



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



«Красноярскстройэлектропроект»

Свидетельство № П-977-2016-2466119534-8 от 02 сентября 2016 г.

Заказчик – Филиал АО «ИЭСК» «Южные электрические сети»

**Ю21 Реконструкция ПС 220 кВ Светлая (замена Т-1 и
Т-2 мощностью 40 МВА каждый на два по 100 МВА)
(прирост мощности 120 МВА)**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Раздел 13. Иная документация в случаях,
предусмотренных законодательными и иными
нормативными правовыми актами
Российской Федерации**

**Книга 1. Разработка комплекса мероприятий по
выполнению требований электромагнитной
совместимости микропроцессорных устройств**

1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС

Том 1.11.1

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	№ док.	Подп.	Дата



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



«Красноярскстройэлектропроект»

Свидетельство № П-977-2016-2466119534-8 от 02 сентября 2016 г.

Заказчик – Филиал АО «ИЭСК» «Южные электрические сети»

**Ю21 Реконструкция ПС 220 кВ Светлая (замена Т-1 и
Т-2 мощностью 40 МВА каждый на два по 100 МВА)
(прирост мощности 120 МВА)**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Раздел 13. Иная документация в случаях,
предусмотренных законодательными и иными
нормативными правовыми актами
Российской Федерации**

**Книга 1. Разработка комплекса мероприятий по
выполнению требований электромагнитной
совместимости микропроцессорных устройств**

1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС

Том 1.11.1

Технический директор

В.В. Транковский

Главный инженер проекта

Г.С. Лазарев

Изм.	№ док.	Подп.	Дата

Содержание тома

Обозначение	Наименование	Примечание
Текстовая часть		
1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.С	Содержание тома	
1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.СП	Состав проектной документации	
1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ	Текстовая часть	
Графическая часть		
1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ГЧ л.1	План молниезащиты ПС	
1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ГЧ л.2	План заземления ПС	

Согласованно		

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

						1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.С			
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Содержание тома	Стадия	Лист	Листов
Разработал		Иващенко			04.25		П	1	1
Проверил		Транковский			04.25				
Н. контр.		Богачев			04.25		 ООО «Красноярскстрой электропроект»		
ГИП		Лазарев			04.25				

Состав проектной документации

Состав проектной документации представлен в томе 1-ЮЭС-2025/203-СП.

Согласованно		

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

						1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.СП					
Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата	Состав проектной документации			Стадия	Лист	Листов
Разработал		Иващенко			04.25				П	1	1
Проверил		Транковский			04.25				 ООО «Красноярскстрой электропроект»		
Н. контр.		Богачев			04.25						
ГИП		Лазарев			04.25						

Подтверждение соответствия разработанной проектной документации требованиям действующих технических регламентов, стандартов, сводов правил, исходным данным

Проектная документация разработана в соответствии с заданием на проектирование, документами об использовании земельного участка для строительства, техническими регламентами, в том числе устанавливающими требования по обеспечению безопасной эксплуатации зданий, строений, сооружений и безопасного использования прилегающих к ним территорий, и с соблюдением технических условий.

Главный инженер проекта



Лазарев Г.С.

Согласованно										
Взам. инв. №										
Подпись и дата										
Инв. № подл.										

1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разработал	Иващенко				04.25
Проверил	Транковский				04.25
Н. контр.	Богачев				04.25
ГИП	Лазарев				04.25

	Стадия	Лист	Листов
	П	1	30
	ООО «Красноярскстрой электропроект»		

Содержание

Введение	7
1. Основные определения.....	7
2. Характеристика объекта.....	9
3. Анализ проектных решений по заземляющему устройству	13
4. Воздействие тока КЗ промышленной частоты на контрольный кабель.....	19
5. Импульсные помехи при коммутации силового оборудования и КЗ.....	21
6. Молниезащита и импульсные помехи при ударах молнии	22
7. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона.....	24
8. Магнитные поля промышленной частоты.....	24
9. Импульсные магнитные поля при разрядах молнии	25
10. Анализ решений по организации бесперебойного питания.....	26
11. Заключение	27

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №				
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Лист
						2

1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ

Список исполнителей

- 1. Кузьмин Р.С. - к.т.н., ведущий специалист.
- 2. Иващенко Д.В. – инженер.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ

режиме работы источника, преобразователя электрической энергии или системы электроснабжения.

Разряд статического электричества - импульсный перенос электро-статического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами при непосредственном контакте или при сближении их на некоторое, достаточно маленькое расстояние.

Синфазная (симметричная) помеха - напряжение между любыми двумя проводниками из заданной группы активных проводников.

Устойчивость к электромагнитной помехе, помехоустойчивость - способность технических средств сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него регламентированных стандартами электромагнитных помех.

Уровень устойчивости к электромагнитной помехе, уровень помехоустойчивости (допустимый уровень) - максимальный уровень электромагнитной помехи конкретного вида, воздействующей на определенное техническое средство (устройство), при котором техническое средство сохраняет заданное качество функционирования.

Экран - устройство, используемое для уменьшения электромагнитного поля, проникающего в защищаемую область.

Электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС ТС) - способность технических средств (устройств) функционировать с заданным качеством в определенной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам и недопустимых электромагнитных воздействий на биологические объекты.

Электромагнитная обстановка - совокупность электромагнитных явлений и (или) процессов в данной области пространства и (или) данной проводящей среде в заданных частотном и временном диапазонах.

Электромагнитная помеха - электромагнитное явление, процесс, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования технических средств (устройств).

Электромагнитное воздействие - электромагнитное явление или процесс, которые влияют или могут повлиять на технические средства (устройства) и биологические объекты.

Электромагнитное излучение от источника помехи - явление, процесс, при котором электромагнитная энергия излучается источником помехи в пространство в виде электромагнитного поля.

Энергообъект - совокупность электроустановок, зданий и сооружений, функционально связанных друг с другом и территориально приближенных.

Эквивалентное удельное сопротивление грунта - значение удельного сопротивления однородного грунта, в котором заземлитель имеет то же сопротивление растеканию тока, что и в грунте многослойной структуры.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №							Лист 5
			1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ						
			Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	

2. Характеристика объекта

2.1 Особенности проекта

При реконструкции ПС Светлая выполняется замена трансформаторов Т-1 и Т-2 типа SFSZ-40000-230/38,5/11 на нетиповые трансформаторы SFSZ-100000-230/38,5/10,5 мощностью 100 МВА каждый производства Китай. Существующая подстанция подключена отпайкой от двухцепной ВЛ 220кВ Иркутская - Шелехово.

2.2 Краткая характеристика ПС 110 кВ Летняя

Реконструируемая ПС находится в Иркутской области в зоне обслуживания Южных электрических сетей ОАО "ИЭСК".

В соответствии с заданием на проектирование при реконструкции предусматривается:

- замена трансформаторов Т-1 и Т-2 220/35/10 кВ мощностью 40 МВА на трансформаторы 220/35/10 кВ мощностью по 100 МВА;
- замена оборудования КРУ-35 кВ;
- установка ДГР-10 кВ.

Реконструкция подстанции проводится в два этапа.

В первом пусковом комплексе проводятся работы, связанные с заменой трансформатора Т-1, во втором – связанные заменой трансформатора Т-2.

2.2.1 Размещение МП аппаратуры

Микропроцессорная аппаратура размещается в помещении релейных панелей, помещении связи и серверной здания ОПУ. ОПУ представляет собой блочно-модульное одноэтажное здание из стальных сэндвич-панелей здание с кабельным этажом. Модульное здание поставляется в комплексе заводом – изготовителем и устанавливаются на ростверк-фундамент. Размеры существующей ОПУ 13.36x13.36 м, высота в коньке от низа модуля составляет 3,36 м. В здании ОПУ будут размещены помещения панелей РЗА, связи, серверной, ЩПТ, ЩСН, АБ.

2.2.2 Размещение вторичных цепей

Прокладка кабелей вторичных цепей на ОРУ-220 кВ выполнены в наземных железобетонных лотках. Для прокладки взаиморезервируемых цепей предусмотрены разные кабельные трассы.

От клеммных шкафов до электроаппаратов цепи будут проходить в гофрированных трубах и металлических коробах.

На отдельных участках предполагается прокладка контрольных и силовых кабелей в одних и тех же каналах. При этом силовые кабели, кабели собственных нужд располагаются на

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Габариты существующей ОПУ 19,50х19,50 м, высота в коньке от низа модуля составляет 3,50 м.

В здании ОПУ будут размещены помещения панелей РЗА, связи, серверной, ЩПТ, ЩСН, АБ.

2.2.2 Размещение вторичных цепей

Прокладка кабелей вторичных цепей на ОРУ-220 кВ выполнены в наземных железобетонных лотках. Для прокладки взаиморезервируемых цепей предусмотрены разные кабельные трассы.

От клеммных шкафов до электроаппаратов цепи будут проходить в гофрированных трубах и металлических коробах.

На отдельных участках предполагается прокладка контрольных и силовых кабелей в одних и тех же каналах. При этом силовые кабели, кабели собственных нужд располагаются на

						1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата		6

расстоянии не менее 0,25 м – 1,2 м от контрольных кабелей.

Согласно проектным данным, планируется использование экранированных кабелей для контрольных цепей. При этом согласно проекту, предусматриваются следующие мероприятия:

- вторичные цепи, проходящие между ОПУ и клеммными шкафами, расположенными на ОРУ 220 кВ, и прокладываемые в пределах здания ОПУ, должны быть выполнены экранированным кабелем с обязательным заземлением экрана с обеих сторон.

Также, согласно проекту, для уменьшения индуцированных помех используется экранирование линий питания и связи.

2.2.3. Организация электроснабжения постоянным током

Электроснабжение постоянным током всех потребителей на территории ПС осуществляться от двух комплектов системы оперативного постоянного тока ЩПТ 160 220-П-38/3 УХЛ4 в составе аккумуляторных батарей, зарядно-выпрямительных устройств и шкафов ввода и распределения в здании ОПУ. Аккумуляторная батарея герметизированного исполнения, ёмкостью 400 Ахч; без долива воды, со сроком службы не менее 20 лет.

