

**ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
(ОСЖД)**

IV издание

Разработано совещанием экспертов V Комиссии
23-25 мая 2000г., Штрба, Словакия

Утверждена совещанием V Комиссии
23-27 октября 2000г.

Дата вступления в силу: 07 ноября 2000г.

Примечание:

P - 614

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ЗАЩИТЕ ПОДЗЕМНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ БЛУЖДАЮЩИМИ
ТОКАМИ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ**

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	5
1.1. ПРЕДМЕТ РЕКОМЕНДАЦИЙ	5
1.2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	5
1.3. ТЕРМИНОЛОГИЯ.....	6
1.3.1. Металлические подземные сооружения	6
1.3.2. Блуждающие токи	6
1.3.3. Источники блуждающих токов.....	6
1.3.4. Катодная зона	6
1.3.5. Анодная зона	6
1.3.6. Отрицательная (минусовая) питающая линия	6
1.3.7. Отсасывающий пункт	6
1.3.8. Стыковой рельсовый соединитель	7
1.3.9. Межрельсовый соединитель	7
1.3.10. Междупутный рельсовый соединитель.....	7
1.3.11. Обходной рельсовый соединитель	7
1.3.12. Однониточная рельсовая цепь.....	7
1.3.13. Двухниточная рельсовая цепь.....	7
1.3.14. Изолирующий рельсовый стык.....	7
1.3.15. Дроссельный стык.....	7
1.3.16. Путьевой дроссель	7
1.3.17. Заземляющий на рельсы провод	8
1.3.18. Поверхностная плотность тока утечки.....	8
1.3.19. Коррозия металлов.....	8
1.3.20. Электрохимическая коррозия.....	8
1.3.21. Коррозия блуждающими токами	8
1.3.22. Почвенная коррозия.....	8
1.3.23. Коррозионная активность (агрессивность) почвы или воды	8
1.3.24. Пассивная защита подземных сооружений	8
1.3.25. Антикоррозионное покрытие и покровы	9
1.3.26. Изолирующая муфта, фланец	9
1.3.27. Активные (электрические) средства защиты	9
1.3.28. Катодная поляризация.....	9
1.3.29. Катодная защита	9
1.3.30. Дренажная защита.....	9
1.3.31. Протекторная защита.....	9
1.3.32. Защитные потенциалы.....	10

1.3.33. Водородный электрод сравнения.....	10
1.3.34. Медносльфатный неполяризующийся электрод.....	10
1.3.35. Контрольно - измерительный пункт.....	10
1.3.36. Интерференция	10
1.3.37. Интерференционный ток.....	10
1.3.38.Интерференционное соединение.....	10
2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКАМ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ	11
2.1. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ	11
2.1.1. Проектная документация электрификации.....	11
2.1.2. Контактная сеть электрифицированных линий	11
2.1.3. Система питания и расположение тяговых подстанций.....	11
2.1.4. Изоляция отрицательной шины тяговой подстанции	11
2.1.5. Изоляция отрицательных питающих линий (отсоса).....	12
2.1.6. Подключение отрицательных питающих линий к рельсам	12
2.1.7. Конструкция железнодорожного пути	12
2.1.8. Рельсовые соединители,.....	13
2.1.9.Межрельсовые и междупутные соединители	14
2.1.10. Рельсовые обходные соединители	14
2.1.11. Изоляция электрифицированных путей от неэлектрифицированных	14
2.1.12. Индивидуальные заземления на рельсы опорных конструкций контактной сети.....	15
2.1.13. Групповое заземление на рельсы опорных конструкций контактной сети.....	16
2.1.14. Заземление на рельсы различных сооружений и конструкций.....	16
2.1.15. Приводы и установки подогрева стрелочных переводов	16
2.1.16. Изоляция подземных металлических сооружений от рельсов.....	16
2.2. ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИИ И СОДЕРЖАНИЮ	17
2.2.1. Проверка изоляции отрицательной шины тяговой подстанции и отрицательных питающих линий.....	17
2.2.2. Проверка состояния искровых промежутков, диодных и тиристорных заземлителей.....	17
2.2.3. Проверка состояния рельсовых стыковых, межрельсовых, междупутных и обходных соединителей	17
2.2.4. Проверка состояния изоляции рельсов по отношению к металлическим конструкциям.....	17
2.2.5. Проверка наличия изолирующих элементов на железобетонных шпалах.....	17
2.2.6. Очистка балласта.....	17
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДЗЕМНЫМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ СООРУЖЕНИЯМ.....	18
3.1. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ	18

3.1.1. Требования общего характера	18
3.1.2. Выбор трассы	18
3.1.3. Применение изолирующих покровов и канализации при укладке подземных металлических сооружений	20
3.1.4. Контрольно - измерительные пункты	22
3.1.5. Проверка состояния антикоррозионных покрытий на подземных металлических сооружениях в процессе их укладки.....	23
3.1.6. Определение степени опасности почвенной коррозии и коррозий блуждающими токами железнодорожных подземных металлических и железобетонных сооружений и конструкций	24
3.1.7. Применение защиты катодной поляризацией.....	30
3.1.8. Защита железобетонных конструкций от коррозии блуждающими токами.....	33
3.2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ.	33
3.2.1. Общие требования	33
3.2.2. Контроль за состоянием подземных металлических сооружений без электрохимической защиты.....	33
3.2.3. Контроль за состоянием подземных металлических сооружений с защитой катодной поляризацией	34
4. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ.....	34
4.1. ИЗМЕРЕНИЯ ПО КОНТРОЛЮ ЗА ОГРАНИЧЕНИЕМ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ	34
4.2. ИЗМЕРЕНИЯ ПО КОНТРОЛЮ ЗА КОРРОЗИОННЫМ СОСТОЯНИЕМ ПОДЗЕМНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ.....	34
4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА	34
4.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ (АГРЕССИВНОСТИ) ПОЧВЫ И ПРИРОДНЫХ ВОД ПУТЕМ АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА.....	34
4.5. ИЗМЕРЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТЫ КАТОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ.....	35
4.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ	35
4.7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	35
5. ОСОБЕННОСТИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ, ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ	36

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Предмет рекомендаций

Предметом настоящих рекомендаций являются рекомендации общего характера по техническим мероприятиям, касающимся защиты железнодорожных подземных металлических и железобетонных сооружений и конструкций от коррозии блуждающими токами.

1.2. Область применения

Рекомендации применяются при проектировании, строительстве, реконструкции, а также в процессе эксплуатации и содержания линий и установок электрифицированных железных дорог постоянного тока с положительной полярностью контактной сети и отрицательной полярностью рельсового пути, являющихся источником блуждающих токов, равно как и при проектировании, строительстве, реконструкции, а также в процессе эксплуатации и содержания подземных металлических сооружений и конструкций, расположенных в зоне действия блуждающих токов.

В частности, рекомендации относятся к:

- кабелям силовым низкого и высокого напряжения;
- кабелям связи и СЦБ;
- водопроводам, паропроводам, воздухопроводам;
- железобетонным конструкциям, таким как: бетонные фундаменты металлических опор контактной сети, железобетонные опоры контактной сети, железобетонные шпалы и т.д.

Специальные требования для участков, электрифицированных на переменном токе, изложены в разделе 5.

Для определения влияния блуждающих токов и определения оптимального диапазона защитных мероприятий важно в сотрудничестве с заинтересованными участниками выполнить коррозионные измерения и коррозионные анализы.

1.3. Терминология

1.3.1. Металлические подземные сооружения -

это всякие подземные сооружения или конструкции, выполненные из различных металлов, и железобетонные сооружения, находящиеся в земле (такие как кабели с металлическими оболочками и броней, трубопроводы, фундаменты со стальной арматурой и т.п.).

1.3.2. Блуждающие токи -

это электрические токи, протекающие в земле и в подземных металлических сооружениях, возникающие от электрических установок.

1.3.3. Источники блуждающих токов -

электрифицированный рельсовый транспорт, линии электропередач постоянного тока системы „ провод - земля“, системы катодной защиты и др.

1.3.4. Катодная зона -

это такая зона, в пределах которой потенциал подземного сооружения или рельса отрицателен по отношению к земле. В пределах этой зоны блуждающие токи проникают из земли в сооружение или рельс.

1.3.5. Анодная зона -

это такая зона, в пределах которой потенциал металлического сооружения или рельса положителен по отношению к земле. В пределах этой зоны токи вытекают (стекают) с металлического сооружения или рельса в землю.

1.3.6. Отрицательная (минусовая) питающая линия -

это изолированный проводник, служащий для электрического соединения тяговой рельсовой сети с отрицательной шиной тяговой подстанции.

1.3.7. Отсасывающий пункт -

это место присоединения отрицательной питающей линии к рельсам электрифицированного транспорта.

1.3.8. Стыковой рельсовый соединитель -

это проводник, применяемый для электрического шунтирования сборного рельсового стыка.

1.3.9. Межрельсовый соединитель -

это проводник, электрически соединяющий нити рельсов одного и того же пути.

1.3.10. Междупутный рельсовый соединитель -

это проводник, соединяющий тяговые рельсовые нити соседних электрифицированных путей.

1.3.11. Обходной рельсовый соединитель -

это проводник, присоединяемый к рельсам и электрически шунтирующий крестовины на стрелках, стыки рельсов на разводных мостах и т.д.

1.3.12. Однониточная рельсовая цепь -

это участок пути, в пределах которого для пропуска тягового тока используется одна нить ходовых рельсов.

1.3.13. Двухниточная рельсовая цепь -

это участок пути, в пределах которого для пропуска тягового тока используются обе нити рельсов.

1.3.14. Изолирующий рельсовый стык -

это механическое соединение концов смежных рельсов, в котором прервана металлическая, а следовательно, и электрическая непрерывность рельсовой нити.

