МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
Главтехуправления
Минэнерго СССР

_____ К.М.Антипов

"22" декабря 1987г.

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 3-750 кВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1987 г.

gost.e-ecolog.ru

Минэнерго СССР ГПИО "Энергопроект" БГПИ и НИИ "Энергосетьпроект"	Руководящие материалы РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 3-750 кВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	Взамен 9126тм-тI

Главный инженер института "Энергосетьпроект" — В.С.Ляшенко

Начальник производственно-технического отдела — А.С.Бурцев

Главный специалист, руководитель подразделения подстанций — Н.В.Мурашко

Главный специалист — С.А.Брацлавский

Разработаны Белорусским отделением института "Энергосетьпроект"	У т в е р ж д е н ы протоколом главного инженера института "Энергосетьпроект" от 22 декабря 1987 г. № 80	Срок введения в действие 12740тм-тI

"Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств электрических станций и подстанций напряжением 3-750 кВ переменного тока" разработаны по плану научно-исследовательских работ Белорусским отделением ВПШ и НИИ "Энергосетьпроект" и Сибирским НИИ энергетики (научный руководитель и ответственный исполнитель к.т.н. Глушко В.И., научный руководитель д.т.н. Целебровский Ю.В.)

Составители:

Глушко В.И. (ЭСП)
Целебровский Ю.В. (СибНИИЭ
Селиванов А.Г. (СЭП)
Ковалев З.П. (ЭСП)

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

1. Предисловие 5
2. Область применения 5
3. Рекомендации по выполнению требований ПУЭ при проектировании заземляющих устройств электрических станций и подстанций 6
3.1. Общие положения 6
3.2. Конструктивное выполнение искусственного заземлителя ОРУ 110-750 кВ электрических станций и подстанций 7
3.3. Конструктивное выполнение искусственного заземлителя закрытых подстанций и ЗРУ электрических станций напряжением 110 кВ и выше 13
3.4. Конструктивное выполнение искусственного заземлителя подстанций напряжением 3-35 кВ. . . . 14
3.5. Конструктивное выполнение скважинных и выносных заземлителей 15
3.6. Рекомендации по выполнению заземляющих устройств подстанций напряжением 110 кВ и выше для питания нефтеперекачивающих и компрессорных станций магистральных нефтепроводов и газопроводов. . . . 17
3.7. Рекомендации по обеспечению долговечности заземлителей 18
4. Предпроектные изыскания 19
4.1. Задача предпроектных изысканий 19
4.2. Определение параметров геоэлектрической структуры и поля блуждающих токов 20
4.3. Выявление естественных заземлителей и металлических коммуникаций в зоне, прилегающей к электроустановке 24
4.4. Определение коррозионных характеристик грунта.. 25
5. Расчет и конструирование 26
5.1. Задача расчета и конструирования 26
5.2. Основные положения расчета 28
5.3. Подготовка исходных данных 30
5.4. Расчет искусственного и выносного заземлителя.. . 36

стр

5.5. Конструирование заземляющих устройств подстанций и распредустройств станций 41

Приложение I. Допустимые значения напряжений прикосновения 43

Приложение 2. Методы и программы расчета заземляющих устройств станций и подстанций 44

Приложение 3. Приведение параметров электрической структуры земли к расчетным сезонным условиям. . 48

Приложение 4. Определение коэффициента, учитывающего падение напряжения на сопротивлении растеканию тока с ног человека 5I

Приложение 5. Выбор расчетного тока при проектировании заземляющих устройств электрических станций и подстанций напряжением II0/35-I0-6 кВ. 52

Приложение 6. Расчет естественных и выносных заземлителей и выноса потенциалов с территории подстанций и распредустройств станций 53

Приложение 7. Определение геометрических параметров расчетной модели искусственного и выносного заземлителей 56

Приложение 8. Выбор сечения элементов искусственного заземлителя и заземляющих проводников 57

Приложение 9. Расчет и выбор специальных противокоррозионных мероприятий 6I

Приложение I0. Примеры конструктивного выполнения заземляющих устройств подстанций 67

I. ПРЕДИСЛОВИЕ

Руководящие указания составлены в соответствии с основными положениями главы I-7 ПУЭ 6-го издания, ГОСТ I2.I.038-82-ССБТ и других нормативных материалов. При этом был использован опыт проектирования и эксплуатации заземляющих устройств (ЗУ) подстанций, накопленный в Минэнерго СССР в связи с применением "Временных руководящих указаний по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 3-750 кВ" выпуска I978 г.

В руководящих указаниях конкретизированы положения ПУЭ применительно к проектированию ЗУ станций и распредустройств тепловых, атомных и гидравлических электрических станций[*]. Сформулированы требования, предъявляемые к предпроектным изысканиям по определению необходимых исходных данных для проектирования ЗУ. Приведены рекомендации по расчету и конструктивному выполнению ЗУ.

Принятые в руководящих указаниях термины и определения соответствуют терминам и определениям ПУЭ.

В руководящих указаниях использованы разработки в области нормирования, расчета и конструирования ЗУ электроустановок, выполненных в ВИЭСХе, ЭСП, СибНИИЭ, ВНИИЭ, ВНИИОТ (г.Ленинград), МЭИ, ВНИИПЭМ, МИНХиГП, МИРЭА, НЭИ, МИИТ, СЭП.

2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Руководящие указания должны распространяться на ЗУ вновь сооружаемых и реконструируемых распредустройств электрических станций напряжением II0 кВ и выше и подстанций напряжением 3-750 кВ.

---

[*] Подстанции и распредустройства станций в дальнейшем электроустановки.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ ПУЭ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

3.1. Общие положения

3.1.1. ЗУ станций и подстанций служит для выполнения защитных и рабочих функций, к которым относятся: обеспечение электробезопасности; заземление нейтрали трансформаторов, шунтирующих и дугогасящих реакторов и других аппаратов высокого и низкого напряжений; создание цепи тока для защиты от замыкания на землю; отвод в землю импульсных токов с молниеотводов и разрядников; обеспечение защиты подземных конструкций от повреждения токами замыкания на землю.

3.1.2. Надежность выполнения перечисленных функций обеспечивается нормированием электрических характеристик ЗУ (напряжения на ЗУ, напряжения прикосновения, сопротивления растеканию), а также требованиями к конструктивному выполнению ЗУ.

Напряжение прикосновения должно соответствовать ГОСТ 12.1.038-82-ССБТ (см.Приложение 1), а напряжение на ЗУ и сопротивление растеканию - ПУЭ (п.п. 1-7-50, 1-7-51, 1-7-57, 1-7-69).

3.1.3. В общем случае ЗУ содержит естественные заземлители, искусственный заземлитель, который сооружается в зоне расположения электроустановки (в первую очередь у заземляемого оборудования), и при необходимости - скважинный и выносной заземлители.

3.1.4. Конструкция ЗУ должна при минимальных затратах на ее сооружение в любое время года обеспечивать нормируемые значения электрических характеристик ЗУ в течение нормативного срока службы электроустановки.

3.1.5. Выполнение положений п.п.3.1.1-3.1.4 обеспечивается соблюдением требований ПУЭ (гл.1-7, 4-2), ГОСТ 12.1.038-82-ССБТ и настоящих Руководящих указаний.

3.2. Конструктивное выполнение искусственного заземлителя ОРУ 110-750 кВ электрических станций и подстанций

3.2.1. Искусственный заземлитель ОРУ 110-750 кВ станций и подстанций состоит из продольных и поперечных горизонтальных заземлителей, соединенных между собой в заземляющую сетку, вертикальных заземлителей и заземляющих проводников.

Сечение горизонтальных заземлителей и заземляющих проводников выбирается по условиям термической и коррозионной стойкости, а сечение вертикальных заземлителей - по коррозионной стойкости и с учетом технологии их погружения.

3.2.2. Для упрощения процесса проектирования в искусственном заземлителе целесообразно выделить две основные части: внутреннюю часть, или базовую конструкцию, которая размещается в зоне расположения оборудования, и внешнюю часть, которая выполняется в случае расширения искусственного заземлителя за пределы базовой конструкции.

3.2.3. Базовая конструкция выполняется только по условиям заземления оборудования и должна обеспечивать: удобство присоединения оборудования; снижение градиента потенциала в местах ввода тока короткого замыкания; снижение импульсного сопротивления в местах заземления молниеотводов, разрядников, трансформаторов тока и напряжения.

3.2.3.1. Удобство присоединения оборудования и общее выравнивание потенциала обеспечивается выполнением заземляющей сетки, продольные элементы которой прокладываются вблизи оборудования, а поперечные элементы способствуют выравниванию электрического потенциала на территории электроустановки. Продольные элементы целесообразно прокладывать вдоль рядов оборудования со стороны обслуживания. При проектировании ЗУ по сопротивлению растеканию это мероприятие выполняется во всех случаях; при проектировании по напряжению при-

косновения – у рабочих мест, где при производстве оперативных переключений могут возникнуть короткие замыкания на переключаемом оборудовании.

Рекомендации по выполнению базовой конструкции по условиям удобства присоединения оборудования и общего выравнивания потенциала приведены в ПУЭ I-7-51, I-7-52, I-7-53.

3.2.3.2. Для снижения градиента потенциала у мест заземления силовых трансформаторов, короткозамыкателей, шунтирующих реакторов прокладываются продольные и поперечные заземлители, которые в радиусе не более 3 м обеспечивают растекание тока в 4-х направлениях (см.ПУЭ I-7-53). При этом непосредственно у мест присоединения оборудования заземляющими проводниками к ЗУ растекание тока должно осуществляться не менее чем в двух направлениях. Размеры ячеек заземляющей сетки, примыкающих к местам заземления трансформаторов и короткозамыкателей, не должны превышать 6х6 м^2.

На электрических станциях нейтрали трансформаторов и автотрансформаторов по кратчайшему пути соединяются с естественными заземлителями зданий и сооружений станции.

3.2.3.3. Снижение импульсного сопротивления в местах заземления молниеотводов, разрядников, нелинейных ограничителей перенапряжений, трансформаторов тока и напряжения достигается прокладкой горизонтальных заземлителей, которые обеспечивают растекание импульсных и высокочастотных токов в 3-х – 4-х направлениях и не менее чем в 2-х местах присоединяются к ЗУ. Кроме того, у молниеотводов на расстоянии 3-5 м от стойки устанавливается не менее 2-х вертикальных заземлителей длиной 3-5 м (см. ПУЭ 4-2-136). Такие же вертикальные заземлители устанавливаются и у разрядников, при этом к числу заземлителей следует относить фундаменты с глубиной погружения не менее 2 м. Горизонтальные заземлители у молниеотводов и разрядников должны прокладываться относительно

друг друга таким образом, чтобы расстояния между вертикальными заземлителями были больше их длины.

3.2.3.4. Независимо от нормы, по которой выполняется ЗУ, с целью уменьшения влияния сезонных изменений электрической структуры земли на величину напряжения на ЗУ горизонтальные элементы базовой конструкции прокладываются на глубине не менее 0,5 м. В скальных грунтах указанная глубина может быть уменьшена до 0,15 м (см. ПУЭ I-7-66).

В грунтах с повышенной коррозионной опасностью глубина укладки горизонтальных заземлителей выбирается по условиям коррозии.

3.2.3.5. При наличии в электроустановках распредустройств разных напряжений базовая конструкция искусственного заземлителя включает базовые конструкции каждого распредустройства, которые соединяются между собой не менее чем двумя связями. В случае, когда между распредустройствами располагаются здания с аппаратурой релейной защиты и автоматики, то количество связей должно быть не менее четырех. При этом две связи должны проходить вблизи стен здания.

3.2.4. В открытых электроустановках напряжением 35, 10, 6 кВ (например, КРУНы), расположенных на территории распредустройств станций и подстанций напряжением 110 кВ и выше, не зависимо от нормы, по которой выполняется ЗУ, должны предусматриваться мероприятия по выравниванию потенциалов вокруг оборудования путем прокладки горизонтального заземлителя на глубине не менее 0,5 м на расстоянии 0,8-1 м от фундаментов или оснований оборудования (см. ПУЭ I-7-59).

3.2.5. К базовой конструкции должны быть присоединены все естественные заземлители, включая железобетонные фундаменты зданий и оборудования (см. ПУЭ I-7-70, I-7-71).

3.2.6. Если базовая конструкция с присоединенными естественными заземлителями не обеспечивает нормированного значения напряже-

ния на ЗУ, выполняются специальные мероприятия по снижению сопротивления ЗУ, к которым относятся: дополнение базовой конструкции вертикальными заземлителями; выполнение внешней части искусственного заземлителя с установкой или без установки вертикальных заземлителей; устройство скважинных и выносных заземлителей.

3.2.6.1. Вертикальные заземлители устанавливаются равномерно по периметру базовой конструкции, а при расширении искусственного заземлителя – по периметру его внешней части. Их длина и количество определяется расчетом.

Если оборудование установлено на легневых фундаментах, дополнительно вертикальные заземлители могут располагаться внутри базовой конструкции. В этом случае их рекомендуется устанавливать на рабочих местах.

3.2.6.2. Расширение искусственного заземлителя за пределы базовой конструкции осуществляется путем прокладки контурного горизонтального заземлителя, который охватывает площадь в пределах ограды электроустановки (включая охранное ограждение), или свободную от застройки и разрешенную к использованию территорию вне электроустановки. При прокладке контурного заземлителя за оградой он должен образовывать тупые или округленные углы (см.ПУЭ I-7-53).

Если контурный заземлитель охватывает базовую конструкцию со всех сторон, то он присоединяется к последней не менее чем в четырех местах. Во всех других случаях контурный заземлитель присоединяется к базовой конструкции в 2-х – 3-х местах.

В пределах ограды электроустановки горизонтальные элементы внешней части искусственного заземлителя прокладываются на такой же глубине, как и горизонтальные элементы базовой конструкции (см.п. 3.2.3.4). За пределами ограды прокладка указанных горизонтальных элементов осуществляется на глубине не менее I,0 м (см. ПУЭ I-7-53).

3.2.6.3. Скважинные и выносные заземлители сооружаются только в том случае, когда при напряжении на ЗУ выше 10 кВ оказываются не эффективными меры по исключению выноса потенциала или при напряжении на ЗУ выше 5 кВ и до 10 кВ оказываются не эффективными меры по снижению выносимого потенциала до безопасной величины и меры по защите изоляции отходящих от электроустановки кабелей связи и телемеханики.

3.2.7. На территории электроустановки и в местах возможного выноса потенциала выполняются специальные мероприятия по снижению напряжения прикосновения, к которым относятся местное выравнивание потенциала и использование изоляционных покрытий.

Специальные мероприятия по снижению напряжения прикосновения на территории электроустановки выполняются: у оборудования; у ограды; у стен зданий и сооружений, расположенных вне территории базовой конструкции; у входов и въездов на территорию базовой конструкции (при проектировании ЗУ по норме на сопротивление растеканию).

Специальные мероприятия по снижению напряжения прикосновения в местах возможного выноса потенциала выполняются вокруг электроустановок, ЗУ которых соединены с ЗУ электроустановок напряжением 110-750 кВ.