Система ОПТ обеспечивает питание в течение двух часов при полном обесточивании собственных нужд переменного тока подстанции:

- микропроцессорные терминалов релейной защиты и автоматики;
- сигнальных ламп;
- аппаратуры связи и АСУ ТП;
- цепей управления и АВР ЩСН-0,4 кВ;
- питание блоков управления выключателей ЗРУ-10 кВ.
- блоков аварийного освещения;
- цепей управления катушками ЭМО1 и ЭМО2.

Питание аккумуляторной батареи предусматривается от двух зарядных устройств. Зарядные устройства имеют функции контроля и управления. Щит постоянного тока имеет трехуровневую защиту и обеспечивает питание терминалов релейной защиты, противоаварийной автоматики и сигнализации в нормальных режимах. Защитные устройства всех уровней отвечают требованиям селективности, чувствительны к коротким замыканиям и резервируют защиты более низкого уровня защитами более высокого уровня.

СОПТ имеет систему контроля изоляции и поиска мест замыкания на землю, стационарной и переносной, в виде специализированного прибора для ручного поиска местоположения дефекта изоляции.

Также проектом предусмотрены следующие мероприятия:

- применение для системы ОПТ экранированных контрольных кабелей, а при

Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

трехуровневую защиту и обеспечивает питание терминалов релейной защиты, противоаварийной автоматики и сигнализации в нормальных режимах. Защитные устройства всех уровней отвечают требованиям селективности, чувствительны к коротким замыканиям и резервируют защиты более низкого уровня защитами более высокого уровня.

СОПТ имеет систему контроля изоляции и поиска мест замыкания на землю, стационарной и переносной, в виде специализированного прибора для ручного поиска местоположения дефекта изоляции.

Также проектом предусмотрены следующие мероприятия:

- применение для системы ОПТ экранированных контрольных кабелей, а при

						1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ	Лист
							7
Изм.	Кол.цз	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

необходимости - бронированных силовых кабелей;

2.2.4 Организация электроснабжения переменным током

Для обеспечения электроснабжения потребителей переменного тока $\sim 380/220$ В, относящихся к собственным нуждам подстанции, предусмотрена установка трансформаторов собственных нужд (ТСН) 10/0,4 кВ мощностью по 250 кВА каждый. Питание ТСН осуществляется от 1 и 2 секций шинных мостов трансформаторов 10 кВ.

Трансформаторы собственных нужд располагаются на ОРУ-220 кВ в 2,9—4.96 метрах от здания ЗРУ 10 кВ и 50- 60 м от здания ОПУ.

Щит собственных нужд, расположен в здании ОПУ и состоит из четырех панелей и двух секций, которые работают отдельно и оборудуются устройством АВР. Для защиты от импульсных токов молнии на каждой секции ЩСН предусмотрены УЗИП 1 класса. Для снижения нагрева кабелей при токах короткого замыкания, для потребителей ~220 В в составе ЩСН предусмотрена сборка ~220 В состоящая из одной панели с двумя секциями.

От щита собственных нужд осуществляется питание следующих основных потребителей собственных нужд подстанции:

- освещение территории ПС (наружное, охранное);
- освещение и силовые сети зданий ОПУ, ЗРУ-10 кВ;
- АСУ ТП;
- АИИС КУЭ;
- ИТСО;
- питание приводов выключателей и разъединителей 220 кВ;
- обогрев приводов выключателей и разъединителей 35 кВ;
- обогрев ливневых стоков зданий ОПУ и ЗРУ-10 кВ;
- питание РПН трансформатора;
- обдув трансформатора.

Сеть собственных нужд переменного тока принята TN-S, что удовлетворяет современным требованиям НТД (ГОСТ Р 50571-4-44-2011 (МЭК 60364-4-44:2007) и является оптимальным с точки зрения ЭМС. Данная схема позволяет избежать опасных выбросов напряжения в сети 0,4 кВ в результате замыканий в высоковольтных сетях.

Щит собственных нужд, расположен в здании ОПУ и состоит из двух секций, которые работают раздельно и оборудуются устройством АВР. Для защиты от импульсных токов молнии на каждой секции ЩСН предусмотрены УЗИП 1 класса.

На открытой территории ПС принимаются к прокладке кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена негорючего исполнения на напряжение до 10 кВ.

Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.						
современным требованиям ПТД (ГОСТ Р 50571-4-44-2011 (МЭК 60364-4-44:2007) и является оптимальным с точки зрения ЭМС. Данная схема позволяет избежать опасных выбросов напряжения в сети 0,4 кВ в результате замыканий в высоковольтных сетях. Щит собственных нужд, расположен в здании ОПУ и состоит из двух секций, которые работают отдельно и оборудуются устройством АВР. Для защиты от импульсных токов молнии на каждой секции ЩСН предусмотрены УЗИП 1 класса. На открытой территории ПС принимаются к прокладке кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена негорючего исполнения на напряжение до 10 кВ.								
Изм.	Кол. л.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ		
						Лист 8		

2.2.3 Принимаемые параметры токов КЗ

Максимальное значение тока трёхфазного КЗ на секциях шин 220 кВ равно 24344 А, максимальное значение тока трёхфазного КЗ на секциях шин 35 кВ- 10479.0 А, на шинах 10 кВ равно 16822.0 А.

Полное время протекания тока КЗ в сети 220 кВ составляет:

$t = (t_{рз} + t_{ов} + t_{уров} + T_a) = (0,5 + 0,055 + 0,2 + 0,009) = 0,764 \text{ с,}$

Полное время протекания тока КЗ в сети 35 кВ составляет 1,153 с.

Полное время протекания тока КЗ в сети 10 кВ составляет 1,36 с.

Таблица 1. Токи короткого замыкания

№ пп	Наименование ПС	U, кВ	2025		2026		2029	
			I(3), кА	I(1), кА	I(3), кА	I(1), кА	I(3), кА	I(1), кА
1	ПС 220 кВ Светлая	220 1СШ	23,807	21,751	23,772	21,718	24,344	21,615
		220 2СШ	23,646	21,492	23,612	21,46	24,176	21,361
		35 1СШ	10,479	-	10,462	-	10,449	-
		35 2СШ	10,474	-	10,456	-	10,444	-
		10 1СШ	16,82	-	16,791	-	16,753	-
		10 2СШ	16,817	-	16,788	-	16,749	-

Молниезащита объекта осуществляется четырьмя отдельно стоящими молниеотводами МС-1 и МС-2, молниеотводом на прожекторной мачте ПМС высотой 31,75 м. и двумя молниеотводами, установленными на приемных порталах 220 кВ высотой 30.5 м.

В качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии применяется сталь полосовая оцинкованная 40×5 мм. От металлоконструкций прожекторной мачты освещения ПМС-24 и молниеотводов выполнено растекание тока молнии в трех направлениях под углом 90° и более между соседними. На каждом направлении установлены вертикальный заземлитель длиной 5 м из угловой стали 50х50х5. Вертикальные заземлители установлены на расстоянии более 3-х метров от места присоединения горизонтального заземлителя ПС к металлоконструкциям молниеотводов. Расстояние от места присоединения горизонтального заземлителя ПС к металлоконструкциям молниеотводов до мест заземления трансформаторов и РУ по магистралям заземления превышает 15 м. Расстояние в земле между точкой заземления молниеотвода и точкой заземления нейтрали силовых трансформаторов 220/35/10 кВ превышает 3 м.

Защита оборудования РУ 220 кВ от волн грозовых перенапряжений, приходящих с линий и от опасных уровней коммутационных перенапряжений, предусматривается при помощи ограничителей перенапряжений, установленных в цепях трансформаторов.

Общая протяжённость горизонтальных заземлителей сечением 200 мм² составляет 2450 м на глубине 0.6 метров и 515 м на глубине 1 м. Количество вертикальных электродов длиной

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №							Лист
			1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ						9
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	

5 метров составляет 51 шт.

Фундаменты оборудования на подстанции заземлены, и выполняют роль вертикальных заземлителей.

Глубина заложения полос 0,6 м. Среднее расстояние между горизонтальными полосами составляет - 5 м.

Площадь ЗУ составляет 5964 м². Средняя температура наиболее холодной пятидневки в зимнее время с обеспеченностью 0,92 составляет минус 37⁰ С.

Уровень грозовой активности района, где расположена подстанция, не превышает 25.4 часов в год. Защита оборудования ОРУ 220 кВ от волн грозowych перенапряжений, приходящих с линий и от опасных уровней коммутационных перенапряжений, предусматривается при помощи ограничителей перенапряжений, установленных в цепях трансформаторов.

Принятая защита от грозowych и коммутационных перенапряжений позволяет использовать оборудование ОРУ 220 кВ с испытательными напряжениями, соответствующими уровню изоляции «а» по ГОСТ 1516.3-96 «Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции».

Для защиты оборудования 10 кВ предусматривается установка ограничителей перенапряжений в ячейках КРУ 10 кВ.

В проекте предусмотрено использовать контрольные кабели КВВГЭ-НГ-LS сечением 1.5 мм², 2.5 мм² и сечением 10 мм² и могут быть приняты терминалы микропроцессорного оборудования РЗА и ПА производителей «ЭКРА»: серии шкафов ШЭ 2607, НТЦ «Механотроника» серии БМРЗ, СЕПАМ, ЗАО «Радиус» серии шкафов СИРИУС, отвечающие 3 и 4 степени жёсткости испытаний на помехоустойчивость.

План заземляющего устройства подстанции приведен на чертеже 1-ЮЭС-2025/204-1-ЭМС лист 2.

3. Анализ проектных решений по заземляющему устройству

Проектные решения по заземляющему устройству (ЗУ) оценивалась по следующим критериям: удельное сопротивление грунта; величина сопротивления ЗУ, напряжение на ЗУ; термическая устойчивость в режиме КЗ и при прямом ударе молнии в молниеотвод; распределение потенциалов на ЗУ в режиме КЗ, сопротивления металлосвязи, напряжения прикосновения.

