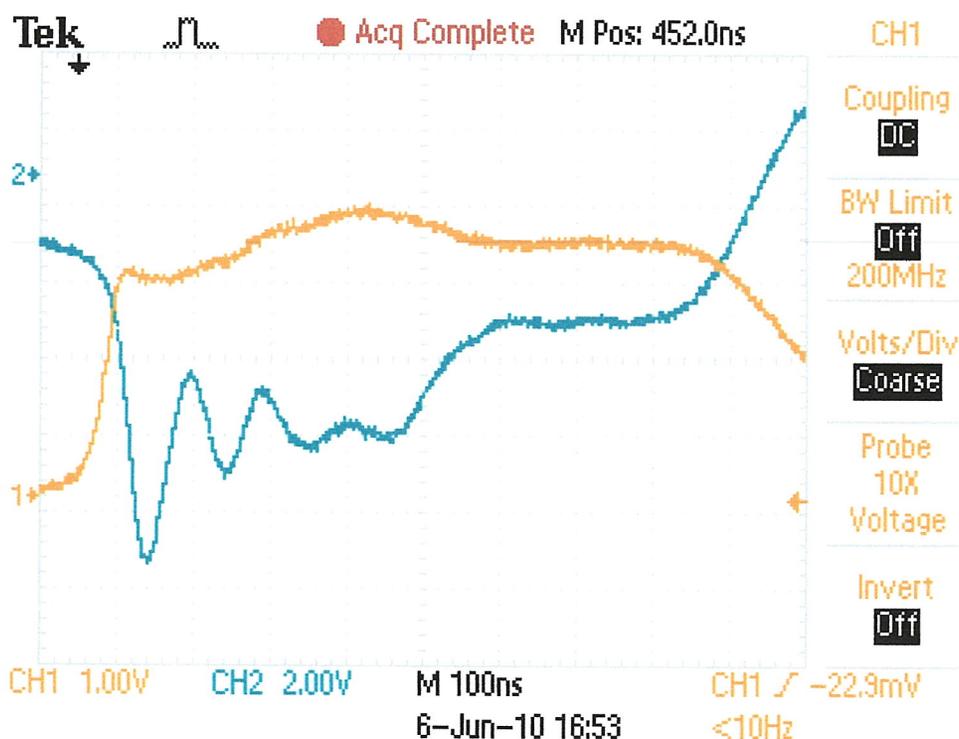


Рисунок 6.5 - Осциллограмма тока и напряжения МПР № 2, щуп 1:10

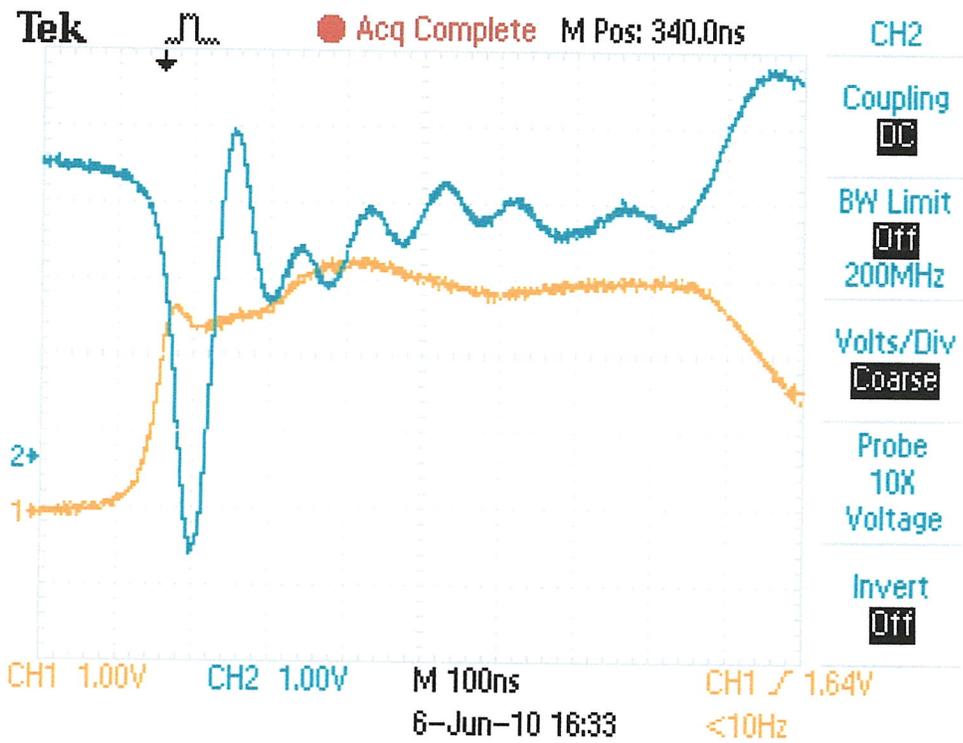


Рисунок 6.6 - Осциллограмма тока и напряжения МПР № 3, щуп 1:10

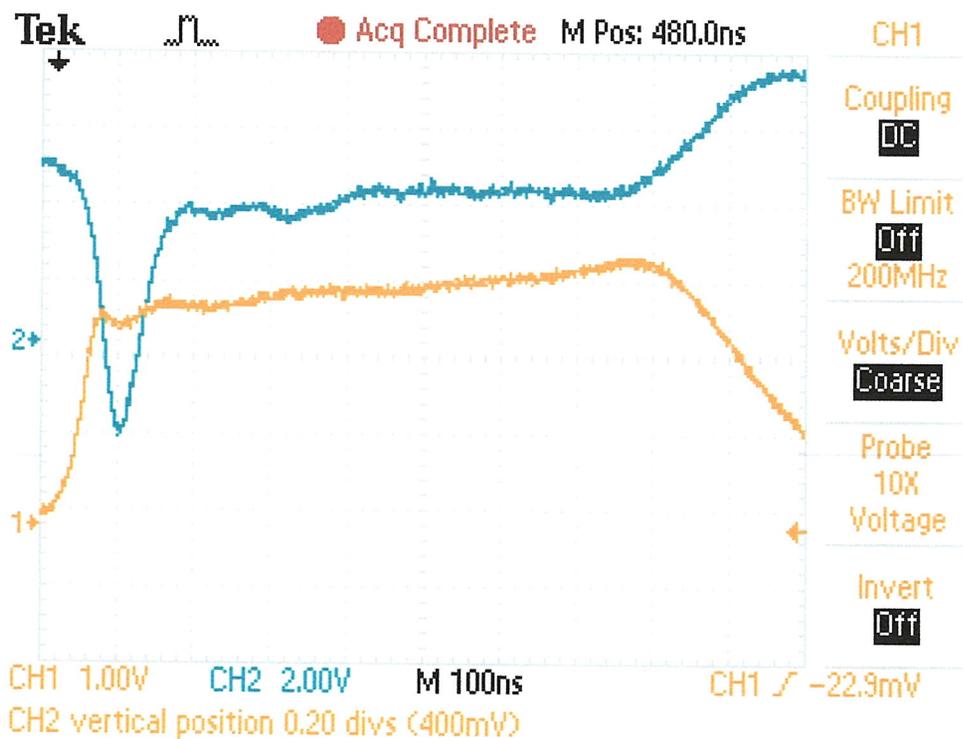


Рисунок 6.7 - Осциллограмма тока и напряжения МПР № 4, щуп 1:10

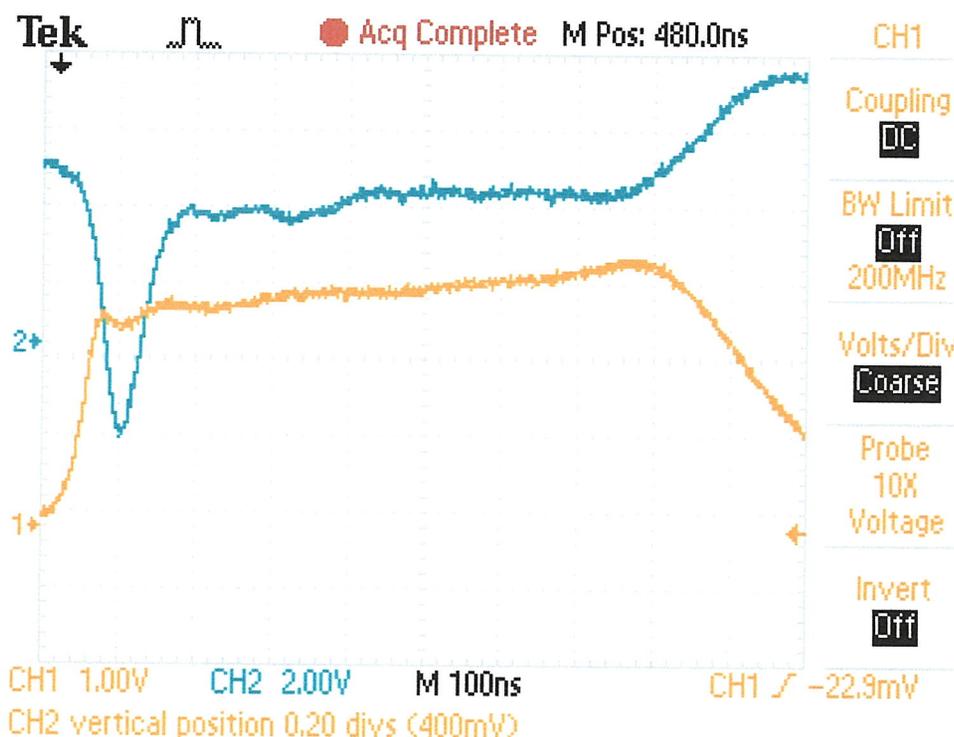


Рисунок 6.8 - Осциллограмма тока и напряжения МПР № 5, щуп 1:10

Таблица 6.6 - Импульсные сопротивления заземления молниеприемников

Наименование	$I_{изм}, A$	$U_{изм}, B$	$Z_{имп}, Ом$
Молниеприемник МПР № 1	2,8	11	4
Молниеприемник МПР № 2	3,1	24	8
Молниеприемник МПР № 3	2,9	12	4
Молниеприемник МПР № 4	2,8	11	4
Молниеприемник МПР № 5	3	9	3