При проектировании ЗУ по норме на напряжение прикосновения мероприятия по снижению напряжения прикосновения у оборудования и ограды выполняются только в тех случаях, когда конструкция искусственного заземлителя, выполненная в соответствии с рекомендациями п.п. 3.2.2. - 3.2.6, при достигнутом нормированном значении напряжения на ЗУ не обеспечивает нормированное значение напряжения прикосновения в заданных контрольных точках на территории искусственного заземлителя.

При проектировании ЗУ по норме на сопротивление растеканию

мероприятия по снижению напряжения прикосновения у оборудования, ограды и у входов и въездов на территорию базовой конструкции выполняются во всех случаях (см. ПУЭ I-7-51, I-7-54).

3.2.7.1. При проектировании ЗУ по напряжению прикосновения местное выравнивание потенциала у оборудования выполняется у мест непосредственного контакта человека с оборудованием при оперативных, ремонтных и наладочных работах. Для этого на расстоянии I м от фундаментов или оснований оборудования прокладывается горизонтальный заземлитель ограниченной длины или непосредственно у оборудования укладывается заземляющая квадратная решетка размером I м с ячейками 0,5 м из стали круглого сечения диаметром не менее 6 мм. Заземлитель и решетка укладываются на глубину 0,I-0,3м и присоединяются к базовой конструкции в одном-двух местах.

3.2.7.2. Местное выравнивание потенциала у ограды выполняется в случае ее присоединения к ЗУ (см.ПУЭ I-7-54). Для этого с внешней стороны ограды, а при проектировании ЗУ по напряжению прикосновения и с внутренней стороны на расстоянии I,0 м и глубине I м прокладывается горизонтальный проводник, который не менее чем в четырех местах присоединяется к ЗУ.

Внутренние металлические ограждения присоединяются к ЗУ. К ограде внутренние ограждения присоединяются только в случае присоединения последней к ЗУ. Для исключения присоединения внутренних ограждений к ограде между ними устанавливаются кирпичные или деревянные вставки длиной не менее I м.

3.2.7.3. Местное выравнивание потенциала у стен зданий и сооружений, расположенных на территории электроустановки, выполняется в тех случаях, когда здания и сооружения размещаются вне территорий базовой конструкции и имеют связь с ЗУ (см. ПУЭ I-7-56). Выравнивание потенциала осуществляется путем прокладки вдоль стен на расстоянии I м и глубине I м горизонтального проводника кото-

рий в двух местах присоединяется к ЗУ.

3.2.7.4. Местное выравнивание потенциала в местах возможного выноса потенциала выполняется в соответствии с рекомендациями ПУЭ I-7-55.

3.2.7.5. Устройства выравнивания потенциала, приведенные в п.п. 3.2.7.I - 3.2.7.4, рекомендуется сочетать и допускается заменять покрытиями из асфальта толщиной не менее 5 см, щебня толщиной не менее I0 см или изоляционного бетона. Площадь покрытий должна выступать за указанные в п.п. 3.2.7.I - 3.2.7.4 размеры устройства выравнивания потенциала не менее чем на 0,2 м.

3.3. Конструктивное выполнение искусственного заземлителя закрытых подстанций и ЗРУ электрических станций напряжением II0 кВ и выше

3.3.I. В качестве элементов базовой конструкции искусственного заземлителя закрытых подстанций и ЗРУ станций в пределах здания в первую очередь должны быть использованы металлоконструкции под оборудование и элементы кабельных конструкций. Дополнительные элементы базовой конструкции в виде горизонтальных заземлителей прокладываются только со стороны обслуживания оборудования, расположенного на первом этаже при наличии набивных и бетонных полов. При этом заземлители должны быть проложены в бетоне при укладке полов.

Все естественные и искусственные элементы базовой конструкции должны быть многократно соединены между собой и не менее чем в четырех местах присоединены к контурному горизонтальному заземлителю, который прокладывается по периметру здания. Контурный заземлитель может быть расположен как внутри здания, так и за его пределами на расстоянии I м от стен здания. В качестве контурного заземлителя рекомендуется использовать арматуру фундамента здания.

В случае наличия оборудования наружной установки (например,

силовые трансформаторы) базовая конструкция должна охватывать это оборудование и выполняться в соответствии с рекомендациями п.3.2.

3.3.2. Специальные мероприятия по выравниванию потенциала в пределах зданий не выполняются.

Мероприятия по снижению сопротивления ЗУ осуществляются в соответствии с рекомендациями п.3.2.6.

3.3.3. Заземление оборудования, расположенного на этажах выше первого, осуществляется с помощью магистралей заземления, прокладываемых по стенам с учетом удобства присоединения оборудования. Концы магистралей заземлений должны присоединяться к ЗУ вертикальными спусками, которые одновременно могут быть использованы для заземления молниезащитных устройств здания.

Исключение составляет заземление установленного на втором этаже короткозамыкателя, осуществляемое отдельным проводником, который по кратчайшему пути присоединяется к базовой конструкции. Использование этого проводника для заземления другого оборудования не допускается.

3.4. Конструктивное выполнение искусственного заземлителя подстанций напряжением 3-35 кВ

3.4.1. Внутренняя часть искусственного заземлителя подстанций напряжением 3-35 кВ выполняются в виде контурного горизонтального заземлителя, который охватывает площадь, занимаемую оборудованием, и к которому присоединяется заземляемое оборудование (см. ПУЭ I-7-69).

Если на подстанции можно выделить ряды оборудования, то с целью удобства его заземления вдоль рядов оборудования прокладывается горизонтальный проводник, который с двух сторон присоединяется к контурному заземлителю. В случае повышения допустимого сопротивления ЗУ в соответствии с ПУЭ I-7-69, указанный проводник

прокладывается со стороны обслуживания.

При необходимости снижения сопротивления до нормы выполняется внешняя часть искусственного заземлителя. Расширение искусственного заземлителя производится в соответствии с рекомендациями п.3.2.6.

Горизонтальные заземлители, расположенные как в пределах ограды, так и за пределами ограды, прокладываются на глубине не менее 0,5 м.

В случае необходимости вертикальные заземлители равномерно устанавливаются по периметру внутренней или внешней части искусственного заземлителя. Их число и длина определяется расчетом.

3.4.2. Молниеотводы и разрядники, устанавливаемые на подстанциях напряжением 3–35 кВ, заземляются в соответствии с рекомендациями п.3.2.3.3.

3.4.3. Для подстанций напряжением 3–20 кВ расширение искусственного заземлителя целесообразно осуществлять путем прокладки лучевых заземлителей с вертикальными заземлителями или без них. При этом длина лучей может быть одинаковой или разной, их число не должно превышать четырех и прокладка осуществляться по возможности перпендикулярно друг другу.

3.5. Конструктивное выполнение скважинных и выносных заземлителей

3.5.1. Скважинный заземлитель сооружается на территории электроустановки или в непосредственной близости от нее. Его длина должна быть достаточной для достижения слоев земли с низким удельным сопротивлением.

3.5.2. Выносной заземлитель сооружается в местах с низким удельным сопротивлением грунтов и недоступных для частого пребывания людей и животных. Чаще всего в качестве таких мест используются заболоченные места, заброшенные участки лугов, поймы рек,

водоемы, пруды, впадины с рыхлыми отложениями.

3.5.3. Выносной заземлитель представляет собой горизонтальный контур с вертикальными заземлителями или без них, который выполняется в виде многоугольника с тупыми или скругленными углами и прокладывается на глубине не менее I м. Для подстанций напряжением 3-35 кВ выносной заземлитель может выполняться в виде многоугольника любой формы или в виде лучевых заземлителей и прокладываться на глубине не менее 0,5 м.

Соединение выносного заземлителя с базовой конструкцией ЗУ электроустановки осуществляется с помощью горизонтальных заземлителей, а также воздушными или кабельными линиями. Удаленность выносного заземлителя от искусственного заземлителя при их соединении горизонтальными заземлителями не должна превышать 0,5 км, а при соединении воздушными или кабельными линиями - 2 км.

Количество горизонтальных заземлителей должно быть не менее двух. Прокладка их осуществляется на глубине не менее I м. Число и сечение проводов или жил кабеля выбирается, исходя из требования, чтобы продольное сечение линии было меньше сопротивления выносного заземлителя.

3.5.4. При устройстве выносного заземлителя должны быть предусмотрены меры по защите людей и животных от поражения электрическим током в результате прикосновения к его токопроводящим неизолированным частям. Для этого необходимо, чтобы линия была изолирована от земли на напряжение не менее напряжения на ЗУ и исключена возможность прикосновения к проводнику, соединяющему линию с выносным заземлителем.

Кабельная линия должна подключаться к локальному заземлителю под землей; место соединения конца кабеля с заземлителем в целях защиты от коррозии должно изолироваться.

3.6. Рекомендации по выполнению заземляющих устройств подстанций напряжением 110 кВ и выше для питания нефтеперекачивающих и компрессорных станций магистральных нефтепроводов и газопроводов

3.6.1. Подстанции напряжением 110 кВ и выше и промышленная площадка нефтеперекачивающих и компрессорных станций должны иметь единую заземляющую систему. Для этого ЗУ подстанций и технологических РУ 6-10 кВ должны быть объединены между собой с учетом требований ПУЭ 1-7-36.

3.6.2. Напряжение на объединенной заземляющей системе при замыкании на землю в сети 110 кВ и выше не должно превышать 5 кВ. Если после объединения ЗУ не выполняется это требование, то необходимо использовать скважинные или выносные заземлители.

3.6.3. Напряжение прикосновения на территории подстанции и объектах транспорта нефти и газа не должно превышать предельно допустимого. Для этого на всех электроустановках нефтеперекачивающих и компрессорных станциях, а также на территории подстанции должны быть выполнены требования по уравниванию и выравниванию потенциалов в соответствии с ПУЭ 1-7-47, 1-7-55, 1-7-56.

3.6.4. Соединение ЗУ подстанций и ЗУ технологического РУ 6-10кВ должно осуществляться двумя связями. В первую очередь в качестве таких связей рекомендуется использовать тросовые молниеотводы токопроводов 6-10 кВ, которые должны удовлетворять требованиям термической стойкости. В случае, если тросовые молниеотводы не могут быть использованы для этих целей, связи должны выполняться горизонтальными заземлителями или воздушными линиями.

3.6.4.1. Горизонтальные заземлители прокладываются на глубине 1 м с расстоянием между ними более 10 м. Их сечение должно быть не менее сечения горизонтальных элементов ЗУ подстанции.

3.6.4.2. При выполнении связей воздушными линиями подвеска проводов должна выполняться на изоляторах класса 10 кВ.

3.6.5. С целью снижения электромагнитных влияний горизонтальных заземлителей, объединяющих ЗУ подстанций и РУ 6-10 кВ, на кабели автоматики, связи и сигнализации их следует прокладывать на возможно большем удалении от этих кабелей, но не ближе 3-х метров от них.

3.6.6. В качестве кабелей автоматики, связи и сигнализации, прокладываемых между подстанцией и РУ 6-10 кВ, должны использоваться экранированные кабели или кабели с металлической оболочкой и броней.

3.6.7. Грозозащита вращающихся машин, установленных на нефтеперекачивающих и компрессорных станциях, должна осуществляться по соответствующим разделам ПУЭ с уточнением, что подвеска токопроводов на металлических и железобетонных опорах без деревянных траверс должна выполняться с применением гирлянд изоляторов класса 110 кВ.

3.7. Рекомендации по обеспечению долговечности заземлителей

3.7.1. Заземлители и заземляющие проводники должны удовлетворять требованиям коррозийной стойкости при воздействии грунтовой коррозии и электрокоррозии.

Оценка опасности грунтовой коррозии производится по физико-химическим параметрам грунта и классифицируется шестью степенями K_0-K_5 (Приложение 8).

Оценка опасности электрокоррозии производится по параметрам поля блуждающего тока.

3.7.2. Для повышения долговечности заземлителей при воздействии грунтовой коррозии рекомендуется:

- для зон со степенью коррозии K_3-K_5 - выбирать сечение по условиям коррозионной стойкости (Приложение 8);
- для зон со степенью коррозии K_0, K_1, K_2 применять дополни-

тельные специальные противокоррозионные мероприятия (см. Приложение 9), или предусматривать плановую замену прокорродировавшего заземлителя в течение срока эксплуатации электроустановки. Выбор того или другого мероприятия должен технико-экономически обосновываться.

В зонах повышенной коррозии K_C-K_2 для заземлителей целесообразно использовать сталь только круглого сечения.

3.7.3. Для повышения долговечности заземлителей при воздействии электрокоррозии рекомендуется:

- при плотности блуждающего тока более 15 мА/м^2 - применение электрических защит;

- при плотности блуждающего тока менее 15 мА/м^2 - увеличение сечения заземлителей.

3.7.4. В связи с тем, что скорость коррозии заземлителей увеличивается при повышении солесодержания грунта, применение агрессивных солей для снижения сопротивления растеканию ЗУ запрещается. В качестве проводящего компонента при искусственной обработке грунта рекомендуется использовать следующий состав (вес, %): гипс - 50; калий азотнокислый - 15; окись хрома (III) - 15; натрий пирофосфорнокислый - 20.

4. ПРЕДПРОЕКТНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

4.1. Задача предпроектных изысканий

4.1.1. На стадии предпроектных изысканий получают информацию, необходимую для проектирования ЗУ с учетом реальных условий в зоне расположения электрических станций и подстанций.

Предпроектные изыскания включают:

-определение геоэлектрической структуры на площадке электроустановок, в местах возможного сооружения выносных заземлителей и вдоль трассы отходящих от электроустановок кабелей и трубопрово-

дов, которые предполагается использовать в качестве естественных заземлителей;

- выявление и обследование естественных заземлителей;
- выявление наличия в земле других металлических коммуникаций для учета их при измерениях электрических характеристик ЗУ;
- определение коррозионных параметров грунта для выбора мероприятий по обеспечению долговечности заземлителей.

4.I.2. Выполнение предпроектных изысканий осуществляется на основании специального задания. В задании должна быть сформулирована основная задача предпроектных изысканий, а также приведен перечень всех подлежащих выполнению работ.

4.2. Определение параметров геоэлектрической структуры и поля блуждающих токов

4.2.I. Геоэлектрическая структура верхних слоев земли, как правило, неоднородна и зависит от характера залегания и типа пород, их влажности и температуры, наличия и степени минерализации грунтовых вод.

В большинстве практических случаев земля может быть представлена в виде многослойной электрической структуры. Получение необходимой информации о геоэлектрической структуре (удельное сопротивление и мощности слоев) осуществляется методом вертикального электрического зондирования (метод ВЭЗ) с помощью симметричных четырехэлектродных установок.

Получение информации о геоэлектрической структуре на основе определения типов грунтов по данным бурения на площадках электроустановок с последующим использованием таблиц удельных сопротивлений грунтов допускается только для электроустановок напряжением 3-35 кВ.

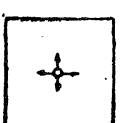
4.2.2. В общем случае на площадке электроустановка рекомендуется выполнять основные и вспомогательные ВЭЗ.

