

УДК 624.131.437.311

*Н.К. Джусупбекова*<sup>1</sup>, [nazika11612@mail.ru](mailto:nazika11612@mail.ru)*А.К. Асанов*<sup>1</sup>, [asanov\\_ak@mail.ru](mailto:asanov_ak@mail.ru)*Р.Б. Тентиев*<sup>1</sup>, [renattentiev@mail.ru](mailto:renattentiev@mail.ru)<sup>1</sup>*Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ПС 110 КВ «РАЗЗАКОВА»

Статья содержит экспериментально-расчетное определение электромагнитной обстановки ПС 110 кВ «Раззакова», расположенной в Баткенской области. На основе измеренных данных произведен расчет и моделирование параметров электромагнитной совместимости основного оборудования с системами вторичной коммутации. Произведены измерения удельных электрических сопротивлений грунта и сопротивления растеканию заземляющего устройства, на основе которых при коротких замыканиях и молниевом разряде определены опасности воздействия разностей потенциалов на вторичное оборудование. Произведен расчет среднего количества разряда молнии на территорию объекта. Произведены анализ и оценка состояния заземляющего устройства, сечений и коррозионного состояния элементов существующего заземляющего устройства, размещений вторичных цепей. Определены наличие и качество металловязей оборудования с заземляющим устройством объекта. Оценки результатов расчета сопоставлены с требованиями нормативно-технических документаций.

**Ключевые слова:** заземляющее устройство, удельное электрическое сопротивление грунта, сопротивление растеканию заземляющего устройства, вторичные цепи, короткое замыкание, импульсные помехи, молниезащита.

**Введение.** Система заземления и уравнивания потенциалов является важной частью современного энергообъекта. Характеристики ЗУ должны отвечать требованиям обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала и надежной работы оборудования электроустановки в нормальных и аварийных условиях. ЗУ должно обеспечивать следующие эксплуатационные функции электроустановки:

- защиту людей от поражения напряжением шага и напряжением прикосновения при КЗ в электроустановках;
- действие релейных защит от замыкания на землю;
- действие защит от перенапряжений – разрядников, ОПН;
- отвод в грунт токов молнии с молниеприемников объекта и подходящих к нему тросовых молниеотводов;
- отвод рабочих токов (токов нулевой последовательности, тяговых токов и т.д.);
- снижение электромагнитных влияний на вторичные цепи и оборудование, в том числе импульсных перенапряжений при ударах молнии, протекании через ЗУ ВЧ-составляющей тока КЗ и т.п.;
- защиту проводящих коммуникаций (экранов и оболочек кабелей, труб воздухопроводов и т.п.) от токовых перегрузок;
- защиту от статического электричества;
- снижение разностей потенциалов, приложенных к изоляции цепей связи, уходящих с территории объекта – при КЗ на землю и молниевых разрядах.

В современных условиях состоянию заземляющего устройства и системы молниезащиты должно уделяться повышенное внимание, поскольку они оказывают существенное влияние на электромагнитную обстановку на объекте. Устройства РЗА, АСУ ТП, АСКУЭ и связи, основанные на микропроцессорных элементах, имеют широкие функциональные возможности и ряд других преимуществ перед электромеханическими устройствами. Однако, в отличие от них, современные устройства обладают сравнительно высокой чувствительностью к электромагнитным помехам. Энергообъекты (ПС, ТЭЦ, ГЭС и т.п.) являются мощными источниками электромагнитных полей и помех, поэтому

для нормального функционирования современных устройств защиты и автоматики необходимо обеспечивать их электромагнитную совместимость (ЭМС) с электромагнитной обстановкой (ЭМО) на энергообъектах. Система заземления играет важную роль в обеспечении ЭМС аппаратуры защиты, автоматики, управления, связи.

Таким образом, необходимо проводить обследование систем заземления и уравнивания потенциалов на действующих энергообъектах для обеспечения электробезопасности и ЭМС. По результатам должны разрабатываться мероприятия по модернизации заземляющих устройств.

**Целью настоящей работы** является обследование существующего контура заземляющего устройства ПС 110/35/10 кВ «Раззакова» с выявлением нарушения электромагнитной обстановки в части влияния на надежность работы первичного оборудования и систем вторичной коммутации.

