

Открытое акционерное общество «Газпром»
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ
И ГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ – ВНИИГАЗ»
(ООО «ВНИИГАЗ»)

СОГЛАСОВАНО
Начальник Отдела
защиты от коррозии
ОАО "ГАЗПРОМ"

_____ И.А. Тычкин

"__" _____ 2004 г.

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО "ВНИИГАЗ"
д-р техн. наук, проф.

_____ Р.М.Тер-Саркисов

«__» _____ 2004 г.

ИНСТРУКЦИЯ
ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ
ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Заместитель генерального
директора по науке,
д-р техн.нак

В.С.Сафонов

Начальник лаборатории
электрохимической защиты

Ф.К.Фатрахманов

пос. Развилка
Ленинский р-н, Московская обл.
2004

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНА ООО "Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий (ООО "ВНИИГАЗ") ОАО "Газпром" при участии ООО "Центр противокоррозионной защиты и диагностики – ВНИИСТ"

2 ВНЕСЕНА

3 ПРИНЯТА И ВВЕДЕНА В ДЕЙСТВИЕ

4 ВЗАМЕН "Инструкции по проектированию и расчету электрохимической защиты магистральных трубопроводов и промысловых объектов" ВСН 2-106-78 Миннефтегазстрой

www.enes26.ru

Содержание

Введение	5
1 Область применения	6
2 Нормативные ссылки	6
3 Термины и определения	6
4 Обозначения и сокращения	9
4.1 Обозначения	9
4.2 Сокращения	12
5 Требования к системам электрохимической защиты	13
5.1 Общие требования	13
5.2 Система ЭХЗ	15
5.3 Установки катодной защиты	17
5.4 Установки протекторной защиты	20
5.5 Установки дренажной защиты	21
5.6 Контрольно-измерительные пункты	22
5.7 Коррозионный мониторинг	25
5.8 Электроснабжение установок катодной защиты (УКЗ)	26
6 Расчет электрических характеристик защищаемых магистральных трубопроводов	28
7 Расчет катодной защиты трубопроводов	34
8 Расчет параметров анодного заземления	37
9 Расчет параметров протекторной защиты	44
10 Расчет параметров дренажной защиты	48
11 Расчет и проектирование совместной защиты многониточных газопроводов	53
12 Особенности проектирования электрохимической защиты подземных коммуникаций промплощадок магистральных газопроводов	56
13 Особенности проектирования электрохимической защиты переходов магистральных газопроводов через водные преграды, железные и автомобильные дороги	59
14 Особенности проектирования временной защиты	61

магистральных газопроводов

Приложения

А	Перечень типовых проектов по электрохимической защите подземных трубопроводов от коррозии	63
Б	Значения продольного сопротивления трубопровода R_m при различной толщине стенки трубы	65
В	Зависимость сопротивления растеканию тока трубопровода от удельного сопротивления грунта	67

www.enes26.ru

Введение

"Инструкция по расчету и проектированию электрохимической защиты от коррозии магистральных газопроводов" разработана взамен действующей "Инструкции по проектированию и расчету электрохимической защиты магистральных трубопроводов и промышленных объектов" ВСН 2-106-78 Миннефтегазстрой с учетом требований к противокоррозионной защите, регламентированных в новом ГОСТ Р 51164-98 "Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии", технических и научных достижений за последние 20 лет.

"Инструкция..." предназначена для проектных, строительных и эксплуатирующих организаций ОАО "Газпром".

В "Инструкции..." изложены основные принципы расчета и проектирования электрохимической защиты от подземной коррозии и коррозии блуждающими токами стальных изолированных магистральных газопроводов диаметром от 0,146 до 1420 мм.

В "Инструкцию..." вошли новые разделы: "Требования к системам электрохимической защиты", "Особенности проектирования электрохимической защиты переходов магистральных газопроводов через водные преграды, железные и автомобильные дороги", "Особенности проектирования временной защиты". В разделе "Требования к системам электрохимической защиты" сформулированы основные требования к выбору и проектированию оптимальных систем ЭХЗ, а также к системам контроля ее эффективности.

Методики расчета систем электрохимической защиты значительно упрощены с учетом практики эксплуатации магистральных трубопроводов.

"Инструкция..." разработана специалистами ООО "Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий (ООО "ВНИИГАЗ") ОАО "Газпром": Ф.К.Фатрахмановым, к.т.н. Т.И.Маняхиной, Б.И.Хмельницким при участии Н.К.Шамшетдиновой, И.Ю.Копьева, А.М.Пушкарева, сотрудников ООО "Центр противокоррозионной защиты и диагностики – ВНИИСТ": д.т.н. Н.П.Глазова, к.т.н. К.Л.Шамшетдинова, А.Н.Сульженко и сотрудника ОАО "Газпром" М.Л.Долганова.

1 Область применения

1.1 Настоящий руководящий документ устанавливает требования к проектированию и расчету параметров электрохимической защиты магистральных газопроводов, подземных металлических сооружений компрессорных станций и других сооружений, входящих в состав магистрального газопровода.

2 Нормативные ссылки

В настоящей «Инструкции...» использованы ссылки на следующие документы:

ГОСТ Р 51164-98 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.

ГОСТ 9.602-89* Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.

СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования.

СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.

СНиП 2.03.11-85* Защита строительных конструкций от коррозии.

СНиП III-42-80* Трубопроводы магистральные. Правила производства и приемки работ.

ВСН 2-106-78 Миннефтегазстрой Инструкция по проектированию и расчету электрохимической защиты магистральных газопроводов и промышленных объектов.

ВРД 39-1.10-006-2000* Правила технической эксплуатации магистральных газопроводов.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ).

Руководство по эксплуатации противокоррозионной защиты трубопроводов, ВНИИГАЗ-2004.

Руководство по эксплуатации систем коррозионного мониторинга магистральных трубопроводов, ВНИИГАЗ-2004.

3 Термины и определения

В настоящей "Инструкции..." применены следующие термины с соответствующими определениями.

Коррозия – разрушение материала газопровода под воздействием окружающей среды.

Электрохимическая защита – защита от коррозии, осуществляемая катодной поляризацией сооружения до потенциала определенной величины от внешнего источника тока (катодная защита) или путем соединения с протектором, имеющим более отрицательный потенциал относительно защищаемого сооружения (протекторная защита).

Анодное заземление – устройство в системе катодной защиты, подсоединяемое к положительному источнику тока и обеспечивающее стекание защитного тока в землю.

Блок совместной защиты - устройство, обеспечивающее распределение защитного тока между несколькими сооружениями.

Блуждающие токи - токи в земле, возникающие вследствие работы посторонних источников тока постоянного или переменного напряжения (электрифицированный транспорт, сварочные агрегаты, устройства электрохимической защиты посторонних сооружений и пр.).

Временная защита - электрохимическая защита сооружения до ввода в эксплуатацию основных средств ЭХЗ.

Вспомогательный электрод (датчик потенциала) - электрод, выполненный из материала трубопровода и имеющий изоляцию со сквозным дефектом.

Глубинное заземление - заземление, устанавливаемое в грунт в специально пробуренные скважины и длина которого намного превышает его диаметр.

Защитная зона трубопровода – участок трубопровода, на котором обеспечен заданный ГОСТ Р 51164 уровень защиты.

Дренажная линия - проводники, соединяющие минусовую клемму источника постоянного тока с трубопроводом (катодная дренажная линия) и плюсовую клемму - с анодным заземлением (анодная дренажная линия).

Защитное заземление - заземление, предназначенное и сооружаемое для обеспечения электробезопасности при эксплуатации электроустановок.

Защитный потенциал - катодный потенциал, обеспечивающий требуемое торможение коррозионного процесса.

Изолирующее соединение – фланцевое (муфтовое) соединение труб или вставка между двумя участками трубопровода, создающие требуемое электрическое сопротивление между ними.

Катодный вывод – электрический проводник, обеспечивающий электрический контакт между трубопроводом и измерительным прибором, расположенным на поверхности земли.

Катодная станция (преобразователь катодной защиты) - источник постоянного тока или устройство, преобразующее переменный ток в постоянный.

Контрольно-измерительный пункт (КИП) - устройство, совмещающее специальную колонку и катодный вывод.

Минимальный защитный потенциал - минимальное значение потенциала, при котором обеспечивается требуемая степень защиты от коррозии.

Максимальный защитный потенциал – максимально допустимый потенциал, обеспечивающий защиту сооружения от коррозии, но не оказывающий отрицательного влияния на адгезию изоляционного покрытия.

Подпочвенное заземление – заземление, расположенное в грунте на глубине ниже уровня промерзания с горизонтальным, вертикальным и комбинированным расположением электродов.

Поляризационный потенциал - потенциал без омической составляющей (падения напряжения в грунте и изоляции).

Протектор - электрод, изготовленный из сплава, имеющего более отрицательный электродный потенциал, чем потенциал защищаемого сооружения.

Протяженное заземление - заземление, прокладываемое как правило, вдоль защищаемого сооружения

Точка дренажа - место подключения кабеля к трубе для отвода тока из трубопровода при электрохимической и дренажной защите.

Установка дренажной защиты - комплекс устройств, состоящий из дренажа, и дренажной линии, обеспечивающий отвод (дренаж) токов из трубопровода в землю или к источнику блуждающих токов.

Установка катодной защиты - комплекс устройств, состоящий из катодной станции (преобразователя катодной защиты), дренажной линии и анодного заземления.

Установка протекторной защиты - один или несколько протекторов, электрически соединенных с трубопроводом, провода (кабели) и КИП.

Электрод сравнения - электрод, имеющий постоянный электродный потенциал в грунте (электролите). Коррозия – разрушение материала газопровода под воздействием окружающей среды.

4 Обозначения и сокращения

4.1 Обозначения

Наименование величин	Размерность	Обозначение
Параметры трубопровода		
характеристическое сопротивление	Ом	Z
входное сопротивление	Ом	$Z_{вх}$
диаметр трубопровода	м	D_m
глубина укладки трубопровода	м	H_m
коэффициент, характеризующий скорость изменения сопротивления изоляции во времени	1/год	γ
естественная разность потенциалов труба-земля	В	U_e
начальное значение сопротивления изоляции	Ом•м ²	$R_{из0}$
начальное значение переходного сопротивления	Ом•м ²	$R'_п$
переходное сопротивление	Ом•м ²	$R_п$
постоянная распространения тока вдоль трубопровода	1/м	α
продольное сопротивление	Ом/м	R_m
сопротивление изоляции	Ом•м ²	$R_{из}$
сопротивление растеканию тока	Ом•м ²	R_p
толщина стенки трубы	м	δ_m
среднее удельное электрическое сопротивление грунта	Ом•м	ρ_z
удельное электрическое сопротивление грунта в зоне анодного заземления	Ом•м	ρ_z
удельное электрическое сопротивление материала трубы	Ом•м ²	ρ_m
характеристическое сопротивление трубопровода	Ом	Z
Параметры катодной защиты		
длина трубопровода	м	L
длина соединительного провода	м	l_n
коэффициент полезного действия катодной станции	б/р	η
коэффициент защиты от перегрузки катодных станций	б/р	$k_{пл}$
коэффициент, учитывающий неравномерность распределения разности потенциалов труба-земля вдоль трубопровода	б/р	k
коэффициент, учитывающий взаимовлияние соседних катодных установок	б/р	K_e
коэффициент нелинейности катодной поляризации	м ² /А	a
максимальный защитный поляризационный потенциал	В	U_o
минимальное смещение (по абсолютной величине) разности потенциалов труба-земля	В	$U_{тзм}$
минимальный защитный поляризационный потенциал	В	U_m
мощность на выходе катодной станции	Вт	W
напряжение на выходе катодной станции	В	V
номинальная сила тока	А	i_n
планируемый срок эксплуатации	годы	T
омическое сопротивление дефекта в изоляции	Ом•м ²	R_o

Наименование величин	Размерность	Обозначение
плечо защиты	м	l
поляризационное сопротивление дефекта в изоляции	$\text{Ом} \cdot \text{м}^2$	$R_{\text{по}}$
предельная плотность тока по кислороду	А/м^2	$j_{\text{д}}$
площадь поверхности датчика потенциала	м^2	$S_{\text{ез}}$
расстояние между трубопроводом и анодным заземлением	м	y
сечение провода дренажной линии	м^2	S
сила защитного тока	А	i
сопротивление дренажных проводов, соединяющих катодную станцию с трубопроводом и анодным заземлением	Ом	$R_{\text{пр}}$
смещение разности потенциалов в точке дренажа	В	$U_{\text{мзо}}$
удельное электрическое сопротивление провода	$\text{Ом} \cdot \text{м}^2$	$\rho_{\text{м}}$
Параметры анодного заземления		
длина электрода	м	$l_{\text{э}}$
диаметр электрода	м	$d_{\text{э}}$
диаметр электрода с активатором	м	$d_{\text{а}}$
глубина установки – расстояние от уровня земли до середины электрода	м	h
коэффициент использования материала электрода	б/р	$\eta_{\text{и}}$
масса материала электродов заземления (без активатора)	кг	$G_{\text{з}}$
планируемый срок службы	год	T
переходное сопротивление анодного заземления	Ом	$R_{\text{з}}$
переходное сопротивление одиночного электрода	Ом	$R_{\text{з1}}$
электрохимический эквивалент анодного материала заземления	$\text{кг/А} \cdot \text{г}$	$q_{\text{з}}$
сила тока, стекающего с заземления	А	$i_{\text{з}}$
расчетный срок службы	год	$T_{\text{р}}$
удельное сопротивление наполнителя	$\text{Ом} \cdot \text{м}$	$\rho_{\text{а}}$
удельное электрическое сопротивление грунта в месте установки анодного заземления	$\text{Ом} \cdot \text{м}$	$\rho_{\text{з}}$
Параметры глубинного анодного заземления		
длина рабочей части глубинного заземления	м	$l_{\text{з}}$
коэффициент неоднородности грунта	б/р	$k_{\text{э}}$
масса рабочей части заземления	кг	$G_{\text{зи}}$
площадь сечения электродов заземления	м^2	$S_{\text{э}}$
средняя сила тока, стекающего с заземления, за планируемый период его работы	А	$i_{\text{з.ср}}$
удельное электрическое сопротивление	$\text{Ом} \cdot \text{м}$	ρ
сопротивление растеканию заземления	Ом	$R_{\text{зе}}$
Параметры дренажной защиты		
длина дренажного кабеля	м	$l_{\text{к}}$
допустимое падение напряжения в дренажной цепи	В	$\Delta U_{\text{д}}$
коэффициент, учитывающий расстояние между трубопроводом и электрифицированной железной	б/р	K_1