В результате основных ВЭЗ получают геоэлектрический разрез до глубины, электрическая структура на которой оказывает определяющее влияние на формирование электрических характеристик заземлителя. Вспомогательные ВЭЗ производятся на малые глубины для уточнения геоэлектрических параметров верхних слоев при наличии горизонтальной неоднородности.

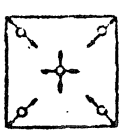
4.2.3. Необходимая глубина зондирования методом ВЭЗ зависит от геометрических размеров площадки электроустановки. Для основных ВЭЗ она составляет: при размерах площадок до 100х100 м - не менее 140 м, при размерах площадок выше 100х100 м не менее Д (Д - наибольшая диагональ площадки электроустановки). Глубина зондирования вспомогательными ВЭЗ составляет не менее 0,2 Д. Для скважинных заземлителей глубина зондирования принимается равной длине заземлителя.

4.2.4. Основные ВЭЗ рекомендуется выполнять в центре каждой площадки в двух взаимоперпендикулярных направлениях (крестовые ВЭЗ).

Вспомогательные ВЭЗ производятся из нескольких центров, количество которых и их расположение зависит от размеров площадки электроустановки. Расположение центров зондирования и направление полуразносов установок ВЭЗ выбираются согласно схемам, показанным на рис. 4.1. Здесь в центре площадки показаны основные ВЭЗ.



до 100х100 м^2



более 100х100 м^2

Рис.4.1. Расположение центров зондирования и направления полуразносов установок ВЭЗ

4.2.5. Изыскания под выносной заземлитель следует проводить, когда замеренное при полуразносе токовых электродов установки основных ВЭЗ больше чем 10 м минимальное значение кажущегося удельного сопротивления земли в Ом.м превышает наибольшую диагональ площадки в метрах.

Изыскания под выносной заземлитель выполняются в местах, удаленных от площадки электроустановки на расстояние не более 2 км. При выборе площадки под выносной заземлитель необходимо обследовать места с возможным низким удельным сопротивлением грунтов. К таким местам могут быть отнесены: заболоченные места, заброшенные участки лугов, поймы рек, водоемы, пруды, впадины с рыхлыми отложениями.

На площадке под выносной заземлитель выполняется 1 ВЭЗ на глубину не менее 100 м.

4.2.6. При определении геоэлектрической структуры вдоль трассы кабелей и трубопроводов в первую очередь необходимо использовать имеющуюся в геофонде информацию о геоэлектрическом разрезе данного региона.

Если такая информация отсутствует, исследование геоэлектрической структуры выполняется основными ВЭЗ равномерно по длине трассы. При этом число ВЭЗ принимается равным:

1) при длине трассы до 1 км – 1 ВЭЗ в конце трассы;

2) при длине трассы от 1 км до 4 км – примерно через 1 км, включая конец трассы, но не более 3 ВЭЗ;

3) при длине трассы более 4 км – 4 ВЭЗа, включая конец трассы.

4.2.7. Информация о геоэлектрической структуре выдается в виде измеренных значений удельного сопротивления слоев земли в Ом.м и их мощности в метрах.

Данные об электрической структуре земли, полученные основ-

ными и вспомогательными ВЭЗ на одной и той же площадке, могут отличаться. Учитывая то, что при расчете заземляющих устройств используется один геоэлектрический разрез, в случае, когда данные ВЭЗ отличаются, их следует усреднять. Усреднение производится в отдельности для каждого слоя земли. Подстилающий слой земли вспомогательных ВЭЗ при усреднении не учитывается.

В качестве усредненных принимаются среднеарифметические значения удельных сопротивлений и мощностей слоев.

При усреднении результатов зондирования по трассе кабелей и трубопроводов, кроме выполненных по трассе ВЭЗ, используются усредненные параметры земли на площадке электроустановки.

В исходной информации для проектирования параметры геоэлектрической структуры задаются в виде усредненных значений удельного сопротивления и мощности слоев земли.

4.2.8. Оценка влияния поля блуждающих токов выполняется при удельном сопротивлении верхнего слоя грунта менее 100 Ом.м и при расположении площадок проектируемых электроустановок ближе 30 км от железных дорог, электрифицированных на постоянном токе, а также при наличии вблизи других источников постоянного тока.

4.2.9. Измерение параметров поля блуждающих токов производится на максимальных разносах двух крайних электродов при выполнении основных ВЭЗ. Измерительные электроды погружаются в грунт на глубину 0,5÷0,8 м. Между электродами включаются, поочередно, вольтметр с входным сопротивлением не менее 20 кОм/В шкалы и миллиамперметр с входным сопротивлением 1÷5 Ом. Измерения производятся через каждые 10–15 сек в течение 10–15 мин. На основании измерений рассчитываются средняя величина разности потенциалов и тока между электродами. Рассчитывается плотность тока на электродах (как отношение среднего значения тока между электродами к среднему значению площади, погруженной в грунт части каждого электрода).

Если измеряемая разность потенциалов изменяется по величине и знаку или только по величине, то это указывает на наличие в земле блуждающих токов.

4.3. Выявление естественных заземлителей и металлических коммуникаций в зоне, прилегающей к электроустановке

4.3.1. При выполнении ЗУ в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители. Максимальное использование естественных заземлителей позволяет существенно уменьшить расход металла и средств на выполнение ЗУ. Поэтому на стадии предпроектных изысканий необходимо особое внимание уделять обследованию естественных заземлителей с целью получения в полном объеме информации об их электрических и конструктивных параметрах.

4.3.2. Выявлению и обследованию подлежат естественные заземлители, которые расположены от электроустановки на расстоянии не более 0,5 км. К таким естественным заземлителям прежде всего относятся: система "трос-опоры" существующей линии электропередачи, которая будет подключена к электроустановке; металлические трубопроводы; кабели; рельсовые пути; обсадные трубы разведочных и эксплуатационных скважин.

При обследовании естественных заземлителей измеряется их сопротивление растеканию. Если измерение сопротивления невозможно, определяются их основные геометрические размеры (длина, диаметр и др.), а для линии электропередачи уточняются измеренные энергосистемой значения сопротивления ЗУ первых двадцати опор на подходе к электроустановке.

Обследованию подлежит также заземляющая система объекта, к которому подходят кабельные линии, и объекта, от которого осуществляется водоснабжение электроустановки по трубопроводам. При этом в первую очередь производится измерение сопротивления сис-

темы заземления. Если измерение сопротивления невозможно, определяется суммарная площадь зданий и сооружений объекта.

Использование отдельных объектов в качестве естественных заземлителей должно быть согласовано с организацией, в ведении которой находится рассматриваемый объект.

4.3.3. На точность измерения электрических характеристик заземляющих устройств существенное влияние оказывают проложенные в земле протяженные металлические и другие проводящие коммуникации, которые находятся в зоне расположения проводов токовой и потенциальной цепей измерительной схемы. К таким объектам относятся: магистральные нефтепроводы и газопроводы, водопроводные системы, очистные сооружения, кабельные линии электропередачи и др.

Для учета влияния указанных объектов на результаты измерений электрических характеристик ЗУ при предпроектных изысканиях они должны быть выявлены и нанесены на ситуационный план проектируемой электроустановки. Выявлению подлежат только те объекты, которые удалены от электроустановки на расстояние не более трех наибольших диагоналей площадки электроустановки.

4.4. Определение коррозионных характеристик грунта

4.4.1. Для оценки коррозионной активности грунта следует использовать результаты изысканий, проведенных для других целей, или имеющиеся карты засоленности грунтов.

Отбор проб грунта для оценки коррозионного воздействия на элементы заземлителей производится в зонах сильной и очень сильной коррозии (Приложение 8).

4.4.2. Пробы грунта отбираются в местах выполнения основных и вспомогательных ВЗЗ.

Для оценки коррозионной активности грунта определяются следующие характеристики: удельное сопротивление грунта по данным

ВЗЗ; естественная влажность грунта W ; степень насыщения K_W ; концентрация грунтового раствора C . Для этих целей рекомендуется отбирать пробы грунта не нарушенной структуры.

Отбор проб грунта производится с возможной глубины заложения горизонтальных заземлителей. Специального отбора проб грунта для вертикальных заземлителей не требуется.

4.4.4. Если на площадку электроустановки предполагается завозить насыпной грунт, отбираются пробы насыпного грунта нарушенной структуры.

5. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

5.1. Задача расчета и конструирования

5.1.1. Главной целью расчета является выбор конструктивных параметров искусственного заземлителя, при которых ЗУ электроустановок удовлетворяет требованиям принятого нормирования, имеет необходимую долговечность и минимальные затраты на сооружение. К таким конструктивным параметрам относятся: габаритные размеры искусственного заземлителя; места прокладки продольных и поперечных горизонтальных заземлителей; длина, количество и места установки вертикальных заземлителей; сечение заземлителей и заземляющих проводников; глубина заложения горизонтальных заземлителей.

5.1.2. Кроме определения конструктивных параметров искусственного заземлителя в процессе расчета должна быть получена дополнительная информация, содержащая необходимые данные для выбора мероприятий по защите от выноса опасных потенциалов, защите оборудования электроустановок от грозовых перенапряжений и для осуществления эксплуатационного контроля ЗУ. К таким данным относятся:

I) Сезонный коэффициент сопротивления для приведения изме-

ренных значений сопротивления растеканию ЗУ к расчетным сезонным условиям, когда измерение производится не в расчетный сезон.

2) Эквивалентное удельное сопротивление земли для оценки соответствия измеренных значений сопротивления растеканию ЗУ его нормированным значениям в случае больших удельных сопротивлений земли (см. ПУЭ I-7-69).

3) Эквивалентное удельное сопротивление земли для выбора мероприятий по грозозащите оборудования электроустановок (см. ПУЭ 4-2-I36, 4-2-I37, 4-2-I39, 4-2-I44).

4) Допустимое расчетное сопротивление ЗУ, когда расчет производится с учетом возможности повышения минимального нормируемого сопротивления (см.ПУЭ I-7-69).

5) Распределение потенциалов за пределами электроустановки, необходимого для расчета протяженных естественных заземлителей и выноса по ним потенциалов.

Сезонный коэффициент сопротивления представляет собой отношение расчетных значений сопротивления растеканию ЗУ, полученных для сезонов наибольшего и наименьшего значений удельного сопротивления верхних слоев земли.

Эквивалентное удельное сопротивление земли для оценки соответствия измеренных значений сопротивления растеканию ЗУ его нормированным значениям определяется по расчетному сопротивлению искусственного заземлителя, полученному для сезона с наибольшим значением удельного сопротивления верхних слоев земли.

Эквивалентное удельное сопротивление земли для выбора грозозащитных мероприятий определяется по расчетному значению сопротивления искусственного заземлителя, соответствующего летнему сезону.

5.I.3. Результаты расчета приводятся на чертеже ЗУ и в соответствующем разделе пояснительной записки к проекту подстанции или станции.

5.1.4. Главной целью конструирования является разработка рабочих чертежей искусственного и выносного заземлителей на основе результатов расчета ЗУ и с учетом требований, предъявляемых к их конструктивному выполнению.

5.2. Основные положения расчета

5.2.1. На стадии расчета определяются основные параметры, необходимые для конструирования ЗУ, поэтому расчет является наиболее ответственным этапом процесса проектирования ЗУ. Принципиальное значение при этом приобретает точность расчета, так как от этого прежде всего зависит экономичность принимаемого решения по конструктивному выполнению ЗУ.

Точность расчета ЗУ зависит от двух основных факторов: точности исходной информации для расчета и точности методов расчета. Это обстоятельство должно учитываться при организации и проведении предпроектных изысканий и при выборе методов расчета ЗУ.

5.2.2. Наиболее важными параметрами исходной информации для расчета являются: параметры электрической структуры земли; расчетный ток для определения напряжения прикосновения и напряжения на ЗУ; входное сопротивление естественных заземлителей или необходимые для его определения данные.

При отсутствии информации о геоэлектрической структуре и расчетном токе расчет ЗУ носит чисто формальный характер и не должен выполняться. В этом случае при конструировании ЗУ выполняется только базовая конструкция с учетом того, что в случае необходимости электрические характеристики ЗУ будут доведены до нормы на стадии строительства и сдачи в эксплуатацию электроустановки. При отсутствии информации о естественных заземлителях расчет носит ориентировочный характер, что должно учитываться, когда по результатам расчета требуется существенное расширение искусственно-

го заземлителя или выполнения скважинных и выносных заземлителей. В этом случае, как и при отсутствии информации о геоэлектрической структуре и расчетном токе, выполняется только базовая конструкция.

5.2.3. Для повышения точности расчета ЗУ должны применяться методы расчета сложных заземлителей с учетом реального расположения их элементов. Характеристика рекомендуемых методов и программ расчета ЗУ электроустановок приведена в Приложении 2.

5.2.4. Расчет ЗУ выполняется с учетом перспективы развития станций и подстанций. Если на стадии проектирования станций и подстанций можно выделить периоды в их эксплуатации (пусковой период, полное развитие и промежуточные этапы), при которых расчетный ток замыкания на землю и время его воздействия, а также размеры искусственных заземлителей могут принимать различные значения, расчет ЗУ выполняется для каждого из таких периодов.

По результатам расчета должно быть принято решение по выполнению ЗУ для пускового периода и последующего развития подстанции и распредустройства станции.

5.2.5. Расчет ЗУ электроустановок включает два основных этапа: первый - подготовка исходных данных; второй - расчет искусственного и выносного заземлителей.

На стадии подготовки исходных данных решаются следующие частные задачи: приведение измеренных параметров электрической структуры земли к расчетным сезонным условиям; определение расчетного тока расчет естественных заземлителей; выбор расчетной модели искусственного и выносного заземлителей. При использовании методов расчета ЗУ, учитывающих распределенные параметры заземлителей, частная задача расчета естественных заземлителей может быть включена в этап расчета искусственного заземлителя.

5.3. Подготовка исходных данных

5.3.1. Расчетные параметры электрической структуры земли

5.3.1.1. Расчет производится для тех наиболее неблагоприятных сезонных условий, при которых электрические характеристики ЗУ принимают наибольшие значения в результате изменения удельного сопротивления верхних слоев земли.

Эти сезонные изменения учитываются выбором расчетного сезона, к которому должны быть приведены измеренные параметры геоэлектрической структуры. Приведение измеренных параметров геоэлектрической структуры к расчетным сезонным условиям производятся с помощью сезонного коэффициента удельного сопротивления земли и глубины сезонных изменений (см. Приложение 3).

5.3.1.2. Сезонный коэффициент устанавливает то максимальное изменение значения удельного сопротивления верхних слоев земли по отношению к его значению при измерении, которое в заданной климатической зоне может иметь место в течение года. Для районов территории СССР с глубиной промерзания грунтов больше 0,5 м к расчетному сезону относится период наибольшего промерзания верхних слоев земли (зимний период); для южных районов - период наибольшего просыхания верхних слоев земли (летний период).

5.3.1.3. При расчете напряжения прикосновения определение коэффициента, учитывающего падение напряжения на сопротивлении растеканию тока с ног человека, производится при наименьшем сопротивлении поверхностного слоя земли (см.Приложение 4). При этом расчет сопротивления растеканию стоп ног человека производится для сезона, соответствующему наименьшему значению удельного сопротивления верхних слоев земли.