**Краткие сведения об объекте.** Подстанция расположена рядом с с. Равват Лейлекского района Баткенской области. ПС 110/35/10 «Раззакова» представляет собой понижающую подстанцию, осуществляющую прием, преобразование и передачу электрической энергии. ПС эксплуатируется с постоянным дежурным персоналом на объекте.

Измерения производились на объекте в мае 2024 г. При выполнении работ использовались следующие документы [3]:

- нормальная схема электрических соединений ПС «Раззакова» на 2024 год;
- журнал уставок РЗА;
- документ «Токи короткого замыкания на шинах 6–500кВ подстанций Национальной электрической сети Кыргызстана (НЭСК) в максимальных и минимальных режимах по состоянию на 2023 г.».

В районе расположения ПС уровень грозовой активности составляет ~40–60 часов в год [2]. Среднестатистическая поражаемость грозой на территории составляет 35/100км<sup>2</sup> год. Рядом с территорией ПС находятся опоры ВЛ 500, 110 кВ и 10 кВ.

ПС имеет три распределительных устройства напряжением выше 1 кВ: ОРУ-110 кВ, выполнено по схеме: две рабочие системы шин и ремонтная перемычка; ОРУ – 35 кВ, РУ-10 кВ, выполнено в виде КРУН-10 кВ с двумя секциями шин. На ПС установлен один силовой трансформатор мощностью 16 МВА 110/35/10 кВ.

#### **Размещение вторичных цепей**

На открытой территории ПС (ОРУ-110 кВ, трансформатор, участок между ОПУ и ОРУ-35кВ) цепи проложены в железобетонных незаглубленных кабельных лотках (рис. 1). Трассы прокладки лотков указаны на рисунке 2. Часть цепей от ЭА до лотков выполнена в виде металлокоробов, в металлических трубах, а в некоторых отсутствует защитный покров цепей. Силовые кабели и контрольные проложены в лотках хаотично, без разнесения на существенное расстояние.



Рисунок 1– Фрагмент трассы кабельных лотков на ОРУ 110 кВ ПС «Раззакова»

Участки цепей от электроаппаратов до клеммных шкафов выполнены, как правило, в металлических трубах, металлокоробах или в ПВХ-кожухе. Клеммные шкафы электроаппаратов расположены непосредственно на стойках ЭА, к которым они относятся.

Вторичные цепи в здании ОПУ и ОРУ 35 кВ проложены в кабельных каналах и открыто по воздуху. В настоящее время на подстанции применяется МП-аппаратура АСКУЭ и связи.

### Результаты измерений и расчетов

#### Определение состояния ЗУ

В связи с отсутствием проектной и исполнительной схемы ЗУ ОРУ-110 кВ и ОРУ-35кВ, с учетом измеренного значения сопротивления растеканию ЗУ, была построена адекватная модель ЗУ (рис. 2) с помощью ПО «Контур» [11]. Также были использованы исходные данные, которые показаны в таблице 1 [2].

Таблица 1

№	Измерения	Данные
1	Площадь ЗУ ПС	13500 м <sup>2</sup>
2	Однослойный грунт с удельным сопротивлением	98 Ом*м
3	Длина пролета металлических опор напряжением 110 кВ	250 м
4	Стальной грозозащитный трос сечением	50 мм <sup>2</sup>
5	Ток короткого замыкания в сети напряжением 110 кВ	I <sub>кз</sub> =6,8 кА
6	Сопротивление заземления опор по ПУЭ 2.5.129	RE1=10 Ом
7	Вертикальный стержневой электрод длиной	L <sub>в</sub> =3 м
8	Горизонтальный заземлитель	30 шт.
9	Вертикальный заземлитель	70 шт.
10	Сведения о грунте Протокол 1 от 10 мая 2024 года	

Растекание большей части тока КЗ и молниевое разряда происходит по ЗУ ПС и частично по системе «грозотрос» опоры ВЛ 110 кВ.

#### Оценка удельного сопротивления грунта

Измерения удельного сопротивления грунта проводились как на территории ПС, так и за ее пределами по методу вертикального электрического зондирования. Глубина промерзания грунта в зимний период составляет не более 2,0 м (согласно карте нормативных глубин промерзания грунтов) [1].