1.3.15. Дроссельный стык -

это соединение смежных рельсовых цепей, служащее для пропуска тягового тока в обход изолирующих стыков и осуществляемое посредством путевого дросселя.

1.3.16. Путевой дроссель -

это устройство, служащее для шунтирования изолирующего стыка, обеспечивающее возможность пропуска тягового тока между соседними двухниточными рельсовыми цепями.

1.3.17. Заземляющий на рельсы провод -

это провод, соединяющий опоры контактной сети или другие заземляемые конструкции с рельсами.

1.3.18. Поверхностная плотность тока утечки -

это величина силы тока утечки с подземного металлического сооружения в землю, приходящегося на единицу поверхности данного сооружения.

1.3.19. Коррозия металлов -

это разрушение металла вследствие химического или электрохимического взаимодействия его с внешней средой.

1.3.20. Электрохимическая коррозия -

это взаимодействие металла с коррозионной средой (раствором электролита), при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительной компоненты коррозионной среды протекают не в одном акте, а их скорости зависят от электродного потенциала.

1.3.21. Коррозия блуждающими токами -

это электрохимическое разрушение металла подземного сооружения, вызванное воздействием блуждающих токов.

1.3.22. Почвенная коррозия -

это электрохимическая коррозия металла, находящегося в земле, вызванная воздействием окружающей среды.

1.3.23. Коррозионная активность (агрессивность) почвы или воды -

это свойства почвы или воды, способствующие возникновению процессов электрохимической коррозии металла, находящегося в земле или погруженного в воду.

1.3.24. Пассивная защита подземных сооружений -

это ряд мероприятий, к которым относятся:

рациональный выбор трассы прокладки;

изолирующие покрытия;

изолирующие канализации;

электрическая изоляция от сооружений и конструкций, имеющих металлическую связь с рельсами;

повышение сопротивления грунта окружающего подземное сооружение;
продольное электрическое секционирование;
заземление подземного сооружения.

Пассивными средствами достигается уменьшение попадания блуждающих токов в подземные сооружения и снижение потенциалов последних по отношению к окружающей среде.

1.3.25. Анतिकоррозионное покрытие и покровы -

это электроизоляционный слой на поверхности металлического сооружения для защиты металла от коррозии.

1.3.26. Изолирующая муфта, фланец -

это изоляционный стык в металлическом подземном сооружении, предотвращающий протекание токов между примыкающими к муфте, стыку частями подземного сооружения.

1.3.27. Активные (электрические) средства защиты -

это устройства создающие поляризацию подземных сооружений в необходимых пределах защитных потенциалов.

1.3.28. Катодная поляризация -

это защита металлического сооружения от коррозии путем образования на защищаемом металле сооружения отрицательного защитного потенциала по отношению к окружающей среде.

1.3.29. Катодная защита -

это защита, осуществляемая катодной поляризацией от внешнего источника тока.

1.3.30. Дренажная защита -

это защита, обеспечивающая отвод блуждающих токов с защищаемого металлического сооружения к источнику этих токов.

1.3.31. Протекторная защита -

это защита, осуществляемая путем создания катодной поляризации при соединении сооружения с протектором. Протектор (пассивный анод) представляет собой металл или сплав металлов с большим отрицательным электрохимическим потенциалом, чем у металла сооружения.

1.3.32. Защитные потенциалы -

это величины разности потенциалов между металлическим сооружением и средой, при которых обеспечена защита подземных металлических сооружений от коррозии.

1.3.33. Водородный электрод сравнения -

это полуэлемент, состоящий из специального изготовленного платинового электрода, погруженного в раствор кислоты, концентрация водородных ионов которой равна единице, а давление газообразного водорода в ней равно атмосферному давлению. Величина потенциала такого электрода принимается равной нулю.

1.3.34. Медносульфатный неполяризующийся электрод -

это полуэлемент, состоящий из медного электрода, погруженного в насыщенный раствор сульфата меди. Потенциал этого электрода, определенный по отношению к водородному электроду, составляет +0,30В.

1.3.35. Контрольно-измерительный пункт -

это устройство, обеспечивающее возможность подключения измерительных приборов к подземному металлическому сооружению для контроля коррозионного состояния этого сооружения.

1.3.36. Интерференция -

коррозионное влияние близких подземных сооружений защитным током активных средств антикоррозионной защиты подземных сооружений.

1.3.37. Интерференционный ток -

постоянный электрический ток, возникающий вследствие разных потенциалов гальванически несоединенных линейных сооружений и протекающий между сооружениями и землей, прежде всего, в местах их пересечения и сближения.

1.3.38. Интерференционное соединение -

гальваническое соединение линейных подземных сооружений для ограничения коррозионного влияния интерференционного тока.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКАМ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

2.1. Требования к проектированию и строительству

2.1.1. Проектная документация электрификации

должна содержать часть, касающуюся обратных рельсовых линий и заземлений на рельсы с точки зрения коррозии блуждающими токами. В этой части должна быть оценка аспектов, таких как: положение и расстояние между тяговыми подстанциями, соответствующие длины питающих перегонов, способ питания, равномерное распределение нагрузок тяговых подстанций, продольные и поперечные соединения обратных рельсовых линий, изоляция рельсов и других элементов от земли, число рельсов, проводящих тяговый ток, способ подключения отрицательных питающих линий к рельсам.

2.1.2. Контактная сеть электрифицированных линий

должна быть соединена с положительной (плюсовой) шиной, а рельсовые пути - с отрицательной (минусовой) шиной тяговой подстанции.

2.1.3. Система питания и расположения тяговых подстанций

В нормальном режиме работы электрифицированной линии контактная сеть перегонов должна иметь, как правило, двухстороннее питание от тяговых подстанций при минимальных уравнивающих токах между ними. Не рекомендуется располагать тяговые подстанции в районах с густой сетью подземных сооружений.

2.1.4. Изоляция отрицательной шины тяговой подстанции

Отрицательная сборная шина на тяговой подстанции должна быть изолирована относительно земли, при этом изоляция должна быть рассчитана, как правило, на напряжение 1000 В (или по нормам железных дорог). Между отрицательной шиной тяговой подстанции и системой заземления должно быть установлено защитное устройство для обеспечения отключения коротких замыканий и защиты подземных коммуникаций тяговой подстанций. Это устройство должно кратковременно, на период короткого замыкания, металлически соединять отрицательную шину и систему заземления.

Допускается соединение отрицательной шины с системой заземления только через цепи электрической дренажной защиты подземных сооружений, находящихся на тяговой подстанции.

2.1.5. Изоляция отрицательных питающих линий (отсоса)

Отрицательные питающие линии от тяговой подстанции до рельсов должны иметь изоляцию, рассчитанную, как правило, на напряжение 1000 В относительно земли (или по нормам железных дорог).

2.1.6. Подключение отрицательных питающих линий к рельсам

Места подключения отрицательных питающих линий к рельсам должны находиться, по возможности, на кратчайшем расстоянии от тяговой подстанции. Отрицательные питающие линии тяговых подстанций, состоящие не менее из двух кабелей, подключаются к главным путям; на участках с двухниточными рельсовыми цепями автоматической блокировки подключение осуществляют к средним точкам путевых дроссель- трансформаторов. Присоединение отрицательных питающих линий к рельсам с однопутными рельсовыми цепями, проводящими тяговый ток, не рекомендуется.

Допускается присоединение отрицательных питающих линий к главным путям через дополнительный дроссель-трансформатор двухниточных рельсовых цепей автоматической блокировки.

Места присоединения отрицательных питающих линий к главным путям и другим путям станций, к которым не подключены отрицательные питающие линии, объединяются двумя междупутными медными соединителями каждой площадью сечения не менее 70 мм². Обратная питающая линия должна быть рассчитана на максимальный ток нагрузки при условии повреждения одного отсасывающего кабеля (провода).

2.1.7. Конструкция железнодорожного пути

Самыми эффективными мероприятиями, которые удерживают тяговый ток в обратной рельсовой цепи, - это возможность обеспечения высокого уровня изоляции уровня рельсов и всей отрицательной питающей линии относительно земли. Для областей, где опасность действий блуждающих токов высока, необходимо, чтобы удельная

переходная проводимость изоляции рельсовых цепей относительно земли при укладке пути и в процессе эксплуатации была достаточно низкая, на уровне 0,5 С/км. Эта рекомендуемая величина для перегонов и тоннелей определена для одного пути с двумя тяговыми рельсами. Изоляцию рельсов нужно выполнять так, чтобы при перенапряжения рельсов относительно земли, вызванные обратными тяговыми токами, не превышали величину допустимого напряжения прикосновения.

Рельсы на главных электрифицированных путях должны быть уложены, как правило, на щебеночном или гравийном балласте. Допускается применение и других типов балласта при обеспечении общего нормируемого переходного сопротивления пути, установленного действующими в стране нормативами.

Шпалы деревянные, укладываемые в путь, должны быть пропитаны масляными антисептиками, не проводящими электрический ток.

Рельсы и рельсовые скрепления на железобетонных шпалах или других железобетонных подрельсовых основаниях должны быть изолированы от бетона, арматуры шпал и подрельсовых оснований. Это должно обеспечиваться установкой специальных электроизолирующих конструктивных элементов (прокладок, втулок и т.п.).

Верхняя поверхность балластного слоя на концах железобетонных шпал должна быть на одном уровне с верхней поверхностью средней части шпал. При деревянных шпалах поверхность балластного слоя на всем промежутке между шпалами должна быть ниже подошвы рельса на 30мм.

Путь в тоннелях и конструкции тоннелей должны обеспечивать отвод воды от элементов верхнего строения пути; не допускается стекание на путь грунтовых вод.