6.10 Расчет зон защиты стержневых молниеотводов

Зоной защиты принято называть пространство вокруг молниеотвода, попадание в которое разрядов молнии маловероятно. Рассчитываемая подстанция защищается при помощи 5 стержневых молниеотводов, высоты оборудования ПС указаны в таблице 6.7.

Таблица 6.7 - Высоты оборудования ПС

Наименование	Н, м
Молниеприемник МПР № 1	32,9

Наименование	Н, м
Молниеприемник МПР № 2	44
Молниеприемник МПР № 3	27,7
Молниеприемник МПР № 4	25,5
Молниеприемник МПР № 5	25,5
Трансформаторы Т1, Т2	6,5
Ошиновка 110 кВ	6,6
Ошиновка 35 кВ	4
ОПУ-1,2	5

ПС 110/35/6 кВ «Кетовская» находится в климатической зоне с продолжительностью гроз от 20 до 40 часов в год. Построение зон системы молниезащиты ПС основывается на рекомендациях РД 34.21.122-87 [5], СО-153-34.21.122-2003 [12]. Принят III уровень молниезащиты для оборудования ПС «Здания и сооружения или их части, помещения которых согласно ПУЭ относится к зонам классов П-I, П-II, П-IIа», тип зоны молниезащиты принят «зона А». Результаты расчёта программы «Protection Zones» в виде трёхмерной модели приведены на рисунке 6.9. Расчёты показали что всё оборудование и сооружения ПС находятся в зоне «А» молниезащиты.

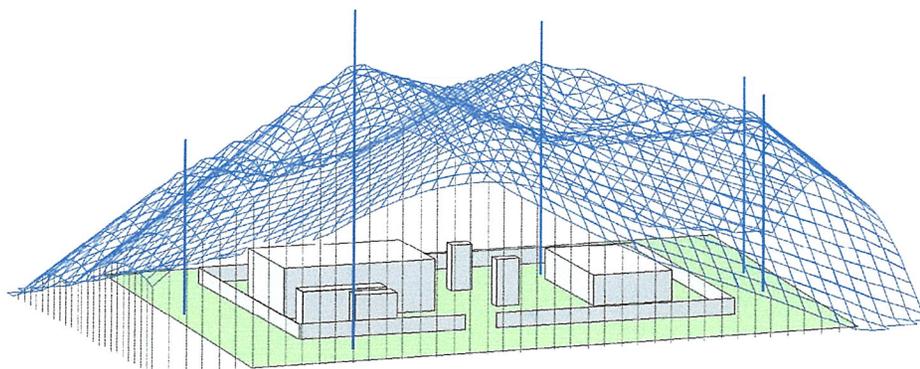


Рисунок 6.9 - Зона защиты молниеприёмников

Так же произведён расчёт зоны защиты молниеприёмников, на отметках по высоте 2, 5, 7, 10, 15 и 20 м (приложение 2).