Согласно результатам измерений и аппроксимации, проведенной в соответствии с [7], данным [1, 6], принимаются следующие параметры эквивалентной модели грунта:

- летний период: двухслойный грунт с удельным сопротивлением 90 Ом\*м (верхний слой) и 180 Ом\*м (нижний слой). Глубина раздела слоев – 15 м;

- зимний период: двухслойный грунт с удельным сопротивлением 135 Ом\*м (верхний слой) и 180 Ом\*м (нижний слой). Глубина раздела слоев – 15 м.

### **Определение сопротивления растеканию ЗУ**

Сопротивление растеканию является одной из главных характеристик ЗУ-электроустановок. Сопротивление растеканию измерялось с помощью классического метода «амперметра-вольтметра» интегрированным прибором MRU-120. Токовый и потенциальный зонды были вынесены за территорию ПС на расстояния порядка 1000 и 700 метров соответственно. Данные расстояния примерно в 3 раза превышают размер ЗУ-ПС по диагонали.

Измеренное сопротивление растеканию с учетом естественных заземлителей составляет 0,89 Ом.

На основании результатов измерений был проведен расчет распределения токов по отходящим коммуникациям. Распределение токов имеет следующий вид:

- 69% тока растекается с ЗУ ПС;
- 31% токов растекается по тросовым молниеотводам;