Рельсы на металлических и железобетонных мостах должны быть уложены электрически изолированно от форм моста, от бетона и арматуры железобетона, т.е. не иметь металлической связи с ними.

Рельсы электрифицированных путей на переездах в одном уровне не должны иметь соприкосновения с землей, непосредственно или через металлические конструкции переезда. Конструкция переезда должна обеспечивать отвод воды от элементов пути.

2.1.8. Рельсовые соединители,

продольное сопротивление отрицательной рельсовой линии должно быть минимальным. В связи с этим рельсы необходимо сваривать (бесстыковой путь) или соединять стыковыми рельсовыми соединителями с невысоким электрическим

сопротивлением, чтобы в общем продольное сопротивление рельсов не превышало больше чем на 5 % бесстыкового пути.

Это обеспечивается приварными гибкими медными электрическими соединителями площадью сечения не менее 70мм^2 . Преимущественным должно быть применение бесстыкового пути.

Стыковые рельсовые соединители рекомендуется удваивать вблизи тяговых подстанций, при больших уклонах и больших тяговых нагрузках. Вопрос об удваивании соединителей решает сама железная дорога.

2.1.9. Межрельсовые и междупутные соединители

Двухпутные и многопутные электрифицированные участки должны быть оборудованы таким наибольшим количеством междупутных электрических соединителей, которое допустимо по условиям нормального функционирования рельсовых цепей автоблокировки или электрической централизации.

Места установки междупутных соединителей должны быть расположены ближе к участкам наибольшего потребления энергии поездами (места трогания поездов, затяжные подъёмы, уклоны). Соединители изготавливают из двух медных проводов площадью сечения не менее 70 мм^2 каждый, прокладываемых изолированно от земляного полотна и балласта. Длина междупутного соединителя, как правило, не должна превышать 100 м.

Соединители на электрифицированных путях, не оборудованных рельсовыми цепями автоблокировки или электрической централизацией, рекомендуется устанавливать: межрельсовые через каждые 300м, междупутные - через каждые 600 м.

Соединители изготавливаются по нормам железных дорог.

2.1.10. Рельсовые обходные соединители

Стрелочные переводы, разводные мосты и т.п. должны быть оборудованы обходными соединителями из медных проводов сечением по 70 мм^2 каждый из присоединяемых к рельсам.

2.1.11. Изоляция электрифицированных путей от неэлектрифицированных

Все неэлектрифицированные станционные пути должны быть отделены от электрифицированных путей в месте их примыкания к последним изолирующими стыками, устанавливаемыми в каждую рельсовую нить. Подъездные

неэлектрифицированные пути тяговых подстанций, промышленных объектов, нефтебаз и складов с горючими, взрывчатыми веществами, пути соединительных линий железной дороги с метрополитеном и другими электрифицированными промышленными путями отделяют от электрифицированных путей двумя изолирующими стыками в каждой рельсовой нити на таком расстоянии друг от друга, чтобы они не перекрывались одновременно подвижным составом, подаваемым на подъездной путь.

При невозможности выполнения этого требования организация подачи состава должна быть оговорена технико-распорядительным актом станции.

Тупиковые упоры отделяют от электрифицированных путей одним изолирующим стыком в каждой рельсовой нити, устанавливаемым не далее 3,5 м от упора.

Допускается использовать неэлектрифицированные пути в качестве проводника тяговых и дренажных токов на станциях и перегонах при условии, что эти пути будут сооружены с соблюдением требований, изложенных в п.2.1.7 – 2.1.8.

2.1.12. Индивидуальные заземления на рельсы опорных конструкций контактной сети

Индивидуальные заземления на рельсы должны выполняться способами, ограничивающими величину утечки тока с рельсов.

При железобетонных опорах нельзя использовать арматурные стержни опор в качестве заземляющих проводников. Заземляющие проводники следует вести снаружи опор. Заземляющие проводники, соединяющие сооружение с рельсами, должны быть изолированы от земли.

При проектировании железобетонных опорных конструкций в качестве защитных мероприятий от электрокоррозии должны предусматриваться специальные изолирующие элементы (втулки, шайбы и т.д.), обеспечивающие электрическую изоляцию металлических деталей, заземляемых на рельсы, от бетона и арматуры железобетонных конструкций.

Опоры контактной сети, установленные в местах, посещаемых людьми, например, опоры контактной сети на перронах и переездах, опоры с секционными разъединителями и разрядниками должны быть заземлены на рельсы наглухо.

2.1.13. Групповое заземление на рельсы опорных конструкций контактной сети

должно быть воздушного типа. В случае наличия опасности электрокоррозии в цепь группового заземления должны быть установлены защитные устройства (искровые промежутки, диодные, тиристорные заземлители и др.).

Длина группового заземления выбирается из условий нормальной работы защитных устройств от коротких замыканий контактной сети и техники безопасности обслуживающего персонала.

Проводники, соединяющие групповое заземление с рельсами, должны быть изолированы от конструкции и от земли.

2.1.14. Заземление на рельсы различных сооружений и конструкций.

Заземленные на рельсы различные сооружения и конструкции (мачты светофоров, релейные шкафы и т.д.) должны быть установлены на каменные, бетонные или железобетонные основания. Увеличение сопротивления цепи утечки тягового тока через присоединяемые к рельсам конструкции должно достигаться, как правило, специальными изолирующими элементами или при отсутствии их установкой искровых промежутков, диодных заземлителей и т.п.

Проводники заземлений конструкций должны быть проложены изолированно от балласта и земляного полотна; на станциях, как правило, они должны присоединяться к тяговым рельсам боковых путей.

Конструкции и корпуса установок, соединенные наглухо с рельсами, не могут быть заземлены дополнительно.

2.1.15. Приводы и установки подогрева стрелочных переводов

Устройства механических и электрических приводов стрелочных переводов, а также установки для их подогрева должны быть выполнены таким образом, чтобы не снижать переходное сопротивление рельсов относительно земли.

2.1.16. Изоляция подземных металлических сооружений от рельсов

Металлическая оболочка и броня кабелей и металлические трубопроводы всякого рода должны быть тщательно и надежно изолированы от рельсов и заземленных на рельсы конструкций для исключения возможности снижения переходного сопротивления рельсов относительно земли и интенсивной электрокоррозии кабелей и трубопроводов.

2.2. Требования к эксплуатации и содержанию

2.2.1. Проверка изоляции отрицательной шины тяговой подстанции и отрицательных питающих линий

должна производиться в сроки, установленные нормативными документами, принятыми в стране.

Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

2.2.2. Проверка состояния искровых промежутков, диодных и тиристорных заземлителей на рельсы

должна производиться в сроки, установленные нормативными документами, принятыми в стране.

2.2.3. Проверка состояния рельсовых стыковых, междурельсовых, междупутных и обходных соединителей

производится по нормам железных дорог.

2.2.4. Проверка состояния изоляции рельсов по отношению к металлическим конструкциям

мостов, виадуктов, настилов на переездах и других инженерных сооружениях должна производиться по нормам железных дорог (как правило, не менее 2-х раз в год).

2.2.5. Проверка наличия изолирующих элементов на железобетонных шпалах

производится не реже одного раза в год и после ремонта пути.

2.2.6. Очистка балласта

должна производиться в сроки, установленные правилами содержания пути, действующими в стране.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДЗЕМНЫМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ СООРУЖЕНИЯМ

3.1. Требования к проектированию и строительству

3.1.1. Требования общего характера

Мероприятия против действий блуждающих токов на подземные сооружения осуществляются последовательно после реализации мероприятий на источнике блуждающих токов, если они недостаточно эффективны.

Для проектирования и строительства новых подземных сооружений необходимо определить возможные источники блуждающих токов (кроме эл. жел. путей и другие) обычно на расстояниях до 5 км. На расстояниях до 500 м обычно определяется необходимость применения или неприменения катодной защиты подземных сооружений.

Во время проектирования подземного сооружения нужно оценить интерференцию с другими подземными сооружениями согласно с критериями интерференции. При защите подземных сооружений нужно интерференцию сохранить в определенных пределах. Эта цель достигается сотрудничеством заинтересованных участников и взаимным обменом информацией о новых сооружениях, новых конструкций катодных защит. Предлагаемые защитные мероприятия нужно обсудить с заинтересованными участниками.

В густо застроенных районах (районах с густой сетью подземных сооружений) при проектировании и строительстве новых подземных сооружений, их реконструкции и ремонте необходимо подробно определить области возможной коррозии блуждающими токами. Для ограничения коррозионных влияний необходимо исключать случайные гальванические стыки в местах пересечения сооружений.

3.1.2. Выбор трассы

3.1.2.1. Требования общего характера

При выборе трассы прокладки металлических подземных трубопроводов и кабелей с металлическими оболочками следует, по мере возможности, избегать пересечений и локальных сближений с электрифицированными путями железных дорог и с иными источниками блуждающих токов, если это не приводит к значительному увеличению

протяженности трассы трубопроводов и кабелей и технико-экономически неоправданно.

Следует избегать, по мере возможности, прокладку трассы через места с очень большой агрессивностью почв, в особенности вблизи электрифицированных железнодорожных путей, как например, через места с увлажненными грунтами, места свалки мусора, разгрузки удобрений, котельного шлака, промышленных отходов, промышленных сточных вод и т.д.

Оценку коррозионной агрессивности почвы по отношению к стали следует производить по величине удельного электрического сопротивления грунта. Возможны другие показатели и методики, предусмотренные требованиями нормативных документов, действующих в стране.

Оценку коррозионной агрессивности почвы, грунтовых и природных вод относительно свинцовой и алюминиевых оболочек рекомендуется производить на основе результатов химического анализа образцов почвы, грунтовых и природных вод.