Наименование величин	Размерность	Обозначение
дорогой		
коэффициент, учитывающий расстояние от трубопровода до тяговой подстанции	б/р	K_2
коэффициент, учитывающий тип изоляционного покрытия трубопроводов	б/р	K_3
коэффициент, учитывающий срок службы трубопровода	б/р	K_4
коэффициент, учитывающий количество параллельно уложенных трубопроводов	б/р	K_5
напряжение на выходе вольтодобавочного устройства усиленного дренажа	В	E_∂
напряжение холостого хода усиленного дренажа	В	U_{xx}
напряжение на зажимах проектируемого дренажного устройства при токе нагрузки	В	U_H
падение напряжения в отсасывающем фидере	В	ΔU_ϕ
сила тока через электрический дренаж	А	i_∂
средняя величина разности потенциалов между точками присоединения дренажа к подземному сооружению и рельсами при отключенном дренаже	В	$\Delta U'_{m-p}$
средняя сила тока усиленного дренажа за время опытного дренирования	А	$i_{y\partial}$
сопротивление установки усиленного дренажа (без добавочного сопротивления)	Ом	$R_{y\partial}$
средняя разность потенциалов между точками присоединения дренажа к трубопроводу и к рельсам в режиме поляризованного дренажа (при отключенном вольтодобавочном устройстве),	В	ΔU_{pm-p}
средняя сила тока, протекающего через устройство усиленного дренажа, работающего в режиме поляризованного дренажа	А	$i_{пд}$
Параметры протекторной защиты		
глубина установки протектора (расстояние от поверхности земли до середины протектора)	м	h
диаметр комплектного протектора	м	d_a
диаметр протектора	м	d_∂
длина комплектного протектора	м	l_a
длина участка трубопровода, защищаемая групповой протекторной установкой	м	l_3
коэффициент использования материала протектора	б/р	η_u
коэффициент полезного действия протектора	б/р	η_p
коэффициент, учитывающий поляризацию протектора	В/м ²	c
масса протектора	кг	m_p
планируемый период работы протектора	годы	T_p
рабочая поверхность протектора	м ²	S_p
сила тока групповой протекторной установки в начальный период,	А	$i_{пе}$

Наименование величин	Размерность	Обозначение
сопротивление растеканию одного протектора	Ом	$R_{рп}$
сопротивление цепи протектор-трубопровод	Ом	$R_{пт}$
стационарный потенциал протектора	В	$U_{п}$
теоретическая токоотдача материала протектора	А•ч/кг	q
удельное электрическое сопротивление активатора	Ом•м	ρ_a
Параметры кожуха		
диаметр кожуха	м	D_k
естественная разность потенциалов кожух-земля	В	$U_{ек}$
минимальная защитная наложенная разность потенциалов кожух-земля	В	$U_{кзм}$
сопротивление цепи протектор-кожух	Ом	$R_{пк}$
начальное переходное сопротивление кожуха	Ом	$R_{пнк}$
Параметры промплощадки		
защитная плотность тока коммуникаций площадки	А/м ²	$j_{з.пл}$
количество установок катодной защиты на площадке компрессорной станции	шт	$N_{укз}$
номинальный выходной ток катодного преобразователя (определяется технической документацией)	А	I_n
общее количество подземных трубопроводов на площадке	шт	$N_{пл}$
общий защитный ток подземных коммуникаций площадки	А	$I_{пл}$
площадь поверхности i -го трубопровода	м ²	S_i

4.2 Сокращения

ЭХЗ - электрохимическая защита;

УКЗ - установка катодной защиты;

МГ - магистральный газопровод

УДЗ - установка дренажной защиты;

ПУ - протекторная установка;

ВЛ - воздушная линия электропередач;

ЛЭП - линия электропередачи

АЗ - анодное заземление;

ГАЗ - глубинное анодное заземление;

КИП - контрольно-измерительный пункт;

КДП – контрольно-диагностический пункт;

АВР - автомат включения резервного питания;

МСЭ - медно-сульфатный электрод сравнения;

ВЭЗ – вертикальное электрическое зондирование.

5 Требования к системам электрохимической защиты

5.1 Общие требования

5.1.1 Газопроводы, при всех способах прокладки, кроме надземной, подлежат комплексной защите от коррозии защитными покрытиями и средствами электрохимической защиты, независимо от коррозионной агрессивности грунта.

5.1.2 Газопроводы, температура стенок которых в период эксплуатации ниже 268 К (минус 5°C), не подлежат электрохимической защите в случае отсутствия негативного влияния блуждающих токов от источников переменного (50 Гц) и постоянного тока.

5.1.3 Средства электрохимической защиты газопроводов от коррозии должны быть определены в проекте защиты, который разрабатывается одновременно с проектом нового (или реконструируемого) газопровода.

5.1.4 Проектируемые средства ЭХЗ должны обеспечить необходимую степень защиты (поляризации), соответствующую степени коррозионной агрессивности грунтов (минерализации и удельному сопротивлению), температуре газопровода и влиянию блуждающих токов. При этом система ЭХЗ должна обеспечивать поляризацию на всем протяжении газопровода в интервале потенциалов, регламентированном ГОСТ Р 51164-98.

5.1.5 Электрохимическую защиту газопроводов от коррозии следует проектировать для газопровода в целом, с определением на начальный и конечный (не менее 30 лет) периоды эксплуатации следующих параметров:

- для установок катодной защиты - силы защитного тока и напряжения на выходе катодных станций (преобразователей), а также сопротивления анодных заземлений;
- для протекторных установок - силы защитного тока;
- для установок дренажной защиты - силы тока дренажа.

5.1.6 Систему ЭХЗ необходимо проектировать с учетом действующей электрохимической защиты эксплуатируемых соседних газопроводов и перспективного строительства подземных металлических сооружений вдоль трассы проектируемого газопровода.

5.1.7 До ввода в эксплуатацию основных средств ЭХЗ позднее одного месяца после укладки и засыпки участка трубопровода в зонах блуждающих токов и позднее трех месяцев в остальных случаях, проектом должна быть предусмотрена

временная электрохимическая защита со сроками ввода в эксплуатацию, соответственно, один и три месяца после засыпки участка.

5.1.8 В проекте должны быть предусмотрены затраты на комплексное обследование и диагностику противокоррозионной защиты строящихся газопроводов для оформления сертификата.

5.1.9 При проведении изысканий для проектирования строящихся газопроводов выполняются следующие работы:

- измерение удельного сопротивления грунта по всей трассе с шагом 10-100 м при двух разносах электродов соответствующих проектной глубине верхней и нижней образующих трубы;
- определение содержания водорастворимых солей в грунте на глубине укладки газопровода с шагом 1 км;
- определение наличия, параметров блуждающих токов и обследование их источников;
- определение границ изменения уровня грунтовых вод и глубины промерзания грунта с шагом 100-1000 м в зависимости от рельефа и гидрогеологических характеристик местности;
- определение зон повышенной и высокой коррозионной опасности;
- выбор мест размещения средств ЭХЗ и источников их электроснабжения;
- съемка на местности площадок для размещения элементов системы ЭХЗ;
- вертикальное электрическое зондирование на площадках размещения анодных заземлений;
- изучение эксплуатационных характеристик существующих воздушных линий электропередач ВЛ 10 (6); 0,4 кВ, пересекающих трассу газопровода или находящихся на расстоянии, с которого возможно обеспечение электроснабжения УКЗ;
- получение технических условий на подключение к источникам электроснабжения;
- согласование со службами эксплуатации источников блуждающих токов (железной дороги и др.) на подключение средств дренажной защиты;
- сбор и анализ сведений о коррозии и параметрах ЭХЗ соседних и/или пересекающих проектируемый газопровод подземных коммуникаций.

5.1.10 Проектная документация должна содержать:

- пояснительную записку с обоснованиями принятых решений;
- план трассы проектируемого газопровода с нанесенными проектными и существующими подземными коммуникациями и средствами ЭХЗ и электрифицированными ж/д;
- планы размещения проектируемых и существующих средств ЭХЗ и средств их электроснабжения;
- принципиальные монтажные схемы и указания по монтажу средств ЭХЗ, средств электроснабжения, телеконтроля и коррозионного мониторинга;
- установочные чертежи;
- спецификации оборудования и ведомости оборудования;
- ведомость размещения контрольно-измерительных пунктов.

Пункты подключения кабеля к подземным трубопроводам и источникам блуждающих токов и монтажа ГАЗ должны быть привязаны к географическим координатам с помощью системы глобального позиционирования GPS, либо постоянным ориентирам или пикетам.

При разработке рабочей документации рекомендуется использовать типовые проекты, перечень которых приведен в приложении А.

5.2 Система ЭХЗ

5.2.1 Электрохимическую защиту следует проектировать в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51164-98 "Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии"; ГОСТ 9.602-89* "Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии" и требованиями СНиП 2.05.06.-85* "Магистральные трубопроводы", "Правил технической эксплуатации магистральных газопроводов", "Правил устройства электроустановок (ПУЭ)", "Руководства по эксплуатации противокоррозионной защиты трубопроводов", настоящей "Инструкции..." и другой действующей НТД.

5.2.2. В составе системы электрохимической защиты газопровода должны применяться установки катодной защиты (УКЗ) и средства их электроснабжения, протекторные установки (ПУ), установки дренажной защиты (УДЗ). В зависимости от конкретных условий эксплуатации трубопровода система ЭХЗ может включать все или некоторые из этих элементов. Система ЭХЗ должна включать также

контрольно-измерительные пункты, а в отдельных случаях контрольно-диагностические пункты, устройства дистанционного контроля и регулирования параметров защиты.

5.2.3 В проекте системы ЭХЗ должен быть предусмотрен дистанционный контроль и телеуправление всех УКЗ газопроводов. В качестве системы телеконтроля ЭХЗ возможно использование средств линейной телемеханики и/или специальной системы телеконтроля и дистанционного управления ЭХЗ. Контролируемые параметры УКЗ - ток, напряжение, потенциал газопровода и, по требованию заказчика, параметры коррозионного мониторинга в соответствии с требованиями НТД.

5.2.4 Места монтажа преобразователей УКЗ следует, по возможности, располагать рядом с линейными кранами газопровода.

5.2.5 В районах со сложным рельефом и болотистой местности в проекте следует предусматривать строительство дорог вдоль газопровода и подъезды к УКЗ, УДЗ, ПУ, КИП и анодному заземлению.

5.2.6 Установки катодной и дренажной защиты должны иметь защиту от атмосферных перенапряжений на сторонах питания и нагрузки.

5.2.7 Защитный кожух (патрон) на переходах газопровода под автомобильными и железными дорогами следует защищать установками протекторной защиты или сетевыми маломощными УКЗ. Допускается совместная защита кожуха и трубы путем электрического подключения кожуха к трубе через разъёмную перемычку и регулируемое электрическое сопротивление; величина этого сопротивления определяется расчетом.

5.2.8 Для устранения вредного влияния на смежные коммуникации и оптимального распределения защитного тока могут применяться совместная или раздельная схемы защиты. Схема защиты конкретного участка газопровода определяется по результатам изысканий. Для защиты от коррозии коммуникаций промплощадок применяется, как правило, совместная схема защиты. Для устранения вредного влияния на смежные коммуникации следует также предусматривать удаление анодных заземлений УКЗ на оптимальное расстояние от смежных коммуникаций.

5.2.9 Для обеспечения совместной электрохимической защиты следует проектировать электрические перемычки между защищаемой и смежной коммуникациями. Электрическую перемычку следует, как правило, подключать

через блок совместной защиты с регулируемым сопротивлением. Сопротивление блока должно определяться расчетом.

5.2.10 Все электрические перемычки должны быть разъемными с выводом соединительных кабелей на контрольно-измерительный пункт.

5.2.11 Перемычки на параллельных газопроводах следует проектировать, как правило, в точках дренажа катодных станций; необходимость перемычек на участках между УКЗ должна подтверждаться расчетом.

5.2.12 Раздельная электрохимическая защита может оказаться предпочтительной в следующих случаях:

- при расстояниях между смежными газопроводами более 50 м;
- при большом различии в величинах сопротивления изоляции этих газопроводов;
- при необходимости защиты участка каждого газопровода постоянным током более 10 А.
- при необходимости разделения защиты коммуникаций КС (ГРС, ГИС) и линейной части или трубопроводов различного назначения и различных собственников.

5.2.13 Для подземной прокладки кабелей в цепях УКЗ следует применять кабель с медными токоведущими жилами и с полимерной изоляцией и оболочкой.

5.2.14 Оптимальной схемой ЭХЗ промплощадок (КС) в умеренных и южных климатических районах является схема с одной или несколькими УКЗ с сосредоточенными глубинными анодами. В случае необходимости, проектом могут быть предусмотрены дополнительные распределенные аноды для обеспечения равномерного распределения токов защиты. В условиях вечной мерзлоты и/или при наличии многочисленных фундаментных свай, предпочтительной является схема защиты с распределенными или протяженными анодами.

5.3 Установки катодной защиты

5.3.1 Установка катодной защиты (УКЗ) включает следующие элементы: источник электроснабжения, преобразователь (катодную станцию), анодное заземление, линии постоянного тока и контрольно-измерительные пункты. При необходимости в состав УКЗ могут входить регулирующие резисторы, шунты, поляризованные элементы.

5.3.2 В проекте следует предусматривать запас не менее 50 % напряжения и тока преобразователя на начальный момент включения УКЗ. Минимальную загрузку преобразователя по мощности следует предусматривать не менее 25 % от номинальной.

5.3.3 Параметры каждой УКЗ должны обеспечивать возможность защиты смежных участков газопровода при отключении соседних УКЗ.

5.3.4 В точках дренажа УКЗ, УДЗ и на середине участков между УКЗ следует предусматривать устройства длительного действия для измерения поляризационного потенциала (потенциала без омической составляющей).

5.3.5 Не допускается проектировать подключение нескольких преобразователей катодной защиты на одно анодное заземление.