3.1 Определение эквивалентного удельного электрического сопротивления грунта

На территории подстанции преимущественно преобладает насыпные техногенные грунты ИГЭ 1, представленные гравийно-галечниковыми грунтами с песчаным заполнителем и суглинком тугопластичным с гравием и включениями строительных отходов и супесью с до

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №							1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ		Лист
											10
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата			

глубины 9.1м.

Удельное электрическое сопротивление насыпного грунта 120 Ом*м.

С целью учета промерзания грунта в зимний период для данного типа грунта и географического района расположения объекта сезонный коэффициент удельного сопротивления грунта принимаем равным 5.

Глубина промерзания грунта – 1.56 м. Таким образом, для зимнего периода принимаем модель грунта с удельным сопротивлением на глубине до 1.56 м – 5*120=600 Ом*м, глубже ниже промерзания грунта 1,56 м – 120 Ом*м.

В случае установки заземляющего устройства в неоднородный грунт (двухслойный), эквивалентное удельное сопротивление грунта находится по формуле [4]:

$$p_{\text{ЭКВ}} = p_2 * \left(p_1 / p_2 \right)^k, (3.1.1)$$

где: p_1 - удельное сопротивление верхнего слоя грунта, до 1.56 м;
 p_2 - удельное сопротивление нижнего слоя грунта, свыше 1.56 м;
 k –показатель степени;
при $1 \leq p_1 / p_2 \leq 10$

$$k = 0.43 * \left(l_{\text{ОТН}} + 0.272 * \ln \frac{a * \sqrt{2}}{l_{\text{В}}} \right), (3.1.3)$$

$$k = 0.43 * \left(0.192 + 0.272 * \ln \frac{11 * \sqrt{2}}{5} \right) = 0.487$$

где: h_1 - толщина верхнего слоя земли, 1.56 м;
 $l_{\text{В}}$ - длина вертикального заземлителя (5 м);
 a – расстояние между вертикальными электродами (в среднем 11 м, при расположении по контуру);
 $l_{\text{ОТН}}$ - относительная длина верхней части вертикального электрода;

$$l_{\text{ОТН}} = (h_1 - t_{\text{В}}) / l_{\text{В}} = (1,56 - 0,6) / 5 = 0,192$$

где: $t_{\text{В}}$ - глубина погружения в землю верхнего конца вертикального электрода, (0,6 м);
Место для формулы.

$$p_{\text{ЭКВ}} = 120 * \left(600 / 120 \right)^{0,487} = 120 * 2,15 = 258 \text{ Ом} * \text{м}$$

3.2 Оценка сопротивления заземляющего устройства подстанции

Оценка сопротивления ЗУ проектируемой подстанции была выполнена с использованием расчетного метода, с учётом проведения мероприятий по снижению удельного сопротивления грунта.

Опыт эксплуатации подстанций кВ показывает, что негативное влияние импульсных помех при возникновении КЗ или ударах молний и импульсные помехи магнитных полей

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	где: $t_{\text{в}}$ - глубина погружения в землю верхнего конца вертикального электрода, (0,6 м); Место для формулы. $p_{\text{экв}} = 120 * \left(\frac{600}{120} \right)^{0,487} = 120 * 2,15 = 258 \text{ Ом} * \text{м}$																	
			3.2 Оценка сопротивления заземляющего устройства подстанции																	
			Оценка сопротивления ЗУ проектируемой подстанции была выполнена с использованием расчетного метода, с учётом проведения мероприятий по снижению удельного сопротивления грунта. Опыт эксплуатации подстанций кВ показывает, что негативное влияние импульсных помех при возникновении КЗ или ударах молний и импульсные помехи магнитных полей																	
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Кол.уч.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подпись</td><td>Дата</td></tr></table>												Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ		Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата															
								11												

сводится к минимуму и практически не влияет на работоспособность оборудования подстанции, если сопротивление заземляющего устройства подстанции будет не более 0,5 Ом.

Сопротивление одного вертикального заземлителя из угловой стали определяется по формуле:

$$R_B = \frac{0.366 p_{\text{ЭКВ}}}{L} \times \left(\log \frac{2L}{0.95B} + \frac{1}{2} \log \frac{4T + L}{4T - L} \right), (3.1.10)$$

где: $p_{\text{ЭКВ}}$ - удельное сопротивление неоднородного грунта (258 Ом*м);
 L – длина вертикального заземлителя (5 м);
 T - глубина заложения середины вертикального заземлителя (3.2 м);
 B – ширина полки уголка (0.05 м);
 $R_B = 47.20$ Ом

Суммарное сопротивление вертикальных заземлителей из угловой стали определяется по формуле:

$$R_{\Sigma B} = \frac{R_B}{N \times n_B}, (3.1.11)$$

где: R_B - сопротивление одного вертикального заземлителя из угловой стали;
 N – число вертикальных электродов (51 шт);
 n_B - коэффициент использования вертикальных заземлителей (0,69);
 $R_{\Sigma B} = 1.34$ Ом

Сопротивление горизонтального заземлителя из стальной полосы определяется по формуле:

$$R_{\Gamma} = \frac{0.366 p_{\text{ЭКВ}}}{l} \times \log \frac{2l^2}{bt}, (3.1.12)$$

где: $p_{\text{ЭКВ}}$ - удельное сопротивление неоднородного грунта (516 Ом*м);
 l – длина горизонтального заземлителя (2965 м);
 b - ширина горизонтального заземлителя (0.04 м);
 t – глубина заложения горизонтального заземлителя (0.6 м);
 $R_{\Gamma} = 0.28$ Ом

Сопротивление горизонтального заземлителя из стальной полосы с учетом экранирования определяется по формуле:

$$R_{\Sigma \Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{n_{\Gamma}}, (3.1.13)$$

где: R_{Γ} - сопротивление горизонтального заземлителя из стальной полосы;
 n_{Γ} - коэффициент использования горизонтальных заземлителей (0,41);
 $R_{\Sigma \Gamma} = 0.68$ Ом

Итого, сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле:

$$R = \frac{R_{\Sigma B} \times R_{\Sigma \Gamma}}{R_{\Sigma B} + R_{\Sigma \Gamma}} = 0.45 \text{ Ом}, (3.1.14)$$

3.3 Напряжение на заземляющем устройстве

Максимальное значение напряжения на ЗУ в установившемся режиме КЗ определяется

Взам. инв. №		$R_{\Sigma \Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{n_{\Gamma}}, (3.1.13)$ где: R_{Γ}- сопротивление горизонтального заземлителя из стальной полосы; n_{Γ}- коэффициент использования горизонтальных заземлителей (0,41); $R_{\Sigma \Gamma} = 0.68 \text{ Ом}$ Итого, сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле: $R = \frac{R_{\Sigma \text{в}} \times R_{\Sigma \Gamma}}{R_{\Sigma \text{в}} + R_{\Sigma \Gamma}} = 0.45 \text{ Ом}, (3.1.14)$ 3.3 Напряжение на заземляющем устройстве Максимальное значение напряжения на ЗУ в установившемся режиме КЗ определяется						
		Подпись и дата				1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ	Лист	
				12				
Инв. № подл.		Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	

по формуле:

$$U_{3У220} = R_{3У} \cdot I^{(1)}_{КЗ}, (3.3.1)$$

где $R_{3У}$ - сопротивление 3У, (0.45 Ом);

$I^{(1)}_{КЗ}$ - ток однофазного КЗ через землю (принят 21751 А) и тогда напряжение составляет:

$$U_{3У220} = 0,45 \cdot 21751 = 9788.0 \text{ В.}$$

Таким образом, напряжение на 3У в режиме КЗ на ОРУ 220 кВ не превышает допустимое значение равное 10 кВ [5].

Максимальная разность потенциалов на 3У при возникновении однофазного КЗ, в установившемся режиме на ПС составляет 206,4 В, что не превышает допустимого значения равного 2 кВ [23, 24]. Данная величина получена исходя из нижеследующего.

В проекте 3У количество наиболее протяжённых параллельных горизонтальных заземлителей составляет 6 шт. средней длиной по 84 м каждый сечением 200 мм².

Следовательно в режиме двойного КЗ через землю для сети с эффективно-заземленной нейтралью по одному горизонтальному заземлителю будет протекать ток равный

$$I_{ГП} = 0,1667 \cdot I^{(1)}_{КЗ} = 0,1667 \cdot 21751 = 3625,892 \text{ А}$$

Следовательно в режиме двухфазного КЗ через землю для сети с изолированной нейтралью по одному горизонтальному заземлителю будет протекать ток равный

$$I_{ГП} = 0,1667 \cdot I^{(2)}_{КЗ} = 0,1667 \cdot 21058 = 3510,29 \text{ А}$$

$$I^{(2)}_{КЗ} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I^{(3)}_{КЗ} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 24344 = 21058 \text{ (А)}$$

Максимальная разность потенциалов будет равна:

$$\Delta U = R_{ГЗ} \cdot I_{ГП} = 0,0588 \cdot 3510,29 = 206,4 \text{ В} \quad (3.3.3)$$

где, $R_{ГЗ}$ – продольное сопротивление одного стального горизонтального заземлителя.