При определении коррозионной агрессивности почвы, а также грунтовых и природных вод, следует ориентироваться на показатели, приведенные в п.3.1.6 и на рекомендуемые методики испытания, приведенные в п.4.4. Возможны другие показатели и методики, предусмотренные требованиями нормативных документов, действующих в стране.

3.1.2.2. Пересечения подземных металлических сооружений с путями электрифицированных железных дорог

На пересечениях трубопроводы и кабели по условиям защиты от коррозии должны укладываться в изолирующих неметаллических трубах.

Не допускается прокладка трубопроводов и кабелей под стрелками и крестовинами (кроме трубопроводов и кабелей обдува и обогрева стрелок), а также в местах присоединения к рельсам отсасывающих линий.

Место пересечения должно находиться не ближе 10 м от указанных устройств.

3.1.2.3. Расстояние между подземным металлическим сооружением и электрифицированным железнодорожным путем

При выборе трасс прокладки трубопроводов и кабелей, идущих вдоль железнодорожных линий, следует отдавать предпочтение вариантам с более удаленной прокладкой их от рельсов электрифицированных путей.

При прокладке железнодорожных трубопроводов и кабелей на станциях расстояние между ближайшей нитью рельсов и трубопроводом или кабелем в междупутьях необходимо руководствоваться правилами железных дорог.

3.1.3. Применение изолирующих покровов и канализации при укладке подземных металлических сооружений

3.1.3.1. Требования общего характера

Стальные трубопроводы, прокладываемые непосредственно в земле в зонах действия блуждающих токов, должны иметь, как правило, усиленное или весьма усиленное противокоррозионное покрытие независимо от коррозионной активности грунта.

Кабели, прокладываемые в зонах действия блуждающих токов, должны иметь преимущественно полимерные покрытия (поверх металлической оболочки и поверх брони). Предпочтение должно отдаваться кабелям с покрытием шлангового типа. Кабели с одношланговыми покрытиями (поверх металлической оболочки) следует применять со стальной бронелентой поверх шланга. Кабели с одношланговыми покрытиями поверх металлической оболочки (без брони) применять на электрифицированных участках постоянного тока не рекомендуется.

Кабели в неметаллических полимерных оболочках (с броней и без брони) применяют на электрифицированных участках без ограничений по коррозии блуждающими токами.

Кабели силовые, связи и сигнализации с голыми свинцовыми оболочками прокладываются в изолирующих трубах, блоках, каналах, тоннелях и коллекторах. При этом должны быть приняты меры по отводу грунтовых и ливневых вод. Прокладка кабелей с голыми свинцовыми оболочками непосредственно в грунте не допускается.

Конкретные решения принимаются в соответствии с правилами железных дорог.

3.1.3.2. Применение пассивной защиты в местах сближения с путями электрифицированной железной дороги

Броня и оболочка кабелей должны быть надёжно изолированы с помощью специальных изолирующих втулок, прокладок, шайб, видимых разрывов от конструкций светофоров, релейных шкафов, прожекторных и осветительных мачт, пунктов параллельного соединения и постов секционирования, приводов

разъединителей контактной сети, заземленных на тяговые рельсы наглухо или через какие-либо защитные устройства (искровые промежутки, диодные заземления и т.п.).

При прокладке кабеля ближе 1 м от фундаментов металлических конструкций, заземленных на рельсы (опоры контактной сети, сигнальные и другие мостики, светофоры и т.д.), рекомендуется: на длине 3 м в обе стороны от оси конструкции или фундамента укладывать в изолирующей канализации.

Все металлические трубопроводы и кабели при прохождении по металлическим и железобетонным мостам, путепроводам и переходным мостикам должны иметь изоляцию от металлических частей моста в виде деревянных или полимерных настилов, желобов, труб.

3.1.3.3. Применение пассивной защиты в местах пересечения с путями электрифицированных железных дорог

При пересечении с рельсами железной дороги подземные сооружения должны быть проложены следующим образом:

кабели силовые, связи и сигнализации в неметаллических трубах, блоках, каналах, тоннелях, желобах и т.д.

магистральные и распределительные стальные трубопроводы в футлярах на изолирующих прокладках, центрирующих положение трубы в футляре. Футляры должны оканчиваться на расстоянии не менее 5 м от крайних тяговых рельсов, но обязательно за подошвой насыпи; торцы футляра следует уплотнить. Независимо от коррозионной активности грунта трубопровод должен покрываться усиленной или весьма усиленной изоляцией, выступающей на 3 м от концов футляра. Требования настоящего пункта не распространяются на прокладку теплопроводов в каналах.

3.1.3.4. Применение изолирующих муфт и фланцев

Продольное секционирование подземных металлических сооружений как мера защиты основано на электрическом разделении трубопроводов или оболочек кабелей на отдельные секции, чем достигается значительное снижение блуждающих токов, протекающих по трубопроводам или оболочкам кабелей.

Для секционирования стальных трубопроводов применяются изолирующие фланцы, состоящие из стандартного металлического фланца и изолированных прокладок, втулок и шайб. Для секционирования подземных кабелей с металлическими

оболочками рекомендуются типовые изолирующие муфты в соответствии с нормами железных дорог.

Электрическое секционирование как средство защиты подземных металлических сооружений от коррозии блуждающими токами может применяться в следующих случаях:

при вводах подземных трубопроводов и кабелей в здания со стальными каркасами;

при вводах подземных трубопроводов и кабелей в тоннели, депо, тяговые подстанции, нефтяные базы и т.д.;

при вводах подземных трубопроводов и кабелей на промышленные предприятия, расположенные в непосредственной близости (до 100 м) от электрифицированной железнодорожной линии;

на кабелях с алюминиевой оболочкой без брони.

На действующих подземных металлических сооружениях изолирующие фланцы и муфты рекомендуется размещать на границе чередования анодной и катодной зон потенциалов сооружений; при пересечении по дну рек, заливов, болот - на обоих берегах.

Изолирующие муфты и фланцы применяются также для входов трубопроводов и кабелей в металлические и железобетонные строения и конструкции.

3.1.3.5. Тоннели

Конструкции тоннелей, которые включают в себя металлические элементы, нужно защищать против действий блуждающих токов. Для оценки влияния блуждающих токов рекомендуется измерить изменение потенциала конструкции относительно земли. Если средняя величина изменения потенциала за длительное время не превысит +100 мВ, коррозионная опасность отсутствует. Там, где металлическая конструкция может создавать эл. соединение большой протяженности и проводить блуждающие токи, необходимо конструкцию продольно изоляционно секционировать.

.

3.1.4. Контрольно - измерительные пункты

3.1.4.1. Требование общего характера

Контрольно-измерительные пункты необходимы на трассах подземных сооружений для контроля их коррозионного состояния и работы устройств защиты.

Оборудование контрольно-измерительными пунктами подземных металлических сооружений, уложенных в тоннелях и коллекторах, необязательно.

Контрольные провода соединяются с подземным металлическим сооружением горячей пайкой. Места соединений и контрольные провода должны быть тщательно изолированы и защищены от повреждений.

3.1.4.2. Размещение контрольно-измерительных пунктов

Контрольно-измерительные пункты размещают на всей сети подземных сооружений и, в первую очередь, в доступных местах трассы, например, в смотровых колодцах, на вводах в здания, на выходах на опоры, распределительных шкафах, коробках, в местах пересечения с электрифицированными путями и с другими подземными сооружениями согласно действующих на дорогах норм.

Контрольно-измерительные пункты устанавливают:

на трассах стальных трубопроводов станций с тяговыми подстанциями через 300-500 м, а на остальных участках - через 500-1000 м;

на кабелях СЦБ, связи, дистанционного управления, низковольтных кабелях энергетического хозяйства: на станциях - через 200 - 300 м, а на перегонах - в местах расположения соединительных кабельных муфт; (Расстояния могут меняться в зависимости от типа покрытия кабеля).

на высоковольтных кабелях - в местах расположения соединительных и концевых муфт;

на всех сооружениях - в местах установки перемычек и подключения дренажных кабелей защитных установок;

на магистральных трубопроводах и кабелях - дополнительно на пересечениях с электрифицированной железной дорогой на расстоянии 10-50 м от ближайшего рельса по обе стороны пересечения.

3.1.5. Проверка состояния антикоррозионных покрытий на подземных металлических сооружениях в процессе их укладки

Во время строительства подземных металлических сооружений необходимо подвергать контролю путем осмотра и с помощью специальных приборов состояние их антикоррозионных покрытий и прокровов. Все обнаруженные повреждения до укладки в землю должны устраняться.

С особым вниманием следует отнестись к опасности повреждения покрытий трубопроводов и покровов кабелей при их помещении в защитные трубы, а также при их засыпке землей, содержащей камни или иные острые и твердые элементы, которые могли бы повредить покрытия или покровы.

3.1.6. Определение степени опасности почвенной коррозии и коррозий блуждающими токами железнодорожных подземных металлических и железобетонных сооружений и конструкций

3.1.6.1. Оценку коррозионной активности и удельных сопротивлений грунтов

рекомендуется производить на основе результатов измерений удельного сопротивления грунтов вдоль трассы подземного металлического сооружения. Показатели оценки коррозионной активности грунта в зависимости от его удельного сопротивления приведены в таблице 1.