5.3.2. Определение расчетного тока

5.3.2.1. При расчете напряжения на ЗУ электроустановки напряжением IIOкВ и выше в качестве расчетного тока принимается максимальное значение тока, стекающего с заземляющего устройства в землю, при коротком замыкании в сети.

Максимальное значение расчетного тока может иметь место как при замыкании на ОРУ высокого напряжения, так и при замыкании на отходящей линии. Если сумма токов всех линий, питающих короткое замыкание (приведенных к напряжению, на котором произошло к.з.), меньше половины тока к.з., то в качестве расчетного принимается режим замыкания на отходящей линии вблизи электроустановки и за расчетный ток принимается сумма токов нейтралей трансформаторов (этот режим характерен для мощных электрических станций). Если сумма токов всех линий, питающих короткое замыкание, больше половины тока к.з., то в качестве расчетного выбирается сумма токов линий, питающих к.з., приведенных к ступеням напряжений своих линий (этот режим характерен для распределительной подстанции). При расчете токов учитывается также наличие подсоединенной системы "трос-опоры".

При расчете напряжения на ЗУ электроустановок напряжением IIO/35-IO-6 кВ в качестве расчетного тока принимается ток короткого замыкания на подстанции за вычетом тока нейтрали трансформатора в случае ее заземления и тока, наведенного в тросе ВЛ в случае подсоединения его к ЗУ подстанции. Рекомендации по определению расчетного тока для данного класса электроустановок приведены в Приложении 5.

5.3.2.2. При расчете напряжения прикосновения на рабочих местах в электроустановках напряжением II0-750 кВ в качестве расчетного тока принимается ток короткого замыкания для данных рабочих мест. Если на станции и подстанции имеются распредустрой-

ства различных номинальных напряжений для каждого из них расчетный ток имеет свое значение. В случае, когда это позволяет используемый метод расчета, допускается при расчете напряжений прикосновения учитывать все токи, вводимые в ЗУ (ток в точке к.з., токи нейтралей, токи в подсоединенных грозозащитных тросах ВЛ).

При расчете напряжения прикосновения на остальной территории электроустановки в качестве расчетного тока принимается расчетный ток для определения напряжения на ЗУ (см.п.5.3.2.1).

5.3.2.3. При расчетах термической стойкости в качестве расчетного тока следует принимать ток однофазного короткого замыкания на электроустановке. Если на станции и подстанции имеются распредустройства различных номинальных напряжений, то для каждого из них рекомендуется определять свой расчетный ток.

5.3.2.4. Расчетный ток для электроустановок 3-35 кВ выбирается в соответствии с ПУЭ I-7-58.

5.3.3. Естественные заземлители

5.3.3.1. При проектировании ЗУ подстанций и распредустройств станций в качестве естественных заземлителей должны использоваться: система "трос-опоры"; кабели с металлической оболочкой или броней; трубопроводы; рельсовые пути; обсадные трубы разведочных и эксплуатационных скважин (см. ПУЭ I-7-70). При расчете ЗУ выносные заземлители используются как естественные.

В качестве исходной информации при расчете ЗУ используется входное сопротивление естественных заземлителей. При использовании методов расчета ЗУ, учитывающих распределенные параметры заземлителей, указанные естественные заземлители могут включаться в число элементов расчетной модели искусственного заземлителя. Тогда на стадии подготовки исходных данных определения их входного сопротивления не требуется.

5.3.3.2. Входное сопротивление существующих естественных заземлителей измеряется на стадии предпроектных изысканий. Если измерение не представляется возможным выполнить, входное сопротивление определяется расчетным путем. Расчетным путем определяется также и входное сопротивление проектируемых коммуникаций, которые могут быть использованы в качестве естественных заземлителей, и входное сопротивление выносных заземлителей.

5.3.3.3. Естественные и выносной заземлители используются для снижения сопротивления ЗУ, поэтому их входное сопротивление определяется по расчетному сезону, соответствующему наибольшему удельному сопротивлению верхних слоев земли (см.п.5.3.I).

5.3.3.4. Рекомендации по расчету естественных заземлителей приведены в Приложении 6.

5.3.4. Расчетные модели искусственного и выносного заземлителей

5.3.4.I. Реальный заземлитель заменяется расчетной моделью в тех случаях, когда ограничена возможность программы расчета ЗУ по количеству используемых элементов заземлителя или когда требуется уменьшить время расчета. При использовании рекомендуемых методов и программ расчета ЗУ оба указанных фактора имеют важное значение, поэтому выбор расчетной модели искусственного и выносного заземлителя рекомендуется производить с одновременным учетом обоих факторов.

5.3.4.2. При выборе расчетной модели заземлителя должны учитываться два основных критерия: первый – число элементов расчетной модели должно быть наименьшим; второй – число конгруэнтных пар элементов расчетной модели должно быть наибольшим.

Под конгруэнтными парами элементов расчетной модели понимаются пары элементов, взаимное расположение и размеры которых одинаковы или приблизительно одинаковы.

5.3.4.3. В расчетной модели по возможности должны быть сохранены элементы заземлителя, которые оказывают определяющее влияние на величину электрических характеристик заземлителя.

При расчете сопротивления растеканию ЗУ и напряжения на ЗУ такими элементами искусственного заземлителя являются:

1) заземлители, проложенные по периметру базовой конструкции;

2) элементы внешней части искусственного заземлителя;

3) заземлители, проложенные в местах расположения заземляемых нейтралей силовых трансформаторов и короткозамыкателей;

4) вертикальные элементы, расположенные по периметру искусственного заземлителя;

5) другие горизонтальные и вертикальные элементы базовой конструкции, включая железобетонные фундаменты, в количестве, определяемом возможностями расчета. Эти элементы выбираются из базовой конструкции таким образом, чтобы они равномерно размещались по ее площади.

При расчете напряжения прикосновения, кроме указанных элементов должны сохраняться элементы базовой конструкции, расположенные вблизи мест расчета напряжения прикосновения.

5.3.4.4. При расчете сопротивления ЗУ и напряжения на ЗУ расчетная модель может выбираться таким образом, чтобы по площади она была равна реальному заземлителю. Это условие допускает возможность в обоснованных случаях выбирать расчетную модель в виде симметричного заземлителя, что позволяет увеличить число конгруэнтных пар элементов расчетной модели и тем самым сократить число элементов, используемых при расчете. Рекомендуется системой симметричных элементов представлять в расчете внешнюю часть искусственного заземлителя при его расширении за пределы базовой конструкции, а также выносной заземлитель.

Рекомендации по выбору площади расчетной модели приведены в Приложении 7.

5.3.4.5. Вертикальные элементы расчетной модели размещаются вдоль его периметра на равном друг от друга расстоянии, а также в местах заземления молниеотводов, разрядников и в местах установки железобетонных фундаментов. Диаметр вертикальных элементов, соответствующих железобетонным стойкам под оборудование, принимается равным диаметру арматурного каркаса.

Рекомендации по выбору расстояний между вертикальными элементами расчетной модели, устанавливаемых по ее периметру, приведены в Приложении 7.

Для длины вертикальных элементов, устанавливаемых по периметру расчетной модели, принимаются три характерные градации: минимальная длина, максимальная длина и эффективная длина. Минимальная длина превышает мощность слоя сезонных изменений на I м. Максимальная длина принимается с учетом возможности установки вертикальных заземлителей при сооружении ЗУ. Эффективная длина выбирается с учетом того, чтобы вертикальный заземлитель пересекал или входил в слои с низким удельным сопротивлением. Характерные градации длин используются для упрощения решения оптимизационной задачи расчета.

5.3.4.6. Сечение элементов расчетной модели искусственного и выносного заземлителей выбирается, исходя из требований, предъявляемых к их механической и коррозионной стойкости, а для модели искусственного заземлителя электроустановок напряжением 110-750 кВ кроме того, и требований, предъявляемых к термической стойкости.

Рекомендации по выбору сечения элементов расчетной модели и заземляющих проводников приведены в Приложении 8.

5.3.4.7. На расчетной модели искусственного заземлителя намечаются контрольные точки в I м от элементов расчетной модели

в местах прикосновения. Количество мест прикосновения определяется возможностью расчета. При этом обязательно должны быть указаны места прикосновения у присоединенной к ЗУ ограде (на углах и у входа), у силовых трансформаторов, реакторов, короткозамыкателей, а также у другого оборудования, расположенного на периферии базовой конструкции.

5.4. Расчет искусственного и выносного заземлителя

5.4.1. Расчету искусственного заземлителя предшествует этап подготовки исходных данных, основные положения которого приведены в п.5.3. Перед началом расчета предполагается, что все естественные заземлители присоединены к искусственному заземлителю.

Расчет искусственного заземлителя электроустановок напряжением 110-750 кВ рекомендуется начинать с выбора его конструкции по критерию допустимого напряжения на ЗУ. Полученные при этом результаты расчета затем используются при расчете искусственного заземлителя по критерию допустимого напряжения прикосновения или сопротивлению растеканию.

5.4.2. Расчет искусственного заземлителя по критерию допустимого напряжения на ЗУ включает три характерных этапа:

- расчет при размещении искусственного заземлителя в пределах базовой конструкции;
- расчет при размещении искусственного заземлителя в пределах ограды;
- расчет при расширении искусственного заземлителя за пределы ограды.

На каждом этапе выполняются опорные варианты расчета, по которым определяется возможность получения требуемых параметров ЗУ в данном варианте, и дополнительные варианты расчета, по которым выбирается оптимальная конструкция искусственного заземлителя.

Решение задачи расчета заканчивается на том этапе, опорном варианте или дополнительном варианте, при котором напряжение на ЗУ достигает значения, наиболее близкого (снизу) к нормируемому.

Если на первом этапе расчета напряжение на ЗУ более чем в 1,5 раза выше нормируемого значения, то второй этап может не выполняться.

5.4.2.1. Первый этап. На первом этапе рекомендуется последовательно выполнять следующие опорные варианты расчета:

- расчет базовой конструкции искусственного заземлителя;
- расчет базовой конструкции с вертикальными заземлителями эффективной длины;
- расчет базовой конструкции с вертикальными заземлителями максимальной длины.

Если решение имеется при эффективной длине вертикальных заземлителей, то выбирается их оптимальное количество путем выполнения расчета дополнительных вариантов при уменьшении числа вертикальных элементов расчетной модели.

Если решение имеется при максимальной длине вертикальных заземлителей, то определяется оптимальная расчетная длина заземлителей путем выполнения дополнительных вариантов расчета при их меньших длинах, но не меньших, чем минимальная.

Дополнительные варианты расчета по определению оптимального количества вертикальных заземлителей и их оптимальной расчетной длины выполняются только в тех случаях, когда решение получается в сторону большого занижения расчетного значения напряжения на ЗУ по сравнению с нормируемой величиной.

5.4.2.2. Второй этап. На втором этапе рекомендуется последовательно выполнять следующие опорные варианты:

- расчет при максимальном расширении искусственного заземлителя в пределах ограды;

- расчет при максимальном расширении искусственного заземлителя в пределах ограды с вертикальными заземлителями эффективной длины;

- расчет при максимальном расширении искусственного заземлителя в пределах ограды с вертикальными заземлителями максимальной длины.

При максимальном расширении искусственного заземлителя расстояние его от ограды должно быть не менее 2 м. Ограничение расстояния между заземлителем и оградой вводится для возможного соблюдения требований ПУЭ к прокладке горизонтальных заземлителей в случае, когда ограда не присоединяется к ЗУ (см.ПУЭ I-7-54).

Если решение имеется при эффективной или максимальной длине вертикальных заземлителей, то аналогично первому этапу производится выбор оптимального количества и оптимальной расчетной длины заземлителей путем выполнения дополнительных вариантов расчета.

5.4.2.3. Третий этап. На третьем этапе рекомендуется последовательно выполнять следующие опорные варианты:

- расчет при минимальном расширении искусственного заземлителя за пределы ограды;

- расчет при минимальном расширении искусственного заземлителя за пределы ограды с вертикальными заземлителями эффективной длины;

- расчет при минимальном расширении искусственного заземлителя за пределы ограды с вертикальными заземлителями максимальной длины;

- расчет при максимальном расширении искусственного заземлителя за пределы ограды с эффективной длиной вертикальных заземлителей.

При минимальном расширении искусственного заземлителя за пределы ограды расстояние его до ограды должно быть равным I м. Та-

кое расстояние выбирается с целью выравнивания потенциалов у ограды, когда на данном этапе расчета может быть получено решение поставленной задачи (см. также требование ПУЭ 1-7-54).

Если решение имеется при минимальном расширении искусственного заземлителя с эффективной или максимальной длиной вертикальных заземлителей, то аналогично первому этапу производится выбор оптимального количества и оптимальной расчетной длины заземлителей путем выполнения дополнительных вариантов расчета.

Если решение имеется при максимальном расширении искусственного заземлителя с эффективной длиной вертикальных заземлителей, то выбираются оптимальные размеры расширенной части искусственного заземлителя путем выполнения дополнительных вариантов расчета при эффективной длине вертикальных заземлителей или без вертикальных заземлителей. В случае отсутствия решения при максимальном расширении искусственного заземлителя с эффективной длиной вертикальных заземлителей производится расчет при их максимальной длине.

5.4.3. При невозможности получения решения на третьем этапе производится расчет с использованием скважинного или выносного заземлителя. В этом случае скважинный заземлитель включается в расчетную модель искусственного заземлителя, а выносной заземлитель рассматривается как естественный, а сам процесс расчета искусственного заземлителя выполняется в том порядке, который изложен в п.5.4.2.

Расчет выносного заземлителя выполняется по заданной его конструкции максимальных размеров при эффективной длине вертикальных элементов.

Выбор варианта скважинного или выносного заземлителя производится с учетом технической возможности и целесообразности их выполнения и стоимости каждого из вариантов.

5.4.4. После завершения расчета искусственного заземлителя электроустановок напряжением 110-750 кВ по критерию допустимого напряжения на ЗУ выполняется расчет по критерию напряжения прикосновения. При этом в качестве исходной используется конструкция искусственного заземлителя, полученная в результате его расчета по критерию допустимого напряжения на ЗУ.

При расчете искусственного заземлителя по напряжению прикосновения последовательно выполняются следующие варианты расчета:

- расчет исходной конструкции искусственного заземлителя;
- расчет исходной конструкции искусственного заземлителя с использованием специальных мероприятий по снижению напряжения прикосновения (см.п.3.2.6);

5.4.5. Расчет ЗУ электроустановок напряжением 110-750 кВ по норме на допустимое сопротивление растеканию производится в последовательности, аналогичной расчету по критерию допустимого напряжения на ЗУ (см.п.5.4.2, 5.4.3).

Для подстанций напряжением 3-35 кВ при наличии информации о геоэлектрической структуре, полученной методом ВЭЗ, рекомендуется последовательно выполнять только первый и при необходимости третий этапы расчета. При информации, полученной по данным бурения, рекомендуется выполнять только первый вариант расчета. В случае отсутствия решения необходимо предусматривать возможность доведения до нормы электрических характеристик ЗУ на стадии строительства или сдачи в эксплуатацию подстанции.