Продольное сопротивление горизонтального заземлителя из стальной полосы определяется по формуле:

$$R_{ГЗ} = p_{эс} \cdot \frac{l}{s} = 0,14 \cdot \frac{84}{200} = 0,0588 \text{ Ом}$$

где:

$p_{эс}$ - удельное сопротивление стали ($0,14 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$);

l – длина горизонтального заземлителя (84 м);

s - сечение горизонтального заземлителя (200 мм²);

3.4 Оценка термической устойчивости 3У в режиме КЗ

В соответствии с СТО 56947007- 29.130.15.114-2012 п.15.2.6

Допустимое сечение заземляющего проводника по термической стойкости $S_{ТУ}$ для сети с эффективно-заземленной нейтралью определяют по формуле:

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №					1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ		Лист
									13
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	

$$S_{Ty} = I_{K3} S_{1KA} q$$

$S_{1\text{кА}}$ – допустимое сечение для тока в 1 кА продолжительностью воздействия 1 секунда - 16.5 мм²;

q – коэффициент, учитывающий продолжительность воздействия тока;

I_{K3} – ток однофазного КЗ.- 21.751 кА.

$$S_{TY} = I_{K3} S_{1KA} q$$

$$q = \sqrt{t + 0,09};$$

$$t - \text{время протекания тока к.з. } (t = (t_{pz} + t_{ov} + t_{уров} + T_a) = (0,01 + 0,055 + 0,2 + 0,009) = 0,274 \text{ с}),$$

$$q = \sqrt{0,274 + 0,09} = 0,603$$

$$S_{TV} = 21.751 \times 16,5 \times 0,603 = 216,4 \text{ mm}^2$$

Вывод: при протекании тока однофазного к.з. 21.751 кА в течение 0,274 с необходимо применить заземляющий проводник из стали, подсоединенный к аппарату не менее 216,4 мм² суммарной площади.

Допустимое сечение заземляющего проводника по термической стойкости $S_{\text{тy}}$ для сети с изолированной нейтралью определяют по формуле:

$$S_{TV} = I_{K3} S_{1KA} q$$

$S_{1\text{кА}}$ – допустимое сечение для тока в 1 кА продолжительностью воздействия 1 секунда;

q – коэффициент, учитывающий продолжительность воздействия тока.

$I_{кз}$ – ток двойного замыкания в сети 10 кВ

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 16.82 = 14,55 \text{ (кА)}$$

$$S_{TV} = I_{K3} S_{1KA} q$$

$$q = 0,8\sqrt{t};$$

$$t - \text{время протекания тока к.з. } (t_{\text{пз}} + t_{\text{об}} + T_a) = 1,8 + 0,037 + 0,099 = 1,936 \text{ с}$$

$$q = 0,8\sqrt{1,936}=1,11$$

$$S_{TV} = 14,55 \times 16,5 \times 1,1 = 266.48 \text{ mm}^2$$

Вывод: при протекании тока двухфазного КЗ 14,55 кА в течении 1,936 с необходимо применить заземляющий проводник из стали, подсоединенный к аппарату не менее 266,48 мм² суммарной площади.

Таким образом, полная суммарная площадь сечения заземляющего проводника и заземлителя должна быть равна:

Для оборудования 220 кВ:

$$S_{\text{полн}} = 216,4 \text{ мм}^2$$

Для оборудования 10 кВ:

Взам. инв. №	$S_{\text{тy}} = 14,55 \times 16,5 \times 1,11 = 266.48 \text{ мм}^2$						
	Вывод: при протекании тока двухфазного КЗ 14,55 кА в течении 1,936 с необходимо применить заземляющий проводник из стали, подсоединенный к аппарату не менее 266,48 мм² суммарной площади. Таким образом, полная суммарная площадь сечения заземляющего проводника и заземлителя должна быть равна: Для оборудования 220 кВ: $S_{\text{полн}} = 216,4 \text{ мм}^2$ Для оборудования 10 кВ:						
Подпись и дата							
Инв. № подл.						1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ	Лист 14
	Изм.	Кол.ч	Лист	№ док.	Подпись		

$$S_{\text{полн}} = 266,48 \text{ мм}^2$$

В конструкции ЗУ подстанции горизонтальные заземлители и заземляющие проводники имеют сечение 200 мм², а вертикальные электроды - 480 мм². При присоединении оборудования 220 кВ заземляющий проводник должен иметь суммарное сечение не менее 216.4 мм², а к оборудованию 10 кВ - не менее 266.48 мм².

3.5 Оценка термической устойчивости ЗУ при прямых ударах молнии

Согласно рекомендации МЭК величины тока при прямых ударах молнии достигает 100 кА, а длительность импульса электрического разряда не превышает 300 мкс. Количество заземляющих проводников, с которыми связаны молниеотвод равно 3. С учетом заземления фундаментов опор и порталов, ток, протекающий по заземляющему проводнику не будет превышать 27,5 кА

Согласно выражению (3.11) сечение заземляющих проводников должно быть более:

$$S_{\text{пр}} \geq \frac{27500 * \sqrt{0,0003 + 0,1}}{60} = 145 \text{ мм}^2$$

Для связи молниеприемников с ЗУ на подстанции используются стальные проводники сечением 200 мм², что выше требуемого значения.

Следовательно, при прямых ударах молнии в молниеотводы ЗУ подстанции не будет подвержено термическому разрушению.

3.6 Сопротивление металlosвязи

Сопротивление металlosвязи считается удовлетворительным, если его величина не превышает допустимое значение, рассчитанное по формуле [24]:

$$R_{\text{доп}} = \frac{2000 \text{ кВ}}{I_{\text{кз}}^1}$$

где $I_{\text{кз}}^1$ - максимальное значение тока однофазного замыкания на землю или двухфазного КЗ.

Для проектируемой подстанции допустимое значение металlosвязи будет равно:

$$R_{\text{доп}} = 2000/21751 = 0,092 \text{ Ом}$$

Реальное значения сопротивления металlosвязи определить на основе инструментального измерения перед вводом в эксплуатацию подстанции.

3.7 Напряжение прикосновения

Время существования КЗ на ОРУ-220 кВ составляет 0,764 с. Согласно [24] для времени существования КЗ, равном 0,764 с, допустимое напряжение прикосновения на всей территории подстанции кроме рабочих мест не должно превышать 500 В.

Напряжение прикосновения на рабочих местах не должно превышать 65 В.

Согласно [4,24] напряжение прикосновения зависит от величины тока КЗ, переходное

Взам. инв. №								
Подпись и дата								
Инв. № подл.								
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ		Лист
								15

сопротивление в месте соединения заземляющего проводника с корпусом оборудования, от сопротивления заземляющего проводника при условии наличия металlosвязи и от сопротивления основания и определении на рабочих местах на основе инструментальных измерений перед вводом в эксплуатацию.

Для гарантированного обеспечения требуемого уровня напряжения прикосновению необходимо в разных местах (разъединители, выключатели) выполнить подсыпку из щебня толщиной не менее 250 мм.

4. Воздействие тока КЗ промышленной частоты на контрольный кабель

В проекте в качестве контрольных кабелей используется экранированный контрольный кабель типа КВВГнг-LS с медным экраном. Протяжённость контрольного кабеля между ЗРУ 10 кВ, ЗРУ-35 кВ и трансформатором ТРДН 100000/220/35/10 УХЛ1 составляет 11.5 м., между ОПУ и трансформатором – 19.0 м.

Экраны контрольных кабелей заземлены с обеих сторон, поэтому при возникновении двухфазного КЗ на ПС по экранам контрольных кабелей будут протекать токи.

Величину напряжения в экранах контрольных кабелей можно определить на основе имитации КЗ сети с использованием специализированной компьютерной программы, например «KWIKGRID», а токи в экранах контрольных кабелей можно рассчитать с использованием инженерных методов.

По величине тока в экранах контрольных кабелей в зависимости от времени существования КЗ можно оценить термическое воздействие тока КЗ на экраны (броню) контрольных кабелей и спрогнозировать вероятность термического разрушения контрольных кабелей.

4.1 Определение напряжения токов в экранах контрольных кабелей и оценка термической устойчивости кабеля

Значения напряжения, приложенного к экрану контрольного кабеля, определялось с помощью специализированной программы «KWIKGRID».

Результаты моделирования показали, что напряжение, приложенное к экранам контрольных кабелей, зависит от сопротивления металlosвязи, образующее параллельное соединение с экраном контрольного кабеля, от места возникновения КЗ, от сечения контрольного кабеля.

Расчеты выполнить из условий, что максимальные разности потенциалов на ЗУ не превышает 206.4 В.

В качестве контрольного кабеля используются следующие виды кабелей:

КВВГнг-LS 5x1,5 с удельным сопротивлением экрана 0,048 Ом/м и протяженностью 30 м. В этом случае ток через экран контрольного кабеля не превысит 52 А;

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Результаты моделирования показали, что напряжение, приложенное к экранам контрольных кабелей, зависит от сопротивления металlosвязи, образующее параллельное соединение с экраном контрольного кабеля, от места возникновения КЗ, от сечения контрольного кабеля.						
			Расчеты выполнить из условий, что максимальные разности потенциалов на ЗУ не превышает 206.4 В.						
			В качестве контрольного кабеля используются следующие виды кабелей: КВВГнг-LS 5х1,5 с удельным сопротивлением экрана 0,048 Ом/м и протяженностью 30 м. В этом случае ток через экран контрольного кабеля не превысит 52 А;						
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ			Лист
									16

						1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		17

контрольного кабеля не вызовет термического разрушения контрольного кабеля.

5. Импульсные помехи при коммутации силового оборудования и КЗ

При КЗ и коммутации высоковольтного оборудования и ЛЭП через емкость оборудования по отношению к земле в ЗУ проходит импульсный ток высокой частоты. На оборудовании возникает скачок потенциала. Возросший потенциал с определенным коэффициентом ослабления передается по кабелям на вход микропроцессорных устройств.

С увеличением протяженности контрольных кабелей происходит более сильное затухание импульсных помех (коммутационный импульс, высокочастотный импульс при возникновении КЗ) во вторичных цепях коммутации. Наибольшую опасность представляют импульсные помехи возникающие при коммутации линии 220 кВ как в нормальном режиме, так и в режиме КЗ, а так же силовых трансформаторов, попадающие на вход МП устройств через измерительные трансформаторы напряжения.

5.1 Импульсные помехи во вторичных измерительных цепях напряжения

Для определения величины импульсных помех в виде перенапряжений использовалась методика, изложенная в [2].