5.3.6 На газопроводах в районах с арктическим климатом монтаж преобразователей катодной защиты следует предусматривать в блок-боксах или иных помещениях, защищающих преобразователи от воздействия низких температур, обледенения, заносов снегом. На остальных газопроводах необходимо предусматривать преобразователи, смонтированные в блочных устройствах; допускается предусматривать монтаж преобразователей на специальных фундаментах, анкерных опорах кабельных анодных линий и линий электроснабжения и т.п.).

5.3.7 В проектах ЭХЗ газопроводов, расположенных в районах с густой и умеренной заселенностью, следует принимать решения, повышающие вандалозащищенность элементов ЭХЗ (монтаж преобразователей в упрочненных блок-боксах, опорах, применение стальных проводов, телесигнализация несанкционированного вскрытия УКЗ и т.п.).

5.3.8 В зоне блуждающих токов катодные установки применяют в случае удаления трубопровода от рельсовой сети и пунктов отсасывания тока.

5.3.9 Анодные заземления

5.3.9.1 В установках катодной защиты могут быть применены глубинные анодные заземления (ГАЗ) и подповерхностные анодные заземления; подповерхностные заземления могут быть сосредоточенными, распределенными и протяженными.

5.3.9.2 Анодные заземления (включая линии постоянного тока и контактные узлы) следует проектировать из расчета не менее чем 30-летнего срока службы, независимо от условий эксплуатации. Сопротивление анодного заземления должно

обеспечивать протекание необходимого для защиты тока в течение всего планируемого срока службы заземления.

5.3.9.3 Анодные заземления должны удовлетворять ПУЭ в части требований к шаговому напряжению и напряжению прикосновения;

5.3.9.4 Тип, материалы и конструкция анодного заземления определяется технико-экономическим обоснованием. При проектировании заземления следует учитывать удельное электрическое сопротивление грунта и земли в месте монтажа заземления, а также условия землеотвода.

5.3.9.5 Для подземной прокладки кабелей в цепях анодных заземлений следует применять кабель с медными токоведущими жилами и с полиэтиленовой или полипропиленовой изоляцией и оболочкой.

5.3.9.6 В проекте следует предусматривать монтаж электродов анодных заземлений в местах с минимальным удельным электрическим сопротивлением грунта и ниже глубины его промерзания.

5.3.9.7 Для снижения скорости растворения электродов анодного заземления и уменьшения их сопротивления возможно, а в грунтах с удельным сопротивлением выше 50 Ом·м - необходимо, использование коксовой мелочи.

5.3.9.8 При проектировании системы ЭХЗ не следует размещать анодные заземления и осуществлять прокладку анодной линии на землях сельскохозяйственных угодий. Кроме того, необходимо учитывать возможность подъезда к площадке размещения заземления для проведения измерений и ремонта.

5.3.9.9 В УКЗ линейной части газопровода, при удельном электрическом сопротивлении верхнего слоя грунтов до 100 Ом·м и беспрепятственном землеотводе, следует применять подповерхностные сосредоточенные и/или распределенные анодные заземления. При мощности верхнего слоя грунта до 5 м с удельным электрическим сопротивлением более 100 Ом·м и низкоомном нижележащем слое необходимо использовать глубинные анодные заземления.

5.3.9.10 Сосредоточенные анодные заземления рекомендуется размещать на расстоянии не ближе 250 м от трассы защищаемой линейной части газопровода. Расстояние между электродами поверхностных сосредоточенных анодных заземлений следует проектировать не ближе трех длин электродов, между рядами – не менее 1/4 длины ряда.

5.3.9.11 Электроды распределенного анодного заземления и протяженное заземление следует размещать вдоль защищаемого газопровода, на расстоянии не ближе четырех диаметров газопровода.

5.3.9.12 При катодной защите промплощадок в умеренных и южных климатических районах должны применяться глубинные анодные заземления. В условиях вечной мерзлоты и/или при наличии многочисленных фундаментных свай следует использовать распределенные или протяженные аноды.

5.3.9.13 На промплощадках КС глубинные аноды, при наличии нескольких ГАЗ на одну УКЗ и расположенные на расстоянии между собой ближе трети их глубины, должны быть оснащены устройствами для измерения и регулирования величины стекающего с них тока.

5.3.9.14 На промплощадках анодные заземления следует монтировать на следующих участках:

- в местах с наиболее густой сетью подземных коммуникаций;
- на участках в районе наиболее ответственных коммуникаций;
- на участках в районе газопроводов с наиболее плохим состоянием защитного покрытия.

5.3.9.15 На территории КС не допускается применение сплошного "твердого покрытия" (бетонные плиты, асфальтирование, цементирование и т.п.) над подземными технологическими трубопроводами на поверхности земли за исключением подъездных дорог; для благоустройства территории КС. Над технологическими трубопроводами возможны применение искроподающей щебенки или высадка дерна.

5.3.9.16 В засоленных и обводненных грунтах следует применять железокремнистые электроды; в маловлажных грунтах с низкой минерализацией - графитопластовые электроды; в низкоомных грунтах и морской воде - магнетитовые анодные заземлители.

5.4 Установки протекторной защиты

5.4.1 Применение в проекте протекторной защиты должно обосновываться технико-экономическим расчетом.

5.4.2 Протекторная защита газопроводов может проектироваться как совместно с УКЗ (УДЗ) так и независимо от них.

5.4.3 Допускается проектировать протекторную защиту в качестве резервной в системах катодно-протекторной защиты.

5.4.4 Протекторную защиту с помощью протекторов следует применять в грунтах с удельным электрическим сопротивлением до 50 Ом·м.-

5.4.5 Установки протекторной защиты состоят из одного или нескольких сосредоточенных протекторов типа ПМУ, соединительных проводов (кабелей), а также контрольно-измерительных пунктов и, при необходимости, регулирующих резисторов, шунтов и/или поляризованных элементов.

5.4.6 Протекторная защита может быть осуществлена одиночными или групповыми установками. Выбор типа и схемы расстановки протекторов производят с учетом конкретных условий прокладки защищаемого сооружения.

5.4.7 Групповые протекторные установки и протекторы должны быть подключены к защищаемому трубопроводу через контрольно-измерительные пункты.

5.4.8 Установку протекторов следует предусматривать в местах с минимальным удельным сопротивлением грунта и ниже глубины его промерзания. Допускается использовать искусственное снижение удельного электрического сопротивления грунта в местах установки протекторов путем применения активаторов при исключении их вредного воздействия на окружающую среду и технико-экономическом обосновании.

5.4.9 Одиночные протекторы должны располагаться на расстоянии не ближе 3 м от трубопровода. Удаление групповых протекторов от трубопровода определяется расчетным путем.

5.4.10 Протекторные установки возможно использовать для защиты сооружений от коррозии блуждающими токами. Они применяются в тех случаях, если сила тока блуждающих токов в трубопроводе невелика, а разность потенциалов труба-земля в анодных зонах вследствие наличия блуждающих токов увеличивается относительно стационарного потенциала не более чем на 0,1 В.

5. 5 Установки дренажной защиты

5.5.1 Установки дренажной защиты используются для защиты газопроводов от электрокоррозии (коррозии, вызываемой блуждающими токами).

5.5.2 Дренажная защита включает установки дренажной защиты, состоящие из одного или нескольких электрических дренажей, соединительных проводов

(кабелей), контрольно-измерительных пунктов, а также, при необходимости, электрических перемычек, регулирующих резисторов и поляризованных блоков.

5.5.3 Дренажи устанавливаются в анодных и знакопеременных зонах с наибольшей амплитудой положительных значений разности потенциалов на сооружении.

5.5.4 Способы дренажной защиты определяют по результатам изысканий. В местах пересечения и/или сближения до 2 км источника блуждающих токов с магистральным газопроводом следует проектировать установки дренажной защиты. При удалении газопровода от источника блуждающих токов далее 2 км следует применять УКЗ с автоматическим поддержанием заданного потенциала.

5.5.5 Поляризованные дренажи следует предусматривать при дренировании блуждающего тока на его источник – рельсовые пути или отсасывающие шины тяговых подстанций постоянного тока.

5.5.6 Усиленные дренажи следует предусматривать в анодных или знакопеременных зонах газопровода, образованных несколькими источниками блуждающих токов, либо действием одного мощного источника блуждающего тока.

5.5.7 Усиленные дренажи следует подключать к отсасывающим фидерам или к средним точкам путевых дросселей. Подключение усиленных дренажей на смежные подземные сооружения не допускается.

5.5.8 Установки дренажной защиты следует проектировать с таким расчетом, чтобы среднечасовой ток всех установок дренажной защиты, подключенных электрически к одной тяговой подстанции, не превышал 20 % общей нагрузки подстанции.

5.6 Контрольно-измерительные пункты

5.6.1 Контрольно-измерительные пункты устанавливаются для контроля параметров ЭХЗ и должны отвечать следующим требованиям:

- подключаться к газопроводу двужильным кабелем, при этом жилы подключаются к газопроводу независимо, в двух разных точках;
- каждая жила кабеля должна иметь маркировку и подключаться к своей клемме на клеммном щитке КИП;
- кабель для КИП должен быть гибким и иметь многопроволочные медные токоведущие жилы и двойную изоляцию;
- КИП должен иметь подъездную дорогу для доступа транспортных средств.

5.6.2 Контрольно-измерительные пункты устанавливают над осью трубопровода со смещением от нее не далее 0,2 м от точки подключения к трубопроводу контрольного провода. В случае расположения трубопровода на участке, где эксплуатация контрольно-измерительных пунктов затруднена (пашня, болото...), последние могут быть установлены в ближайших удобных для эксплуатации местах, но не далее 50 м от точки подключения контрольного провода к трубопроводу.

5.6.3 Во всех точках измерения потенциалов должна быть обеспечена возможность контакта неполяризующегося электрода сравнения с грунтом в постоянно зафиксированной на поверхности земли точке измерений над осью газопровода.

5.6.4 Контрольные кабели следует присоединять к трубе на расстоянии не ближе 6 м от места присоединения дренажного кабеля установки катодной или дренажной защиты.

5.6.5 Типы и характеристики контрольно-измерительных пунктов приведены в таблице 5.1.

5.6.6 КИП для контроля поляризационного потенциала должен иметь контрольный щиток с клеммами, к которым присоединяются катодный вывод от трубопровода и кабели от стационарного долговременного устройства, измеряющего потенциал. На щитке должно быть предусмотрено коммутирующее устройство, размыкающее цепь трубопровод - вспомогательный электрод.

5.6.7 Контрольно-измерительный пункт для контроля работы протекторов, анодных заземлений и электрических перемычек должен иметь не менее двух клемм, к которым подключаются объекты измерения и шунт необходимого номинала для измерения силы тока.

5.6.8 На магистральных газопроводах КИП должны устанавливаться:

- на каждом километре в обычных условиях и не реже чем через 500 м при пересечении трубопроводом зоны повышенной коррозионной опасности;
- на расстоянии трех диаметров трубопровода от точек дренажа УКЗ (УДЗ);
- в местах изменения направления (углов поворота) газопровода;
- у крановых площадок;
- у водных и транспортных переходов (с обеих сторон);
- у пересечения трубопроводов с другими металлическими сооружениями.

Таблица 5.1 - Типы и характеристики контрольно-измерительных пунктов

Назначение КИП	Расположение КИП вдоль трассы газопровода	Сечение контрольного кабеля	Примечание
Контроль потенциала газопровода	Через 0,5-1,0 км	1×4мм ²	1 кабель – основной; 2 кабель - дублирующий
Контроль поляризационного потенциала газопровода	В точках дренажа УКЗ, УДЗ, ПУ и посередине участка между УКЗ	1×4мм ²	Оснащается устройством для измерения поляризационного потенциала
Контроль потенциала и тока в трубе	Через 3 км	1×4мм ²	2 кабеля между точками подключения через 30-40 м
Контроль потенциала газопровода и кожуха на переходе под а/д и ж/д	С обеих сторон перехода	1×4мм ²	2 кабеля от трубы с расстоянием между точками подключения через 30-40 м и один от кожуха
Контроль потенциала на газопроводе в месте изолирующего соединения (фланец, вставка)	В месте установки соединения	1×4мм ²	2 кабеля по обоим сторонам соединения
Измерение потенциала газопровода на пересечении с другими сооружениями	На пересечении с подземными протяженными коммуникациями	1×4мм ²	Один кабель от трубы, другой от пересекаемого сооружения
Монтаж заземления и измерение его тока	В месте подключения заземляющих устройств	1×35мм ²	
Измерение различных коррозионных параметров газопровода в контрольно-диагностическом пункте	На участках ПКО и согласно НТД	Согласно НТД	

5.6.9 При многониточной системе газопроводов контрольно-измерительные пункты должны устанавливаться на каждом газопроводе по одной линии, перпендикулярной оси трубопроводов.

5.6.10 На подземных сооружениях промплощадок (КС, ГРС, ГИС и др.) КИП должны устанавливаться:

- на коммуникациях длиной более 50 м - посередине с интервалом не более 50 м;
- на расстоянии не менее трех диаметров трубопровода от точек дренажа установок электрохимической защиты;
- в начале, середине, конце входных и выходных коллекторов ПУ, АВО и КЦ;
- в местах пересечения коммуникаций;
- в местах изменения направления при длине участка коммуникации более 50 м;
- в местах сближения коммуникаций с сосредоточенными анодными заземлениями;
- не менее чем в четырех диаметрально противоположных точках по периметру внешней поверхности резервуаров.

Во всех точках измерения потенциалов должна быть обеспечена возможность контакта неполяризующегося электрода сравнения с грунтом над осью газопровода в постоянно зафиксированной на поверхности земли точке измерений.

Допускается не устанавливать контрольно-измерительные пункты в указанных местах (кроме точек дренажа установок катодной, протекторной и дренажной защиты), если обеспечена возможность электрического контакта с трубопроводом.

5.7 Коррозионный мониторинг

5.7.1 Система коррозионного мониторинга состоит из датчиков контроля ЭХЗ и датчиков (индикаторов) коррозии различных видов, смонтированных в контрольно-диагностических пунктах (КДП), и устройств передачи показаний этих датчиков на диспетчерский пункт.

5.7.2 КДП следует устанавливать на коррозионно-опасных участках газопровода, в зонах пересечений с электрифицированными железными дорогами и автострадами.