5.4.6. После выбора конструкции искусственного заземлителя определяются сезонный коэффициент сопротивления и эквивалентное удельное сопротивление земли (см.п.5.1.2).

5.5. Конструирование заземляющих устройств подстанций и распредустройств станций

5.5.1. Конструирование ЗУ подстанций и распредустройств станций сводится к конструированию искусственного и выносного заземлителей, которое выполняется на основании рекомендаций по их устройству (см.главу 3) и корректируется по результатам расчета (см.главу 5).

В качестве расчетных данных для конструирования заземлителей используются: их габаритные размеры; расстояния между продольными и поперечными горизонтальными заземлителями; длина, количество и места установки вертикальных заземлителей; сечение заземлителей и заземляющих проводников; глубина заложения горизонтальных заземлителей.

5.5.2. Конфигурация искусственного заземлителя определяется требуемой площадью под заземлитель, конфигурацией базовой конструкции и конфигурацией ограды электроустановки.

Конфигурация выносного заземлителя определяется свободной территорией в зоне его сооружения.

5.5.3. На чертеже приводятся обобщенные данные по расходу материалов на сооружение искусственного и выносного заземлителей. К таким данным относятся: длина, сечение, количество и масса горизонтальных заземлителей с указанием их применения (например, для присоединения аппаратов); длина, диаметр, количество и масса вертикальных заземлителей с указанием их назначения (например, для заземления ограды подстанции).

5.5.4. Кроме конструкции искусственного и выносного заземлителей, чертеж должен содержать необходимую информацию для осуществления эксплуатационного контроля ЗУ, а также выбора мероприятий по доведению до нормы электрических характеристик.

Для этого при проектировании ЗУ по напряжению прикосновения

на чертеже указываются:

1) Допустимое напряжение на ЗУ;

2) Расчетный ток для определения напряжения на ЗУ;

3) Сезонный коэффициент сопротивления ЗУ;

4) Допустимые напряжения прикосновения на рабочих местах и на остальной территории;

5) Расчетные токи для рабочих мест и остальной территории;

6) Данные ВЭЗ;

7) Эквивалентное удельное сопротивление земли;

8) План подземных металлических коммуникаций в зоне расположения подстанций (изображается на ситуационном плане подстанции).

При проектировании ЗУ по сопротивлению растеканию на чертеже указываются:

1) Допустимое напряжение на ЗУ (только для электроустановок напряжением 110-750 кВ);

2) Допустимое сопротивление растеканию ЗУ;

3) Расчетный ток для определения напряжения на ЗУ;

4) Сезонный коэффициент сопротивления ЗУ;

5) Данные ВЭЗ;

6) Эквивалентное удельное сопротивление земли;

7) План подземных металлических коммуникаций в зоне расположения подстанций.

5.5.5. На чертеже указываются наиболее важные особенности монтажа ЗУ.

5.5.6. Примеры конструктивного выполнения искусственного заземлителя и оформления чертежа ЗУ подстанции приведены в Приложении 10.

ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИКОСНОВЕНИЯ

Напряжения прикосновения для подстанций и распредустройств станций напряжением 110-750 кВ, выполняемых по норме на напряжение прикосновения, в любое время года при однофазном коротком замыкании не должны превышать значений, приведенных в таблице III.I

Таблица III.I.

Допустимые значения напряжений прикосновения

Продолжительность воздействия, $t_в$, с	до 0,I	0,2	0,5	0,7	I,0	более I и до 5
Допустимое напряжение прикосновения, $U_{пр.доп}$, В	500	400	200	I30	I00	65

Для промежуточных значений $t_в$ в интервале от 0,I до I секунды $U_{пр.доп}$ определяется по рис.III.I.

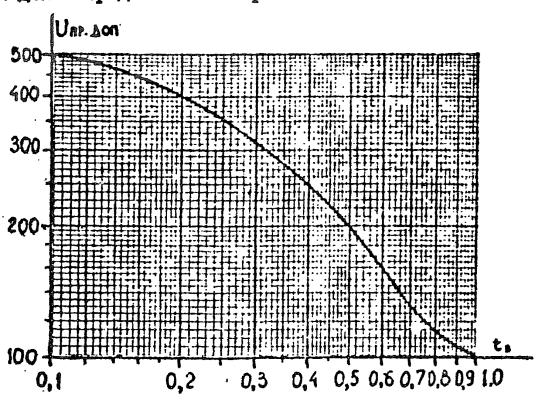


Рис.III.I. Зависимость $U_{пр.доп}$ от $t_в$

Продолжительность воздействия принимается равной сумме времени действия защиты и полного времени отключения выключателя. При этом при определении длительности воздействия для рабочих мест следует принимать время действия резервной защиты, а для остальных мест возможного прикосновения - основной защиты.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

МЕТОДЫ И ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

П2.1. Расчет ЗУ станций и подстанций выполняется по методам расчета сложных заземлителей в многослойной земле. Наиболее полно удовлетворяют требованиям практики проектирования ЗУ методы расчета, разработанные в Белорусском отделении ВГПИ и НИИ "Энергосетьпроект" (метод БО ЭСП) и в СибНИИЭ (метод СибНИИЭ). Метод СибНИИЭ основан на методе наведенных и узловых потенциалов и позволяет выполнять точный расчет как эквипотенциальных, так и неэквипотенциальных заземлителей. Метод БО ЭСП основан на методе наведенных потенциалов и позволяет производить точный расчет эквипотенциальных заземлителей и приближенный расчет неэквипотенциальных заземлителей.

П2.2. Метод БО ЭСП реализован в программах:

- "Программа выбора оптимальной конструкции заземляющих устройств станций и подстанций", инв.№12737тм-ТI (Программа-I БО ЭСП);
- "Программа расчета заземляющих устройств электроустановок", инв.№ 12737тм-Т2 (Программа-2 БО ЭСП).

Метод СибНИИЭ реализован в программах:

- "Программа расчета сложных заземляющих устройств" (Программа СибНИИЭ);
- "Программа расчета заземляющих устройств для подстанций типа КТПБ по нормам на напряжение прикосновения", разработанная в Сибирском отделении ВГПИ и НИИ "Сельэнергопроект" (Программа RCSQ-1).

П2.3. Программа-I БО ЭСП. Расчет по программе ведется в автоматическом режиме при заданной базовой конструкции искусственного заземлителя или ее расчетной модели, а также при заданных граничных условиях с учетом максимальной длины вертикальных заем-

лителей, максимальной площади расширения искусственного заземлителя и нормируемых величин электрических характеристик ЗУ. При расчете могут быть учтены железобетонные стойки под оборудование, которые рассматриваются как элементы базовой конструкции, а также естественные заземлители, входное сопротивление которых задается в исходных данных. Предусмотрена возможность прокладки горизонтальных элементов заземлителя на двух уровнях, что позволяет при расчете одновременно учитывать как базовую конструкцию, так и специальные мероприятия по снижению напряжения прикосновения. В процессе расчета решается задача выбора оптимальных конструктивных параметров искусственного заземлителя по критерию минимума расхода металла. Сервис программы включает: выдачу расчетных данных в виде, удобном для проектирования ЗУ; выдачу рекомендаций по доведению ЗУ до нормы в случае, когда при заданных исходных данных решение отсутствует; специальные рекомендации по регулированию режима работы программы. Программа написана на языке "ФОРТРАН-4" и реализована на ЭВМ ЕС. Максимальное число элементов заземлителя для широко используемых ЭВМ составляет от 200 до 400.

Процесс расчета по программе выполняется в порядке, установленном настоящими руководящими указаниями. Поэтому программа рекомендуется в качестве основной для расчета ЗУ подстанций напряжением 35-750 кВ, а также ЗУ станций, для которых входное сопротивление естественных заземлителей может быть предварительно определено.

П2.4. Программа-2 БО ЭСП. Программа позволяет выполнять поварiантный расчет ЗУ по заданной конструкции искусственного заземлителя или его расчетной модели. При расчете могут быть учтены железобетонные стойки под оборудование, которые рассматриваются как элементы искусственного заземлителя, а также естественные заземлители, входное сопротивление которых задается в исходных дан-

ных. Программа позволяет также выполнять расчет ЗУ опор линий электропередач по заданной его конструкции или ее расчетной модели. При этом в качестве вертикальных элементов могут быть использованы фундаменты и подземная часть стоек опор. Расчетными величинами являются сопротивление ЗУ на промышленной частоте и импульсное сопротивление ЗУ. Сервис программы включает: выдачу расчетных данных в виде, удобном для проектирования ЗУ; специальные рекомендации по регулированию режима работы программы. Программа написана на языке "ФОРТРАН-4" и реализована на ЭВМ ЕС. Максимальное число элементов заземлителя для широко используемых ЭВМ составляет от 200 до 400.

Программу рекомендуется использовать для расчета ЗУ подстанций 3-20 кВ и опор ВЛ.

П2.5. Программа СибНИИЭ. Программа позволяет выполнять повариантный расчет ЗУ по заданной конструкции или его расчетной модели. Программа позволяет в качестве элементов ЗУ использовать железобетонные фундаменты под оборудование; изолированные оболочки кабелей с броней и без нее; изолированные сплошные проводники, соединяющие различные точки ЗУ; системы "трос-опоры"; трубопроводы, проложенные в земле или на опорах; неизолированные оболочки кабелей. Расчет может производиться и по заданным входным сопротивлениям естественных заземлителей. Программа позволяет решать самостоятельную задачу расчета входных сопротивлений естественных заземлителей. Кроме других прочих расчетных данных, в результате расчета определяются: продольные токи в оболочках кабелей, горизонтальных элементах, изолированных проводниках; значения входных сопротивлений в местах ввода тока; входное сопротивление естественных заземлителей; распределение потенциалов по узлам ЗУ; значения потенциалов элементов. Сервис программы включает: форму предоставления ввода информации, обеспечивающую минимальные затра-

ты на ее подготовку; анализ вводимой информации для исключения ошибочно введенных данных; справочные данные (параметры материалов и т.п.); анализ свойств симметрии, позволяющий существенно уменьшить время счета; выдачу расчетных данных в удобном для проектирования виде; специальные рекомендации по регулированию режима работы программы. Программа написана на языке "ФОРТРАН-4". Имеется опыт эксплуатации программы на БЭСМ-6 и ЕС ЭВМ минимальной конфигурации. Повышает сервис работы с программой использования диалоговых систем (КРАБ на БЭСМ-3), (ПРИМУС, ДУВЗ на ЕС ЭВМ) Программа может быть настроена на больший или меньший объем элементов ЗУ. Поставляемый вариант программы учитывает до 100 элементов искусственного заземлителя и до 30 естественных заземлителей. Для расчета ЗУ с 200 и 400 элементами искусственного заземлителя и 60 и 120 естественных заземлителей соответственно требуется 300 К и 2 М оперативной памяти ЭВМ.

Программу рекомендуется использовать для расчета ЗУ крупных энергетических объектов, а также ЗУ, характеризующихся сложной сетью естественных заземлителей.

Щ.6. Программа RCSQ-I. Программа позволяет выполнять расчет ЗУ подстанций типа КТПБ. Расчет выполняется применительно к типовым конструкциям ЗУ КТПБ. Программа позволяет оценить возможность применения той или иной конструкции на основе заданных исходных данных. Расчет производится с одновременной оптимизацией вариантов ЗУ с применением подсыпки за территории подстанции или без подсыпки. Сервис программы включает выдачу расчетных данных в виде, удобном при проектировании ЗУ. Программа написана на языке "ФОРТРАН-4" для ЭВМ ЕС-1022.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИВЕДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛИ К РАСЧЕТНЫМ СЕЗОННЫМ УСЛОВИЯМ

П3.1. В случаях, когда измерения параметров электрической структуры земли производились не в расчетный сезон, полученные в результате усреднения основных и вспомогательных ВЭЗ данные приводятся к расчетным сезонным условиям с помощью сезонного коэффициента удельного сопротивления земли K_C и глубины сезонных изменений h_C.

Коэффициент K_C и глубина h_C зависят от климатической зоны, в которой расположена проектируемая электроустановка. Климатические зоны соответствуют климатическим районам и подрайонам по СНиП 2.01.01-82 (Строительная климатология и геофизика). Для районов, имеющих за период зимы отрицательные температуры, в качестве сезонных изменений принимается нормативная глубина сезонного промерзания грунтов, которая определяется по СНиП 2.02.01-83 (Основания зданий и сооружений) или справочнику по климату СССР. Для всех других районов глубина сезонных изменений принимается равной 0,5 м.

Значения K_C и h_C могут быть получены путем специальных исследований, выполняемых в зоне расположения станций и подстанций. Для этого можно использовать результаты ВЭЗ, выполненные в период наименьших и наибольших значений удельного сопротивления верхних слоев земли. Тогда значение коэффициента можно определить по максимальной и минимальной величине удельного сопротивления первого слоя по формуле

$$K_C = \frac{\rho_{макс}}{\rho_{мин}}, \qquad (П3.4)$$

а глубину h_C установить путем сравнения мощности верхних слоев земли.

При отсутствии необходимых сведений K_C может выбираться по таблице П3.1.

Таблица П3.I

Значения коэффициента K_c

Климатическая зона	Влажностное состояние грунта		
	Переувлажненный	влажный	маловлажный
	K_c	K_c	K_c
I	I0,0	7,5	3,8
2	6,5	4,0	3,6
3	3,6	2,5	2,8
4	I,6	I,8	2,4

П3.2. Приведение измеренных параметров электрической структуры земли к расчетным сезонным условиям производится по выражениям, приведенным на рис.П3.I, где $\rho_1, \rho_2, \ldots$, $h_1, h_2, \ldots$ - удельные сопротивления и мощности слоев земли; φ_c - расчетный сезонный коэффициент удельного сопротивления земли, зависящий от периода, в который выполнялись измерения, и сезона для которого производится расчет ЗУ электроустановки.