Величина перенапряжений, возникающих во вторичных измерительных цепях на входе устройств РЗА, АСУ ТП и т.д. определялась по следующему алгоритму:

- величина перенапряжений на вторичной обмотке измерительного трансформатора напряжения:

U_{п.2} = \frac{U_{п.1}}{K_{тр}}; (5.1)

где:

U_{п.1} = K_{п1} - U_N величина перенапряжения на вводе первичной обмотки измерительного трансформатора напряжения;

K_{п1} - кратность перенапряжений;

U_N - номинальное напряжение сети;

K_{тр} - коэффициент трансформации.

Величина перенапряжения на входе РЗА, АСУ ТП и т.д.

U_{РЗА} = \frac{U_{п.2}}{K_{зат}}, (5.2)

где: K_{зат} - коэффициент затухания или понижающий коэффициент [2].

Для анализа величины импульсного напряжения (U_{РЗА}) были выполнены расчеты для измерительного трансформатора напряжения ТН-220 кВ наиболее близко расположенного к

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

зданию ОПУ .

При коммутации трансформаторов мощностью 100000 кВА в режиме холостого хода элегазовых и вакуумных выключателями кратность $K_{п1} = 2,8$ [2].

В таблице 5.1 приведены результаты расчетов перенапряжений на входе РЗА, АСУТП и т.д.

Таблица 5.1 - Перенапряжения во вторичных цепях измерительных трансформаторов напряжения, подключенных к РЗА, АСУ ТП и т.д., при возникновении КЗ или коммутации силовых трансформаторов, ЛЭП выключателями в сетях 220 кВ.

п/п	Тип измерительного трансформатора напряжения	Длина контрольного кабеля	Коэф. затухания	Номинальное напряжение	Коэф. перенапряжения	Коэф. трансформации	$U_{РЗА}, В$
Коммутация силовых автотрансформаторов или ЛЭП							
1	ТРДН 100000/220	19.0	1,03	220000	2,8	1100	271

Анализ данных таблицы 5.1 показывает, что при коммутации трансформаторов в режиме холостого хода. В момент отключения трансформатора величина перенапряжений на вводах МП устройств может достигать 271 В, что ниже допустимого значения: на частотах менее 100 кГц синфазное (провод-провод) и противофазное (провод-земля) напряжения не должны соответственно превышать 1 кВ и 2,5 кВ.

Следовательно, средства защиты МП устройств от импульсных помех в виде коммутационных перенапряжений предусматривать не требуется.

5.2 Импульсные помехи при протекании высокочастотной составляющей тока КЗ

Оценку величин синфазных и противофазных помех выяснить на основе имитации высокочастотной составляющей тока КЗ перед вводом в эксплуатацию.

6. Молниезащита и импульсные помехи при ударах молнии

6.1 Система молниезащиты

Расчеты зон молниезащиты выполнены по нормативным документам РД 153-34.3-35.125-99 «Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений» и СО-153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций».

Классификация объекта определяется по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения:

Взам. инв. №							Лист	
Подпись и дата							1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ	19
Инв. № подл.	Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Объект: специальный с ограниченной опасностью.

Тип объекта: электрическая подстанция.

Последствия удара молнии: недопустимое нарушение коммунального обслуживания (телекоммуникаций), косвенная опасность пожара для соседних объектов.

Для данного объекта минимально допустимый уровень надежности защиты от прямых ударов молний (ПУМ) устанавливается в пределах 0,95-0,995 в зависимости от степени его общественной значимости и тяжести ожидаемых последствий от ПУМ, принято значение надежности защиты 0,995.

За основу расчетов взята молниезащита проекта.

6.2 Организация системы молниезащиты

Молниезащита объекта осуществляется четырьмя отдельно стоящими молниеотводами МС-1 и МС-2, молниеотводом на прожекторной мачте ПМС высотой 31,75 м. и двумя молниеотводами, установленными на приемных порталах 220 кВ высотой 30.5 м.

План молниезащиты приведен на чертеже 1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС л.1.

Из данного чертежа видно, что система молниезащиты обеспечивает требуемый уровень молниезащиты, всё оборудование ПС 220 кВ Светлая находится в зоне действия молниезащиты, что обеспечит требуемый уровень надёжности молниезащиты.

6.3 Повышение потенциала ЗУ при ударах молнии и наведенных напряжениях

При прямом ударе молнии в молниеотвод или молниеприемник в результате воздействия электромагнитного поля в контрольных кабелях наводятся импульсные помехи. Ток молнии, протекающий по ЗУ, создает высокий потенциал и может вызвать обратное перекрытие изоляции контрольных кабелей.

С помощью программы «Электробезопасность», с учетом существующей конструкции ЗУ, удельного сопротивления грунта и системы грозозащиты были выполнены расчеты, связанные с увеличением потенциала заземлителя и напряжений, возникающих в экранах контрольных кабелей при ударах молнии в молниеотвод.

Параметры тока молнии для расчета выбирают в соответствии с рекомендациями МЭК 61312-1. При расчетах распределения потенциала ЗУ принимают максимальное значение импульса тока $I_T=100$ кА, длительность фронта импульса $t_{фр}=10$ мкс, длительность импульса $t_H=300$ мкс. При расчетах наведенных напряжений в кабелях принимают $I_T=25$ кА, $t_{фр}=0,25$ мкс, $1_H=100$ мкс.

Расчеты производились для случая, когда удар молнии приходится на молниеотвод, расположенный на территории ПС 220 кВ Светлая.

Расчеты показывают, что при ударах молнии в молниеотвод, заземленный тремя

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №							Лист 20
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ			

проводниками, максимальная разность потенциалов на поверхности ЗУ составляет 519 В. В этом случае напряжение на экране наиболее протяженного контрольного кабеля не будет превышать 189 В.

При этом величина тока в экране наиболее протяженного контрольного кабеля (длиной 1=30 м), заземленного с обоих концов, может достигать 306 А. Ток подобной величины будет протекать не более 300 мкс. Допустимое значение тока, составит 330 А.

Следовательно, прямой удар молнии не способен привести к термическому разрушению экрана контрольного кабеля типа КВВГнг-LS, при условии его заземления с обоих концов.

Отметим, что в случае удара молнии в ближайшем молниеприемник (ПМС) от здания ОПУ расположены на расстоянии 30 м, разность потенциалов, приложенная к входам ПМС устройств, расположенных в ОПУ может достигать 3,33 кВ, что не превышает допустимого значения равного 4 кВ (ГОСТ 51317.4.5 и ГОСТ 50521.192000).

Следовательно, для защиты МП устройств от импульсных перенапряжений, связанных с прямым ударом молнии, дополнительных мероприятий не требуется.

7. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона

В помещении ОПУ и в проектной ЗРУ 10 кВ, 35 кВ на территории подстанции, где установлена или может быть установлена аппаратура РЗА, АСУ ТП эксплуатационным персоналом используется сотовая связь.

Поэтому перед вводом в эксплуатацию подстанции определить напряженность электромагнитных полей инструментальным методом. Зафиксированные три точки нагруженности электрических и магнитных полей не должны соответственно превышать допустимых значений равных 10 В/м и 10 А/м для МПУ с 3 степени жесткости испытания на помехоустойчивость.

8. Магнитные поля промышленной частоты

Диагностика магнитных полей промышленной частоты в нормальном режиме и режиме КЗ оценивалась по формуле:

$$H = \frac{I_k}{2 * \pi * r * k_{\text{экр}}}$$

(8.1)

где:

I_k - максимальный ток КЗ, А (24344 А);

r - расстояние от кабельного лотка до секции шин ОРУ 220 кВ, (7 метров);

$k_{\text{экр}} = 1$ ПС 220 кВ;

$k_{\text{экр}} = 80$ для зданий из металлического сайдинга;

Взам. инв. №								
Подпись и дата								
Инв. № подл.								
							1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ	
		Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Лист
								21

$k_{\text{экр}} = 20$ для кабельных каналов из железобетонных лотков;
 $r_{\text{опу}}$ - расстояние до ОПУ (21 м).

В таблице 8.1 приведены расчеты напряженности магнитных полей с частотой 50 Гц в нормальном режиме и режиме КЗ.

Таблица 8.1 – Результаты расчетов напряженности магнитных полей

№ п/п	Наименование объекта	Максимальный ток, А	Напряженность магнитного поля, А/м	
			Расчетное значение	Допустимое значение
1	ПС 220/35/10 кВ	Ток нагрузки 524 А	0,695/0,05*	10 /10 (третья степень жесткости) 30 /30 (четвертая степень жесткости)
2	ПС 220/35/10 кВ	Ток трехфазного КЗ 23807 А	27.68/2,257*	10 /10 (третья степень жесткости) 30 /30 (четвёртая степень жесткости)

*Кабельный лоток/ОПУ

9. Импульсные магнитные поля при разрядах молнии

Для оценки напряженности магнитного поля, возникающего при ударе молнии в молниеотвод, воспользуемся расчетным методом.

Оценить напряженность магнитного поля при ударе молнии в молниеотвод можно по формуле:

$$H = \frac{I_m}{2 * \pi * r * k_{\text{экр}}}$$

где:

$I_m = 100$ кА - ток молнии, протекающий по молниеотводу;

r - расстояние от молниеотвода до помещения ОПУ (30м);

$k_{\text{экр}} = 80$ коэффициент экранирования зданий.

Молниеприемник располагается на расстоянии не менее 30.0 м от здания ОПУ.

$$H = \frac{100000}{2*3.14*30.0*80} = 6.63 \text{ А/м}$$

Допустимое значение напряженности импульсного магнитного поля в здании для оборудования выдерживающее испытание на помехоустойчивость соответствует третьей степени жесткости и составляет 100 А/м.