5.7.3 Оснащенность КДП и место их установки определяются в соответствии с НТД по требованию и/или согласованию с заказчиком.

5.7.4 Контрольно-диагностический пункт должен иметь щиток с клеммами, для подключения двух контрольных проводов от газопровода для измерения тока в трубе, и датчиков коррозионного мониторинга. В состав КДП могут включаться следующие датчики, монтируемые на различных глубинах соответствующих верхней, средней и нижней образующих газопровода:

- стационарные электроды сравнения;
- устройства для измерения поляризационного потенциала;
- вспомогательные электроды – имитаторы дефекта изоляции;
- датчики (индикаторы) коррозии для определения скорости коррозии, подключенные и не подключенные к трубе;
- датчики (индикаторы) внедрения водорода;
- другие датчики, контролирующие коррозионные процессы на газопроводе.

5.7.5 КДП должен быть совмещен с маркером расстояния, предназначенным для привязки данных внутритрубной дефектоскопии. По требованиям заказчика данные датчиков КДП могут заводиться в систему дистанционного контроля и передаваться на диспетчерский пункт.

5.8 Электроснабжение установок катодной защиты (УКЗ)

5.8.1 Электроснабжение УКЗ газопроводов должно осуществляться от существующих ЛЭП напряжением 0,4 или 10 (6) кВ или проектируемых вдольтрассовых линий (ВЛ) и автономных источников.

5.8.2 Вдольтрассовую ВЛ 10 (6) кВ следует проектировать при отсутствии или низкой надежности существующих источников питания, а также для одного технического коридора, в котором проходит не менее трех ниток газопроводов. К ВЛ низкой надежности следует относить линии, работающие сезонно или допускающие суммарные перерывы в работе более 80 часов в квартал. Проектирование подключения УКЗ к ВЛ низкой надежности не допускается.

5.8.3 Электроснабжение УКЗ газопроводов в зонах высокой и повышенной коррозионной опасности должно осуществляться по 2-ой категории надежности с двумя независимыми источниками электроэнергии и наличием резервного источника электроснабжения. Электроснабжение УКЗ газопроводов в

знакопеременных и анодных зонах блуждающих токов должно осуществляться по 2-ой категории надежности с двумя независимыми источниками электроэнергии. Электроснабжение УКЗ газопроводов в других случаях допускается проектировать по 3-ей категории надежности.

5.8.4 В труднодоступных районах для электроснабжения УКЗ по 2-й категории надежности предусматривать рабочий и резервный источники питания каждой УКЗ. При этом следует предусматривать автоматическое включение резервного питания (ABP) при исчезновении напряжения на рабочем источнике питания.

5.8.5 Для электроснабжения установки катодной защиты (УКЗ) по 2-й категории надежности следует предусматривать:

- электроснабжение от находящихся вблизи трассы или пересекающих ее ВЛ 10 (6) кВ, имеющих резервное питание; при ее отсутствии и при низкой надежности существующих ВЛ - вдольтрассовую ВЛ 10 (6) кВ с питанием от КС, устройством пунктов секционирования и автоматического повторного включения;
- питание каждой УКЗ от независимого источника для создания непрерывной катодной поляризации на участке пересечения газопровода или прохождения вблизи него линии 3-й категории. При этом непрерывная катодная поляризация должна обеспечиваться двумя или более, совместно действующими, УКЗ;
- монтаж УКЗ с рассредоточенными вдоль газопровода анодными заземлениями, с электропитанием преобразователя катодной защиты от источника на КС.

5.8.6 На вдольтрассовых ВЛ 10 (6) кВ с подключением на КС следует предусматривать защиту от многофазных замыканий: токовую отсечку и максимальную токовую защиту. Допускается применение неселективных защит совместно с устройствами автоматического повторного включения, исправляющими указанное неселективное действие защиты.

5.8.7 Защиту от однофазных замыканий на землю следует предусматривать в соответствии с ПУЭ. В районах со сложным рельефом, болотистой местности и при сооружении специальных переходов ВЛ следует предусматривать строительство дорог вдоль линии и подъезды к каждой опоре или вертолетное обслуживание.

5.8.8 На вдольтрассовой ВЛ 10 (6) кВ, на участках между двумя соседними КС, следует проектировать не менее двух пунктов секционирования с выключателями и, кроме того, один пункт АВР в случае двухстороннего питания линии с промплощадок КС. Через 5-7 км по трассе необходимо проектировать установку разъединителей для отключения поврежденных участков линии и производства ремонтов.

5.8.9 Тип агрегатов резервных источников электроснабжения УКЗ определяется проектом с учетом природно-климатических условий эксплуатации.

5.8.10 При проектировании вдольтрассовых ВЛ для электроснабжения ЭХЗ необходимо предусматривать применение пунктов секционирования с автоматикой: АВР, делительной защиты, сигнализацию, контроль наличия напряжения на вдольтрассовой ВЛ, дистанционное управление, автоматизированный учет электроэнергии и др.

5.8.11 При проектировании электроснабжения УКЗ, крановых площадок и других линейных потребителей, расположенных в непосредственной близости друг от друга, необходимо предусматривать в комплексе их основное и резервное электропитание.

5.8.12 Для электроснабжения УКЗ, при отсутствии внешних источников тока, рекомендуется проектировать электроснабжение от автономных источников: электроагрегатов с газовым, дизельным или бензиновым двигателями, термоэлектродвигателей, турбоальтернаторов, ветроэнергетических установок и других автономных источников тока.

6 Расчет электрических характеристик защищаемых магистральных трубопроводов

6.1 Электрические характеристики защищаемых магистральных трубопроводов являются основными параметрами, определяющими распределение защитного тока. К первичным электрическим параметрам трубопровода относятся:

- переходное сопротивление, R_n , Ом•м²;
- продольное сопротивление, R_m , Ом/м.

6.2 Исходные данные для определения электрических характеристик трубопроводов:

- диаметр трубопровода, D_m , м;

- толщина стенки трубы, δ_m , м;
- марка стали трубы;
- сопротивление изоляции, $R_{из}$, Ом•м²;
- среднее удельное электрическое сопротивление грунта, ρ_z , Ом•м;
- глубина укладки трубопровода, H_m , м.

6.2.1 Диаметр трубопровода, толщину стенки трубы, марку стали трубы и глубину ее укладки определяют по проектной документации.

6.2.2 Сопротивление изоляции для вновь строящихся и реконструируемых трубопроводов определяют в зависимости от типа изоляции по таблице 6.1.

6.2.3 Сопротивление изоляции эксплуатируемых трубопроводов определяют по результатам изысканий. Порядок определения сопротивления изоляции эксплуатирующихся газопроводов приведен в "Руководстве по эксплуатации противокоррозионной защиты трубопроводов, ВНИИГАЗ-2004".

6.2.4 Удельное электрическое сопротивление грунта на глубине укладки трубопровода определяют по данным изысканий. Измерения проводят через каждые 100 м и дополнительно во всех местах понижения рельефа (овраги, реки, ручьи, заболоченные участки и т.п.).

6.3 Вторичными электрическими параметрами трубопровода являются постоянная распространения тока, входное и характеристическое сопротивление, которые определяют расчетным путем.

Таблица 6.1 - Сопротивление изоляции на законченных строительстве участках трубопровода

Тип покрытия		Сопротивление изоляции, Ом•м ² , не менее
Усиленное	Трех-, двухслойное полимерное покрытие на основе термореактивных смол и полиолефина; покрытие на основе термоусаживающихся материалов	$3 \cdot 10^5$
	Все остальные покрытия кроме мастичных и полимерно-битумных	$1 \cdot 10^5$
	Мастичные, полимерно-битумные	$5 \cdot 10^4$
Все покрытия нормального типа		$5 \cdot 10^4$

6.3.1 Продольное сопротивление трубопровода рассчитывают по формуле:

$$R_m = \frac{\rho_m}{\pi \cdot (D_m - \delta_m) \cdot \delta_m}, \quad [\text{Ом/м}] \quad (6.1)$$

где ρ_m – удельное электрическое сопротивление материала трубы, Ом•м (определяется в зависимости от марки стали по таблице 6.2);

Продольное сопротивление стальных трубопроводов R_m , имеющих стандартные размеры в практике строительства магистральных трубопроводов в зависимости от удельного электрического сопротивления трубной стали, определяют из Приложения Б.

6.3.2 При изменяющейся толщине стенки трубы вдоль трубопровода расчет продольного сопротивления производят по средней ее величине:

$$\delta_{m.cp} = \frac{\sum \delta_{mi} \cdot l_i}{\sum l_i}, \quad [\text{мм}] \quad (6.2)$$

где l_i – длина участка трубопровода с толщиной стенки δ_{mi} , м;

Таблица 6.2 - Удельное электрическое сопротивление различных марок трубной стали

Марка трубной стали	Удельное электрическое сопротивление трубной стали, Ом•м
17ГС, 17Г2СФ, 08Г2СФ	$2,45 \cdot 10^{-7}$
18Г2, СТЗ	$2,18 \cdot 10^{-7}$
18Г2САФ, 18ХГ2САФ	$2,63 \cdot 10^{-7}$
15ГСТЮ	$2,81 \cdot 10^{-7}$

6.3.4 Переходное сопротивление трубопровода R_n представляет собой сумму электрических сопротивлений – изоляционного покрытия R_{uz} и растеканию тока трубопровода R_p :

$$R_n = R_{uz} + R_p, \quad [\text{Ом} \cdot \text{м}^2] \quad (6.3)$$

6.3.5 Сопротивление растеканию тока трубопровода определяют из следующего трансцендентного уравнения, решаемого методом последовательных приближений:

$$R_p = \frac{\rho_z \cdot D_m}{2} \cdot \ln \frac{0,4 \cdot R_p}{D_m^2 \cdot H_m \cdot R_m}, \quad [\text{Ом} \cdot \text{м}^2] \quad (6.4)$$

$$R'_p = \frac{\rho_z}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{0,4 \cdot \pi \cdot R'_p}{D_m \cdot H_m \cdot R_m}, \quad [\text{Ом} \cdot \text{м}] \quad (6.5)$$

где D_m - диаметр трубопровода, м;

H_m - глубина залегания трубопровода, м;

ρ_z - среднее удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м, вычисляемое по формуле:

$$\rho_z = \frac{(\sum l_i)^2}{(\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\sqrt{\rho_{zi}}})^2}, \quad [\text{Ом} \cdot \text{м}] \quad (6.6)$$

где

l_i - длина i -го участка с удельным электрическим сопротивлением грунта ρ_{zi} , м;

n - количество участков с удельным электрическим сопротивлением грунта ρ_{zi} .

6.3.6 Значения сопротивления растеканию тока трубопроводов наиболее распространенных диаметров для различных удельных сопротивлений грунта приведены в Приложении В.

6.3.8 Прогнозирование изменения переходного сопротивления трубопровода на срок до 30 лет осуществляют по формуле:

$$R_n(t) = R_p + R_{uz}(t), \quad [\text{Ом} \cdot \text{м}^2] \quad \text{или} \quad (6.7)$$

$$R_n(t) = R_p + R_{uz0} \cdot e^{-\gamma \cdot t}, [\text{Ом} \cdot \text{м}^2] \quad (6.8)$$

где $R_n(t)$ – значение переходного сопротивления через t лет;

R_{uz0} – начальное значение сопротивления изоляции трубопровода, $\text{Ом} \cdot \text{м}^2$;

γ - коэффициент, характеризующие скорость изменения сопротивления изоляции во времени; для трубопроводов, построенных по ГОСТ Р 51164 $\gamma=0.1092$.

В таблице 6.3 приведены прогнозируемые значения сопротивления различных типов изоляции $R_{uz}(t)$ на 10-ый, 20-ый и 30-ый год для трубопроводов, построенных в соответствии с ГОСТ Р 51164.

Таблица 6.3 - Прогнозируемые значения сопротивления изоляционного покрытия трубопровода $R_{uz}(t)$ через 10, 20 и 30 лет его эксплуатации

Тип изоляционного покрытия		Прогнозируемое сопротивление изоляции трубопровода $R_{uz}(t)$, $\text{Ом} \cdot \text{м}^2$, через		
		10 лет	20 лет	30 лет
Усиленные	Трех -, двухслойное полимерные покрытия на основе термореактивных смол и полиолефина; покрытия на основе термоусаживающихся материалов	100000	37500	12150
	Все остальные покрытия кроме мастичных и полимерно-битумных	33000	12500	4050
	Мастичные и полимерно-битумные покрытия	16700	6250	2030
Все покрытия нормального типа		16700	6250	2030

6.4 Постоянная распространения тока вдоль трубопровода рассчитывается по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{R_m}{R_n}}, \quad [1/\text{м}] \quad (6.9)$$

Постоянную распространения тока вдоль трубопровода как функцию времени $\alpha(t)$ следует определять из выражения:

$$\alpha(t) = \sqrt{\frac{R_m}{R_n(t)}}, \left[\frac{1}{\text{м}} \right] \quad (6.10)$$

6.5 Характеристическое сопротивление трубопровода определяется по формуле:

$$Z = \sqrt{R_m R_n}, \quad [\text{Ом}] \quad (6.11)$$

6.5.1 Если точка дренажа УКЗ разделяет трубопровод на плечи с различными электрическими параметрами, то характеристическое сопротивление правого Z_n и левого Z_l плеча трубопровода будут различными и соответственно равны:

$$Z_n = \sqrt{R_{mn} \cdot R_{nn}}, \quad [\text{Ом}] \quad (6.12)$$

$$Z_l = \sqrt{R_{ml} \cdot R_{ll}}, \quad [\text{Ом}] \quad (6.13)$$

где R_{mn} и R_{ml} – продольное сопротивление, соответственно, правого и левого плеч трубопровода, Ом/м;

R_{nn} и R_{ll} – переходное сопротивление, соответственно, правого и левого плеч трубопровода, Ом·м.