Значение коэффициента φ_c принимается равным:

- если измерения параметров электрической структуры земли производились в период, соответствующий наименьшим значениям удельного сопротивления верхних слоев земли (см.п.5.3.I), а расчетный сезон соответствует их наибольшим значениям (см.п.5.3.I), то

$$\varphi_c = K_c ; \qquad (П3.2)$$

- если измерения параметров электрической структуры земли производились в расчетный сезон, то

$$\varphi_c = 1 ; \qquad (П3.3)$$

если измерения параметров электрической структуры земли производились в период, соответствующий наибольшим значениям удельного сопротивления верхних слоев земли, а расчетный сезон соответствует их наименьшим значениям, то

$$\varphi_c = \frac{1}{K_c} . \qquad (П3.4)$$

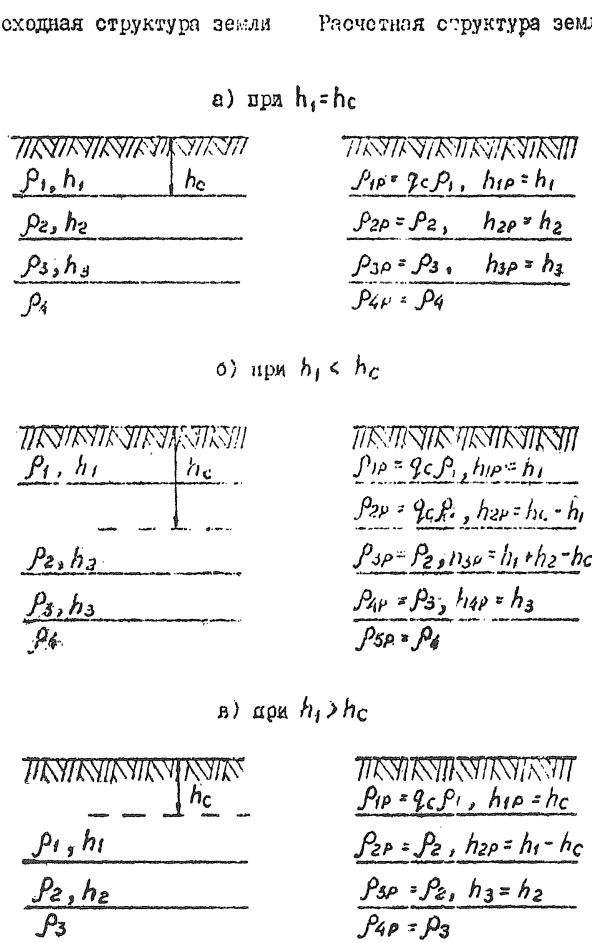


Рис.П3.1. Приведение измеренных параметров электрической структуры земли к расчетным сезонным условиям

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА, УЧИТЫВАЮЩЕГО ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИИ РАСТЕКАНИЮ ТОКА С НОГ ЧЕЛОВЕКА

П4.1. Коэффициент, учитывающий падение напряжения на сопротивлении растеканию тока с ног человека β, в общем случае зависит от сопротивления тела человека, принимаемого равным 1000 Ом, сопротивлении растеканию стоп ног человека $R_{ст}$ (Ом), толщины $h_п$ (м) и удельного сопротивления $\rho_п$ (Ом.м) поверхностного слоя земли и определяется по выражению

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 h_п \cdot \rho_п + R_{ст}} . \qquad (П4.1)$$

Сопротивление $R_{ст}$ принимается равным сопротивлению растеканию расположенной на поверхности земли пластины размерами 0,25х 0,25 м и определяется по программам расчета ЭВМ при наименьшем удельном сопротивлении верхних слоев земли. Толщина поверхностного слоя принимается равной 0,1-0,2 м. При неизвестном удельном сопротивлении $\rho_п$ его значения принимаются по таблице П4.1.

Таблица П4.1

Значения удельного сопротивления поверхностного слоя земли

Грунт на территории подстанции или распредустройства станции	$\rho_п$ (Ом.м)
Травяной покров на глинистом грунте, глины, чернозем, супеси, суглинки	250
Бетон, песок, песчано-гравийная смесь	2000
Щебень, метлахская плитка	15000
Асфальт	100000

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ВЫБОР РАСЧЕТНОГО ТОКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 110/35-10-6 кВ

П5.1. В общем случае расчетный ток при проектировании ЗУ станций и подстанций равен току однофазного короткого замыкания $I_к$ за вычетом тока I_N, возвращающегося в нейтраль трансформатора, и тока $I_т$, индуктированного в тросах (тросе), в случае присоединения их к ЗУ.

Ток $I_т$ определяется по выражению

$$I_т = \sum_{i=1}^{n} 3 I_{0i} \frac{Z_{пт_i}}{Z_{т_i}}, \quad А, \qquad (П5.1)$$

где n – число отходящих от электроустановки ВЛ; I_{0i} – ток нулевой последовательности i-й линии, А; $Z_{т_i}$ – собственное сопротивление троса (тросов) i-й линии, Ом; $Z_{пт_i}$ – взаимное сопротивление проводов и троса (тросов) i-й линии, Ом.

С учетом (П5.1) расчетный ток ЗУ равен:

– в общем случае

$$I_{зу} = I_к - I_N - \sum_{i=1}^{n} 3 I_{0i} \frac{Z_{пт_i}}{Z_{т_i}}, \quad А; \qquad (П5.2)$$

– при одной отходящей линии

$$I_{зу} = I_к \left(1 - \frac{Z_{пт_i}}{Z_т}\right) - I_N, \quad А. \qquad (П5.3)$$

Сопротивления $Z_т$ и $Z_{пт}$ определяются по выражениям:

$$Z_т = r_т + 0{,}05 + j\,0{,}063 \ln \frac{93\sqrt{\rho_п}}{R_т}, \quad Ом/км \text{ (один трос)} \qquad (П5.4)$$

$$Z_т = \frac{r_т}{2} + 0{,}05 + j\,0{,}063 \ln \frac{93\sqrt{\rho_п}}{\sqrt{R_т \cdot D_т}}, \quad Ом/км \text{ (два троса)} \qquad (П5.5)$$

$$Z_{пт} = 0{,}05 + j\,0{,}063 \ln \frac{93\sqrt{\rho_п}}{D_{пт}}, \quad Ом/км, \qquad (П5.6)$$

где $r_т$ – удельное сопротивление троса, Ом/км; $\rho_п$ – удельное сопротивление подстилающего слоя электрической структуры земли, Ом.м; $R_т$ – радиус троса, м; $D_т$ – расстояние между тросами, м; $D_{пт}$ – среднегеометрическое расстояние между тросом (тросами) и фазными проводами, м.

Расстояние $D_{пт}$ равно

$$D_{пт} = \sqrt[m]{D_{1т} \cdot D_{2т} \cdot D_{3т} \cdot \ldots D_{mт}}\ , \ м, \qquad (П5.7)$$

где $D_{1т}$, $D_{2т}$,..., $D_{mт}$ – все возможные расстояния от каждой фазы до троса (тросов), м; m – число фаз + число тросов.

Приближенно в сторону завышения расчетный ток может быть определен по выражениям:

– в общем случае

$$I_{зу} = I_к - I_N - \sum_{i=1}^{n} I_{0i}\ , \ А\ ; \qquad (П5.8)$$

– при одной отходящей линии

$$I_{зу} = 0{,}67\, I_к - I_N\ , \ А\ . \qquad (П5.9)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ВЫНОСНЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ И ВЫНОСА ПОТЕНЦИАЛОВ С ТЕРРИТОРИИ ПОДСТАНЦИЙ И РАСПРЕДУСТРОЙСТВ СТАНЦИЙ

П6.I. Расчет используемых при проектировании ЗУ станций и подстанций естественных заземлителей (см.п.5.3.3.) и выноса потенциалов по ним производится по методам расчета протяженных заземлителей с распределенными параметрами. Практическая реализация таких методов осуществлена в "Программе расчета сложных заземляющих устройств" СибНИИЭ (см.Приложение 2) и в "Программе расчета естественных заземлителей и выноса потенциалов с территории электроустановок" (инв.№ 12738) БО ЭСП.

Программа БО ЭСП позволяет выполнять расчет входных сопротивлений и токов кабелей, кабелей связи и телемеханики, стальных трубопроводов, протяженных заземлителей, а также выноса по ним потенциалов. Язык программы ФОРТРАН-4 , требуемая память – 180 К.

П6.2. Входное сопротивление системы "трос-опоры" определяется по выражению

$$Z_{TO} = \sqrt{R_{on} \cdot Z_T \cdot \ell_T} \ , \ Ом , \qquad (П6.1)$$

где R_{on} сопротивление заземляющего устройства одной опоры, Ом (определяется по данным проекта ВЛ, например, 10,15,20 Ом); Z_T - погонное сопротивление троса (тросов), $\frac{Ом}{м}$ (определяется по таблице П6.1); ℓ_T – длина тросового пролета, м.

таблица П6.1

Погонное сопротивление тросов

Сечение троса ($мм^2$)	35	50	70	120	150	185	300	400
Стальные тросы Z_T (Ом/км)	5,0	3,0	2,0	-	-	-	-	-
Сталеалюминиевые тросы Z_T (Ом/км)	-	-	0,8	0,78	0,77	0,75	0,73	0,72

П6.3. Расчет выносного заземлителя включает два этапа: расчет сопротивления растеканию локального заземлителя и расчет входного сопротивления.

Расчет сопротивления локального заземлителя выполняется по методам и программам, указанным в Приложении 2. Расчет входного сопротивления определяется по выражениям:

– при соединении выносного заземлителя с ЗУ горизонтальными заземлителями

$$Z_{BX} = \frac{R_0 \cdot \rho}{\rho + 0{,}4 \ell_T R_0} \ , \ Ом ; \qquad (П6.2)$$

– при соединении выносного заземлителя с ЗУ воздушными или кабельными линиями

$$Z_{вх} = R_0 + Z_л l_л \text{ , Ом ,} \qquad (П6.3)$$

где R_0 – сопротивление выносного заземлителя, Ом; $l_г, l_л$ – длина горизонтального заземлителя и воздушной или кабельной линии, м; $Z_л$ – погонное сопротивление воздушной или кабельной линии, $\frac{Ом}{м}$ (определяется по таблицам П6.2, П6.3); ρ – удельное сопротивление земли, Ом.м (приближенно может быть принято удельное сопротивление подстилающего слоя электрической структуры земли в зоне сооружения выносного заземлителя).

Таблица П6.2

Погонное сопротивление воздушной линии

Марка проводов		А-35	А-50	А-70	А-90	А-120
$Z_л$ (Ом/м)	одноцепная линия	0,00093	0,0007	0,0006	0,00047	0,00042
	двухцепная линия	0,00057	0,00046	0,0004	0,00037	0,00035
	трехцепная линия	0,00047	0,00041	0,00038	0,00035	0,00034

Таблица П6.3

Погонное сопротивление кабельной линии $Z_к$ (Ом/м)

Сечение жилы ($мм^2$)	Одножильные кабели		Трехжильные кабели	
	с медными жилами	с алюминиевыми жилами	с медными жилами	с алюминиевыми жилами
10	0,00184	0,0031	0,00061	0,001
16	0,00115	0,00194	0,00038	0,0007
25	0,00074	0,00124	0,00024	0,0004
35	0,00052	0,00089	0,00017	0,0003
50	0,00037	0,00062	0,00012	0,0002
70	0,00026	0,00044	0,00008	0,00014

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОГО И ВЫНОСНОГО ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

П7.1. При выходе искусственного заземлителя за пределы ограды для приближенного определения площади его расчетной модели выполняются два опорных варианта расчета: вариант при максимальной площади в пределах ограды (площадь S_0, сопротивление R_0), вариант при площади $S_1 \geq (1{,}5 \div 2)\sqrt{S_0}$ (сопротивление R_1).

Тогда сторона расчетной модели искусственного заземлителя определяется по выражению

$$\sqrt{S} = \sqrt{S_0}\left(\frac{R_0}{R}\right)^{B}, \text{ м}, \qquad (П7.1)$$

где $B = \ln\sqrt{\frac{S_1}{S_0}} / \ln\frac{R_0}{R_1}$; $R = \frac{R_e \cdot R_{доп}}{R_e - R_{доп}}$, Ом;

R_e – сопротивление естественных заземлителей, Ом; $R_{доп}$ – допустимое сопротивление, определяемое по условию нормированного значения напряжения на ЗУ или сопротивления растеканию.

П7.2. Количество вертикальных заземлителей, устанавливаемых по периметру расчетной модели искусственного и выносного заземлителя, при расчете ЗУ по Программе-1 БО ЭСП выбирается по специальному алгоритму с учетом электрической структуры земли и размеров заземлителя.

При использовании повариантных методов расчета (Программа-2 БО ЭСП, программа СибНИИЭ) первоначальное число вертикальных элементов определяется по выражениям:

$$n_в = \frac{\sqrt{S}}{l_в} e^{4\frac{l_в}{\sqrt{S}}} \qquad \left(\frac{l_в}{\sqrt{S}} \leq 0{,}5\right); \qquad (П7.2)$$

$$n_в = 8\frac{\sqrt{S}}{l_в} \qquad \left(\frac{l_в}{\sqrt{S}} > 0{,}5\right), \qquad (П7.3)$$

где S – площадь заземлителя, $м^2$; $l_в$ – длина вертикальных заземлителей, м.

В формулах (П7.2), (П7.3) берется целая часть полученного числа.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ И ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ ПРОВОДНИКОВ

П8.1. Сечение элементов искусственного заземлителя и заземляющих проводников для подстанций напряжением 3-35 кВ выбирается, исходя из требований, предъявляемых к их механической прочности и коррозионной стойкости (см.ПУЭ I-7-72, I-7-78).

Сечение элементов заземлителя и заземляющих проводников для подстанций 110-750 кВ выбирается, исходя из требований, предъявляемых к их механической, термической и коррозионной стойкости (см. ПУЭ I-7-72, I-7-77). При этом в качестве расчетного тока принимается ток однофазного короткого замыкания на электроустановке, который рекомендуется определять для каждого распредустройства (см.п.5.3.2.3).

П8.2. На термическую стойкость проверяются горизонтальные элементы искусственного заземлителя и заземляющие проводники подстанций напряжением 110-750 кВ. При этом предполагается, что через заземляющие проводники протекает полный расчетный ток замыкания на землю, а через горизонтальные элементы заземлителя - его половина (вследствие разветвления тока на минимально возможные два направления),

С учетом этого для предельной температуры стальных проводников, равной 400 ^{0}С, их наименьшее допустимое сечение по термической стойкости определяется по формулам:

1) для горизонтальных элементов заземлителя

$$S_{тр} = \frac{I_р \sqrt{t_к}}{144}, \quad мм^2; \qquad (П8.1)$$

2) для заземляющих проводников

$$S_{тр} = \frac{I_р \sqrt{t_к}}{72}, \quad мм^2, \qquad (П8.2)$$

где $I_р$ – расчетный ток замыкания на землю для выбора сечения горизонтальных заземлителей и заземляющих проводников, А (см. п.5.3.2.3); $t_к$ – время протекания тока короткого замыкания, равное суммарному времени срабатывания основной защиты и полного времени отключения выключателя, с.

П8.3. Минимальное допустимое сечение проводников по условиям коррозионной стойкости определяется по формуле

$$S_{кг} = S_{мт} + S_{кор}, \text{ мм}^2, \qquad (П8.3)$$

где $S_{мт}$ – наибольшее сечение проводника, выбранное по механической прочности и термической стойкости, мм^2 (см.ПУЭ I-72,п.П8.2); $S_{кор}$ – уменьшение сечения проводника в процессе коррозионного воздействия (площадь скорродированного слоя) за расчетный срок службы заземлителя, мм^2.

Уменьшение сечения заземлителя в процессе коррозионного воздействия определяется по формулам:

– для круглого заземлителя

$$S_{кор} = 3{,}14\,\delta_{ср}\,(d_н + \delta_{ср}), \text{ мм}^2; \qquad (П8.4)$$

– для полосового заземлителя

$$S_{кор} = 2\,\delta_{ср}\,(a_з + b_з + \delta_{ср}), \text{ мм}^2; \qquad (П8.5)$$

где $d_н, a_з, b_з$ – соответственно наружный диаметр круглого заземлителя, ширина и толщина полосового заземлителя; $\delta_{ср}$ – средняя глубина коррозии по сечению заземлителя, мм.