Таблица 1

Коррозионная активность грунта в зависимости от его удельного сопротивления

Минимально-годовая величина удельного сопротивления грунта, Ом.м	Степень коррозионной активности грунта
Свыше 100	Низкая
От 20 до 100	Средняя
Менее 20	Высокая

3.1.6.2. Оценку коррозионной активности грунтов и грунтовых вод по данным химического анализа:

а) по отношению к свинцу определяют по данным химического анализа согласно таблице 2

Таблица 2

pH	Общая жесткость грунтовых вод, мг.экв/л	Содержание компонентов,% от массы воздушно - сухой пробы грунта (числитель)		Коррозионная активность
		Содержание компонентов грунтовых вод, мг /л (знаменатель)		
		Органические вещества (гумус)	Нитрат-ион	
6,5-7,5	- Свыше 5,3	До 0,0100 До 20	До 0,0001 До 10	Низкая
5,0-6,4; 7,6-9	- 5,3 - 3,0	0,010-0,020 20-40	0,0001-0,0010 10-20	Средняя
До 5,0; Свыше 9,0	- До 3,0	Свыше 0,0200 Свыше 40	Свыше 0,0010 Свыше 20	Высокая

В числителе данные для грунта, в знаменателе для грунтовых и других вод.

б) по отношению к алюминию определяют по данным химического анализа согласно таблице 3.

Таблица 3

pH	Содержание компонентов, в % от массы воздушно - сухой пробы грунта (числитель)		Коррозионная активность
	Содержание компонентов грунтовых вод, мг/ л (знаменатель)		
	Хлор - ион	Ион железа	
6,0-7,5	До 0,001 До 6,0	До 0,02 До 1,0	Низкая
4,5-5,9; 7,6-8,5	0,001-0,005 Свыше 50	0,002-0,010 Свыше 10	Средняя
До 4,5; Свыше 8,5	Свыше 0,006 Свыше 50	Свыше 0,010 Свыше 10	Высокая

В числителе данные для грунта, в знаменателе для грунтовых и других вод.

Допускается определение дополнительно к указанным количествам агрессивных компонентов в соответствии с нормативными документами, действующими в стране.

Кроме указанных в пп. „а“, „б“ методов оценки коррозионной активности среды, можно применять и другие методы, в частности, метод определения потери массы образца в грунте, метод основанный на измерении плотности поляризующего тока и др.

3.1.6.3. Оценка опасности коррозии блуждающими токами подземных металлических сооружений

Оценку опасности коррозии блуждающими токами подземных металлических сооружений рекомендуется проводить согласно нижеприведенным рекомендациям или действующим национальным нормам.

Оценка степени опасности коррозии на подземных сооружениях производится на основе комплекса электрических измерений с последующим сравнением их результатов с приведенными ниже показателями опасности электрокоррозии.

Показателем опасности коррозии, вызываемой блуждающими токами, для стальных подземных трубопроводов и подземных стальных резервуаров является наличие анодных и знакопеременных зон потенциалов по отношению к стальному электроду сравнения или наличие значений потенциалов выше $-0,55$ В при измерениях к медносulfатному электроду.

Рекомендуемые значения защитного потенциала и потенциала подземного сооружения катодно не защищенного для железа (стали) в зависимости от среды приводятся в следующей таблице (4):

Таблица 4

Железо, сталь	Среда	Удельное сопротивление среды Ω в m	Потенциал катодно не защищенного сооружения в В	Защитный потенциал в В
Железо и низко содержащие сплавы железа	аэробная с температурой меньше чем 40°C	< 200	-0,65 до -0,04	-0,8*
	аэробная с температурой больше чем 60°C		-0,8 до -0,5	-0,95*
	анаэробная		-0,8 до -0,65	-0,95
	воздушная песковая почва	< 100 100 до 1000 > 1000	-0,6 до -0,5 -0,5 до -0,3 -0,4 до -0,2	-0,85 -0,75 -0,65
сталь в бетоне	почва, вода		-0,6 до -0,1	-0,75
цинкованная сталь	почва, вода		-1,1 до -0,9	-1,2

- Для температуры от 40°C до 60°C возможно защитный потенциал интерполировать.

Для кабелей (СЦБ, силовых, связи) со свинцовой оболочкой и броней без наружного полимерного шлангового покрытия показатели электрокоррозионной опасности (опасные потенциалы „кабель - земля“) приведены в табл.5:

Таблица 4

Опасные (выше указанных значений)* потенциалы „кабель-земля“, В, по отношению к электродам		Грунт с удельным сопротивлением Ω , Ом.м**
стальному	медносульфатному	
0	-0,55	Менее 100
0,1	-0,45	От 100 до 500
0,2	-0,35	От 500 до 1000
0,4	-0,15	Более 1000

* Здесь и в дальнейшем понятие „выше“ означает значения потенциалов положительнее названных; понятие „ниже“ означает значения потенциалов отрицательнее названных.

** Значения потенциалов для $\rho \geq 100$ Ом.м получены исходя из нормируемой плотности тока утечки с кабеля $0,15$ мА/ дм².

Кабели с голыми свинцовыми оболочками подлежат защите от коррозии, если потенциалы на кабелях независимо от агрессивности грунта будут выше или ниже указанных:

Опасные средние значения потенциалов „кабель-земля“ ,В, по отношению	
к медносульфатному электроду	выше -0,48 ниже -1,1
к свинцовому электроду	выше 0 ниже -0,62

Рекомендуемое значение защитного потенциала свинца к медносульфатному электроду -0,65 В. Значение этого потенциала не должно быть меньше чем -0,95 В. Для катодно не защищенных сооружений рекомендуется потенциал от -0,5 В до -0,4 В.

Для кабелей в алюминиевой оболочке показателем опасности является наличие потенциалов выше -0,85 В и ниже -1,4 В к медносульфатному электроду.

Рекомендуемое значение защитного потенциала алюминия к медносульфатному электроду -0,8 В (пресная вода) или -0,9 В (солёная вода). Значение этого потенциала не должно быть меньше чем -1,15 В. Для катодно незащищенных сооружений рекомендуется потенциал от -0,8 В (пресная вода) или - 0,7 В (солёная вода) до -0,5В.

3.1.6.4. Оценка степени опасности коррозии железобетонных конструкций блуждающими токами

В анодных и знакопеременных зонах подземных и подводных железобетонных конструкций опасность разрушения арматуры, которая находится под слоем неповрежденного бетона, оценивается по значению плотности тока, стекающего с

арматуры в бетон и далее в землю. Опасной является средняя плотность тока утечки с арматуры, превышающая $0,6 \text{ мА/дм}^2$.

При значительном нарушении защитного слоя бетона оценка опасности электрокоррозии арматуры производится по показателям п.3.1.6.3 (Таблица 4).

Для железобетонных конструкций, которые имеют ограниченные размеры (опоры контактной сети, светофорные мачты, фундаменты релейных шкафов и т.п.) оценка опасности электрокоррозии производится по косвенным показателям: значении стекающего тока или сопротивлению цепи заземления и потенциалам „сооружение - земля“ („рельс - земля“).

Опасная величина стекающего тока определяется индивидуально для каждой конструкции в зависимости от поверхности арматуры, с которой возможно стекание тока. За поверхность арматуры, с которой возможно стекание тока, принимается половина поверхности внешнего ряда арматуры изделия.

3.1.6.5. Влияние (интерференция) подземных сооружений

Интерференция катодно защищенных подземных сооружений на не защищенные сооружения зависит от величины защитного тока, расстояния подземных сооружений и сопротивления среды.

Интерференция подземных сооружений катодно не защищенных считается допустимой, если изменение потенциала ΔU в анодной области подземного сооружения (напр. при взаимном пересечении) ниже чем величина в представленной таблице :

Металлическое подземное сооружение	Удельное сопротивление электролита ρ (Ом.м)	Макс. положительное потенциаловое изменение (включая IR смещение)	Макс. положительное потенциаловое изменение (без IR смещение)
сталь, чугун, медь свинец, цинк, алюминий	>150	300	20
	$10 \square 150$	$2x\rho^*$	20
	< 10	20	20
сталь в подземных железобетонных конструкциях		200	

* ρ в Ом.м

В случае непостоянного влияния (влияния постоянной тяговой системы) макс. положительное потенциальное изменение ΔU (включая IR смещение) может превысить вышеприведённые величины, если длительность пика не перерастает 5с, пики друг от друга различаются и их наличие не более чем 20 раз в час (при полной работе источника интерференции).

Неприемлемая величина ΔU - более чем 300 мВ.

Подземное сооружение с катодной защитой можно считать как недопустимо подвергаемое действию блуждающих токов, если потенциал (включая IR смещения) находится вне диапазона защитного потенциала.

Влияние в катодной области подземного сооружения считается недопустимым, если потенциал подземного сооружения отрицательнее от предельного критического потенциала (включая IR смещение).

Если измеренное отрицательное потенциальное смещение большое (например, $\Delta U > 500$ мВ, включая IR смещение), рекомендуется идентифицировать области с анодным потенциальным изменением и сравнить с допустимыми величинами потенциала.

Ограничение влияния достигается эквипотенциальными соединителями с непостоянным сопротивлением, встроенными в местах пересечения подземных сооружений.

3.1.7. Применение защиты катодной поляризацией.

3.1.7.1. Требование общего характера

Катодную поляризацию подземных металлических сооружений следует применять тогда, когда в результате измерений установлена опасность коррозии их блуждающими токами.

При осуществлении катодной поляризации на подземном сооружении не должно быть разрывов в электрической непрерывности сооружения. Броня и оболочка кабеля должны иметь металлическое соединение во всех кабельных муфтах и в месте подключения защитного устройства.

Катодная поляризация может быть осуществлена катодными станциями, электрическими поляризованными или усиленными дренажами и протекторами.

В районах с густой сетью подземных сооружений катодную защиту необходимо осуществлять совместно для нескольких сооружений. Анодные заземлители должны быть поверхностно распределены.

3.1.7.2. Показатели защищенности от коррозии

Подземные сооружения считаются защищенными от коррозий блуждающими токами при средних значениях потенциалов установленными нормами стран.