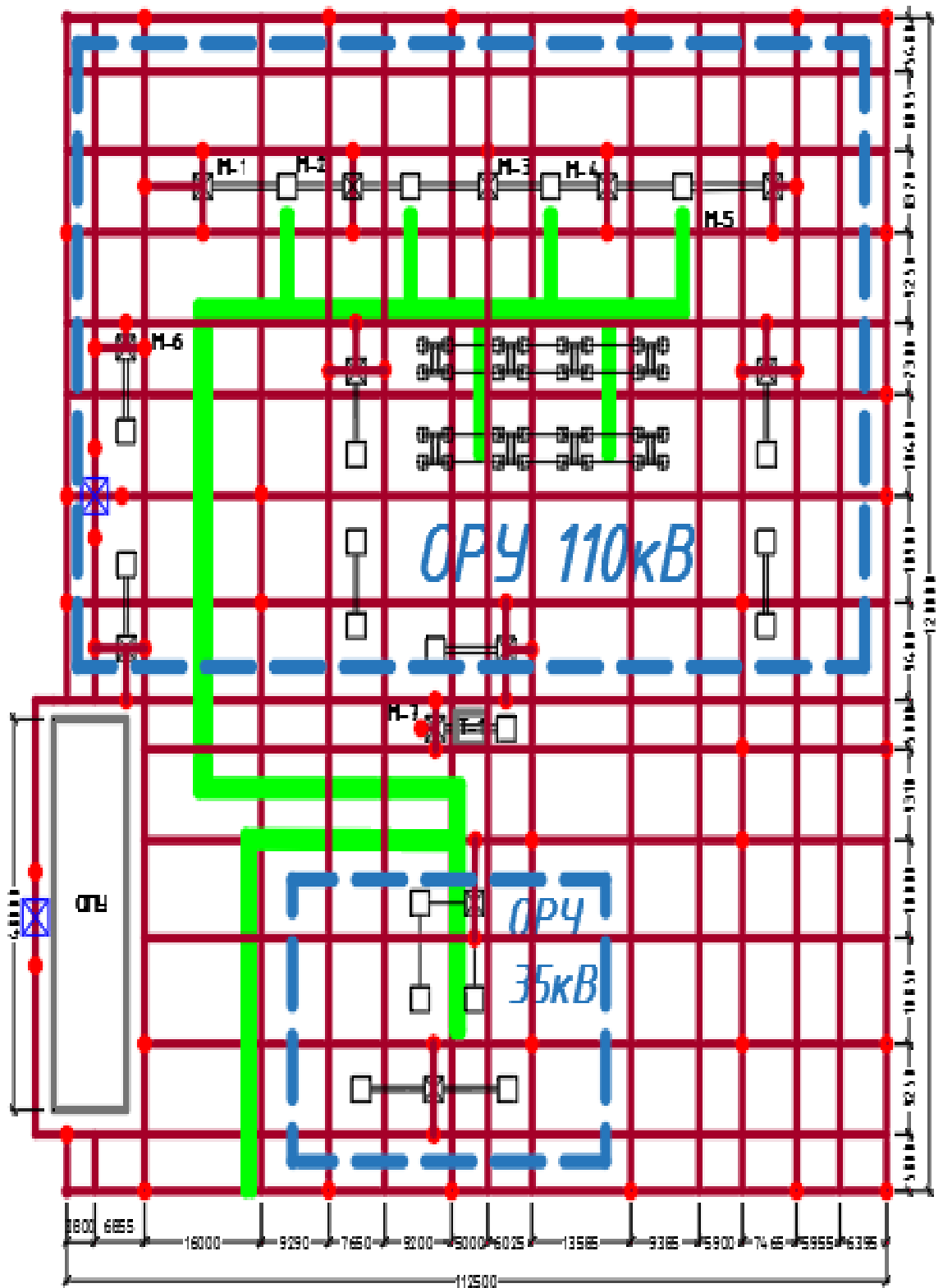


Рисунок 2 – Модель ЗУ ПС 110 кВ «Раззакова»

По результатам расчетов сопротивление растеканию ЗУ-объекта в зимний период составит около 1,1 Ом.

Согласно [1], сопротивление растеканию ПС не должно превосходить 0,5 Ом в любое время года с учетом естественных заземлителей [1, п.1.7.90]. Таким образом, сопротивление растеканию ЗУ ПС не соответствует требованиям НТД.

### Расчет среднего количества разрядов молнии на территорию объекта за год

Поражение объекта молнией носит вероятностный характер и зависит от характеристик грозовой активности в регионе, геометрических параметров рассматриваемого объекта и характеристик окружающей местности. Поэтому выбор принимаемого в расчетах значения тока молнии будет определяться ожидаемым средним числом поражений объекта за год.

Расчет количества молниевых разрядов выполняется в соответствии с методикой [9].

Уровень грозовой активности (рис. 3, 4) в районе расположения объекта [2]:  $T_d = 40 - 60$  часов в год.

Плотность ударов молнии на 1 кв. км в год рассчитывается по формуле:

$$N_g = 6.7 \cdot T_d / 100. \quad (1)$$

Если принять верхнее значение  $T_d = 40$  часов в год, то  $N_g = 4,02$ .

Ожидаемое количество разрядов молнии в защищаемую территорию за год определяется по формуле:

$$ND = N_g \cdot Ad \cdot Cd \cdot 10^{-6}. \quad (2)$$

Здесь  $Ad$  – площадь сбора разрядов для рассматриваемой территории,  $Cd$  – коэффициент, учитывающий влияние относительного местонахождения защищаемого объекта [9]. Вокруг ПС отсутствуют объекты равной или большей высоты, поэтому  $Cd = 1,0$ .

Ожидаемое количество поражений молнией территории открытой части объекта определяется согласно описанной методике. Принимается:  $Ad = 32200$  кв.м.

Для принятой грозовой активности  $ND = 0,129$ , что соответствует примерно 1 удару в ~8 лет.

По данным [2], в которых приведена эмпирическая формула для оценки вероятности молниевых разрядов с той или иной величиной тока молнии, молниевые разряды с амплитудой тока 15 кА и выше будут составлять 15% от общего числа молниевых разрядов.