Расчет $\delta_{ср}$ на требуемый срок службы производится по уравнению

$$\delta_{ср} = a_к \ln^3 T + b_к \ln^2 T + c_к \ln T + d_к, \text{ мм}, \qquad (П8.6)$$

где T – расчетный срок службы заземлителя, мес; $a_к, b_к, c_к, d_к$ – коэффициенты, зависящие от грунтовых условий, мм (определяются по табл. П8.I, П8.2).

Входящие в таблицу П8.I параметры ρ, w, K_w и C определяются следующим образом:

1) ρ - удельное сопротивление слоя земли, в котором расположен заземлитель. Определяется по данным ВЭЗ с учетом приведения их к расчетному сезону, соответствующему наименьшим значениям удельного сопротивления верхних слоев земли (см. п.5.3.1 и Приложение 5).

2) W - естественная влажность грунта, определяется по ГОСТ 5179-64 путем вычисления весовых потерь при высушивании грунта до постоянного веса при температуре 100-105 °С по формуле

$$W = \frac{q_1}{q_0} \cdot 100 , \qquad (п8.7)$$

где q_1 - разность в весе стаканчика с навеской до и после высушивания, г; q_0 - навеска сухого грунта, г.

3) K_W - степень насыщения, определяется по формуле

$$K_W = \frac{W \cdot \gamma \cdot \delta_1}{\gamma - \delta_1} , \qquad (п8.8)$$

где γ - удельный вес грунта, который определяется по ГОСТ 5181-64 пикнометрическим методом, г/см^3; δ_1 - объемный вес твердой фазы, который определяется по ГОСТ 5181-64 из грунтов с ненарушенной структурой, г/см^3.

4) C - концентрация активных анионов грунтового раствора в % к весу грунта, определяется по формуле

$$C = \frac{[Cl^-] + [SO_4^{-2}]}{W} , \qquad (п8.9)$$

где $[Cl^-]$ - ионы хлора, которые определяются аргентометрическим методом осаждения хлорионов титрованным раствором нитрата серебра с индикатором - хромом калия; $[SO_4^{-2}]$ - сульфат ионы, которые определяются осаждением их раствором хлористого бария, дальнейшим фильтрованием осадка, его высушиванием и взвешиванием.

Таблица П8.I

Зависимость степени коррозионной активности грунта от его параметров

Коррозия	Удельное сопротивление грунта, $\rho_э$, Ом.м	Естественная влажность грунта, W, %	Степень насыщения K_w	Концентрация грунтового раствора С, %	Степень коррозии K_0-K_5
Очень сильная	2 / 2 ÷ 5	I0 ÷ 20	0,5 ÷ 0,7	0,I / 0,05 ÷ 0,I	K_0 / K_I
Сильная	5 ÷ I0	20 ÷ 25	0,7÷ 0,85	0,0I5 ÷ 0,05	K_2
Средняя	I0 ÷ 20 / 20 ÷ I00	2 ÷ I0	0,05 ÷ 0,5	0,005 ÷ 0,0I5 / 0,00I ÷ 0,005	K_3 / K_4
Слабая	I00	25 или 2	0,85 ÷ I,0 или 0 ÷ 0,05	0,00I	K_5

Таблица П8.2

Зависимость глубины коррозии от степени коррозионной активности грунта

Степень коррозии K_0-K_5	Коэффициенты уравнения для прогноза $\delta_{ср} = a_к \ln^3 T + b_к \ln^2 T + c_к \ln T + d_к$				Глубина коррозии для амортизацион. срока службы (30 лет), мм	Рекомендации по повышению срока службы искусственных заземлителей
	$a_к$	$b_к$	$c_к$	$d_к$		
K_0	0,0206	0,I054	0,04I	0,0593	8,8	Катодная
K_I	0,0II8	0,035	-0,06I2	0,I43	3,4	защита
K_2	0,0056	0,022	-0,0I07	0,0408	2,0	Защитные экраны
K_3	0,005	0,003I	- 0,04I	0,243	I,I	Увеличение
K_4	0,0026	0,0092	-0,0I04	0,0224	0,8	сечения
K_5	0,00I3	0,003	-0,0068	0,044	0,4	

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

РАСЧЕТ И ВЫБОР СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

П9.1. Специальные противокоррозионные мероприятия применяются для защиты ЗУ с помощью защитных термогидроэкранов и электрической защиты.

П9.2. Основанием для проектирования защиты заземляющих устройств подстанций и опор ВЛ с помощью защитных экранов является расположение их в районах со степенями коррозии K_2. Последние определяются по методике оценки коррозионной опасности грунта (см.п.П8.3).

Исходными данными для проектирования служат:

- совмещенный план расположения защищаемых металлоконструкций, включающий железобетонные фундаменты, проложенные в земле кабели, трубопроводы, искусственные заземлители и т.д.;
- глубина заложения защищаемых металлоконструкций;
- степень насыщения грунта влагой для максимальной глубины заложения металлоконструкций по периметру заземляющего устройства.

Защитный экран должен покрывать территорию подстанции, занимаемую заземляющим устройством и выступать за его пределы на расстояние не менее

$$L = (h_K - h_{зэ}) / K_W \quad , \qquad (П9.1)$$

где: L - длина выступа, м; h_K - максимальная глубина расположения заземлителей, м; $h_{зэ}$ - глубина расположения защитного экрана, м; K_W - коэффициент насыщения грунта, г/см^3.

Параметры, входящие в приведенную формулу, должны удовлетворять следующим условиям:

$$0,1 \leqslant K_W \leqslant 1 \; ; \qquad 0 \leqslant h_{зэ} \leqslant 0,5 \qquad (П9.2)$$

В случае выхода естественных заземлителей за пределы электроустановки на расстояние не более 70 м необходимо выполнить нац ни-

ми защитные экраны с выступами, рассчитанными по указанной формуле.

При наличии естественных заземлителей, отходящих от подстанции на расстояние более 70 м, необходимо установить изолирующие вставки.

В качестве защитного экрана можно применять любое воздухо- и влагонепроницаемое покрытие (полимерная пленка, асфальт и т.п.) Преимущественным вариантом является асфальтирование территории подстанции, так как при этом одновременно улучшаются условия электробезопасности при эксплуатации электроустановки.

П8.3. Электрическая защита имеет две разновидности: катодная защита и защита от электрокоррозии.

Катодная защита ЗУ выполняется в соответствии с "Руководящими указаниями по катодной защите подземных энергетических сооружений" (ФТО "Союзтехэнерго", М.1985) или по нижеприведенной методике.

П9.3.1. Расчет параметров катодной защиты. Методика предназначена для расчета совместной катодной защиты подземного оборудования подстанций (заземлителей, фундаментов, кабелей, трубопроводов и т.п.).

Катодная защита применяется в случае очень высокой скорости грунтовой коррозии (K_O, K_I), а также при отсутствии возможности применения электрических дренажей для защиты от электрокоррозии искусственных и естественных заземлителей. Общая величина защитного тока I и мощность катодной защиты P могут быть определены по приближенным формулам :

$$\ln I = -6,6 + 1,3 \ln n + 0,9 \ln i \text{ , А;} \qquad (п9.3)$$

$$\ln P = -12,7 + 0,6 \ln \rho + 2 \ln n + 1,7 \ln i \text{, Вт,} \qquad (п9.4)$$

где n – количество фундаментов (стоек УСО и др.) на территории подстанции; ρ – удельное сопротивление грунта, Ом.м; i – требуе-

ная плотность защитного тока, мА/м^2.

Формулы предназначены для расчета катодной защиты подстанций с числом фундаментов не более 400. При проектировании катодной защиты подстанции больших размеров, необходимо ее территорию условно разделить на участки с числом фундаментов, не превышающих допустимое и произвести расчет для каждого такого участка.

Защитная плотность тока i определяется из соображений снижения скорости коррозии до скорости соответствующей степени агрессивности грунта K_3. Такая катодная защита оказывается экономичней полной защиты. В тоже время, она позволяет обеспечить долговечность естественных заземлителей и использовать искусственные заземлители небольшого сечения.

Защитная плотность тока рассчитывается по формулам:

для K_0 $i_0 = 220 + i_к$; (П9.5)

для K_I $i = 70 + i_{эк}$, , мА/м^2, (П9.6)

где $i_{эк}$- плотность тока электрокоррозии, определяемая согласно п.4.2.9, мА/м^2.

Используя рассчитанные значения защитного тока I и мощности P необходимо по таблице П9.I подобрать соответствующее количество типовых катодных станций и анодов. Затем разместить аноды на плане подстанции или в виде отдельного выносного заземлителя. Расстояние между соседними анодами должно быть не менее 3 м, а до ближайших заземленных конструкций - не менее 2 м. Следует учитывать возможность использования анодов в качестве естественных заземлителей для выравнивания потенциалов на территории подстанции и опасность создания недопустимых шаговых напряжений около выносного анодного заземления при однофазных коротких замыканиях.

Аноды соединяются в группы по 20-30 шт. одножильным кабелем (АВРГ, АПвБвШв, АНРБ, АБАБл, АПАБл). Сечение кабеля должно быть рассчитано на полный ток группы. К одной катодной станции (к

плюсовой клемме) подключается 2÷4 группы анодов. Минусовая клемма катодной станции подключается к ЗУ в центре зоны защищаемого оборудования.

Сечение искусственных заземлителей при использовании электрических защит должно быть выбрано в соответствии с агрессивностью грунта K_3.

При вводе защиты в работу необходимо произвести настройку методом пробного включения. В связи с этим, в комплект поставки необходимо включить дополнительное количество анодов и кабеля. Их запас должен составлять 15% от объемов, заложенных в проект.

Монтаж установок катодной защиты и анодных заземлителей рекомендуется выполнять в соответствии с чертежами: альбомы "Узлы и детали электрозащиты подземных инженерных сетей от коррозии". 4900-5/74, разработанными институтами Мосгазпроект и Укргипроинхпроект, или "Альбома А-388-77. Анодное заземление углеграфитовых электродов диаметром 114 мм", разработанного институтом Ленгипроинхпроект.

П9.3.2. Защита от электрокоррозии. Критерием опасности коррозии, вызываемой блуждающими токами (в соответствии с ГОСТ 9.015-74) является наличие анодных и знакопеременных зон на стальных подземных конструкциях, силовых кабелях и других подземных сооружениях в грунтах с удельным электрическим сопротивлением ниже 100 Ом.м независимо от величины разности потенциалов "подземное сооружение - земля", а в грунтах с удельным электрическим сопротивлением выше 100 Ом.м - при плотности тока утечки в землю:

- для кабелей более 0,15 мА/дм^2 ;
- арматуры железобетонных конструкций более 0,6 мА/дм^2 :

В виду того, что на стадии рабочего проектирования нет возможности определить все параметры электрических дренажей для заземляющих устройств подстанций, ГОСТ 9.015-74 рекомендует разра-

батывать рабочие чертежи защиты от электрокоррозии после укладки заземлителей в грунт, по данным пробных включений дренажа.

В рабочий проект должны быть заложены соответствующие дренажная установка и кабель. Для этого по приближенной формуле П8.3 рассчитывается величина рабочего тока установки, при этом принимаются в расчет фундаменты, оказавшиеся в анодных зонах.

Для подстанций без отходящих коммуникаций или имеющих коммуникации с разделительными устройствами число фундаментов в анодных зонах может быть принято равным половине общего их числа. Величина защитной плотности тока определяется по результатам измерений на площадке подстанций (см.п.4.2.9). По расчетной величине тока выбирается дренажная установка (табл.П9.I). Сечение кабеля должно обеспечивать длительное протекание номинального тока дренажной установки, а длина должна в I,5 раза превышать расстояние до источника блуждающих токов (железной дороги).

П9.4. Коррозионное воздействие переменного тока. Коррозионное воздействие переменнного тока становится заметным при плотностях тока, превышающих следующие значения: для арматуры железобетонных конструкций с добавками $CaCl_2^-$ - I А/м^2, то же самое без добавок содержащих ионы Cl^- - 200 А/м^2 ; для стали в грунте - 50 А/м^2 ; для меди в грунте - 20 А/м^2 ; для алюминия в грунте - 0,8 А/м^2.

Таблица П9.I

Аппаратура для электрической защиты

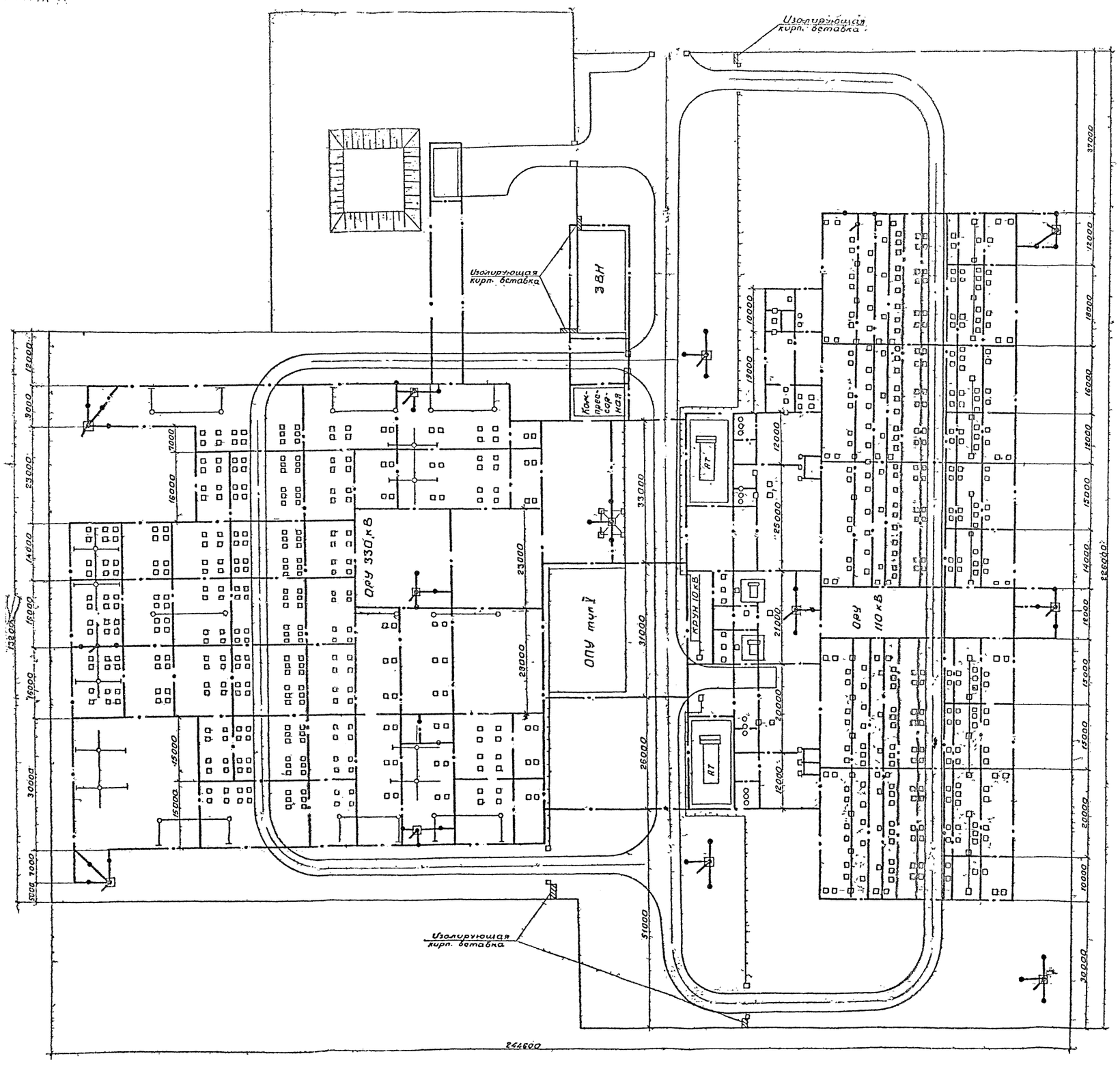
Тип установки	Стоимость, руб.	Технические характеристики			
		U, В	P, кВт	U, В	I, А
Катодные станции:					
ПАСК-М-0,6	453	220	0,6	48/24	I2,5/25
ПАСК-М-I,2	490	220	I,2	48/24	25/30
ПАСК-М-2,0	5I9	220	2,0	96/48	2I/42
ПАСК-М-3,0	5I9	220	3,0	96/48	3I/62
ПАСК-М-5,0	6I4	220	5,0	96/48	52/I04
ПСК-М-0,3	350	220	0,3	24/I2	I2,5/25
ПСК-М-0,6	402	220	0,6	48/24	I2,5/25
ПСК-М-2,0	433	220	2,0	96/48	2I/42
ПСК-М-3,0	485	220	3,0	96/48	3I/62
ПСК-М-5,0	544	220	5,0	96/48	52/I04
СКЗМ-2,0	550	220	2,0	96/48	2I/42
СКЗМ-3,0	550	220	3,0	96/48	32/62
СКЗМ-5,0	550	220	5,0	96/48	52/I04
ТСКЗ-I600М	2I6	220	I,6	48/24	33-66
ТСКЗ-3000М	365	220	3,0	96/48	3I/42
ТСКЗ-5000М	540	220	5,0	96/48	52/I04
КС-400М	95	220	0,4	40	I0
КСК-500-I	II5	220	0,5	50	I0
КСК-I200-I	I79	220	I,2	60	20
Анод ЭПТ (ТУ 48-20-97-77)	28	-	-	-	I
Устройства поляризованного дренажа					
ПГД-60м	I44	-	-	-	60
ПГД-I00м	I65	-	-	-	I00
ПГД-200м	I65	-	-	-	200
УПДУ-57	II0	-	-	-	300
ПД-3А	443	-	-	-	500