3.1.7.3. Электродренажная защита

Действие дренажной защиты должно быть эффективным при возможно наименьшем значении дренируемого тока, обеспечивающего защиту подземного металлического сооружения.

Рекомендуется применение электродренажных устройств с автоматической регулировкой дренируемого тока. Вентильные элементы электродренажа должны быть рассчитаны на максимальное обратное напряжение, возникающее в рельсах при любых режимах.

Поляризованный дренаж применяют когда средний потенциал защищаемого сооружения выше среднего потенциала рельса относительно земли, то есть преимущественно в катодных зонах потенциалов рельсов.

Усиленный электродренаж следует применять в знакопеременных зонах потенциалов рельсовой сети, когда на подземном сооружении имеется коррозионно-опасная зона, а средний потенциал рельса выше потенциала подземного сооружения или в других случаях, когда применение их может быть технико-экономически обосновано. В районах с густой сетью подземных сооружений нужно ограничивать величины дренируемых токов.

Место подключения электродренажа выбирается, исходя из максимальной эффективности его работы, и определяется нормативными документами, действующими в стране. Подключение электродренажа не должно оказывать вредного воздействия на работу устройств автоблокировки.

Железная дорога должна определить условия для присоединения дренажных защит железнодорожных и нежелезнодорожных подземных сооружений на обратную рельсовую линию с рельсовыми цепями устройств автоблокировки. Все места присоединения дренажей необходимо согласовать с железной дорогой. Рекомендуется, чтобы железная дорога сама устраивала в удобных местах (на основе заявления владельца сооружений) присоединительные пункты, которые нужно оборудовать необходимыми токоограничивающими и защитными от перенапряжений другими

элементами, которые необходимы для безопасности железнодорожного транспорта (деятельности рельсовых цепей устройств автоблокировки). Это могут быть дренажные дроссели (трансформаторы) с дополненными конденсаторами, создающими настраиваемую параллельную резонансную цепь и электронное устройство, обеспечивающее защиту рельсовых цепей при опасном повышении переменного компонента тока дренажной защиты с частотой рельсовой цепи.

Устройство присоединяющих пунктов железная дорога должна проверять и производить ремонт. Железная дорога имеет права, в случае опасности для железнодорожного транспорта, отключения дренажа.

Присоединение дренажа и подземного сооружения на отрицательный полюс тяговой подстанции увеличивает величину интегрального уровня блуждающих токов. Поэтому их присоединение можно производить только после оценки воздействий на другие подземные сооружения. Обычно дренаж применяется только в этом случае, если защищенное подземное сооружение удалено от других.

3.1.7.4. Катодную защиту

следует применять, когда по технико-экономическим соображениям применение дренажной защиты является нецелесообразным.

Источник катодной защиты нужно настроить на мин. уровень тока, при котором защита ещё обеспечивается. В особых случаях возможно использовать диодный заземлитель и заземляющие аноды. Таким образом, градиент напряжения вокруг анода понижается. Аналогичное действие достигается увеличением размера анода или использованием анода расположенного вблизи защищаемого сооружения.

Заземляющие аноды устраиваются мин. в 40 м от других линейных подземных сооружений. Вне застроенных областей - мин. в 100 м. При этом другие заземлительные системы, неизолированные трубопроводы, железобетонные фундаменты должны отсутствовать.

3.1.7.5. Протекторную защиту

можно применять с целью исключения повреждения на подземном сооружении от почвенной коррозии и от коррозии блуждающими токами, если положительный потенциал на подземном металлическом сооружении, создаваемый блуждающими токами, не превышает +0,3 вольта.

3.1.8. Защита железобетонных конструкций от коррозии блуждающими токами

3.1.8.1. Показатели защищенности

Железобетонная конструкция считается защищенной от коррозии блуждающими токами, если плотность тока утечки с любого элемента арматуры в бетон не превышает $0,6 \text{ мА/дм}^2$.

3.1.8.2. Способы защиты

Для железобетонных конструкций железнодорожного транспорта применяется преимущественно пассивная защита : арматура железобетонных конструкций мостов, тоннелей, шпал, опор и т.п. не должна иметь металлических соединений и случайных сообщений с рельсовыми нитями путей электрифицированных железных дорог, с заземленными на рельсы металлическими конструкциями либо с проводами индивидуальных или групповых заземлений на рельсы; в необходимых случаях это достигается установкой специальных изолирующих конструктивных элементов.

Для защиты железобетонных опор и фундаментов металлических опор от коррозии блуждающими токами рекомендуется заземлять их на рельсы через искровые промежутки или диодные заземлители.

3.2. Эксплуатационные требования.

3.2.1. Общие требования

Данные рекомендации эффективны в том случае, если устройства подземных сооружений и их защиты выполняются непосредственно или в сотрудничестве со специалистами по коррозии.

3.2.2. Контроль за состоянием подземных металлических сооружений без электрохимической защиты.

В процессе эксплуатации подземных металлических сооружений, не защищенных от коррозии катодной поляризацией, необходимо периодически проверять состояние сооружения путем измерений потенциалов сооружений по отношению к земле, а также контроля изолирующих покрытий посредством электрических измерений.

При обнаружении опасности электрокоррозии следует применять электрохимическую защиту катодной поляризацией, отвечающей требованиям п.3.1.7.

3.2.3. Контроль за состоянием подземных металлических сооружений с защитой катодной поляризацией

Эффективность действия защиты катодной поляризацией следует проверять периодически путем электрических измерений в сроки, соответствующие нормативным документам, принятым в стране.

4. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. Измерения по контролю за ограничением блуждающих токов

приведены в табл. 5.

4.2. Измерения по контролю за коррозионным состоянием подземного металлического сооружения

приведены в табл. 6.

4.3. Определение удельного сопротивления грунта

приведено в табл. 7.

4.4. Определение коррозионной активности (агрессивности) почвы и природных вод путем анализа химического состава

Степень коррозионной активности воды и почвы определяется сопоставлением результатов химического анализа с показателями, приведенными в п.3.1.6.2.

Образцы почвы рекомендуется отбирать из слоев почвы не глубже 0,8 м вдоль трассы на расстояниях 500-1000 м при однородной структуре почвы и через 200-300 м при неоднородной структуре почвы. Отобранные образцы следует хранить в чистых, плотно закрывающихся сосудах.

Химический состав определяется по любой методике, обеспечивающей выполнение анализа с требуемой точностью.

4.5. Измерения по определению эффективности действия защиты катодной поляризацией

Во время периодического контроля за работой устройств защиты подземных металлических сооружений от коррозии следует измерять потенциал защищаемого сооружения по отношению к земле, величину защитного тока, эффективность работы защитной установки в соответствии с действующими в стране правилами в этой области.

4.6. Определение влияния (интерференции) подземных сооружений

производится при помощи измерений на подвергнутых влиянию сооружениях:

- измерением изменения потенциала сооружения относительно земли;
- измерением градиента потенциала на поверхности земли;
- измерением токов в трубопроводах или в оболочках кабелей.

При высоком изменении потенциала нужно определить причину его возникновения. Для измерения потенциала сравнительный электрод устанавливается над измеряемым сооружением. Градиент потенциала измеряется при помощи двух сравнительных электродов. Один устанавливается над измеряемым сооружением, второй - на расстояние мин. 10 м. Измерения выполняются при полной эксплуатации источника интерференции и при его выключении.

4.7. Обработка результатов измерений

Метод обработки результатов заключается в определении средних величин измеряемых параметров, особенно положительных и отрицательных величин, на основе которых строятся потенциальные диаграммы.

Потенциальная диаграмма строится внесением в подходящем масштабе средних значений измеренных положительных и отрицательных параметров в данных измерительных точках на схему подземного сооружения и в соединяют друг с другом прямыми линиями.

Таким образом, получается диаграмма, отображающая распределение измеренной величины вдоль подземного металлического сооружения.

Вблизи обратных рельсовых линий с высоким коррозионным воздействием рекомендуется проводить измерения в период 24 часов. Для линейных сооружений рекомендуются одновременные измерения в нескольких измерительных точках. Новая измерительная техника - переносные вычислительные машины должны быть оборудованы специальной программой и регистрирующими приборами, которые в

полной мере отвечают предъявленным требованиям. Одновременно может работать несколько каналов с интервалом записи 1 сек. и параллельно обрабатываются 24 часовые и более длительные в нескольких удобных местах подземного сооружения или источниках блуждающих токов. Из записанных величин обычно обрабатываются:

- временные записи;
- гистограммы - процент появления измерительных величин в выбранных промежутках, которые дают представление об их отношении к защитному потенциалу, защитному. Есть желание контролировать катодно защищенное подземное сооружение, чтобы одновременно не возникала водородная хрупкость материала при повышенных отрицательных потенциалах;
- корреляционные диаграммы - диаграммы выражающие взаимоотношение двух измерительных величин, потенциала подземного сооружения относительно земли и его потенциала относительно рельсов. Эти диаграммы удобны для идентификации зависимости в пространстве, где находится несколько источников блуждающих токов. Также они удобны для наблюдения за работой и настройкой параметров электрически управляемых дренажных защит.

5. ОСОБЕННОСТИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ, ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

5.1. Для железных дорог, электрифицированных на переменном токе промышленной частоты, утечка тяговых токов с рельсовых путей не нормируется.

Существующие практические знания из эксплуатации железных дорог электрифицированных переменным током промышленной частоты не проявили бесспорные коррозионные влияния тяги переменного тока. Граница плотности тока, при которой уже обычно нужно считаться с коррозионным влиянием, есть 25-30 А/м². К балласту, шпалам, рельсовым стыкам, к электрической изоляции неэлектрифицированных путей от электрифицированных, к междупутным соединителям требования по условиям электрокоррозии для электрифицированных участков переменного тока не устанавливается.