Минимальное расстояние от здания ОПУ до ближайшего молниеприемника, при котором будет соблюдаться допустимое значение напряженности импульсного магнитного поля, должна быть не менее 2 м,

$$\text{т.к. } r \geq I_m / H_{\text{доп}} 2\pi k_{\text{экр}} \geq 100 \cdot 10^3 / 100 \cdot 2\pi \cdot 80 \geq 2 \text{ м}$$

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Таким образом, при попадании молнии в ближайший молниеприемник, величина импульсного магнитного поля составит 6,63 А/м. Полученная величина не превышает допустимое значение равное 100 А/м, следовательно дополнительных мероприятий по защите МПУ от воздействия магнитного поля молнии предусматривать нет необходимости

10. Анализ решений по организации бесперебойного питания

10.1 Организация питания переменным током

Для обеспечения электроснабжения потребителей переменного тока ~380/220 В, относящихся к собственным нуждам подстанции, предусмотрена установка двух трансформаторов собственных нужд (ТСН) 10/0,4 кВ мощностью 250 кВА каждый. Питание ТСН осуществляется от 1 и 2 секций шинных мостов трансформаторов.

Трансформаторы собственных нужд предусматриваются масляными наружной установки, располагаются на открытой части подстанции.

Работа трансформаторов осуществляется по схеме не явного резервирования.

Щит собственных нужд, расположен в здании ОПУ и состоит из двух секций, которые работают отдельно и оборудуются устройством АВР. Для защиты от импульсных токов молнии на каждой секции ЩСН предусмотрены УЗИП 1 класса.

Сеть собственных нужд переменного тока принята с заземленной нейтралью TN-S.

Система питания собственных нужд здания выполнена по схеме TN-S, что является удовлетворительным с точки зрения обеспечения ЭМС МП аппаратуры. Заземление PEN - проводника осуществляется непосредственно во вводном щите ЩСН, в дальнейшем роль PE - проводника играет система заземления ОПУ и ПС 220 кВ.

Питание собственных нужд осуществляется от ТСН. Расстояние от ТСН до центра ОПУ составляет 53.0м. При таком расположении ТСН и ЩСН исключается появление опасного для МП аппаратуры выброса напряжения в сети 0,4 кВ при КЗ в высоковольтных сетях.

10.2 Организация питания постоянным током

Электроснабжение постоянным током всех потребителей на территории реконструируемой подстанции осуществляется от двух комплектов системы оперативного постоянного тока ЩПТ 160.220-П-38/3-УХЛ4, расположенных в помещении ОПУ в составе:

- Аккумуляторная батарея емкостью 400 А*ч, 104 двухвольтовых блока элемента-1 шт;
- Шкаф зарядно-выпрямительных устройств - 2 шт;
- Шкаф ввода и распределения - 2 шт.

Система ОПТ обеспечивает питание терминалов релейной щиты, АСУТП и цепей управления коммутационными аппаратами, автоматики и сигнализации в нормальных режимах и в течение двух часов при полном обесточивании собственных переменного тока подстанции.

В СОПТ цепи питания микропроцессорных терминалов, цепи питания управления

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

выключателей, разъединителей.

Расположение ЩПТ, в максимальной близости от АБ является удовлетворительным с точки зрения обеспечения ЭМС МП аппаратуры, так как АБ обладает высокой емкостью и обеспечивает снижение амплитуды ВЧ - помех «провод - провод» и «провод - земля» в цепях постоянного тока. Совместно с цепями оперативного тока (приходящими к аккумуляторной батарее и обладающими активным и индуктивным сопротивлением), АБ образует эффективный R-L-C фильтр ВЧ - помех.

10.3 Компоновка кабельных коммуникаций

В проекте контрольные и силовые кабели проложены в разных кабельных лотках из железобетона.

Кабельные лотки расположены на расстоянии более 7 м от молниеприемника и ОПН-ов, что обеспечивает надёжную помехоустойчивость для контрольных кабелей во время грозы.

В одном контрольном кабеле отсутствует использование сигналов постоянного и переменного токов. Силовые и контрольные кабели разделены. Экраны контрольных кабелей заземлены с двух сторон.

Подобная компоновка прокладки контрольных и силовых кабелей соответствует требованиям электромагнитной совместимости.

11. Заключение

В таблице 11.1 приведены обобщённые значения зафиксированных и расчетных параметров электромагнитных воздействий, а так же степени жесткости испытаний МП устройств (допустимые уровни электромагнитных взаимодействий) с учетом параметров ЗУ расположения прокладки контрольных кабелей и компоновки молниезащиты для проектируемой подстанции.

Таблица 11.1 - Обобщенные значения зафиксированных и расчетных параметров

№ п.п	Параметры ЗУ и электро-магнитное воздействие	Расчетное или зафиксированное значение величины	Допустимые значения величины/степень жесткости испытаний	Условия ЭМС
ПС 220/35/10 кВ				
1	Эквивалентное удельное электрическое сопротивление грунта	258 Ом*м	Не нормируется	-
2	Сопротивление ЗУ	0,45 Ом	0,5 Ом	Выполнено

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

3	Напряжение на ЗУ в режиме КЗ	9,788 кВ	10 кВ	Выполнено
4	Сечение горизонтального заземлителя для обеспечения термической устойчивости ЗУ в режиме КЗ	200 мм ²	216.4мм ² для присоединена к оборудованию	Выполнено
5	Сечение горизонтального заземлителя для обеспечения термической устойчивости ЗУ в режиме КЗ при прямом ударе молнии	200 мм ²	145 мм ²	Выполнено
6	Максимальное значение разности потенциалов на ЗУ	34,66 В	2000 В	Выполнено
7	Максимальное значение напряжения прикосновения	Определить инструментально перед вводом в эксплуатацию	500 В	-
8	Напряжение промышленной частоты на контрольном кабеле при КЗ на землю на ПС	206.4 В	2000 В	Выполнено
9	Максимальное значение тока в экране контрольного кабеля в режиме КЗ на ПС	165А	250 А	Выполнено
10	Импульсные помехи, возникающие при коммутации силового оборудования (противофазная помеха)	271 В	2500 В	Выполнено
13	Максимальное значение противофазной помехи в режиме КЗ на ОРУ-220 КВ	Определить инструментально перед вводом в эксплуатацию	2500 В	-
14	Максимальное значение синфазной помехи в режиме КЗ на ПС	Определить инструментально перед вводом в эксплуатацию	1000 В	-
15	Максимальное значение разности потенциалов на ЗУ при прямом ударе молнии	519 В	10000 В	Выполнено
16	Максимальное значение напряжения на экране контрольного кабеля при прямом ударе молнии	189 В	2000 В	Выполнено

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ

17	Максимальное значение тока в экране контрольного кабеля при прямом ударе молнии	306 А	333 А	Выполнено
18	Максимальная разность потенциалов на входе МПУ при грозовых разрядах (импульсные помехи от токов молнии):	3,33 кВ	4 кВ	Выполнено
19	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона: Территория ПС	Определить инструментально перед вводом в эксплуатацию	10 В/м 10 В/м	-
20	Магнитные поля промышленной частоты: ОРУ/кабельный канал/ ОПУ	0,49 А/м 0,123 А/м	10 А/м 10 А/м	Выполнено Выполнено
21	Кратковременные магнитные поля в режиме КЗ: ОРУ/кабельный канал/ ОПУ	27,68 А/м 2,257 А/м	300 А/м 100 А/м	Выполнено
22	Импульсные магнитные поля в ОПУ при грозовых разрядах	6,63 А/м	100 А/м	Выполнено
23	Разряды статического электричества	Определить инструментально перед вводом в эксплуатацию	6000 В	-
24	Организация питания переменного тока	Соответствует требованиям ЭМС		
25	Организация питания постоянного тока	Соответствует требованиям ЭМС		
26	Компоновка кабельных коммуникаций	Соответствует требованиям ЭМС		

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ

Лист

На основание вышеизложенного можно утверждать, что проектные электротехнические решения и выбранный тип РЗА на базе МПУ соответствует требованиям электромагнитной совместимости.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по определению обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях (СО 34.35.311- 2004).
2. Герасимов, А.И. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие / А.И. Герасимов, С.В. Кузьмин / ГОУ ВПО «Гос. ун-т цвет. металлов и золота». - 3-е изд., перераб. и доп. - Красноярск. - 2006. - 264с.
3. Гиндуллин, Ф.А. Перенапряжения в четьях 6 -35 кВ / Ф.А. Гиндуллин, В.Г. Гольдштейн, А.А Дульзон, Ф.Х. Халилов / М.: Энергоатомиздат. - 1989. - 192с.: ил.
4. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. Пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат. - 1984.- 448с.: ил.
5. Барыбин Ю. Г. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. М.: Энергоатомиздат, 1991. - 464 с.
6. Правила устройства электроустановок, 7 - е издание. 2004 г.
7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. 2003г.
8. ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
9. 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.
10. ГОСТ Р 50571.18-2000 (МЭК 60364-4-442-93) Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Защита от перенапряжений. Защита электроустановок до 1кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1кВ, М.: ИПК Издательство стандартов, 2001
11. ГОСТ Р 50571.19-2000 (МЭК 60364-4-443-93) Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Защита от перенапряжений. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений, М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
12. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. СанПиН 2.2.4.1191-03, М.: Гос- комсанэпиднадзор России, 2003
13. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. СО-153-34.21.122-2003. Москва. Издательство МЭИ, 2004г.
14. Коструба С. И. Измерение электрических параметров земли и заземляющих устройств, М.: Энергоатомиздат, 1983г.
15. Каталог контрольных кабелей, г. Витебск, 2012 г.
16. Руководство по эксплуатации. Измеритель сопротивления заземления ИС-10.
17. Инкин А.И. Электромагнитные поля и параметры электрических машин. - Новосибирск, ООО «Издательство ЮКЭА», 2002г.
18. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая наука, 1967г.
19. Руководство по защите электрических сетей 6-1150кВ от грозовых и внутренних перенапряжений / под научной редакцией Н.Н. Тиходеева, 2-ое издание. Санкт-Петербург Изд. ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.
20. ГОСТ 1516.3-96. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции. Межгосударственный стандарт. Издание официальное. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск. 1998.
21. Халилов Ф.Х. - Выбор нелинейных ограничителей перенапряжения для установок в сетях 110-750кВ, С-Пб. Позитрон. - 2005.
22. Импульсные пятидесятипроцентные разрядные напряжения изоляторов основных классов напряжений. - СибНИИЭ. - 1983.
23. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. - Техника высоких напряжений в электрических ситемах. - М.: Энергоатомиздат. - 1986.
24. СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства» М. ОАО «ФСК ЕЭС» 2010г.