Входное сопротивление трубопровода $Z_{\text{вх}}$ в этом случае определяют выражением:

$$Z_{\text{вх}} = \frac{Z_n \cdot Z_l}{Z_n + Z_l} \quad [\text{Ом}] \quad (6.14)$$

Если входное сопротивление правого и левого плеч трубопровода одинаково, то оно вычисляется по формуле:

$$Z_{em} = \frac{1}{2} \sqrt{R_m \cdot R_n}, \quad [\text{Ом}] \quad (6.15)$$

6.5.2 Входное сопротивление трубопровода как функцию времени эксплуатации $Z_{em}(t)$ следует определять из выражения:

$$Z_{em}(t) = \frac{1}{2} \sqrt{R_m \cdot R_n(t)} [\text{Ом}] \quad (6.16)$$

7 Расчет катодной защиты трубопроводов

7.1 Исходными данными для расчета и проектирования установок катодной защиты, кроме данных, указанных в разделе 6, является также место расположения относительно трассы источников энергоснабжения с целью выбора месторасположения установок катодной защиты.

7.2 На основании рассчитанных электрических параметров трубопровода, определяют количество установок и электрические параметры преобразователей катодной защиты, количество и тип анодных заземлителей, их удаление от защищаемых объектов, а также выбирают месторасположение УКЗ.

7.3 Основными параметрами катодной защиты являются сила тока установки катодной защиты (УКЗ) и длина защитной зоны, создаваемая этой установкой. При расчете необходимо учитывать изменение переходного сопротивления труба-земля во времени. Расчет выполняют на начальный и конечный срок службы УКЗ.

7.4 Расчет параметров УКЗ сводится к определению количества и мощности катодных станций на трубопроводе. Мощность катодных станций зависит, в основном, от защитного тока и сопротивления анодного заземления. Количество УКЗ определяется длиной защитной зоны этих станций.

7.5 Количество установок катодной защиты N , необходимое для защиты трубопровода длиной L равно:

$$N = \frac{L}{L_3}, \quad [\text{шт.}] \quad (7.1)$$

где L_3 - длины защитной зоны одной УКЗ, м.

7.6 Для определения длины защитной зоны L_3 можно воспользоваться следующим выражением:

$$L_3 = \frac{2}{\alpha(t)} \ln \frac{U_{m3o}}{U_{m3m}}, \quad [\text{м}], \quad (7.2)$$

где

$$U_{m3m} = U_m - U_e, \quad [\text{В}] \quad (7.3)$$

$$U_{m3o} = U_o - U_e, \quad [\text{В}] \quad (7.4)$$

Значения величин U_m и U_o определяют, соответственно, из таблиц 7.1 и 7.2.

7.7 Силу тока катодной установки определяют на начальный и конечный период эксплуатации из выражения

$$i = \frac{2U_{m3o}}{Z_{\text{см}}(t)}, \quad [\text{А}] \quad (7.5)$$

7.8 Напряжение на выходе катодной станции V вычисляют по формуле:

$$V = i \cdot [Z_{\text{ex}}(t) + R_{np} + R_3], \quad \text{В} \quad (7.6)$$

где R_{np} – сопротивление дренажных проводов, соединяющих катодную станцию с трубопроводом и анодным заземлением, Ом;

R_3 – переходное сопротивление анодного заземления, Ом (см. р. 8).

Сила тока i в данной формуле должна быть вычислена на конечный период эксплуатации катодной установки.

7.9 Сопротивление проводов находят из выражения:

$$R_{np} = \rho_m \cdot \frac{y + y_c}{S_{np}}, \quad [\text{Ом}] \quad (7.7)$$

где y_c – длина спусков провода с опор к катодной станции, анодному заземлению и трубопроводу, м;

S_{np} – сечение провода дренажной линии, мм²;

ρ_m – удельное электрическое сопротивление провода, Ом•мм²/м.

7.10 Мощность на выходе катодной станции определяют по формуле:

$$W = i \cdot V, \quad [\text{Вт}] \quad (7.8)$$

7.11 Выбор типа преобразователя катодной защиты производится в соответствии с результатами расчета силы тока, напряжения на выходе и мощности. При выборе типа преобразователя необходимо увеличить в 1.5 раза требуемую максимальную силу тока при прокладке трубопровода в грунтах высокой коррозионной агрессивности.

Таблица 7.1 - Минимальные защитные потенциалы

Условия прокладки и эксплуатации трубопровода	Минимальный защитный потенциал (В) относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения	
	Поляризационный	С омической составляющей
Грунты с удельным электрическим сопротивлением не менее 10 Ом•м или содержанием водорастворимых солей не более 1 г на 1 кг грунта или при температуре транспортируемого продукта не более 293 К (20 °С)	Минус 0,85	Минус 0,90
Грунты с удельным электрическим сопротивлением менее 10 Ом•м, или содержанием водорастворимых солей более 1 г на 1 кг грунта, или опасном влиянии блуждающих токов промышленной частоты (50 Гц) и постоянных токов, или при возможной микробиологической коррозии, или при температуре транспортируемого продукта более 293 К (20 °С)	Минус 0,95	Минус 1,05
Примечания 1. Для трубопроводов с температурой транспортируемого продукта не более 278 К (5 °С) минимальный поляризационный защитный потенциал равен минус 0,80 В относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения. 2. Минимальный защитный потенциал с омической составляющей при температуре транспортируемого продукта от 323 К (50 °С) до 343 К (70 °С) – минус 1,10 В; от 343 К (70 °С) до 373 К (100 °С) - минус 1,15 В. 3. При осуществлении электрохимической защиты участка трубопровода, поврежденного коррозией (более 10 % толщины стенки), минимальные защитные потенциалы должны быть на 50 мВ отрицательнее указанных величин.		

Таблица 7.2 - Максимальные защитные потенциалы

Условия прокладки и эксплуатации трубопровода	Максимальный защитный потенциал (В) относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения	
	Поляризационный	С омической составляющей
При прокладке трубопровода с температурой транспортируемого продукта выше 333 К (60 °С) в грунтах с удельным электрическим сопротивлением менее 10 Ом•м или при подводной прокладке трубопровода с температурой транспортируемого продукта выше 333 К (60 °С)	Минус 1,10	Минус 1,50
При других условиях прокладки трубопроводов: - с битумной изоляцией - с полимерной изоляцией	Минус 1,15 Минус 1,15	Минус 2,50 Минус 3,50
<p>Примечания:</p> <p>1. Для трубопроводов из упрочненных сталей с пределом прочности 588 МПа (60 кгс/мм²) и более не допускаются поляризационные потенциалы более отрицательные чем минус 1,10 В.</p> <p>2 В грунтах с высоким удельным электрическим сопротивлением (более 100 Ом•м) допускаются более отрицательные потенциалы с омической составляющей, установленные экспериментально или расчетным путем в соответствии с НД.</p>		

8 Расчет параметров анодного заземления

8.1. Выбор анодного заземления осуществляется с учетом следующих факторов:

- силы тока катодной установки;
- свойств грунта в месте размещения заземления (удельное сопротивление грунта, влажность, глубина промерзания);
- схемы расположения защищаемых объектов и других подземных металлических сооружений вблизи размещения анодного заземления.

8.2 Материал электрода для анодного заземления выбирается с учетом условий, приведенных в таблице 8.1.

Таблица 8.1 - Рекомендуемые условия применения анодных материалов

Анодный материал	Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом•м
Высококремнистый чугун	Менее 20
Графит, графитизированные и графитосодержащие материалы	15 – 40
Высококремнистый чугун в коксовой засыпке	15 – 40
Графит, графитизированные и графитосодержащие материалы в коксовой засыпке	10 – 60
Сталь низкоуглеродистая (лом)	Более 40
Сталь низкоуглеродистая в коксовой засыпке	Более 60

8.3 Параметры наиболее распространенных анодных заземлителей приведены в таблице 8.2.

8.4. Расстояние от линейной части МГ до АЗ (кроме протяженного) должно быть 250-450 м; конкретное место монтажа и тип АЗ определяют исходя из удельного сопротивления грунта, результатов ВЭЗ, топографических особенностей местности, условий землеотвода и удобства подъезда. Расстояние от трубопровода до протяженного заземлителя должно быть не более четырех диаметров газопровода.

8.5 Переходное сопротивление одного заземлителя $R_{з1}$ (Ом) зависит от конструкции заземления, удельного электрического сопротивления грунта и геометрических параметров электродов и их взаимного расположения. Переходное сопротивление одного электрода заземления принимается равным величине его сопротивления растеканию. Переходное сопротивление протяженного анодного заземления принимается равным его входному сопротивлению.

8.6 Рекомендуемое расстояние между электродами в анодном заземлении равно тройной длине электрода.

8.7. Расчет анодного заземления сводится к определению количества электродов и их сроку службы.

8.8. Количество электродов в подпочвенном заземлении определяют по следующим формулам.

Таблица 8.2 - Параметры наиболее распространенных анодных заземлителей

Название, тип заземлителя	Анодный материал	Габаритные размеры заземлителя (общие/рабочей поверхности), мм		Масса электрода заземлителя, кг	Скорость растворения, кг/А.год	Максимальная плотность тока
		Длина	Диаметр			
АЗМ-3 (АЗМ-3Х)	Высококремнистый чугун	1500/1200	65/65	33	0,2	30 А/м ²
"Менделеевец"-МГ глубинный	Высококремнистый чугун	6250/5600	190/80	160 (40x4)	0,3-0,5	20 А/м ²
"Менделеевец"-МК	Высококремнистый чугун	1600/1500	210/50	22	0,5	4,5А/м ²
"Менделеевец"-ММ	Высококремнистый чугун	1500/	50/50	22	0,3-0,5	4,5 А/м ²
"Менделеевец"-МКГ комплектный глубинный	Высококремнистый чугун	1730/1400	200/80	40	0,2-0,4	25 А/м ²
ЭГТ	Графитопласт	1450/	114	10,8	0,5-1,2	0,45 А/м (в кокс. засыпке 1,1 А/м)
ЭГТ	Графитопласт	2500/	114	18,6	0,5-1,2	0,45 А/м (в кокс. засыпке 1,1 А/м)
ЭР-2 протяженный	Эластомер	*)	22	2,0 (1 погонный м)	0,5 ^{***})	0,02 А/м (в кокс. засыпке 0,05 А/м)
ЭР-5 протяженный	Эластомер	*)	70	2,0 (1 погонный м)	0,5 ^{***})	0,025 А/м (в кокс. засыпке 0,08 А/м)
Заземления из стали (лома)	Сталь низкоуглеродистая	**)	**)	**)	9,8	Не ограничивается

*) Максимальная длина поставки: ЭР-2 – 600 м; ЭР-5 – 50 м

**) Размеры определяются проектом

***) По данным изготовителя

При вертикальном или горизонтальном расположении электродов

$$N_3 = \frac{R_{31}}{0,7R_3}, \quad [\text{шт}] \quad (8.1)$$

где R_{31} – сопротивление растеканию тока одного электрода, Ом;

R_3 -сопротивление растеканию тока заземления, состоящего из N электродов, Ом.

При комбинированном заземлении из вертикальных электродов, соединенных горизонтальным электродом

$$N_3 = \frac{1,7R_{\epsilon 1} \cdot R_{\epsilon} - 1,4R_3 R_{\epsilon 1}}{R_3 \cdot R_{\epsilon}}, \quad [\text{шт}] \quad (8.2)$$

где $R_{\epsilon 1}$ – сопротивление растеканию тока одного вертикального электрода, Ом;

R_{ϵ} – сопротивление растеканию тока горизонтального электрода (магистрала), Ом;

Начальное сопротивление растеканию тока анодного заземления R_3 в различных грунтах не должно превышать величин, указанных в таблице 8.3.

Таблица 8.3 - Условия применения подпочвенных и глубинных анодных заземлений и их максимальные значения сопротивления растеканию тока в различных грунтах

Грунт	Рекомендуемый тип АЗ	Удельное сопротивление грунта, Ом.м	Сопротивление растеканию тока АЗ, не выше, Ом
Солончаки, соры	Подповерхностное	< 10	0,5
Болота, влажные глины, суглинки	Подповерхностное	10...50	1,0
Супесь	Подповерхностное или глубинное	50...100	1,5
Пески	Подповерхностное или глубинное	100...1000	3,0
Скальный грунт	Глубинное	>1000	10,0

8.9. Расчет сопротивления растеканию подповерхностного анодного заземления.

8.9.1. Сопротивление растеканию одного заземлителя рассчитывается по следующим формулам.

Для вертикального расположения электрода заземлителя R_{pl} :

$$R_{pl} = \frac{\rho_z}{2 \cdot \pi \cdot l_z} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_z}{d_z} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot h + l_z}{4 \cdot h - l_z} \right), \quad [\text{Ом}] \quad (8.3)$$

где ρ_z – удельное электрическое сопротивление грунта, Ом•м;

l_z – длина электрода заземлителя, м;

d_z – диаметр электрода заземлителя, м;

h – глубина (до середины заземлителя) заложения электрода заземлителя, м;

Для горизонтального расположения электрода заземлителя при $l_z < h$, то есть для короткого электрода:

$$R_{pl} = \frac{\rho_z}{2 \cdot \pi \cdot l_z} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_z}{d_z}, \quad [\text{Ом}] \quad (8.4)$$

Для горизонтального расположения электрода анодного заземлителя при $l_z > 12 \cdot h$, то есть для протяженного электрода:

$$R_{pl} = \frac{\rho_z}{\pi \cdot l_z} \cdot \ln \frac{l_z}{\sqrt{d_z \cdot h}}, \quad [\text{Ом}] \quad (8.5)$$

Для горизонтального расположения электрода при $l_z > h$ и $l_a \gg d_z$ в коксовой засыпке:

$$R_{pl} = \frac{\rho_z}{2 \cdot \pi \cdot l_z} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_a}{d_a} + \ln \frac{l_a + \sqrt{l_a^2 + 16 \cdot h^2}}{4 \cdot h} + \frac{\rho_a}{\rho_z} \cdot \ln \frac{d_a}{d_z} \right) \quad [\text{Ом}] \quad (8.6)$$

Для горизонтального расположения электрода при $l_3 > 12 \cdot h$ в коксовой засыпке:

$$R_{pl} = \frac{\rho_z}{\pi \cdot l_a} \cdot \left(\ln \frac{l_a}{\sqrt{d_a \cdot h}} + \frac{\rho_a}{2\rho_z} \cdot \ln \frac{d_a}{d_3} \right), \quad [\text{Ом}] \quad (8.7)$$

Для электродов прямоугольного сечения (например, полосовой заземлитель) в формулы (8.3 – 8.7) вместо d_3 подставляют значение $2 \cdot b / \pi$ (где b - ширина полосы, м).