7 ВЫВОДЫ

- Полученное сопротивление растеканию заземляющего устройства 0,145 Ом удовлетворяет нормируемому значению 0,5 Ома.
- Напряжение на ЗУ 531,3 В не превышает нормированного значения 5 кВ.
- Напряжение прикосновения на всех проверенных рабочих местах ОРУ — 110 кВ, ОРУ — 35 кВ не превышает допустимых норм, кроме Р-110 2Т, ЛР-110 1Т, 1РРП-110, 1ШР-35 СВ, 2ШР-35 СВ, ШР-35 2ТН.
- Измерение сопротивления металlosвязи выявило обрывы заземляющих проводников, от контура ЗУ следующих присоединений: ТР-110 2Т, РВМГ-110 2Т, ТР-110 1Т, ШР-110 1Т, ЛР-110 1Т, КС-110 1Т, ТН-110 1СШ, 2РРП-110, ЛР-110 2Т, КС-110 2Т, ОИ 6 кВ (1-й от 2Т), ОИ 6 кВ (2-й от 2Т).
- Практически все присоединения на ПС имеют повышенное сопротивление металlosвязи с заземляющим устройством, из-за не достаточного количества поперечных горизонтальных заземлителей.
- Зона защиты молниеотводов от прямых ударов покрывает всё оборудование на территории ПС (приложение 2).
- Коррозионное состояние заземляющих проводников и горизонтальных заземлителей находится в удовлетворительном состоянии.
- Горизонтальная сетка заземляющего устройства ПС имеет ряд недостатков (приложение 1):
 - в схеме ЗУ ПС не достаточное количество горизонтальных заземлителей;
 - выявлено последовательное соединение заземляющих проводников оборудования между собой (п.6.2 отчета);
 - обнаружены горизонтальные заземлители на поверхности земли (п.6.2 отчета);
 - подтвержден факт обрыва ряда присоединений перечисленных выше.
- Расчетные удельные сопротивления грунта при неблагоприятных климатических условиях:

Сопротивление верхнего слоя	$P_1 = 20,8 \text{ Ом}\times\text{м}$
Толщина верхнего слоя	$H = 0,21 \text{ м}$
Сопротивление нижнего слоя	$P_2 = 199,4 \text{ Ом}\times\text{м}$

- Импульсное сопротивление отдельно стоящих молниеприемников не превысили нормированную величину.

8 РЕКОМЕНДАЦИИ

- Восстановить горизонтальную сетку заземляющего устройства ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская» согласно приложения 1.
- Демонтировать горизонтальные заземлители указанные на рисунке приложения 1.
- Присоединить заземляющие проводники к заземляющему устройству ПС указанные на рисунке приложения 1.
- Устранить последовательные соединения оборудования, указанные в приложении 1.
- Сечение горизонтальных заземлителей должно быть не менее: ОРУ-110 кВ $S_{зп} = 79 \text{ мм}^2$, ОРУ-35 кВ $S_{зп} = 44 \text{ мм}^2$. согласно п.6.8 отчета.
- Увеличить, как минимум до двух заземляющих проводников на оборудовании с плохим качеством соединения с контуром ЗУ ПС выявленных при измерении сопротивления металлосвязи.
- На рабочих местах с высоким уровнем напряжения прикосновения необходимо принять дополнительные меры по его снижению:
 1. В качестве самого радикального способа предлагаем в местах возможного расположения оперативного персонала при ручных коммутациях на этих площадках установить металлические подставки или листы (с рифлениями для предотвращения падения персонала), которые в обязательном порядке соединить с контуром заземления – данная мера должна снизить напряжение прикосновения до нулевого уровня;
 2. В качестве менее действенного способа, но позволяющим снизить напряжение прикосновения, можно порекомендовать подсыпку щебнем слоем толщиной 0,1-0,2 м.
 3. Проверить качество сварного или болтового соединения привода разъединителя с заземляющим проводником. При отсутствии соединения привода разъединителя с заземляющим проводником, необходимо его сделать.
- Заглубить горизонтальные заземлители обнаруженные на поверхности земли, указанные в приложении 1 до уровня 50-70 см.