Взам. инб. №					
Подпись и дата					
Инб. № подл.					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ

Лист

28

25. СТО 56947007-29.130.15.105-2011 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок» М. ОАО «ФСК ЕЭС» 2011г.

26. Ерофеев А.В. /Влияние магнитного поля на проводимость воды/ А.В. Крефеев, Б.Г. Жуков, Т.А. Лакушкина, С.А. Пона, 2009, том35, вып.3 - Физико-технический институт А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург.

27. Анасандров Б.А. Экспериментальное и теоретическое воздействие магнитного поля на воду - Сборник статей Кубанского агрогосуниверситета , 2011г.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №							1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ТЧ	Лист
										29
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Таблица регистрации изменений	
-------------------------------	--

[illegible]

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

1-Ю3С-2025/203-1-ЭМС.Т4

Экспликация зданий и сооружений

Поз.	Наименование	Номер комплекта	Примеч.
1	Открытое распределительное устройство 220 кВ (ОРУ-220 кВ)		
2.1, 2.2	Трансформатор ТДТН-40000/230/38,5/11		
3	КРУН-35 кВ		
4	КРУН-10 кВ		
5	Здание общеподстанционного пункта управления (ОПУ)		
6.1, 6.2	Трансформатор собственных нужд 10 кВ (ТСН), мощностью 250 кВА		
7	Маслосборник		
8	Кабельная эстакада 35 кВ		
9.1, 9.2	Линейный портал 35 кВ		
10	Проезды и площадки		

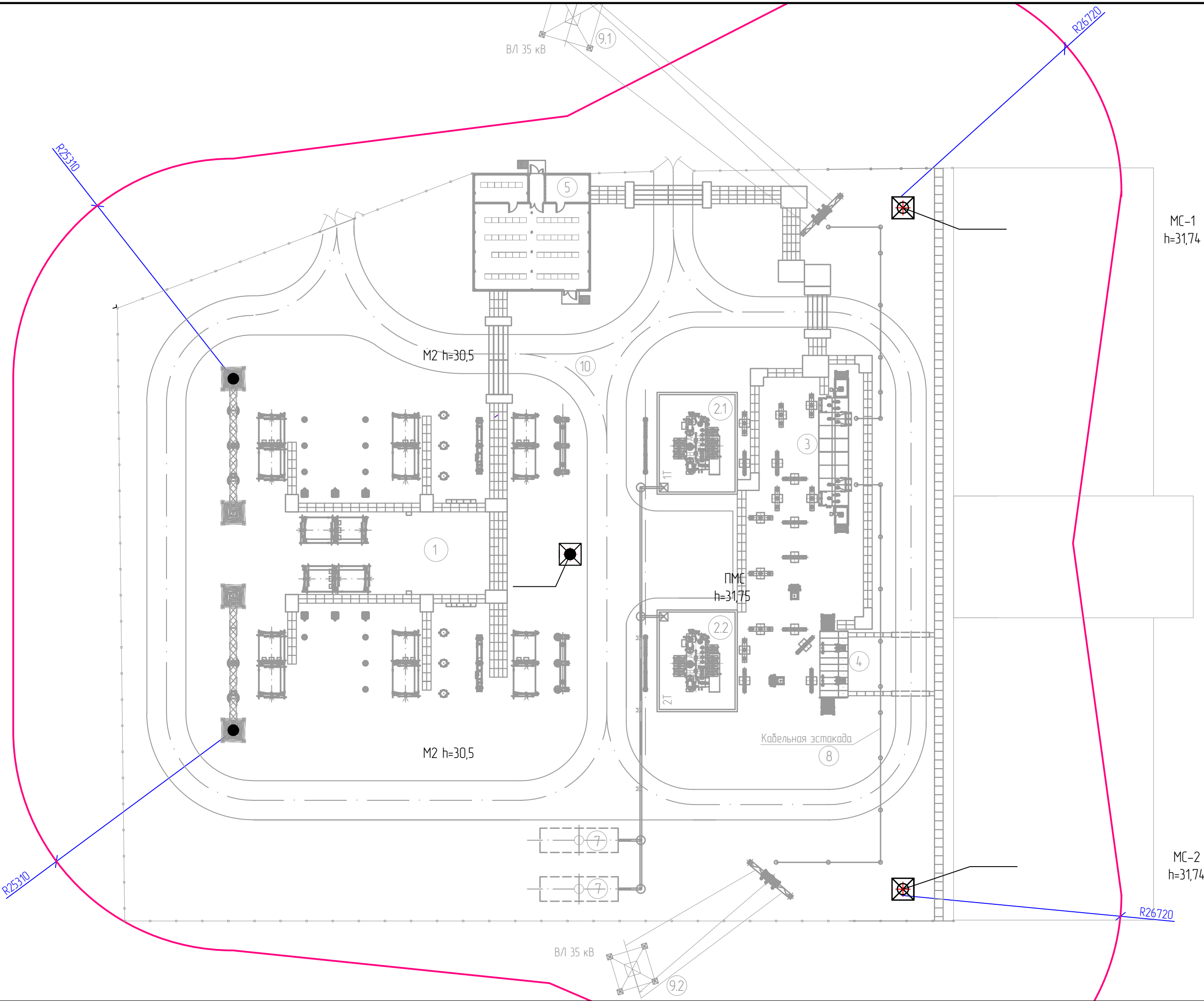
Условные обозначения:

-  - проектируемые порталы 220 кВ с молниеотводами М1, М2 h=30,5 м
-  - проектируемая прожекторная мачта с молниеотводом ПМС-24 h=31,75 м
-  - проектируемый отдельностоящий молниеотвод МС-1, МС-2 h=31,74 м
-  - зона защиты на высоте h=8 м

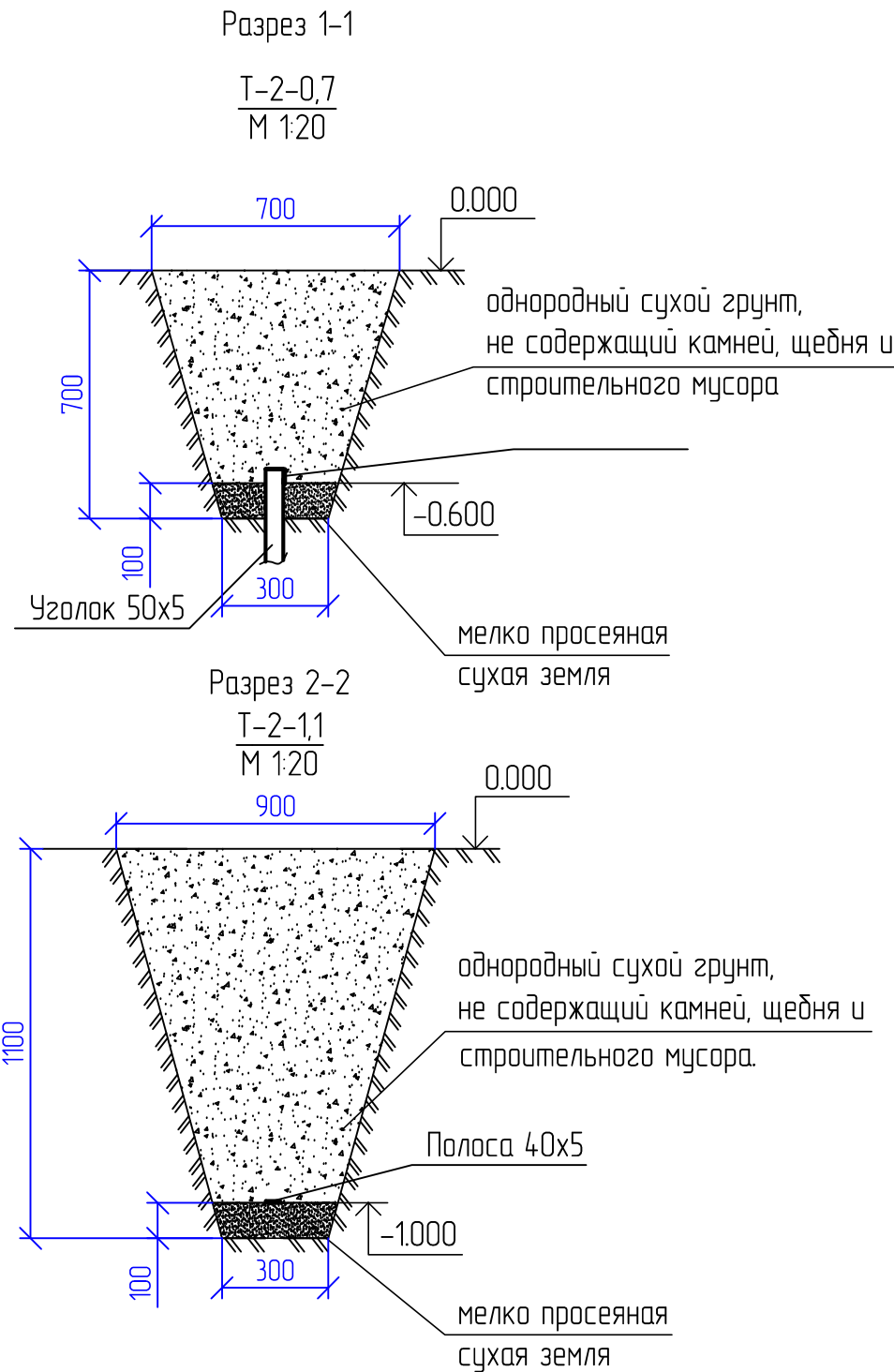
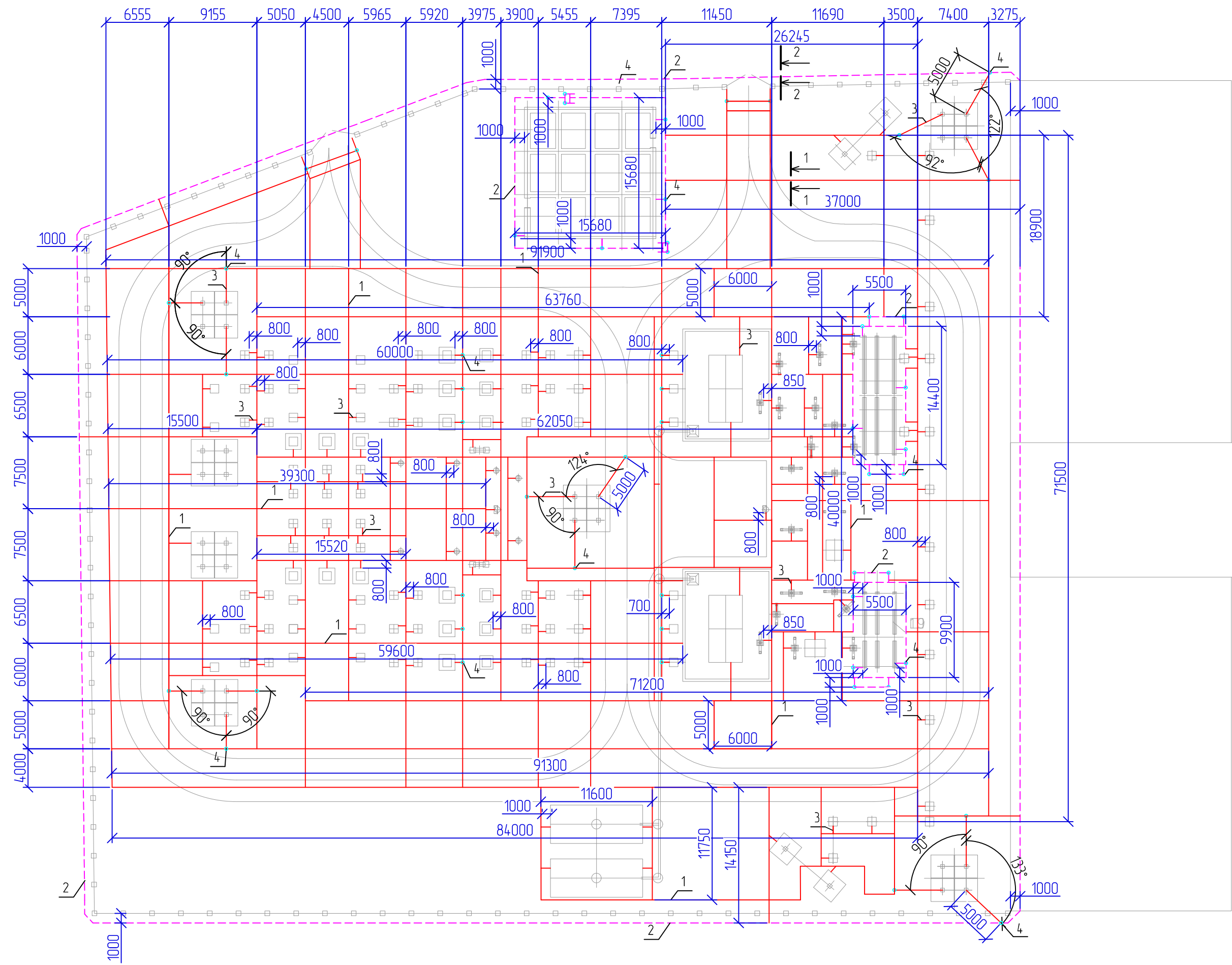
Примечание:
1. Расчет молниезащиты выполнен на основании СО-153-34.21.122-2003. "Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений."
2. Молниезащита рассчитана с учетом отдельностоящих молниеотводов и молниеотводов установленных на порталах.