При прямоугольном сечении коксовой засыпки в формулы вместо d_a подставляют $0,8 \cdot (a_a \cdot b_a)^{0,5}$, (где a_a , b_a – соответственно, толщина и ширина коксовой засыпки, м).

8.10 Расчет глубинного анодного заземления.

8.10.1 Исходными данными для проектирования глубинного анодного заземления являются данные, указанные в п. 8.1, и данные о геоэлектрическом разрезе: мощность и удельное электрическое сопротивление верхних пластов земли на глубине установки заземления.

8.10.2 Длину рабочей части глубинного заземления l_3 следует определять по формуле:

$$l_3 = \frac{3,5 \cdot \rho}{\pi \cdot R_3}, \quad [\text{м}] \quad (8.8)$$

где R_3 – сопротивление растеканию глубинного анодного заземления (таблица 8.3), Ом;

ρ_i – удельное электрическое сопротивление слоя земли, в котором располагается анодное заземление, Ом·м.

8.11 Срок службы анодного заземления T проверяют по следующим формулам.

Для подповерхностного анодного заземления:

$$T = \frac{G_3 \cdot \kappa_u}{q_3 \cdot i_{3,cr}}, \quad [\text{год}] \quad (8.8)$$

где G_3 – масса материала электродов заземления (без коксовой засыпки), кг;

q_3 – скорость растворения материала электродов анодного заземления, кг/А•год (таблица 8.2);

k_u – коэффициент использования массы заземлителя (принимается равным 0,77);

$i_{3.ср}$ – средняя сила тока (А), стекающего с заземления, за планируемый период эксплуатации заземления равна:

$$i_{3.ср} = \frac{i_n + 3 \cdot i_k}{4} \quad (8.9)$$

где i_n и i_k – сила тока, соответственно в начальный и конечный периоды планируемого срока работы анодного заземлителя, А;

Для глубинных и протяженных анодных заземлений:

$$T = \frac{G_3 \cdot k_u}{q_3 \cdot i_{3.ср} \cdot k_e}, [\text{год}] \quad (8.10)$$

где G_{3k} – масса рабочей части заземления в k -ом слое грунта, кг;

k_e – коэффициент неоднородности грунта, определяемый по формуле:

$$k_e = \frac{l_{3k}}{\rho_k \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_{3i}}{\rho_i}} \quad (8.11)$$

где l_{3i} – длина рабочей части заземления, находящейся в i -ом слое грунта, м;

l_{3k} – длина рабочей части заземления, находящейся в k -ом слое грунта, м;

ρ_k – удельное электрическое сопротивление k -го слоя грунта, имеющего минимальное удельное электрическое сопротивление из всех n слоев, Ом•м;

ρ_i – удельное электрическое сопротивление i -го слоя грунта, Ом•м;

n – число слоев грунта пересекаемых рабочей части заземления.

8.12 Если срок службы по данным расчета окажется менее проектного (30 лет), то необходимо увеличить либо количество электродов, либо их массу, либо рабочую длину заземления на величину k_T , которая равна:

$$k_T = \frac{T - T_p}{T} \quad (8.12)$$

где T - планируемый срок службы, лет;
 T_p - расчетный срок службы, лет.

9 Протекторная защита

9.1 Комплектные протекторы, применяемые для защиты подземных сооружений от коррозии, представляют собой магниевые аноды типа ПМ5, ПМ10, ПМ20 (таблица 9.1), помещенные вместе с порошкообразным активатором в хлопчатобумажные мешки.

9.2. Исходными данными для проектирования протекторной защиты являются:

- сопротивление изоляционного покрытия;
- удельное электрическое сопротивление грунта вдоль сооружения;
- электрохимические характеристики протекторов;
- диаметр трубопровода.

9.3. Расчет протекторных установок заключается в определении:

- силы тока в цепи протектор-труба;
- длины участка трубопровода, защищаемого протектором;
- срока службы протектора.

9.3.1 Сила тока в цепи протектор-трубопровод i_n равна:

(9.1)

$$i_n = \frac{U_n - U_e - 1,15 \cdot \Delta U_{тзм} - 0,064 \cdot S_n}{R_{nm}}, [A]$$

где S_n – рабочая поверхность протектора, м², (таблица 9.1);

R_{nm} – сопротивление цепи протектор-трубопровод, Ом;

U_n – стационарный потенциал протектора, В;

$\Delta U_{тзм}$ – минимальная защитная наложенная разность потенциалов труба-земля.

Если значения U_n и U_e неизвестны, то разность потенциалов ($U_n - U_e$) для протекторов на основе магния рекомендуется принимать равной 1 В.

9.3.2 Сопротивление цепи протектор-трубопровод равно:

Таблица 9.1 - Типоразмеры магниевых протекторов

Тип анода	Размеры, мм		Масса, кг	Рабочая поверхность, м ²
	Условный диаметр	Длина		
ПМ5	95	500	5	0,16
ПМ10	123	600	10	0,23
ПМ20	181	610	20	0,35

$$R_{nm} = R_{np} + R_{pn}, \quad [\text{Ом}] \quad (9.2)$$

где R_{np} – сопротивление провода, соединяющего протектор с трубопроводом, Ом.

$$R_{np} = \rho_m \cdot \frac{l_n}{S_n}, \quad [\text{Ом}] \quad (9.3)$$

где ρ_m – удельное электрическое сопротивление провода, (для меди $\rho_m = 1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, для алюминия $\rho_m = 2,8 \cdot 10^{-8}$ Ом·м),

l_n – длина соединительного провода, м;

S_n – сечение провода, м² ;

R_{pn} – сопротивление растеканию одного протектора, Ом.

При расчете сопротивления растеканию магниевых протекторов типа ПМ5У, ПМ10У, ПМ20У можно пользоваться формулой:

$$R_{pn} = A \cdot \rho_z + B, \quad [\text{Ом}] \quad (9.4)$$

где A и B - коэффициенты, зависящие от размеров протектора. В таблице 9.2 приведены усредненные значения коэффициентов A и B при установке протектора на глубину до 2,5 м.

Таблица 9.2 - Значения коэффициентов A и B для расчета сопротивления растеканию комплектных магниевых протекторов

Тип протектора	Коэффициент A , м^{-1}	Коэффициент B , Ом
ПМ5У	0,57	0,24
ПМ10У	0,47	0,18
ПМ20У	0,41	0,15

9.4 Длина участка трубопровода, защищаемого одним протектором на конец планируемого периода защиты

$$l_{zn} = \frac{i_n \cdot R_{nn} \cdot e^{-\gamma \cdot T_n}}{\pi \cdot k \cdot U_3 \cdot D_m}, [м] \quad (9.5)$$

где T_n – планируемый срок эксплуатации протектора, годы;

R_{nn} – начальное значение переходного сопротивления трубопровода, Ом·м².

9.5 Количество протекторов, необходимое для защиты участка трубопровода, определяют по формуле:

$$N_n = \frac{l_3}{l_{zn}}, \quad [\text{шт}] \quad (9.6)$$

где l_3 – длина участка трубопровода, которую необходимо защитить протекторами.

9.6. Срок службы протекторов вычисляют по формуле:

$$T_n = \frac{m_n \cdot q \cdot \eta_n \cdot \eta_u}{8760 \cdot i_{n.sp}}, \quad [\text{год}] \quad (9.7)$$

где m_n – масса протектора, кг;

q – теоретическая токоотдача материала протектора (2330 А·ч/кг);

η_u – коэффициент использования материала протектора ($\eta_u = 0,90$);

η_n – коэффициент полезного действия протектора (для сплава МП1 $\eta_n=0,65$, для сплава МП2 $\eta_n=0,60$)

$i_{п.ср}$ – средняя сила тока в цепи протектор-труба за планируемый период времени T_n , А.

9.7 Среднюю силу тока в цепи протектор-труба определяют по формуле:

$$i_{с.ср} = \frac{U_n - U_e - c \cdot S_n}{\gamma \cdot T \cdot R_{nm}} \cdot \ln \frac{R_{nn} + \pi \cdot R_{nm} \cdot D_m \cdot l_{zn} \cdot e^{\gamma \cdot T_n}}{R_n + \pi \cdot R_{nm} \cdot D_m \cdot l_{zn}}, \quad [A] \quad (9.8)$$

Если при расчете, срок службы T_n получается меньше запланированного срока, то нужно длину участка трубопровода $l_{зп}$, защищаемого одним протектором, пересчитать в соответствии с расчетным T_n . Протекторы на трассе трубопровода необходимо устанавливать согласно вновь полученной длине защитной зоны $l_{зп}$.

9.8 При расчете групповых протекторных установок определяют следующие параметры:

- количество протекторов в группе;
- расстояние между протекторами в группе;
- расстояние между групповой протекторной установкой и трубопроводом.

9.8.1. Количество групповых протекторов, необходимое для защиты участка трубопровода, определяют по формуле:

$$N_{nz} = \frac{l_z}{\eta_z \cdot l_{zn}}, \quad [шт] \quad (9.9)$$

η_z – коэффициент экранирования, определяемый по графикам рисунка 9.1.

9.8.2 Количество протекторов в группе для обеспечения защиты трубопровода должно быть:

$$N \geq F \cdot \frac{R_{pn}}{R_{nn}} \cdot e^{\gamma \cdot T_n}, \quad [шт] \quad (9.10)$$

$$F = \frac{\pi \cdot k \cdot U_{mzm} \cdot D_m \cdot l_z}{\eta_z \cdot (U_n - U_e - k \cdot U_{mzm} - c \cdot S_n)}, \quad (9.11)$$

9.8.3 Расстояние между групповыми протекторами и трубопроводом определяют из выражения:

$$y_{nz} = \frac{0,5 \cdot i_{nz} \cdot \rho_3 \cdot D_m \cdot l_3}{\pi \cdot D_m \cdot l_3 \cdot U_{m30} - i_{nz} \cdot R_{nn}}, \quad [\text{м}] \quad (9.12)$$

где i_{nz} – сила тока групповой протекторной установки в начальный период.

Силу тока групповой протекторной установки рассчитывают по формуле:

$$i_{nz} = i_n \cdot N_{nz} \cdot \eta_3, \quad [\text{А}] \quad (9.13)$$

R_{nn} – переходное сопротивление трубопровода в начальный период, Ом·м²;

l_3 – длина участка трубопровода, защищаемая групповой протекторной установкой, м.

10 Расчет параметров дренажной защиты

10.1 Дренажная защита применяется для защиты газопровода от коррозии, вызываемой блуждающими токами.

10.2 Для расчета дренажной защиты должны быть выявлены следующие исходные данные:

- схема питания контактной сети электрифицированного транспорта; расположение тяговых подстанций и отсасывающих пунктов вдоль электрифицированной железной дороги;
- максимальная сила тока нагрузки каждой тяговой подстанции и отсасывающих кабелей;
- падение напряжения в отсасывающем фидере определяется по данным Регионального Управления электрифицированных железных дорог;
- расстояние между трубопроводом и тяговыми подстанциями или путевыми дросселями.

10.3 Защиту трубопроводов от коррозии блуждающими токами осуществляют дренажами и установками катодной защиты с автоматическими преобразователями

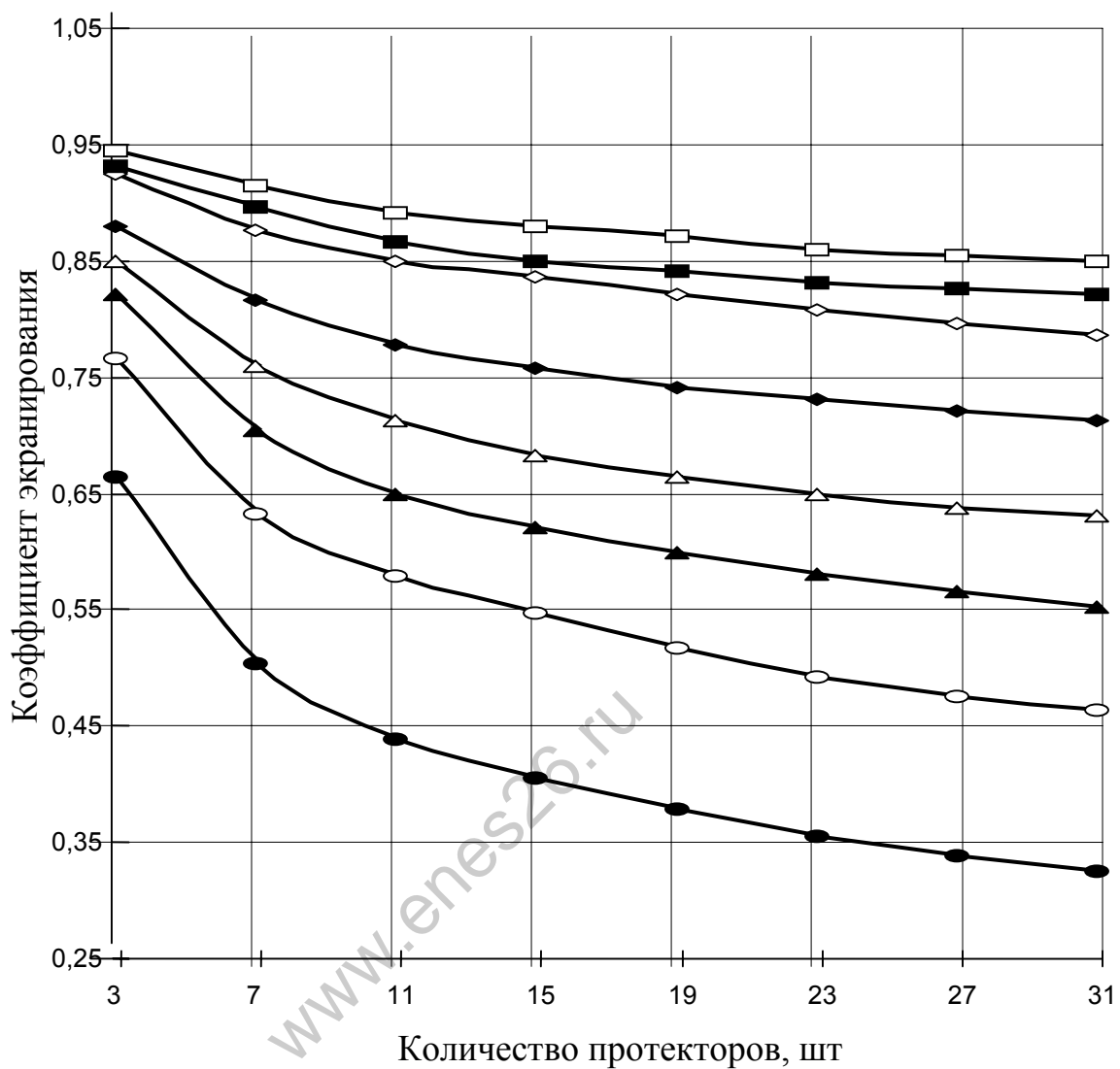
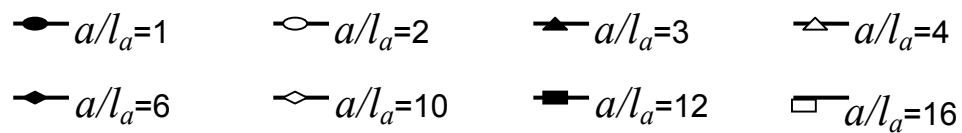


Рисунок 9.1 Коэффициент экранирования протекторов в группе при различных отношениях расстояния между протекторами и их длиной $[a/l_a]$

Для протекторов ПМ5У, ПМ10У и ПМ20У, установленных на глубине 1,6м



Дренажи следует применять поляризованные или с автоматическим регулированием сопротивления дренажной цепи, а также усиленные, с подсоединением их к рельсам, путевым дросселям или сборкам отсасывающих фидеров.