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

ПРИМЕРЫ
КОНСТРУКТИВНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ

Ш0.I. Пример

конструктивного выполнения заземляющего устройства подстанции напряжением 330/II0/I0 кВ по допустимому напряжению прикосновения



Спецификация

Поз.	Наименование	Тип, марка или размер	Номер чертежа ГОСТ	Кол.	Масса, кг Ед.	Масса, кг Общ.	Примечание
1	Заземлитель горизонтальный, м	ст. круглая, ф 12 мм		4900	0.888	4351	
2	Заземляющий проводник, м	ст. полосов. 40×4		900	1.26	1134	
3	Заземлитель вертикальный, шт	ст. круглая ф12 мм, L-5м		42	4.44	187	

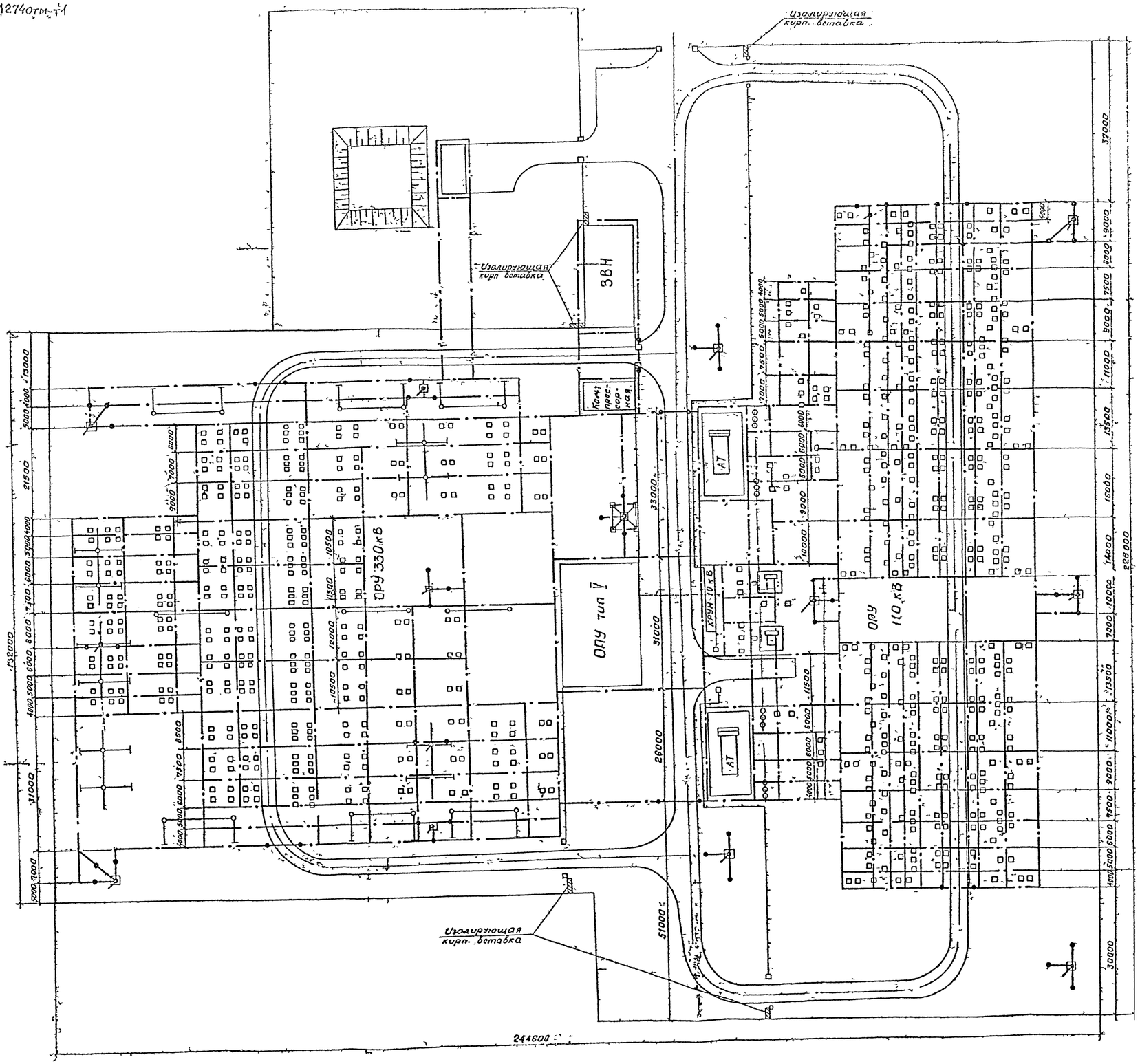
1. Заземляющее устройство (ЗУ) запроектировано по напряжению прикосновения.
2. Напряжение на ЗУ в любое время года не должно превышать 5000 В.
3. Напряжение прикосновения ($U_{пр}$) в любое время года не должно превышать:
   а) на рабочих местах 160 В;
   б) на остальной территории подстанции 450 В.
4. Расчетный ток равен:
   а) для определения напряжения на ЗУ - 15000 А;
   б) для определения $U_{пр}$ на рабочих местах ОРУ 110кВ-15000А; ОРУ 330кВ-10000А.
   в) для определения $U_{пр}$ на остальной территории 10000 А.
5. Сезонный коэффициент сопротивления ЗУ 1.05
6. Электрические параметры земли.

ρ_1 = 780 Ом·м; h_1 = 2.1 м;
ρ_2 = 110 Ом·м; h_2 = 5.8 м;
$\rho_{3э}$ = 300 Ом·м; h_3 = 24 м;
ρ_4 = 650 Ом·м;

7. Эквивалентное удельное сопротивление земли - 480 Ом·м.
8. Глубина заложения горизонтальных заземлителей - 0.5 м.
9. К ЗУ присоединить грозозащитные тросы, броня и оболочки кабелей 10 кВ.
10. Ограду к ЗУ не присоединять.
11. Все работы по устройству ЗУ выполнять одновременно со строительными работами по нулевому циклу.
12. Соединения элементов ЗУ выполнять сваркой внахлестку.

Ш0.2. Пример конструктивного выполнения заземляющего устройства подстанции напряжением 330/110/10 кВ по допустимому сопротивлению растеканию

12740тм-т1



Спецификация

Поз.	Наименование	Тип, марка или размер	Номер чертежа ГОСТ	Кол.	Масса кг ед.	Масса кг общ.	Прим.
1	Заземлитель горизонтальный, м	ст. круглая ф 12 мм		6200	0,888	5506	
2	Заземляющий проводник, м	ст. полос. 40×4		850	1,26	1071	
3	Заземлитель вертикальный, шт	ст. круглая ф 12 мм, 2-5 м		54	4,44	240	

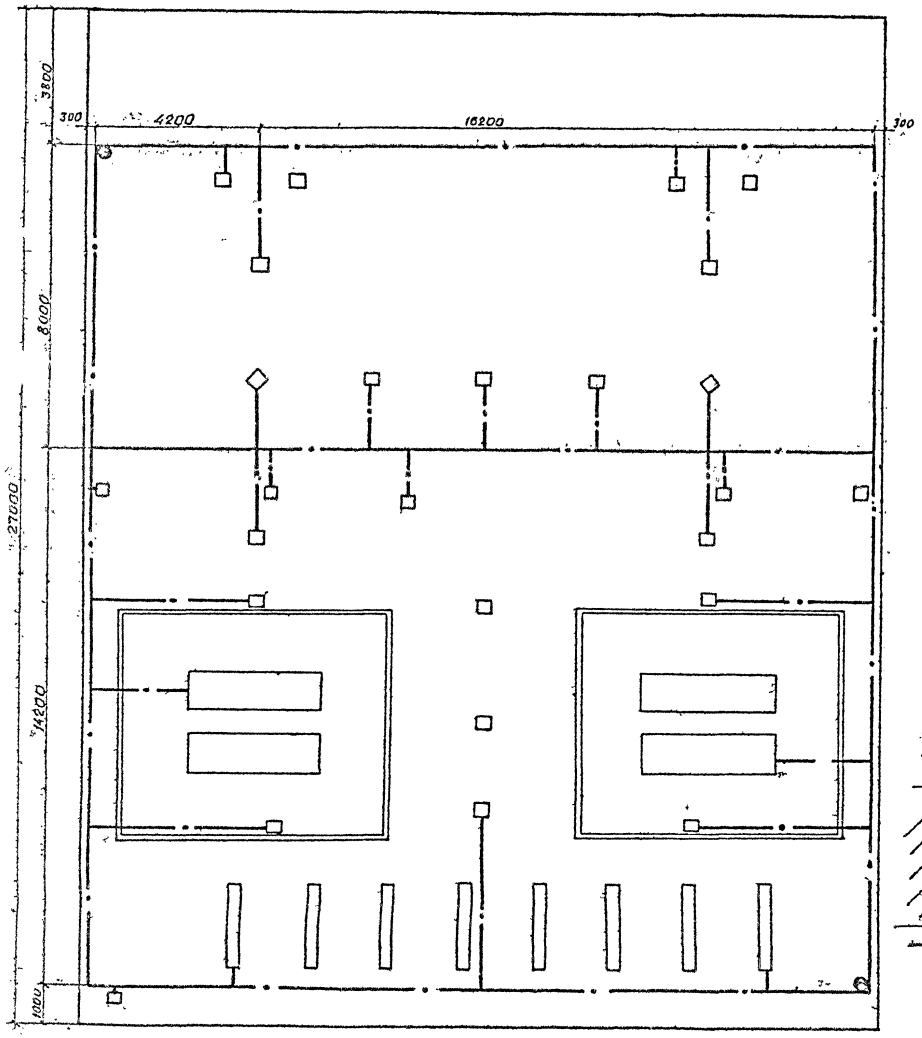
1. Заземляющее устройство (ЗУ) запроектировано по норме на сопротивление растеканию.
2. Сопротивление растеканию ЗУ в любое время года не должно превышать 0,5 Ом.
3. Сезонный коэффициент сопротивления ЗУ 1,05.
4. Электрические параметры земли

ρ_1 = 780 Ом·м h_1 = 2,1 м
ρ_2 = 110 Ом·м h_2 = 5,8 м
ρ_3 = 300 Ом·м h_3 = 29 м
ρ_4 = 650 Ом·м

5. Эквивалентное удельное сопротивление земли 480 Ом·м
6. Глубина заложения горизонтальных заземлителей 0,5 м.
7. К ЗУ присоединить грозозащитные тросы ВЛ и оболочки кабелей.
8. Ограду к ЗУ не присоединять.
9. Все работы по устройству ЗУ выполнять одновременно со строительными работами по нулевому циклу.
10. Соединения элементов ЗУ выполнять сваркой внахлестку.

Ш0.3. Пример конструктивного выполнения заземляющего устройства подстанции напряжением 35/10 кВ

12740тм-т1

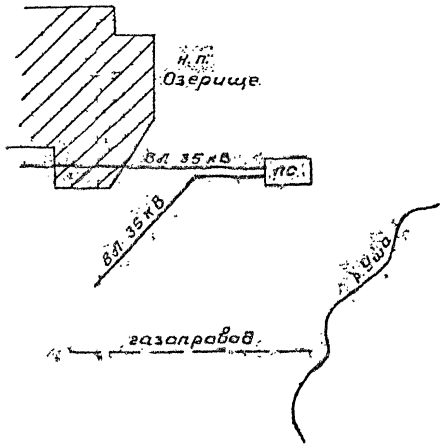


Спецификация.

Наименование	Тип, марка, размер	ГОСТ	Кол.	Масса Ед.	Масса Общ.	Примечание
Вертикальный заземлитель, м	ф 12 мм. l=5000		2	4.46	8.92	
Горизонтальный заземлитель, шт	ф 10 мм		165	0.62	102.3	
Заземляющий проводник, м	ф 10 мм		40	0.62	24.8	

1. Заземляющее устройство (ЗУ) запроектировано по норме на сопротивление растеканию.
2. Сопротивление растеканию ЗУ в любое время года не должно превышать 10 Ом.
3. Сезонный коэффициент сопротивления ЗУ - 1.25.
4. Электрические параметры земли:
   $\rho_1 = 350$ Ом·м; $h_1 = 2.8$;
   $\rho_2 = 410$ Ом·м;
5. Эквивалентное удельное сопротивление земли 365 Ом·м.
6. Глубина заложения горизонтальных заземлителей 0.5 м.
7. К ЗУ присоединить грозозащитные тросы ВЛ и оболочки кабелей.
8. Все работы по устройству ЗУ выполнить одновременно со строительными работами по нулевому циклу.
9. Соединения элементов ЗУ выполнять сваркой внахлестку.

План расположения коммуникаций М 1:50.



gost.e-ecolog.ru