						1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ГЧ			
						Ю21 Реконструкция ПС 220 кВ Светлая (замена Т-1 и Т-2 мощностью 40 МВА каждый на два по 100 МВА) (прирост мощности 120 МВА)			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	Реконструкция ПС 220 кВ Светлая	Стадия	Лист	Листов
Разработал	Строцкий			А.См	03.25		П	1	
Проверил	Транковский			В.И./	03.25				
						План молниезащиты ПС	 ООО "Красноярскстрой электропроект"		
Н. контр.	Богачев			В.И.	03.25				
ГИП	Лазарев			Л.И.	03.25				

Согласовано	
Взам. инб. №	
Подпись и дата	
Инб. № подл.	



Согласовано				



1. Заземляющее устройство выполнено с учетом следующих документов:
 - ПУЭ изд. 7, п. 17, л. 2, л. 4.2.
 - Техническое циклограмма №11/2006 от 12.10.2006 г. "О заземляющих электродах и заземляющих проводниках",
 - СТО 5694.7007-29.130.15.114-2012 "Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанции напряжением 6-750 кВ";
 - СТО 5694.7007-29.240.04.3-2010 "Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов";
 - СТО 5694.7007-29.240.04.4-2010 "Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства";
2. Укладку заземляющего устройства производить одновременно с работами нулевого цикла.
3. Заземляющее устройство выполнено в виде горизонтальной сетки из оцинкованной полосовой стали 40х5 мм, уложенной на глубину 0,6 м. Сварку производить внахлестку. Длину нахлестки (сварных швов) следует выполнять равной не менее 50 мм. Сварные швы, расположенные в земле, покрыть защитным покрытием. Защитное покрытие, в местах сварных соединений, изолировать на 5-10 см в обе стороны от границы раздела, путем их обмотки хлопчатобумажной лентой с пропиткой горячим битумом. Заземляющее устройство за пределами ограды проложить на глубину 1 м.
4. От проекционного мачты с молниеотводом и от отдельно стоящих молниеотводов осясоединение расстояние пока молнии по мажистралам заземления в трех направлениях с углом не менее 90° между осясоединениями. Установлен вертикальный электрод в виде уголка 50х50х5 длиной 5 м на каждом направлении, на расстоянии не менее длины электрода от места присоединения к мажистралам заземления стойки с молниеотводом.
5. Места сварки заземляющих проводников и металлоконструкций заземляемых элементов, должны быть видимыми.
6. На ПС должны быть заземлены путем присоединения к заземляющему устройству, металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические кабельные муфты, металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, металлические лопки, короба, каркасы распределительных щитов и шкафов а также тросы перетяжки прожекторные мачты и другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование.
7. Чертежи траншей выполнены на основании типового проекта А5-92 "Трокалка кабелей напряжением до 35 кВ в траншеях. Тяжпромэлектропроект-1992 з".
8. Траншеи для заземлителей следует засыпать однородным сухим грунтом, не содержащим камней, щебня и строительного мусора. Засыпка должна производиться с утрамбовкой грунта.
9. Глубина траншеи задана от поверхности земли окончательно спланированной территории.
- Т-2-0,7 - для прокладки продольных и поперечных заземлителей на территории ПС;
- Т-2-1,1 - для прокладки заземлителя с внешней стороны ограждения.
10. Заземляющее устройство выполнить в соответствии со СНиП 3.05.06-85.
11. Условные обозначения приняты по ГОСТ 21614-88.
12. Спецификация, размер и объем траншеи для прокладки полосы заземления см. 1-ЮЭС-2017-ИОС13.

Спецификация материалов							35
Поз.	Наименование	Тип, марка, размер	Номер чертежа ГОСТ	Кол-во	Масса, кг		Примеч.
					Ед.	Общ.	
1	Заземлитель протяженный, м	Ст. полосовая 40х5	ГОСТ 103-2006	2235	157	3509	Для прокладки в земле (глубина 0,6 м)
2	Заземлитель протяженный, м	Ст. полосовая 40х5	ГОСТ 103-2006	515	157	808	По периметру здания, внешняя контур (глубина 1м)
3	Заземлитель протяженный, м	Ст. полосовая 40х5	ГОСТ 103-2006	215	157	337	Для отбегов к аппаратам
4	Заземлитель стержневой, шт	Уголок 50х50х5	ГОСТ 8509-93	51	3,77	192	Вертикальный заземлитель
5	Заземлитель протяженный, м	Ст. полосовая 40х5	ГОСТ 103-2006	110	157	172	По конструкциям

Ведомость объёмов строительных работ

№ п/п	Наименование вида работ	Ед. изм.	Количество		
			Т-2-0,7 (2450 м)	Т-2-1,1 (515)	Итого
	<u>Строительные работы</u>				
1	траншеи вручную	м³	857	340	1168
2	засыпка траншей обычным грунтом	м³	571	226	778
3	засыпка траншей просеянным грунтом	м³	286	114	390

Габариты траншеи и объем земляных работ

Тип траншеи	В	В1	Н	Объем земляных работ на 100 м траншеи, м³		Объем мелкой просеянной земли или песка на 100 м траншеи, м³	Глубина заземлителя
				Рытье траншеи	Обратная засыпка		
Т-2-0,7	300	700	700	857	571	286	700
Т-2-1,1	300	900	1100	340	226	114	1100

Условные обозначения

- Полоса заземления в траншее Т-2-1,1
- Полоса заземления в траншее Т-2-0,7
- - Электрод заземления вертикальный;

						1-ЮЭС-2025/203-1-ЭМС.ГЧ			
						Ю21 Реконструкция ПС 220 кВ Светлая (замена Т-1 и Т-2 мощностью 40 МВА каждый на два по 100 МВА) (прирост мощности 120 МВА)			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	Реконструкция ПС 220 кВ Светлая	Стадия	Лист	Листов
Разработал	Строцкий			<i>Строцкий</i>	03.25		П	2	
Проверил	Транковский			<i>Транковский</i>	03.25				
						План заземления ПС	ООО "Красноярскстрой электропроект"		
Н. контр.	Богачев			<i>Богачев</i>	03.25				
ГИП	Лазарев			<i>Лазарев</i>	03.25				