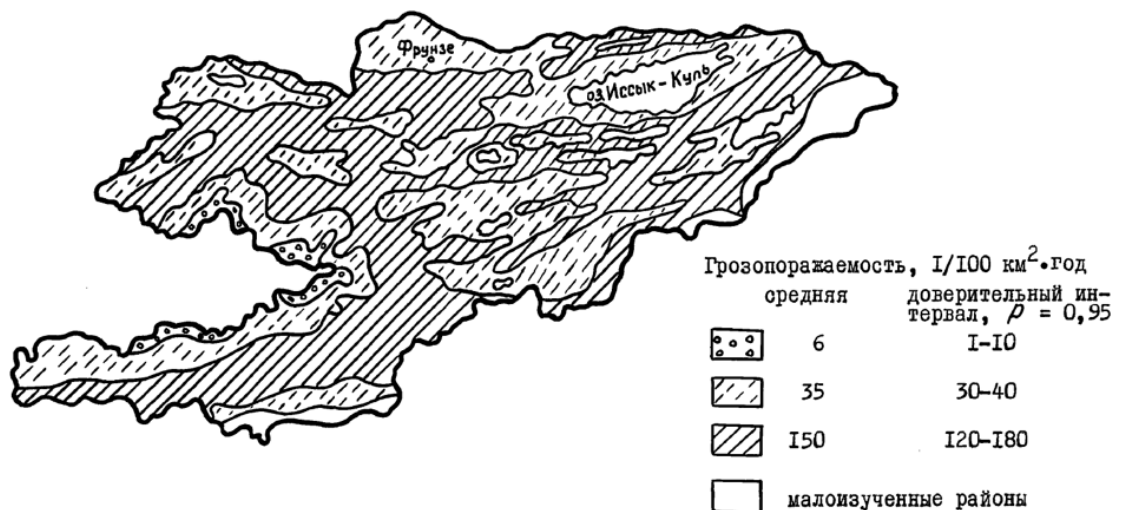


Рисунок 3 – Карта удельной грозопоражаемости территории Кыргызстана

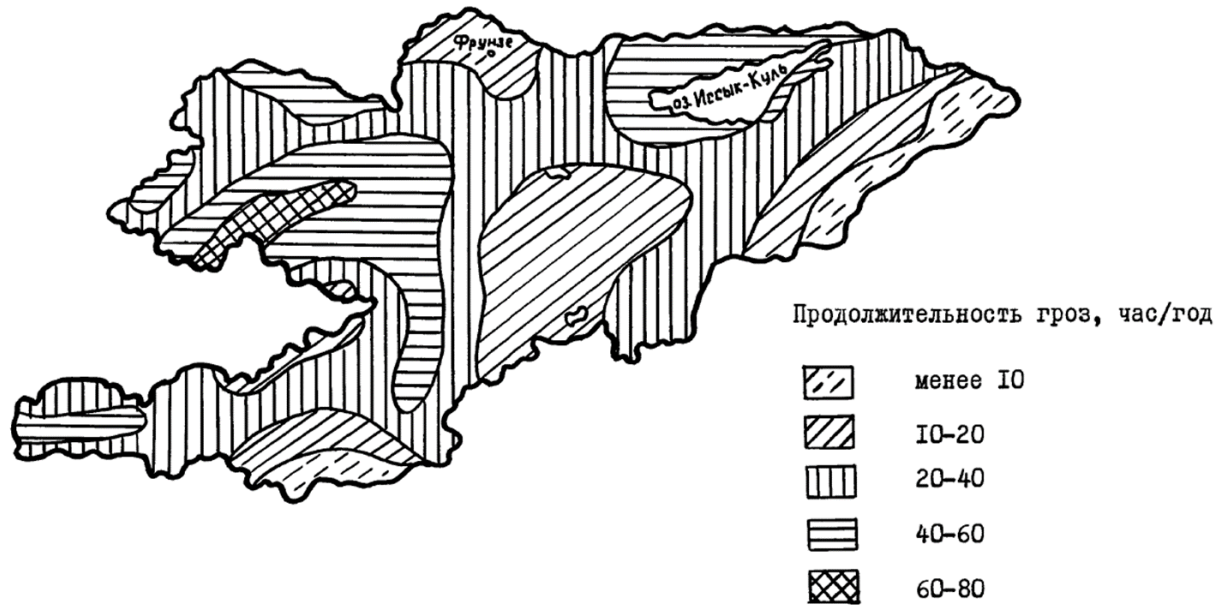


Рисунок 4 – Карта среднегодовой продолжительности гроз на территории Кыргызстана

### Расчет импульсного сопротивления заземлителей

Рассчитываем импульсное сопротивление заземлителей  $R_{имп}$ . Оно зависит от импульсного коэффициента  $a_n$

$$a_n = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{S}}{(\rho + 320)(I_M + 45)}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{13500}}{(98 + 320)(15 + 45)}} = 2,6,$$

где  $I_M = 15$  кА – ток молнии,  $\rho = 98$  Ом/м – эквивалентное удельное сопротивление грунта,  $S = 13500$  м<sup>2</sup> – площадь заземлителя.

Тогда импульсное сопротивление заземлителей  $R_{имп}$   
 $R_{имп} = a_n \cdot R_{зг} = 2,6 \cdot 0,89 = 2,3$  Ом.