5.2. При расстоянии между подземным металлическим сооружением и рельсами железной дороги, электрифицированной на переменном токе, более 500 м можно не считаться с усилением почвенной коррозии под воздействием переменных блуждающих токов.

5.3. Защита от коррозии блуждающими переменными токами частотой 50 Гц бронированных и голых кабелей со свинцовой оболочкой в грунтах с удельным сопротивлением более 20 Ом.м не требуется.

5.4. Защита подземных кабелей с алюминиевой оболочкой от коррозии блуждающими переменными токами (частотой 50 Гц) осуществляется пассивными средствами путем применения при их производстве надёжных и долговечных изолирующих покрытий, например, двухшланговые полимерные покровы поверх оболочки и броня.

5.5 Переменные токи и напряжения промышленной частоты могут влиять на уровень защитного потенциала катодно защищенных подземных сооружений в местах с поврежденной изоляцией. Основанием для оценки опасности коррозии является измерение переменного и постоянного потенциала (U_{AC} , U_{DC}) подземного сооружения относительно одинаковому электроду или измерение переменной и постоянной плотности тока (J_{AC} , J_{DC}) на одинаковом образце. Величины для оценки коррозионного влияния, которые еще общеизвестно не приняты, приводит следующая таблица:

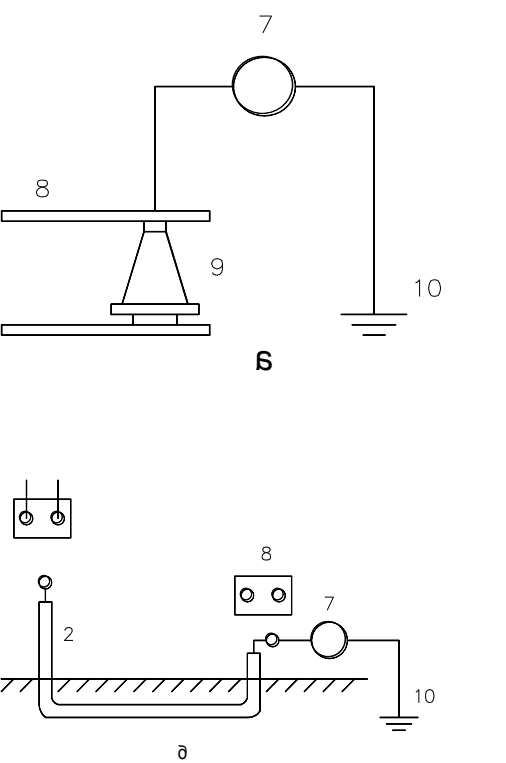
Критерий	Коррозионная опасность		
	минимальная	реальная (возможна)	большая
U_{AC}/U_{DC} [-]	≤ 3	с 3 до 5	>5
J_{AC}/J_{DC} [-]	≤ 3	с 3 до 10	>10

Защитные мероприятия заключаются в повышении уровня защитного потенциала (защитного тока), который ограничен выделением водорода, или в понижении переменного напряжения (тока) заземлением подземного сооружения в удобных местах.

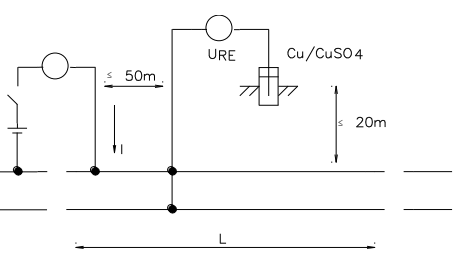
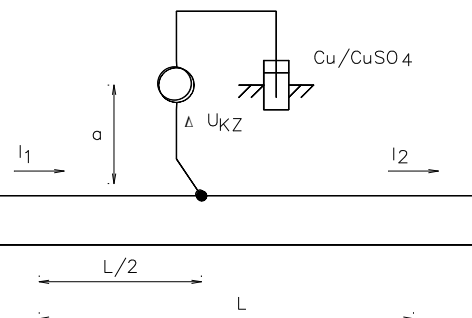
5.6 Подземные сооружения (прежде всего сооружения с недостаточной пассивной защитой) в близости железнодорожных путей электрифицированных переменным током промышленной частоты могут быть коррозионно опасны для эксплуатации катодных защит других подземных сооружений. При решении вопросов защиты подземных сооружений нужно действовать согласно положениям настоящих Рекомендаций.

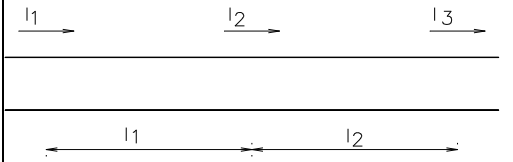
П у н к т	Вид измерения	Схема измерения	Требования к прибору	Особенности измерений
1	2	3	4	5
1.	Измерение разности потенциалов "рельс - земля"		Вольтметр с входным сопротивлением не менее 10000 Ом с двусторонней шкалой с пределом до 100 В, класс прибора не менее 2,5%.	Вольтметр соединяют положительным зажимом с рельсом, отрицательным - со специальным измерительным электродом (стальной стержень диаметром 10-15 мм и длиной 0,6-0,8 м), забиваемым в грунт в середине пролета между соседними по данному пути опорами контактной сети (в створе опор). Контакт с рельсами осуществляется установкой рельсового зажима на подошву рельса или присоединением проводника непосредственно к стыковому соединителю. Продолжительность измерения - не менее 30 минут с фиксацией показаний через 10 секунд, при этом должно проследовать не менее одного поезда в каждом направлении.
2.	Проверка наличия изоляции между рельсами и конструкциями и контроль исправности искровых промежутков		Вольтметр с входным сопротивлением не менее 10000 Ом.	Изоляция нормальная, если при наличии потенциала на рельсах стрелка прибора отклоняется.

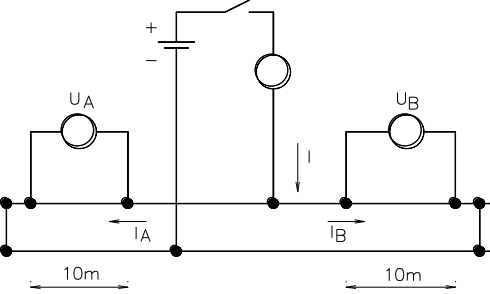
1	2	3	4	5
3.	Измерение сопротивления заземления конструкции		<p>Вольтметр с входным сопротивлением не менее 10000 Ом, амперметр с внутренним сопротивлением не более 5 Ом или специальные приборы - измерители сопротивления заземления.</p>	<p>Показания вольтметра записывают до а, амперметра после кратковременного замыкания контакта(кнопки). Деля мгновенное значение разности потенциалов "рельс - земля" на соответствующий ток утечки через конструкцию, определяют сопротивление цепи заземления. Принимается величина средняя из 3-х значений с вычетом внутреннего сопротивления амперметра взятого по паспорту прибора для данного предела измерений. Измерения производят при разности потенциалов "рельс - земля" в несколько вольт. При измерениях специальным прибором сопротивление заземления определяется непосредственно отсчётом.</p>
4.	Измерения электрического сопротивления стыков		<p>Милливольтметры с пределами от 10 до 500 мВ два одинаковых прибора и одинаковые измерительные провода или специальный прибор стыкоизмеритель.</p>	<p>При измерении следует создавать плотный контакт измерительных проводов с головкой рельса. На каждый рельсовый стык рекомендуется фиксировать по 5 показаний приборов. Сопротивление стыка рельсов, выраженное в метрах длины рельса, вычисляется по формуле</p> $R_{ct} = \frac{U_1}{U_2} - 1$ <p>где U_1 и U_2 показания милливольтметров. Сопротивлением стыка рельсов следует считать среднее значение сопротивлений, рассчитанных из нескольких измерений.</p>

1	2	3	4	5
5.	Измерение сопротивления изоляции отрицательной шины тяговой подстанции (а) и отрицательных питающих линий (б)	 <p>а</p> <p>б</p>	Мегомметр измерительным напряжением 1000 В	с Предварительно отключают отрицательные питающие линии от рельса и от отрицательной шины. Сопротивление изоляции должно отвечать требованиям пп. 2.1.4 и 2.1.5.

1	2	3	4	5
6.	Проверка междупутных и междурельсовых соединителей		Вольтметр с входным сопротивлением не менее 10000 Ом	Состояние нормальное, если стрелка прибора на пределах 50-100 В не отклоняется (при наличии потенциалов на рельсах)
7.	Измерение удельной проводимости утечки колеи тоннеля и виадукта	 $G_{RT} \cdot L$ $G_{RT} = \frac{3}{L} \cdot \frac{I - I_{RA} - I_{RB}}{\Delta U_{RT} + \Delta U_{RTA} + \Delta U_{RTB}}$ $\Delta U = U_{zap} - U_{vyp}$	Вольтметр, амперметр, постоянный источник	Цепи измерительного прибора тока периодически включается и отключается. Не допускается присоединение измерительных приборов к случайной арматуре тоннеля (виадука). Длина измерительной линии не должна иметь сопротивление более 4 мком

1	2	3	4	5
8.	Измерение удельной проводимости утечки колеи перегонов пути	 $G_{RE} = \frac{1}{L} \cdot \frac{I}{U_{REzap} - U_{REvyp}}$	Вольтметр, амперметр, медносульфотный электрод Cu/CuSO ₄ , постоянный источник	Измерительный участок пути необходимо отделить от соседних участков изолирующими стыками. Измерительный ток должен быть величиной больше чем 10 А и периодически включается и отключается. Измерение производится с одной и другой стороны измерительного участка. Длина сегмента не должна превышать 2 км.
9.	Измерение удельной проводимости утечки колеи по методу потенциальной диаграммы	 $g_r = \frac{I_1 - I_2}{\Delta U_{kz} \cdot L}$	Вольтметр, амперметр, медносульфотный электрод Cu/CuSO ₄ ,	При измерению не надо прерывать жел. эксплуатацию. Расстояние а зависит от гомогенности и проводимости почвы и присутствия подземных металлических сооружений; выбирается от 30 до 50 м.

1	2	3	4	5
10.	Измерение удельной проводимости утечки с рельсового пути методами длинных линий с постоянно распределенными параметрами	<p>Метод двух токов и напряжения. Схема одинаковая как в предыдущей точке.</p> $I_1 = \Delta U_{kz} \sqrt{\frac{g_p}{R_k}} \cdot \sin(\sqrt{R_k \cdot g_p} \cdot L) + I_2 \cdot \cosh(\sqrt{R_k \cdot g_p} \cdot L)$ <p>R_k - удельное продольное сопротивление рельса (или колея)</p> <p>Метод трех токов</p>  $I_3 = I_2 \cdot \left[\frac{\sinh(\sqrt{R_k \cdot g_p} \cdot (l_1 + l_2))}{\sinh(\sqrt{R_k \cdot g_p} \cdot l_1)} \right] - I_1 \left[\frac{\sinh(\sqrt{R_k \cdot g_p} \cdot l_2)}{\sinh(\sqrt{R_k \cdot g_p} \cdot l_1)} \right]$	<p>Вычислительная машина для решения гиперболометрической функции для известных значений $I_1, I_2, \Delta U_{kz}, R_k L$.</p> <p>Вычислительная машина для решения гиперболометрической функции для известных значений $I_1, I_2, I_3, R_k l_1, I_2$.</p>	Измерения заключаются в синхронной записи измеряемых величин. Для анализа S_p берется средняя амплитуда из трех одновременно измеряемых величин. При измерении на участке пути не должно быть тяговой нагрузки

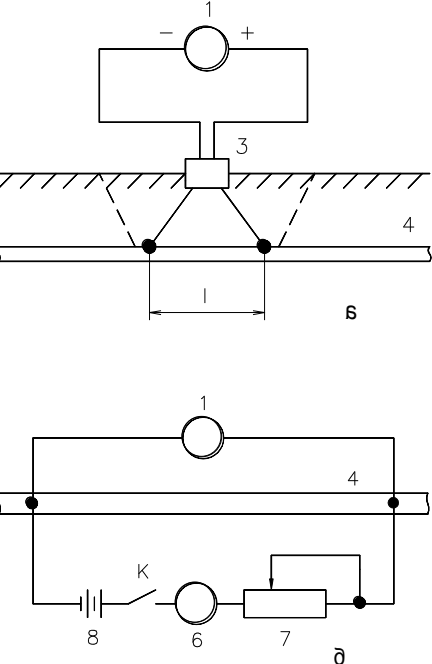
1	2	3	4	5
11.	Измерение продольного сопротивления рельса длины 10 м	 $R_{k10m} = \frac{(U_{Azap} - U_{Avyp}) + (U_{Bzap} - U_{Bvyp})}{I}$	Вольтметр, амперметр, постоянный источник	Измерительный ток I периодически включается и отключается. Изменение полярности неимело бы влиять на результаты измерения. Измерение должно исполнить без тягового тока. Измерительные пункты на рельсах приходят 1 м от пункта питания. В измерительном месте нельзя никакого поперечного переключения.

ПРИМЕЧАНИЕ. На схемах измерения обозначено: 1 - вольтметр (милливольтметр), 2-амперметр, 3-конструкция, 4-рельс, 5-искровой промежуток, 6-измерительный электрод, 7-мегаомметр, 8-отрицательная шина (питающая линия), 9-изолятор, 10-контур заземления, 11-измеритель сопротивления заземления.

Таблица 6

П у н к т	Вид измерения	Схема измерения	Требования к прибору	Особенности измерений
1	2	3	4	5
1.	Измерение разности потенциалов "сооружение земля"	<p>б</p> <p>д</p>	<p>Вольтметр с входным сопротивлением не менее 20000 Ом/В с пределами измерения 1-0-1, 10-0-10, стрелочный регистрирующий, точности прибора не менее 2,5%.</p>	<p>Измерения производятся в контрольно-измерительных пунктах, колодцах или в специально выкопанных шурфах. Измерительный электрод следует устанавливать по возможности вблизи обследуемого сооружения или над ним. Если необходимо произвести измерения на участках между КИПами, то следует использовать метод выносного измерительного электрода. Если амплитуда колебаний измеряемой разности потенциалов не превышает 1 В, должны применяться неполяризующиеся электроды сравнения, при больших амплитудах могут быть использованы металлические электроды. Длительность измерения должна быть не менее 30 мин. за время измерений должно пройти не менее 2-х электропоездов в каждом направлении. Показание прибора списывают через каждые 10сек.</p>

1	2	3	4	5
2.	Измерения разности потенциалов "сооружение сооружение, сооружение рельс"		<p>Вольтметр с входным сопротивлением не менее 20000 Ом/В с пределами измерения 1-0-1, 10-0-10, стрелочный регистрирующий, класс точности прибора не менее 2,5%.</p>	<p>Измерения производятся в контрольно-измерительных пунктах, колодцах или в специальных выкопанных шурфах. Измерительный электрод следует устанавливать по возможности или вблизи обследуемого сооружения или над ним. Если необходимо произвести измерения на участках между КИПами, то следует пользоваться методом выносного измерительного электрода. Если амплитуда колебаний измеряемой разности потенциалов не превышает 1 В, должны применяться неполяризующиеся электроды сравнения, при больших амплитудах могут быть использованы металлические электроды. Длительность измерения должна быть не менее 30 мин. за время измерений должно пройти не менее 2-х электропоездов в каждом направлении. Показание прибора списывают через каждые 10 сек.</p>

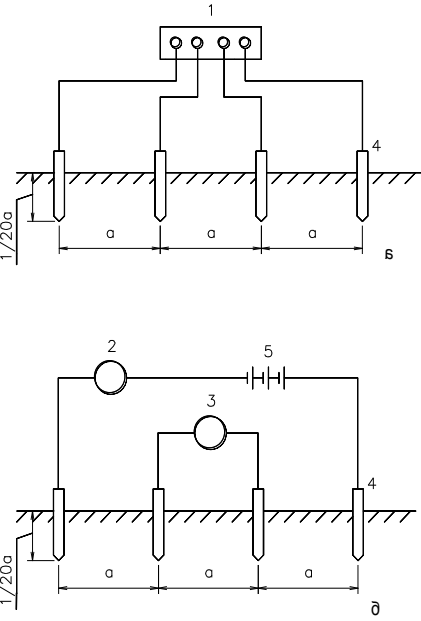
1	2	3	4	5
3.	Измерение силы токов, протекающих в подземном металлическом сооружении методом падения напряжения (а) и методом компенсации (б)		Милливольтметры с пределом измерения 1-0-1, 10-0-10, 100-0-100 мВ с входным сопротивлением не менее, чем 20000 Ом/В	<p>а) Среднее значение протекающего в подземном сооружении тока, измеренного по методу падения напряжения, определяют как:</p> $I_{cp} = \frac{U_{cp}}{Rl}$ <p>где U_{cp} - среднее значение измеренного падения напряжения в вольтах, R - сопротивлении 1 метра подземного металлического сооружения в омах, l - расстояние между пунктами подключения измерительных проводов в метрах,</p> <p>б) Очередность измерений методом компенсации следующая: по показаниям милливольтметра определяют направление протекания тока, ключом к подключается источник постоянного тока, реостатом R регулируют силу тока подаваемого источником до тех пор, пока стрелка милливольтметра не задерживается на нуле. В этот момент показание амперметра равно силе тока, протекающего в подземном металлическом сооружении.</p>

ПРИМЕЧАНИЕ: На схемах измерения обозначено:

1 - вольтметр (милливольтметр), 2-измерительный электрод (неполяризующийся при $U < 1$ В или стальной при $U > 1$ В),

3-КИП, 4-подземное металлическое сооружение, 5-рельс, 6- амперметр, 7- регулируемый резистор, 8-источник тока.

Таблица 7

П у н к т	Вид измерения	Схема измерения	Требования к прибору	Особенности измерений
1	2	3	4	5
1.	Определение удельного сопротивления грунта	 <p>1 - измеритель сопротивления грунта, 2 - амперметр, 3- милливольтметр, 4- измерительные электроды, 5- источник тока.</p>	<p>Удельное сопротивление грунта измеряют специальным прибором (измеритель сопротивления заземления) четырехэлектродной схемой или по методу амперметра - вольтметра.</p>	<p>Удельное сопротивление грунта определяют на станциях через 100 метров, на перегонах через 200-500 метров. Электроды размещают по одной линии, которая для проектируемого сооружения должна совпадать с осью трассы, а для уложенного в землю сооружения должна проходить перпендикулярно или параллельно этому сооружению на расстоянии 2-4 м от него. Расстояние между электродами принимается одинаковым (а) и равным двойной глубине заковки подземного сооружения. Глубина забивки электродов в грунт не должна быть более 1/20 а. Удельное сопротивление определяют при измерении прибором (рис. а)</p> $\rho = 2\pi \cdot R \cdot a, \quad \text{Ом} \cdot \text{м}$ <p>где R- показание прибора, Ом при измерении методом амперметра - вольтметра (б)</p> $\rho = 2\pi \cdot a \cdot \frac{U}{I}, \quad \text{Ом} \cdot \text{м}$ <p>где U - среднее значение показаний милливольтметра, измеренное при двух вариантах подключения источника тока к электродам, В, I - среднее значение показаний амперметра, А.</p>