При проведении восстановительных работ на заземляющем устройстве соблюдать требования руководящих документов:

1. Не допускать последовательного соединения заземляемого оборудования и прокладки горизонтальных проводников ЗУ по кратчайшему пути
2. Заземляющие проводники прокладывать в горизонтальной части на глубине не менее 30 см.

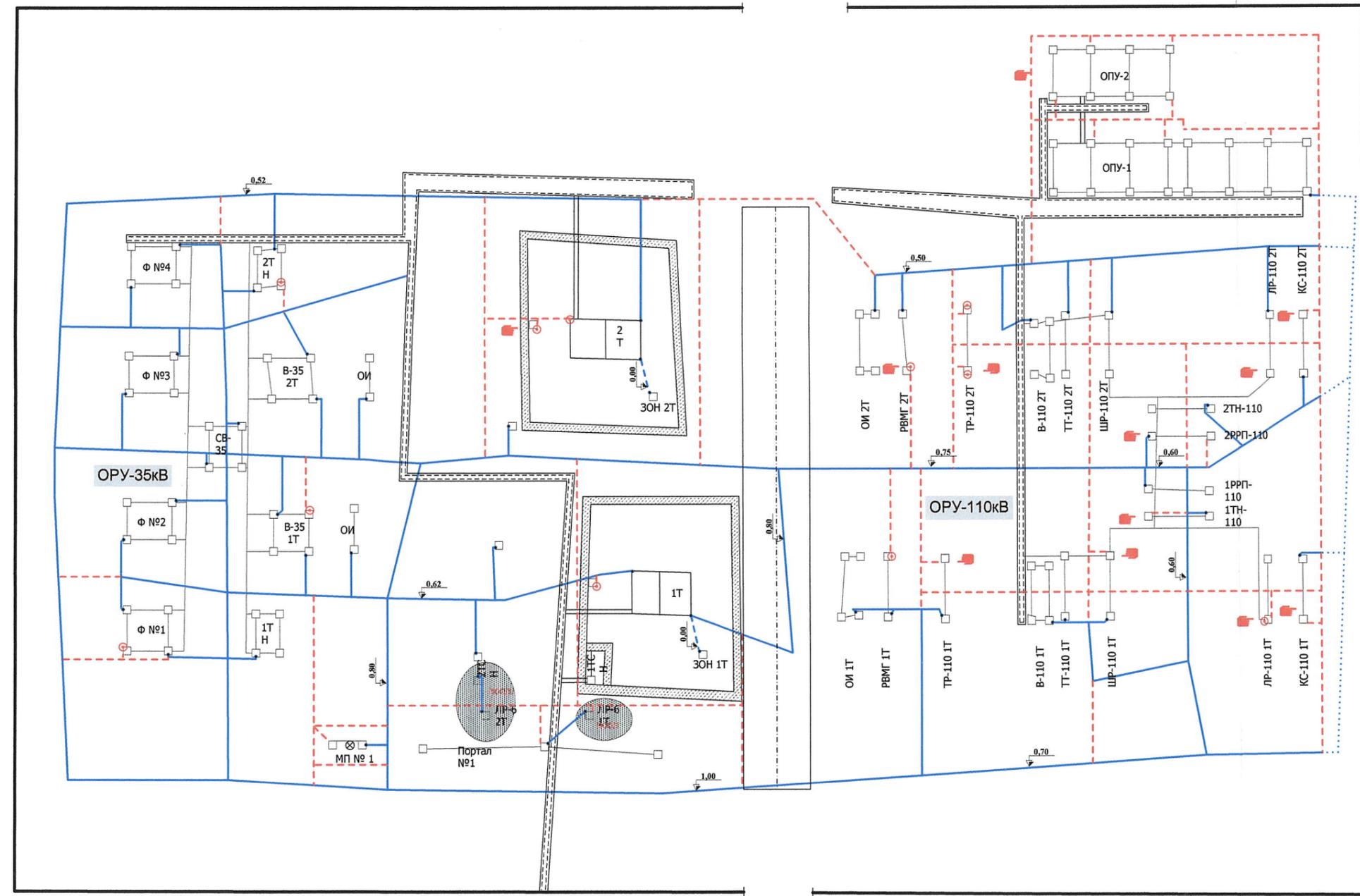
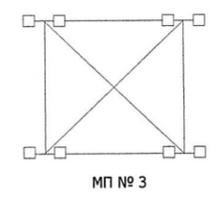
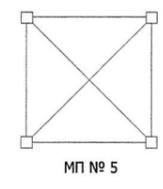
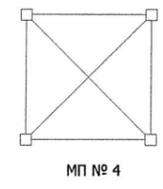
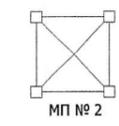
3. Горизонтальные заземлители прокладывать на глубине 50 - 70 см, при пересечении вновь укладываемых проводников ЗУ друг с другом и обнаруженными соединять эти проводники сваркой внахлест.