### Анализ системы молниезащиты по условиям воздействия на вторичное оборудование

При ударах молнии в молниеотводы объекта возможно воздействие импульсных разностей потенциалов и наводок на вторичные цепи. Кроме того, опасность может представлять стекание импульсных токов с заземления высоковольтных ОПН. С целью выявления средств молниезащиты, протекание тока молнии через которые представляет опасность для вторичного оборудования, произведен предварительный визуальный осмотр системы молниезащиты. Список элементов системы молниезащиты, протекание тока молнии через которые представляет наибольшую опасность для первичного оборудования и систем вторичной коммутации, представлен ниже (см. табл. 2).

Таблица 2. Элементы системы молниезащиты, протекание тока молнии через которые представляет наибольшую опасность для вторичных цепей

Тип цепей	ЭСМЗ, представляющие наибольшую опасность	Обоснование
Цепи в ОПУ	М1	Расстояние элемента СЗМ до ОПУ не более 1,5 м

### Заключение

Электромагнитную обстановку на ПС 110кВ «Раззакова» можно считать менее благоприятной. Наибольшую опасность представляют на промышленной частоте помехи при КЗ на ОРУ 110 кВ и импульсные помехи при молниевых разрядах.

1. Схема ЗУ на открытой части ПС (ОРУ-110, ОРУ-35, РУ-10 и трансформаторная группа) выполнена по требованию НТД.
2. Схема СУП в помещении ОПУ удовлетворяет требованиям НТД.
3. Площадь сечения заземлителей и заземляющих проводников удовлетворяет требованиям НТД.
4. Удельное сопротивление грунта в месте расположения объекта является вполне благоприятным по условиям растекания тока с заземлителей.
5. Сопротивление растеканию ЗУ ПС не удовлетворяет требованиям ПУЭ. Значительный вклад в растекание тока вносят искусственные заземлители, также растекание будет по тросовым молниеотводам.
6. На открытой части объекта (ОРУ-110, 35 кВ) не выявлена конструкция с нарушением локальной металлосвязи с ЗУ ПС.
7. Разности потенциалов на промышленной частоте при КЗ в сетях выше 1 кВ будут представлять опасность для вторичных цепей.
8. Помехи и перенапряжения при молниевом разряде представляют опасность для вторичных цепей.

### *Литература*

1. Правила устройства электроустановок. –7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
2. Чичинский М.И. Дисс.... на соискание уч. степени к.т.н. «Особенности грозопоражаемости в горных районах и их учет при выборе грозозащиты воздушных линий электропередачи». – Фрунзе, 1984г.
3. Данные ОАО «Национальная электрическая сеть Кыргызстана» с 2012 по 2023гг.
4. ГОСТ Р 50571-4-44-2011 (МЭК 60364-4-44:2007) Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех. – М.: Стандартинформ, 2012.
5. ГОСТ Р 51317.6.5-2006 (МЭК 61000-6-5-2001) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электрических станциях и подстанциях. Технические требования и методы испытаний.
6. Методические указания по контролю заземляющих устройств электроустановок. РД 153-34.0-20.525-00, М. СПО ОРГРЭС, 2000.
7. Коструба С.И. Измерение электрических параметров земли и заземляющих устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
8. Методические указания по определению электромагнитной обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. СО 34.35.311-2004. – М.: Изд-во МЭИ, 2004.
9. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. СТО-56947007-29.240.044-2010.
10. IEC 62305 Lightning Protection (МЭК 62305 Молниезащита).
11. Отчет НИР за 2023г. «Исследования электромагнитной обстановки объектов электроэнергетики и обеспечение электромагнитной совместимости устройств в электрических сетях» // НИИ Энергетики и связи при КГТУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2023. – 68 с.
12. Асанов А.К., Омокеева А.А. Экспериментально-расчетное определение электромагнитной обстановки ПС 110 кВ «Ананьево» // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2022. – №3 (45). – С. 42–51.
13. Тентиев Р.Б., Джусупбекова Н.К., Асанов А.К. Экспериментально-расчетное определение электромагнитной обстановки ПС 110 кВ «Парковая». // Проблемы автоматики и управления. –№3 (48). – Бишкек, 2023.– С. 117–123.