Электрические дренажи устанавливают в анодных и знакопеременных зонах, преимущественно в местах сближения железных дорог с трубопроводами, так как при значительных расстояниях между ними увеличивается длина и сечение дренажного кабеля, что экономически нецелесообразно. Место подключения электрического дренажа наиболее эффективно в зонах с наиболее отрицательными потенциалами рельс-земля. Особое внимание следует уделять пересечениям с электрифицированными транспортными линиями.

10.4 Установки катодной защиты с автоматическими преобразователями следует использовать при удалении на расстояние более 2 км от источников блуждающих токов. Эти станции должны автоматически поддерживать заданное значение защитного потенциала.

Место установки УКЗ с автоматическими преобразователями следует выбирать с учетом расположения катодных зон на рельсах электрифицированного транспорта и наличия участков грунтов с относительно малым удельным электрическим сопротивлением.

10.5 Усиленный дренаж необходим в следующих случаях:

- при наличии нескольких источников блуждающих токов;
- при знакопеременных потенциалах на подземных коммуникациях;
- при значительных (более 2 км) расстояниях между защищаемым объектом и источником блуждающих токов.

10.6 Поляризованные и усиленные дренажи следует подключать только к отсасывающим фидерам или к средним точкам путевых дросселей.

10.7 Расчет параметров дренажной защиты сводится к определению силы тока и сечению дренажного кабеля.

10.7.1 Сила тока через электрический дренаж i_{∂} определяется исходя из условия, что ток утечки из рельсов электрифицированной железной дороги в грунт составляет не более 20 % от токов нагрузки тяговой подстанции:

$$i_{\partial} = 0,2 \cdot i_{mn} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \quad [\text{A}] \quad (10.1)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий расстояние между трубопроводом и электрифицированной железной дорогой (таблица 10.1);

K_2 – коэффициент, учитывающий расстояние от трубопровода до тяговой подстанции (таблица 10.1);

K_3 – коэффициент, учитывающий тип изоляционного покрытия трубопроводов (таблица 10.2);

K_4 – коэффициент, учитывающий срок службы трубопровода (таблица 10.3);

K_5 – коэффициент, учитывающий количество параллельно уложенных трубопроводов (таблица 10.4).

Таблица 10.1 - Значение коэффициентов K_1 и K_2 .

Расстояние, км	Величина коэффициента	
	K_1	K_2
До 0,5	0,9	0,9
0,5 – 1	0,7	0,6
1 – 2	0,4	0,35
2 – 3	0,2	0,2
Более 3	0,1	0,1

Таблица 10.2 - Значение коэффициента K_3 .

Тип изоляционного покрытия трубопровода	Величина коэффициента K_3
Трех-, двухслойное полимерное покрытие на основе терморезистивных смол и полиолефина; покрытие на основе термоусаживающихся материалов	0,3
Все остальные покрытия усиленного типа кроме мастичных и полимерно-битумных	0,5
Мастичные и полимерно-битумные покрытия	0,8
Все покрытия нормального типа	0,9

Таблица 10.3 - Значение коэффициента K_4 .

Срок службы трубопровода, годы	Величина коэффициента K_4
Менее 3	0,5
5 - 7	0,6
7 - 10	0,8
10 - 15	0,9
Более 15	1,0

Таблица 10.4 - Значение коэффициента K_5 .

Количество параллельных трубопроводов	Величина коэффициента K_5
1	0,75
2	0,85
3	0,93
4	0,97
Более 4	1,00

10.7.2 Независимо от способа подключения дренажного кабеля его сечение определяется из условия, что сумма падения напряжения в кабеле и наложенной разности потенциалов труба-земля не должна превышать разности потенциалов между трубопроводом и рельсом.

10.7.3 Сечение дренажного кабеля S_∂ , рассчитывается по формуле:

$$S_\partial = \frac{i_{mn} \cdot \rho_m \cdot l_k}{\Delta U_\partial}, \quad [\text{м}^2] \quad (10.2)$$

где l_k – длина дренажного кабеля, м;

ρ_m – удельное электрическое сопротивление материала кабеля, Ом•м;

ΔU_∂ – допустимое падение напряжения в дренажной цепи, В.

10.7.4 Допустимое падение напряжения в дренажной цепи, в зависимости от варианта подключения дренажного кабеля, определяется из таблицы 10.5.

Таблица 10.5 - Допустимые значения падения напряжения в дренажном кабеле ΔU_k , В.

Расстояние, км	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0
Между отсасывающим ток пунктом и газопроводом при подключении к минусовой шине тяговой подстанции	10	11	12	13	14
Между газопроводом и электрифицированной железной дорогой при подключении к средней точке путевого дросселя	-	3	5	6	7

10.7.5 Падение напряжения в фидере ΔU_{ϕ} при подключении дренажного кабеля к нему определяется по формуле:

$$\Delta U_{\phi} = \Delta U_{\kappa} + \Delta U_{\phi}, \quad [A] \quad (10.3)$$

где ΔU_{ϕ} – падение напряжения в отсасывающем фидере, В; определяется по данным Управления электрифицированных железных дорог.

10.7.6 Расчет сопротивления дренажного кабеля проводится после окончания строительства газопровода по техническим характеристикам усиленного дренажа и проведения опытных измерений параметров цепи «рельс-трубопровод», при которых определяют:

- входное сопротивление трубопровода постоянному току, Ом;
- среднесуточную величину разности потенциалов между точками присоединения дренажа к подземному сооружению и рельсами при отключенном дренаже, В;
- среднесуточный ток короткого замыкания «рельс-трубопровод», А;
- среднесуточное смещение разности потенциалов «труба-земля», В.

11 Расчет и проектирование совместной защиты многониточных газопроводов

11.1 Устранение или уменьшение до безопасных пределов вредного влияния катодной поляризации защищенного сооружения на смежные (параллельные) сооружения, не имеющие электрохимической защиты, может быть обеспечено следующими способами:

- устройством раздельной или совместной защиты;
- удалением анодного заземления катодной установки, являющегося источником вредного влияния, от незащищенного сооружения на расстояние не менее $3 \cdot y$ (y – расстояние между анодным заземлением и защищаемым трубопроводом);
- устройством перемычки в точке дренажа или на некотором расстоянии от нее между защищенной и защищаемой коммуникациями (сечение перемычки определяют расчетом);
- установкой группы протекторов на смежном подземном сооружении.

11.2 При раздельной электрохимической защите смежных сооружений или при отnose анодного заземления от незащищенного сооружения степень вредного

влияния устанавливается при наладке запроектированных средств электрохимической защиты. При наличии вредного влияния разрабатываются меры по его устранению.

11.3 Параллельные магистральные трубопроводы могут быть защищены от коррозии совместно с целью исключения возможного вредного влияния и обеспечения резервирования средств защиты.

11.4 Расчет параметров установок совместной катодной защиты выполняется так же как и для одиночных трубопроводов.

11.5 Сила тока установок совместной катодной защиты определяется из выражения:

$$i = \sum_{i=1}^{i=n} i_i, \quad [\text{A}] \quad (11.1)$$

где i_i – величина тока, необходимая для защиты i -го трубопровода, А ;

n – количество совместно защищаемых трубопроводов.

11.6 Размещение катодных станций на параллельных трубопроводах производится через интервалы, равные или меньшие длины защитной зоны на период через 30 лет эксплуатации проектируемой совместной катодной защиты.

11.7 В точке дренажа всех параллельных трубопроводов используется электрическая перемычка для резервирования катодной защиты на случай отказа в работе одной из защитных установок.

11.8 Точка дренажа установки совместной катодной защиты выбирается, исходя из состояния изоляционного покрытия на трубопроводах. Как правило, точка дренажа оборудуется на трубопроводе с наибольшей постоянной распространения тока (наименьшей длиной защитной зоны установки катодной защиты). В частном случае, точка дренажа оборудуется на трубопроводе с наихудшей изоляцией, то есть требующего большую силу защитного тока.

11.9 Сопротивление перемычки для двух трубопроводов определяют по формуле:

$$R_{nm} = \frac{Z_2}{sh(\alpha_2 \cdot l)} \cdot (ch(\alpha_1 \cdot l) - ch(\alpha_2 \cdot l)), \quad [\text{Ом}] \quad (11.2)$$

где α_1 и α_2 – постоянные распространения соответственно первого и второго трубопровода ($\alpha_1 < \alpha_2$);

Z_2 – характеристическое сопротивление второго трубопровода, Ом;

l – плечо защитной зоны, м.

При электрическом соединении нескольких трубопроводов сопротивление перемычки определяют попарно (на одном трубопроводе из них должна быть оборудована точка дренажа).

Сечение перемычки определяется по формуле:

$$S_{nm} = \frac{\rho_m \cdot l_{nm}}{R_{nm}}, \quad [\text{м}^2] \quad (11.3)$$

где ρ_{nm} – удельное электрическое сопротивление материала перемычки, Ом•м;

l_{nm} – длина перемычки, м.

Перемычки должны размыкаться с целью контроля величины тока в перемычке и для наладки электрохимической защиты.

Если трубопроводы имеют технологическую перемычку на расстоянии от точки дренажа менее 1/4 длины защитного плеча, то электрические перемычки в точках дренажа допускается не устанавливать.

11.10 Рекомендуемые схемы совместной катодной защиты параллельных трубопроводов:

- Одна катодная установка на несколько параллельных трубопроводов при общей силе тока защиты на 30 год эксплуатации не более 30 А. Анодное заземление может быть расположено по любую сторону от трубопроводов. Размещение точки дренажа катодной установки производится в соответствии с п. 11.8.

- Две катодных установки на несколько параллельных трубопроводов (более 3-х) при общей силе тока защиты на 30 год эксплуатации не более 40 А.. Анодные заземления катодных установок могут быть расположены как по одну сторону от трубопроводов, так и по разные стороны. При размещении анодных заземлений по одну сторону от трубопроводов расстояние между ними должно быть не менее 3-х их линейных размеров, но не менее 200 м. Размещение точек дренажа катодных установок производится в соответствии с п. 11.8.

При силе тока защиты каждого трубопровода более 15 А катодные установки должны быть оборудованы на каждом трубопроводе, а точки дренажа соединяют перемычками.

При расстоянии между параллельными трубопроводами более 50 м независимо от силы защитного тока целесообразна установка катодных станций на каждом трубопроводе.

11.11 Включение нескольких катодных станций с разными точками дренажа на одно анодное заземление не допускается.

11.12 В случаях, когда напряжения катодной станции недостаточно для обеспечения необходимого защитного тока, допускается последовательное соединение двух неавтоматических катодных станций (преобразователей), либо автоматической может быть одна из них.

11.13 Электрические перемычки должны выполняться только с применением контрольно-измерительных пунктов.

11.14 В местах сближения или пересечения трубопроводов устанавливают контрольно-измерительные колонки, в которые вводят проводники от этих трубопроводов с соответствующей маркировкой. Сечение проводников должно быть не менее 4 мм² по меди. Необходимость установки перемычки определяется по результатам наладки средств электрохимической защиты при выявлении вредного влияния системы ЭХЗ одного трубопровода на другой.

11.15 Электрические перемычки между трубопроводами должны быть установлены только в точках дренажа (кроме участков сближения или пересечения трубопроводов).

11.16 При проектировании совместной дренажной защиты нескольких параллельных трубопроводов сила дренажного тока определяется в соответствии с разделом 10.

11.17 Дренажи обязательно должны иметь точку дренажа на трубопроводе, отвечающего условиям п. 11.8.

11.18 Сопротивление и сечение электрической перемычки определяется в соответствии с п. 11.8 и п. 11.9.

12 Особенности проектирования электрохимической защиты подземных коммуникаций промплощадок магистральных газопроводов

12.1 Исходными данными для проектирования электрохимической защиты являются следующие данные:

- план площадки с указанием размещения оборудования и трубопроводов;
- перечень всех подземных трубопроводов с указанием их длины и диаметра;

- удельное электрическое сопротивление грунтов на площадке и за ее пределами на расстоянии не менее 50 м, а также результаты вертикального электрического зондирования грунтов на глубину до 100 м;
- максимальная температура перекачиваемого продукта;
- оценка влияния блуждающих токов от источников постоянного и переменного тока.

12.2 Задачей проектирования является определение количества средств электрохимической защиты, их мощности и размещения.

12.3 Общая сила защитного тока определяется по формуле:

$$I_{нл} = j_{з.нл} \cdot \sum_{i=1}^{N_{нл}} S_i, \quad [A] \quad (12.1)$$

где $j_{з.нл}$ – защитная плотность тока коммуникаций площадки, А/м²;

S_i – площадь поверхности i -того трубопровода, м²;

$N_{нл}$ – общее количество подземных трубопроводов на площадке.