9 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе обследования заземляющего устройства ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская» были выявлены нарушения требований руководящих документов.
2. Был проведен расчет зон защиты стержневых молниеотводов в программе «*Protection Zones*», которая подтвердила защиту оборудования ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская» от прямых ударов молнии.
3. Заземляющее устройство ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская» находится в не удовлетворительном состоянии.
4. Заземляющее устройство ПС - 110/35/6 кВ «Кетовская» требует ремонтно-восстановительных работ, для приведения параметров заземляющего устройства к нормированным значениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. РД 153-34.0-20.525-00 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств распределительных устройств электроустановок. - М.: СПО ОРГРЭС, 2000.
2. Методические указания по проверке состояния ЗУ электроустановок при помощи измерительного комплекса для диагностики качества контуров заземления КДЗ-1. -М.: ООО «НПФ ЭЛНАП», 2002.
3. РД 34.45-51.300-97 Объем и нормы испытаний электрооборудования. 6-е изд. М. ОРГРЭС.
4. Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник.- М.: Энергосервис, 2002.
5. РД 153-34.3-35.125-99 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозных и коммутационных перенапряжений. Издание второе. СПб.: ПЭИПК, 1999.
6. ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний.
7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации/Минэнерго России. - М.: СПО ОРГРЭС, 2003.- 320с.
8. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. - М.: НЦ ЭНАС, 2003.
9. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. СО 34. 35. 311-2004. – М. Издательство МЭИ, – 2004.
10. ГОСТ Р 50571.19-2000 (МЭК 60364-4-443-95) Защита электроустановок от грозных и коммутационных перенапряжений. Защита от перенапряжений. Требования по обеспечению безопасности.
11. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения/ С. А. Бажанов, И.С. Батхон, И.А, Баумштейн и др.; Под ред. И. А, Баумштейна и М. В. Хомякова.- 2-е изд., перераб. и доп.- М. Энергоиздат, 1981, - 656 с.
12. СО-153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

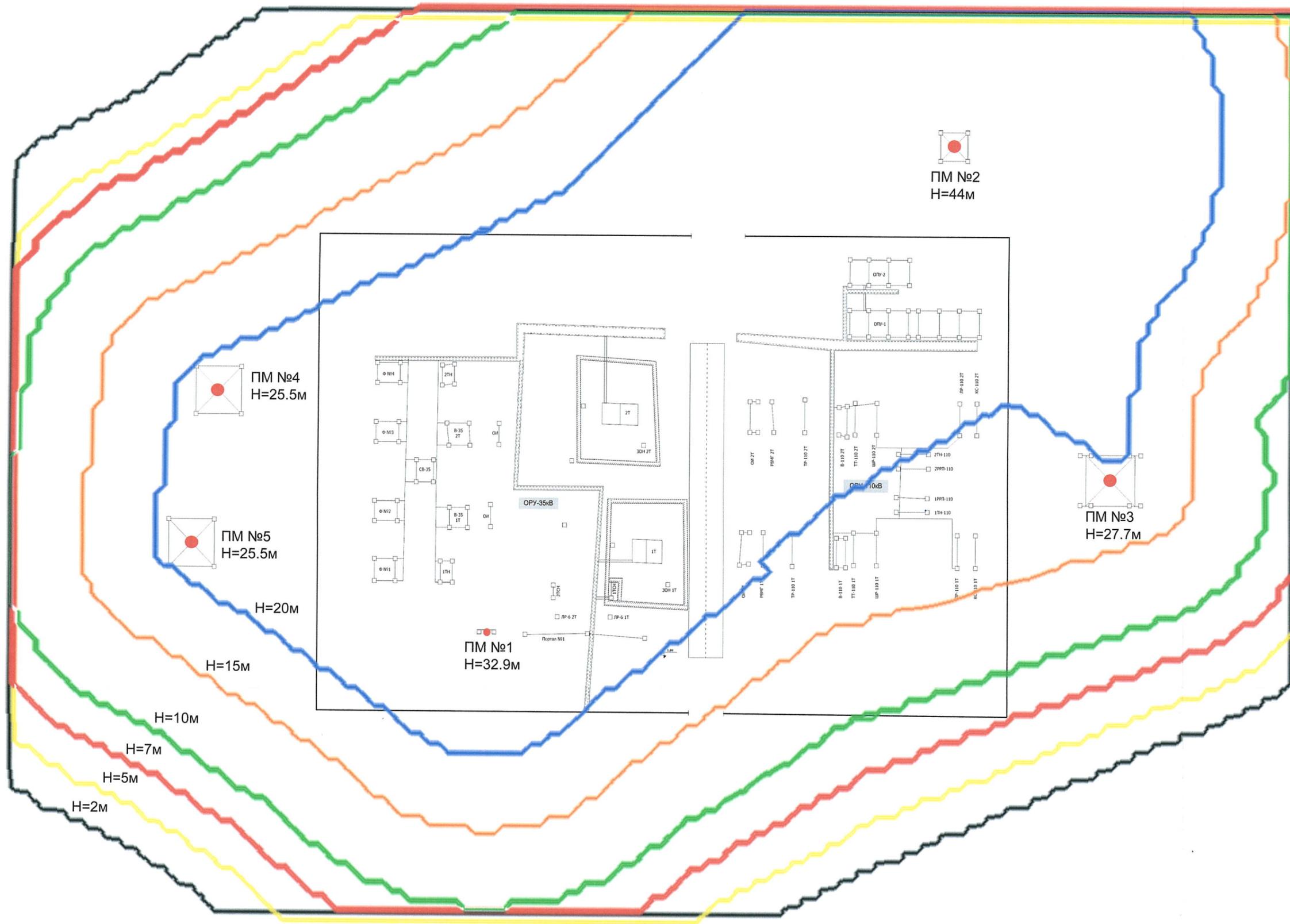


Условные обозначения:

- | | | | | | |
|--|---------------------------------------|--|---|--|--|
| | кабельный канал | | связь по металлоконструкции | | указатель оборудования, не имеющего связи с искусственным заземлителем |
| | ограда | | предложения по реконструкции трассы прокладки шин горизонтального заземлителя | | горизонтальные заземлители расположенные на поверхности земли |
| | портал | | шина горизонтального заземлителя | | горизонтальные заземлители подлежащие демонтажу |
| | глубина залегания шин заземлителя (м) | | место присоединения оборудования к заземлителю | | последовательно присоединенное оборудование |
| | дорога | | бетон | | обрыв заземляющего проводника |



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	П.С. Кетовская	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.						Лист	Листов	
Прое.						Исполнительная схема с рекомендациями по ремонту		
Т. контр.								
Н. контр.								
Упл.								



- молниеприёмники
- бетон
- связь по металлоконструкции
- кабельный канал
- ограда
- портал
- дорога

Параметры молниеприёмников

	Высота, м	R _{мин} , Ом
МПР №1	32,9	4
МПР №2	44	8
МПР №3	27,7	4
МПР №4	25,5	4
МПР №5	25,5	3

Сопротивление заземляющего устройства R_{зз}=0,145 Ом

Наибольшие высоты оборудования

Объект	Высота, м
ОИ 1Т, 2Т №1	6,6
Трансформаторы 1Т, 2Т	6,5
Ошиновка 35 кВ	4
ОПУ-1,2,	5



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПС Кетовская Зона защиты молниеприёмников от прямого удара молнии на отметках по высоте	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.						Лист	Листов	
Прое.								
Т. контр.								
Н. контр.								
Уте.								