12.4 Защитная плотность тока подземных коммуникаций площадки определяется из таблицы 12.1.

12.5 Оценка влияния блуждающих токов от источников постоянного и переменного тока производится в соответствии с требованиями ГОСТ 9.602.

12.6 За максимальную температуру перекачиваемого продукта принимается максимальная среднесуточная температура этого продукта.

12.7 За величину удельного электрического сопротивления грунта принимается ее минимальное значение, полученное на площадке при инженерных изысканиях.

12.8 Количество установок катодной защиты коммуникаций компрессорной станции $N_{укз}$ определяется по формуле:

$$N_{укз} = \frac{I_{нл}}{I_n \cdot k_{нл}} \quad (12.2)$$

где $I_{нл}$ – общий защитный ток подземных коммуникаций площадки, А;

I_n – номинальный выходной ток катодного преобразователя, определяемый по технической документации, А;

$k_{пл}$ – коэффициент защиты от перегрузки катодных станций (для проектируемых площадок принимается равным 0,7, для существующих площадок – 0,85).

Таблица 12.1 - Минимальная плотность защитного тока трубопроводов и площадок компрессорных станций

Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом•м	Наличие блуждающих токов	Максимальная температура перекачиваемого продукта, +°C	Минимальная плотность защитного тока, мА/м ²
Менее 10	Имеется	Более 20	35
Менее 10	Не имеется	Менее 20	25
10 – 40	Имеется	Более 20	25
10 – 40	Не имеется	Менее 20	17
Более 40	Имеется	Более 20	17
Более 40	Не имеется	Менее 20	12

12.9 Тип анодных заземлений выбирается в соответствии с разделом 8.

12.10 На территории площадки необходимо устанавливать контрольно-измерительные пункты для контроля поляризационного потенциала по ГОСТ 9.602 в количестве, определяемом по ГОСТ Р 51164-98.

12.11 При наличии блуждающих токов выбор и расчет параметров средств электрохимической защиты следует производить по указаниям разделов 6 и 10.

Если на газопроводе предусматривается установка электрических дренажей на расстоянии от площадки до 10 км, то защита сооружений промплощадки от блуждающих токов должна быть осуществлена катодными станциями с автоматическим поддержанием защитного потенциала.

12.12 Для защиты от коррозии силовых кабелей и защитных заземлений оборудования на промплощадках КС следует применять установки протекторной защиты.

13 Особенности проектирования электрохимической защиты переходов магистральных газопроводов через водные преграды, железные и автомобильные дороги

13.1 На переходах через водные преграды длиной более 500 м на одном из берегов ее должна быть предусмотрена установка катодной защиты. При этом УКЗ должна располагаться на расстоянии не более 1 км от водной преграды.

13.2 На всех водных переходах длиной более 500 м необходимо устанавливать контрольно-измерительные пункты для контроля потенциала и силы тока в трубопроводе по падению напряжения на участке (рисунок 13.1) длиной не менее 100 м.

13.3 На действующем трубопроводе проектирование и реконструкция катодной защиты должна производиться на основании комплексного обследования, в которое должны включаться измерения смещения потенциала на одном из берегов при включении и выключении установки катодной защиты на другом берегу.

13.4 Если при комплексном обследовании установлено, что изоляционное покрытие перехода не соответствует нормативным требованиям, то для обеспечения требуемого остаточного ресурса перехода могут быть применены нетрадиционные схемы катодной защиты, согласованные с Госгортехнадзором РФ.

13.5 Для защитных кожухов подземных трубопроводов в грунтах средней и низкой коррозионной агрессивности (по ГОСТ 9.602) допускается минимальный поляризационный потенциал более положительный, чем минус 0,85 В по МСЭ (с омической составляющей – минус 0,90 В по МСЭ) при условии обеспечения нормативного срока их службы, что должно быть подтверждено технико-экономическим обоснованием. При этом катодное смещение поляризационного потенциала (поляризации) должно быть не менее 100 мВ.

Для кожухов в грунтах средней и низкой коррозионной агрессивности и с изоляцией, не соответствующей требованиям ГОСТ 51164, допускается применение в качестве критерия защиты катодное смещение поляризационного потенциала (поляризация) на 100 мВ или смещение разности потенциалов труба-земля (потенциала с омической составляющей) на 300 мВ.

13.6 Электрохимическая защита кожухов от подземной коррозии осуществляется, в основном, протекторами. В случае большой протяженности перехода, плохой изоляции кожуха и при наличии линии электропередачи для

защиты кожуха от коррозии возможно использовать маломощные катодные установки.

13.7 Расчет параметров протекторной защиты кожухов производится в соответствии с методикой, приведенной в разделе 9. В данном случае сопротивление цепи протектор-трубопровод R_{nm} определяется по формуле:

$$R_{nm} = R_{нк} + R_{np} + R_{pn}, \quad [\text{Ом}] \quad (13.1)$$

где $R_{нк}$ – сопротивление растеканию кожуха, Ом;

R_{np} – сопротивление проводов, Ом;

R_{pn} – сопротивление протекторов, Ом.

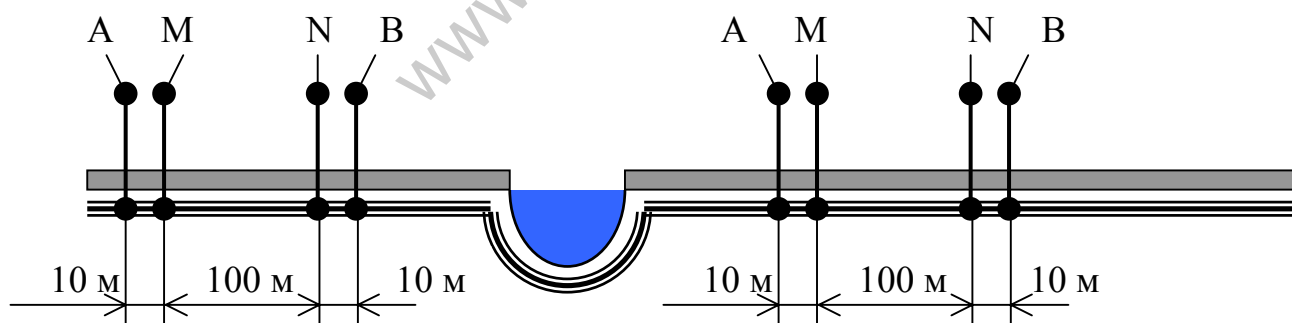
13.7.1 Сопротивление растеканию кожуха определяется по формуле:

$$R_{нк} = \frac{R'_{изк}}{\pi \cdot D_k \cdot l_k} + \frac{\rho_z}{2 \cdot \pi \cdot l_k} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_k}{D_k}, \quad [\text{Ом}] \quad (13.2)$$

де $R'_{изк}$ – сопротивление изоляции кожуха, Ом•м²;

D_k – диаметр кожуха, м;

l_k – длина кожуха, м.



Условные обозначения:



- электрический вывод от трубы, A и B – токовые выводы,

M и N – потенциальные выводы



- нефтепровод,



- водная преграда

Рисунок 13.1 - Схема расположения контрольно-измерительных пунктов на переходе через водные преграды

13.8 Для расчета протекторной защиты кожуха на действующем трубопроводе следует:

- измерить естественный потенциал трубопровода и кожуха;
- измерить переходное сопротивление кожуха;
- определить по формуле силу тока, необходимую для защиты кожуха;
- определить количество протекторов, необходимое для обеспечения защиты от коррозии кожуха на переходе.

13.9 Расчет электрохимической защиты кожуха с помощью маломощных катодных установок производится в соответствии с методикой, приведенной в разделе 7.

14 Особенности проектирования временной защиты магистральных газопроводов

14.1 В случае строительства газопровода параллельно построенному трубопроводу, оснащенным системой катодной защиты, временную защиту возможно осуществить путем подключения электрохимической защиты от построенного к строящемуся сооружению.

В случае строительства трубопровода, вдоль которого отсутствует линия электропередачи в качестве временной защиты следует использовать систему защиты с помощью магниевых протекторов типа ПМ 10У.

14.2 Расчет временной защиты с помощью протекторов заключается в определении их необходимого количества для защиты от коррозии магистрального трубопровода до включения в эксплуатацию основных средств электрохимической защиты и производится в соответствии с разделом 9.

14.3 На участке трубопровода между крановыми узлами, протяженность которого меньше расчетной длины защитной зоны протектора, устанавливается не менее одного протектора. Дополнительные протекторы устанавливаются по результатам наладки временной защиты.

14.4 При расчетной длине защитной зоны протектора меньше 5 км следует устанавливать групповые установки протекторов. При этом расчетное количество протекторов, необходимое для защиты участка трубопровода, должно увеличиваться в 1,3-1,4 раза.

14.5 В анодных и знакопеременных зонах блуждающих токов количество протекторов удваивается относительно расчетного количества, в катодных – должно соответствовать расчетному количеству.

14.6 В анодных зонах предлагается групповая протекторная установка, содержащая не менее двух протекторов. Расстояние между протекторами в групповой протекторной установке должно быть не менее 5 м.

14.7 В катодных и знакопеременных зонах должны использоваться поляризованные протекторы, которые подключаются к защищаемому трубопроводу через полупроводниковые элементы.

www.enes26.ru

ПЕРЕЧЕНЬ ТИПОВЫХ ПРОЕКТОВ ПО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ
ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ

1. Типовая документация на конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений.

Серия 7.402-5. Узлы и детали установок ЭХЗ подземных трубопроводов от коррозии

Выпуск 1 Монтажные схемы и узлы.

Выпуск 2 Изделия. Рабочие чертежи .

Разработана: ВНИПИТрансгаз, г. Киев, 1987 г.

2. Типовая документация на конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений.

Серия 5.905-6. Узлы и детали электрохимзащиты подземных инженерных сетей от коррозии. Рабочие чертежи.

3. Унифицированные технические решения по ЭХЗ от коррозии подземных металлических сооружений.

Глубинный анодный заземлитель для объектов, сооруженных в Западной Сибири.

Рабочий проект ПЗ.37 03.

Разработаны: ЮжНИИгазпрогаз, г. Донецк, 1983 г.

4. Типовой проект 402-2-25.

Станция катодной защиты трубопроводов (СКЗТ) с питанием от воздушной линии 220 В и 10 кВ.

Альбом 1. Электрическая и механическая части.

Разработан: Гипротрубопровод, г. Москва, 1974 г.

5. Типовой проект 402-12-52.

Электрический дренаж для магистральных трубопроводов и кабельной связи от блуждающих токов.

Альбом 1. Электрическая и механическая части.

Разработан: Гипротрубопровод, г. Москва.

6. Типовой проект 402-11-62.,

Проектная установка для защиты магистральных трубопроводов от почвенной коррозии.

Альбом 1. Электрическая и механическая части.

Разработан: Гипротрубопровод, г. Москва, 1973 г.

7. Типовые технические решения временной защиты МГ в процессе их строительства – 2002 г.

Разработан ОАО "ВНИПИГАЗДОБЫЧА", г. Саратов.

www.enes26.ru

ЗНАЧЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА R_m ПРИ
РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ ТРУБЫ

($\rho_m = 2,45 \cdot 10^{-7}$ Ом·м; $t = +20^\circ \text{C}$)

Толщина стенки трубы от 4 до 9,5 мм

Диаметр трубы	Продольное сопротивление трубопровода $R_m \cdot 10^{-6}$, Ом/м при различной толщине стенки трубы $\delta_m \cdot 10^{-3}$, м										
D_m , м	4	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
0,146	137	111	101	92,8	86,0	80,2	75,1	70,6			
0,152	132	106	96,8	89,0	82,5	76,8	72,0	67,7			
0,159	126	101	92,4	85,0	78,7	73,3	68,6	64,6			
0,168	119	95,7	87,3	80,2	74,3	69,2	64,8	60,9			
0,180	111	89,1	81,3	74,7	69,2	64,4	60,3	56,7			
0,194	103	82,5	75,2	69,1	64,0	59,6	55,8	52,4			
0,219	90,7	72,9	66,4	61,0	56,5	52,6	49,2	46,2			
0,245	80,9	65,0	59,2	54,4	50,3	46,8	43,8	41,1			
0,273	72,5	58,2	53,0	48,7	45,0	41,9	39,2	36,8			
0,299	66,1	53,1	48,3	44,4	41,0	38,2	35,7	33,5			
0,325	60,7	48,7	44,4	40,7	37,7	35,0	32,8	30,8			
0,377	52,3	41,9	38,2	35,0	32,4	30,1	28,1	26,4	24,9		
0,426	46,2	37,0	33,7	30,9	28,6	26,6	24,8	23,3	22,0	20,8	
0,530		29,7	27,0	24,8	22,9	21,3	19,9	18,7	17,6	16,6	
0,720					16,8	15,6	14,6	13,7	12,9	12,2	11,6
0,820							12,8	12,0	11,3	10,7	10,1
1,020										8,57	8,12

В расчет принимается величина, указанная в таблице и умноженная на 10^{-6} .
Например, для труб диаметром 0,82 м и толщиной стенки 8 мм продольное
сопротивление равно: $R_m = 12,0 \cdot 10^{-6}$ Ом/м.

Толщина стенки трубы от 10 до 20 мм

Диаметр трубы	Продольное сопротивление трубопровода $R_m \cdot 10^{-6}$, Ом/м при различной толщине стенки трубы $\delta_m \cdot 10^{-3}$, м
------------------	---

D_m , м	10	10,5	11	11,5	12	12,5	14	15	16	17	20
0,72	11,0	10,5	10,0								
0,82	9,63	9,18	8,76	8,39							
1,02	7,72	7,36	7,03	6,72	6,45	6,19	5,54	5,17	4,85	4,57	
1,22			5,86	5,61	5,38	5,17	4,62	4,31	4,05	3,81	3,25
1,42							3,96	3,70	3,47	3,27	2,79
1,62							3,47	3,24	3,04	2,86	2,44

В расчет принимается величина, указанная в таблице и умноженная на 10^{-6} .
Например, для труб диаметром 1,02 м и толщиной стенки 12 мм продольное сопротивление равно: $R_m = 6,45 \cdot 10^{-6}$ Ом/м.

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЮ ТОКА
ТРУБОПРОВОДА ОТ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА

