



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**СТО Газпром 9.2-003-2009**

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ



Москва 2009

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»**

---

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**

**ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ.  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**СТО Газпром 9.2-003-2009**

**Издание официальное**

---

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»**

**Общество с ограниченной ответственностью  
«Научно-исследовательский институт природных  
газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»**

**Общество с ограниченной ответственностью «Газпром экспо»**

**Москва 2009**

## Предисловие

### 1 РАЗРАБОТАН

Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»

### 2 ВНЕСЕН

Отделом защиты от коррозии Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром»

### 3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ

распоряжением ОАО «Газпром» от 4 мая 2009 г. № 114

### 4 ВЗАМЕН

СТО Газпром 2-3.5-047-2006 «Инструкция по расчету и проектированию электрохимической защиты от коррозии магистральных газопроводов»

© ОАО «Газпром», 2009

© Разработка ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2009

© Оформление ООО «Газпром экспо», 2009

*Распространение настоящего стандарта осуществляется в соответствии с действующим законодательством и с соблюдением правил, установленных ОАО «Газпром»*

## Содержание

1 Область применения . . . . .	1
2 Нормативные ссылки . . . . .	1
3 Термины и определения . . . . .	2
4 Обозначения и сокращения . . . . .	2
5 Требования к проектной документации . . . . .	3
6 Требования к выбору средств ЭХЗ . . . . .	5
6.1 Общие требования . . . . .	5
6.2 Установки катодной защиты . . . . .	7
6.3 Анодные заземления . . . . .	8
6.4 Установки протекторной защиты . . . . .	10
6.5 Установки дренажной защиты . . . . .	10
6.6 Контрольно-измерительные пункты . . . . .	11
6.7 Электроснабжение установок катодной защиты . . . . .	14
7 Расчет параметров электрохимической защиты различных объектов ОАО «Газпром» . . . . .	14
7.1 Расчет электрических характеристик трубопроводов . . . . .	14
7.2 Расчет параметров установок катодной защиты . . . . .	18
7.3 Расчет параметров анодного заземления . . . . .	20
7.4 Расчет параметров установок протекторной защиты . . . . .	24
7.5 Расчет параметров установок дренажной защиты . . . . .	28
8 Требования к системам электрохимической защиты различных объектов ОАО «Газпром» . . . . .	30
8.1 ЭХЗ многониточных трубопроводов . . . . .	30
8.2 Временная ЭХЗ трубопроводов . . . . .	33
8.3 ЭХЗ подземных коммуникаций промышленных площадок компрессорных станций, газораспределительных станций и подземных хранилищ газа . . . . .	34
8.4 ЭХЗ трубопроводов на участках пересечения с железными и автомобильными дорогами и водными преградами . . . . .	36
8.5 ЭХЗ обсадных колонн скважин промысловых сооружений . . . . .	38
Приложение А (рекомендуемое) Значения продольного сопротивления трубопровода $R_r$ при различной толщине стенки трубы . . . . .	40
Приложение Б (рекомендуемое) Схема ЭХЗ для типовой компрессорной станции . . . . .	41
Библиография . . . . .	42

## Введение

Настоящий стандарт разработан в соответствии с перечнем приоритетных научно-технических проблем ОАО «Газпром» на 2002—2006 гг., утвержденным Председателем Правления ОАО «Газпром» А.Б. Миллером (от 15.04.2002 АМ-2121), пункт 6.5 «Разработка методов, материалов, технологий и оборудования для противокоррозионной защиты магистральных газопроводов, газовых промыслов, перерабатывающих заводов и морских газопроводов и других объектов Единой системы газопроводов. Создание отраслевой системы коррозионного мониторинга, включая нормативно-техническую документацию».

В документе представлены требования к проектированию катодной, протекторной и дренажной системы защиты подземных стальных сооружений ОАО «Газпром» с учетом особенностей их эксплуатации и новейших научно-технических разработок и достижений в области электрохимической защиты, накопленных научными, проектными, эксплуатирующими организациями ОАО «Газпром».

Представленные в документе методы расчета и проектирования электрохимической защиты подземных сооружений от коррозии разработаны с учетом требований действующих национальных стандартов и нормативных документов ОАО «Газпром» и соответствуют уровню международных стандартов.

Стандарт разработан специалистами ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ» Д.Н. Запечаловым, Н.Н. Глазовым, Б.И. Хмельницким, Н.К. Шамшетдиновой с участием специалистов ООО «Нефтегазэкспертиза» Ф.К. Фатрахманова и ОАО «Газпром» Н.Г. Петрова и М.Л. Долганова.

---

**СТАНДАРТ ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «ГАЗПРОМ»**

---

**ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ.  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

---

Дата введения – 2010-01-25

**1 Область применения**

1.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к проектированию и расчету электрохимической защиты газопроводов и продуктопроводов, подземных металлических сооружений компрессорных станций, газораспределительных станций, промысловых объектов добычи газа и других сооружений, выполненных из низколегированных углеродистых сталей, от подземной (грунтовой) коррозии.

1.2 Настоящий стандарт обязателен для применения при проектировании, строительстве и выполнении пусконаладочных работ систем электрохимической защиты подземных стальных сооружений ОАО «Газпром» от коррозии.

**2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:  
ГОСТ Р 51164-98 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии

СТО Газпром 2-6.2-149-2007 Категорийность электроприемников промышленных объектов ОАО «Газпром»

ВСН 39-1.8-008-2002 Указания по проектированию вставок электроизолирующих на магистральных и промысловых трубопроводах

СТО Газпром НТП 1.8-001-2004 Нормы технологического проектирования объектов газодобывающих предприятий и станций подземного хранения газа

СТО Газпром 2-3.5-051-2006 Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов

**П р и м е ч а н и е** — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов по соответствующим указателям, составленным на 1 января текущего года, и информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

### **3 Термины и определения**

В настоящем стандарте применены термины и определения в соответствии с СТО Газпром «Электрохимическая защита от коррозии. Основные требования» (проект).

### **4 Обозначения и сокращения**

В настоящем стандарте использованы следующие обозначения и сокращения:

АВО — агрегат воздушного охлаждения;  
АЗ — анодное заземление;  
АРМ — автоматизированное рабочее место;  
ВКО — высокая коррозионная опасность;  
ВЛ — воздушная линия электропередачи;  
ВЭИ — вставка электроизолирующая;  
ГАЗ — глубинное анодное заземление;  
ГИС — газоизмерительная станция;  
ГРС — газораспределительная станция;  
ДКС — дожимная компрессорная станция;  
КИП — контрольно-измерительный пункт;  
КС — компрессорная станция;  
КТП — комплектно-трансформаторная подстанция;  
КЦ — компрессорный цех;  
ЛЭП — линия электропередачи;  
МСЭ — медносульфатный электрод сравнения;  
НД — нормативная документация;  
ПКО — повышенная коррозионная опасность;  
ПУ — пылеуловитель;  
ПУЭ — правила устройства электроустановок;  
ПХГ — подземное хранение газа;  
ПЭБ — производственно-эксплуатационный блок;  
СНиП — строительные нормы и правила;

- ЭХЗ – электрохимическая защита;
- УДЗ – установка дренажной защиты;
- УКЗ – установка катодной защиты;
- УКПГ – установка комплексной подготовки газа;
- УПЗ – установка протекторной защиты;
- УПР – унифицированные проектные решения.

## 5 Требования к проектной документации

5.1 Проектирование системы ЭХЗ строящихся и реконструируемых подземных сооружений должно основываться на данных изысканий, которые должны включать следующие работы:

- измерение удельного электрического сопротивления грунта на линейной части трубопровода – по всей трассе с шагом 100 м на проектной глубине укладки трубы;
- измерение удельного электрического сопротивления грунта для промышленных площадок – в центре квадратов со стороной, равной 10 м, количество квадратов определяется из общей площади площадки;
- определение наличия параметров блуждающих токов и установление их источников;
- оценку возможного влияния высоковольтных линий электропередачи переменного тока;
- определение глубины промерзания грунта на участках размещения средств ЭХЗ;
- выбор мест размещения средств ЭХЗ;
- выбор источников электроснабжения средств ЭХЗ в соответствии с требованиями СТО Газпром 2-3.5-051;
- съемку на местности площадок для размещения элементов системы ЭХЗ;
- вертикальное электрическое зондирование на площадках размещения глубинных анодных заземлений;
- сбор сведений о коррозии и параметрах ЭХЗ соседних и/или пересекающих проектируемое сооружение подземных коммуникаций.

5.2 Проектная документация (проект) [1] на электрохимическую защиту всех сооружений выделяется в отдельный раздел и включает следующие стадии со следующим содержанием:

### 5.2.1 Стадия «Проектная документация»:

- планы трасс проектируемых трубопроводов или план проектируемых подземных коммуникаций промышленной площадки с размещением устройств ЭХЗ и источников блуждающих токов;



- принципиальные установочные схемы устройств, принятых для электрохимической защиты от коррозии, и источники электроснабжения средств ЭХЗ;

- пояснительная записка с указанием конструкции и материалов изоляционного покрытия трубопровода, типа и количества средств ЭХЗ, ведомость потребности в основном оборудовании.

#### 5.2.2 Стадия «Рабочая документация»:

- план трассы проектируемых трубопроводов с нанесенными линейными сооружениями (трубопроводами, кабелями, линиями электропередачи и др.), с проектируемыми и существующими устройствами ЭХЗ;

- планы размещения проектируемых устройств ЭХЗ с привязкой мест расположения УКЗ, УДЗ, протекторов, анодных заземлений, соединительных дренажных линий и линий электроснабжения;

- места подключения дренажных кабелей к подземным трубопроводам и источникам блуждающих токов, которые необходимо привязать к постоянным ориентирам и к пикетам;

- сводный план инженерных сетей подземных коммуникаций промышленных площадок КС, ДКС, ГРС и других объектов с размещением проектируемых устройств ЭХЗ;

- ведомость размещения контрольно-измерительных пунктов;

- принципиальные монтажные схемы средств ЭХЗ;

- установочные чертежи;

- ведомость участков, схемы подключения и ток поляризации для участков магистральных трубопроводов при контроле изоляции методом катодной поляризации;

- спецификация оборудования и ведомость материалов.

#### 5.3 Пояснительная записка должна содержать:

- основание для разработки проекта;

- характеристику защищаемых сооружений;

- сведения об источниках блуждающих токов; при необходимости должна включать согласование со службами эксплуатации источников блуждающих токов (железнодорожной и др.) на подключение средств дренажной защиты;

- оценку коррозионной ситуации;

- обоснование принятых проектных решений;

- обоснование выбора установок ЭХЗ (при отсутствии соответствующих указаний в технических условиях);

- количество и параметры средств ЭХЗ.

## **6 Требования к выбору средств ЭХЗ**

### **6.1 Общие требования**

6.1.1 Средства электрохимической защиты подземных сооружений от коррозии должны быть определены в отдельном разделе проектной документации, которая разрабатывается одновременно с проектом нового (или реконструируемого) сооружения. Применяемые изделия и материалы должны быть разрешены к применению на объектах ОАО «Газпром».

6.1.2 Проектирование электрохимической защиты следует осуществлять с учетом требований СТО Газпром НТП 1.8-001. Основные технические решения рекомендуется формировать на основе Унифицированных проектных решений (УПР) [2], [3].

6.1.3 Проектируемые средства электрохимической защиты должны обеспечить необходимую степень защиты (катодной поляризации) сооружений с учетом их конфигурации и коррозионной ситуации на участке, в том числе состояния изоляционного покрытия, коррозионной агрессивности грунтов, влияния блуждающих токов.

6.1.4 Электрохимическую защиту сооружений следует проектировать с определением на начальный и конечный периоды эксплуатации следующих параметров:

- для установок катодной защиты — силы защитного тока и напряжения на выходе УКЗ;
- для установок протекторной защиты — силы защитного тока;
- для установок дренажной защиты — силы тока дренажа.

6.1.5 Систему электрохимической защиты подземных сооружений следует проектировать с учетом действующей электрохимической защиты эксплуатируемых сооружений и их перспективного строительства.

Прокладка кабельных линий системы ЭХЗ должна осуществляться в соответствии с требованиями Правил [4].

6.1.6 Ввод в эксплуатацию средств ЭХЗ для магистральных газопроводов, предусмотренных проектом, должен осуществляться в сроки, регламентируемые СТО Газпром 2-3.5-051, для других объектов, указанных в разделе 1, должны быть предусмотрены такие же сроки ввода в эксплуатацию.

6.1.7 При проектировании электрохимической защиты подземных сооружений в зоне действия электрохимической защиты эксплуатируемых сооружений необходимо учитывать данные от эксплуатирующих организаций о параметрах действующих установок электрохимической защиты и о режимах их работы.

6.1.8 С целью обеспечения эффективной электрохимической защиты подземных сооружений и снижения негативного влияния на соседние сооружения в проекте следует

предусматривать использование электроизолирующих вставок в соответствии с действующими НД.

6.1.9 При наличии опасного влияния на подземное сооружение высоковольтных ВЛ следует предусматривать мероприятия по его ограничению в соответствии с действующими НД.

6.1.10 Предельно допустимая величина индуцированного напряжения на участках влияния высоковольтных ВЛ – 60 В.

6.1.11 Все кабельные подключения к объекту защиты и АЗ должны осуществляться через контрольно-измерительные пункты (КИП).

6.1.12 В проекте электрохимической защиты газопровода должен быть предусмотрен дистанционный контроль УКЗ и УДЗ.

При проектировании дистанционного контроля следует предусматривать вывод контролируемых параметров на автоматизированное рабочее место (АРМ) ЭХЗ с возможностью регулирования режимов УКЗ.

6.1.13 При проектировании катодной защиты газопровода УКЗ следует размещать, как правило, рядом с линейными кранами газопровода. Иное размещение УКЗ осуществляется при наличии технического обоснования.

6.1.14 При проектировании катодной защиты промышленных сооружений УКЗ следует размещать с учетом схем газосборных сетей, протяженности газовых шлейфов/коллекторов и месторасположения и конструкций скважин и/или кустов скважин.

6.1.15 В составе проекта газопровода для районов со сложным рельефом и болотистой местности следует предусматривать возможность подъезда к УКЗ, УДЗ.

6.1.16 При проектировании электрохимической защиты трубопроводов различного назначения (магистральные газопроводы, распределительные газопроводы, продуктопроводы) следует предусматривать отдельную электрохимическую защиту для каждого трубопровода с учетом установки между ними при необходимости изолирующих соединений.

6.1.17 Система ЭХЗ проектируемого сооружения не должна оказывать негативного влияния на соседние коммуникации.

6.1.18 При определении системы электрохимической защиты подземных коммуникаций возможна их совместная и отдельная защита. Отдельная электрохимическая защита реализуется от независимых источников поляризации (источников тока или протекторов), эффективность которой повышается при применении электроизолирующих вставок и является предпочтительной в следующих случаях:

- при расстояниях между газопроводами и другими подземными коммуникациями более 50 м;
- при большом различии параметров защитных покрытий смежных коммуникаций (отличие величин переходного сопротивления более чем в три раза);
- при необходимости защиты участка каждого газопровода многониточного коридора током силой более 10 А.

При необходимости разделения электрохимической защиты отдельных коммуникаций КС, ГРС, ГИС (локальная защита) или этих объектов и линейной части газопроводов, а также газопроводов различного назначения и различных собственников следует использовать электроизолирующие вставки.

6.1.19 Для обеспечения совместной электрохимической защиты следует проектировать электрические переключки между защищаемыми и смежными коммуникациями. Электрические переключки следует подключать через блок совместной защиты.

6.1.20 Все электрические переключки должны быть разъемными, с выводом соединительных кабелей на КИП.

6.1.21 Переключки на параллельных газопроводах, защищаемых одной УКЗ, следует проектировать, как правило, в точках дренажа УКЗ (УДЗ).

## **6.2 Установки катодной защиты**

6.2.1 В проекте катодной защиты следует предусматривать запас не менее 50 % выходного напряжения и тока УКЗ от расчетных значений (режимов) на начальный период работы УКЗ.

6.2.2 При проектировании катодной защиты подземных сооружений на участках высокой и повышенной коррозионной опасности следует предусматривать резервирование УКЗ.

6.2.3 УКЗ должны обеспечивать возможность защиты смежных участков подземных сооружений при отключении соседних УКЗ.

6.2.4 На участках высокой и повышенной коррозионной опасности следует предусматривать электроснабжение УКЗ по II категории надежности со 100 % резервированием электроснабжения, реализуемым либо от двух независимых источников, либо включением в состав УКЗ модуля резервного питания. При автоматическом переходе на резервное питание катодный преобразователь должен обеспечивать заданный режим работы. Категорийность УКЗ по электроснабжению при проектировании устанавливается в соответствии с требованиями СТО Газпром 2-6.2-149.

6.2.5 При проектировании на участках ВКО и ПКО, в точках дренажа УКЗ и УДЗ, а также на участках с минимальным расчетным значением защитного потенциала следует предусматривать конструкцию КИП, позволяющую проводить измерения поляризационного потенциала.

6.2.6 Подключение нескольких УКЗ с разными точками дренажа на одно анодное заземление не допускается.

6.2.7 В районах с арктическим климатом размещение преобразователей установок катодной защиты следует предусматривать в блок-боксах или иных помещениях, защищающих их от воздействия низких температур, обледенения, заносов снегом. Допускается устанавливать преобразователи на специальных фундаментах, анкерных опорах анодных линий, линий электроснабжения и т.п.

6.2.8 В проектах электрохимической защиты подземных сооружений следует предусматривать технические решения, обеспечивающие защищенность элементов электрохимической защиты от вандализма.

### **6.3 Анодные заземления**

6.3.1 В установках катодной защиты могут быть применены глубинные и подповерхностные анодные заземления. Подповерхностные заземления могут быть сосредоточенными, распределенными и протяженными.

6.3.2 Анодные заземления (включая линии постоянного тока и контактные узлы) независимо от условий их эксплуатации следует проектировать на срок эксплуатации не менее 30 лет.

6.3.3 Анодные заземления (заземлители) должны быть разрешены к применению на объектах ОАО «Газпром». При проектировании заземления следует учитывать удельное электрическое сопротивление грунта в месте размещения заземления, а также условия землеотвода. Электроды анодных заземлений следует монтировать в местах с минимальным удельным электрическим сопротивлением грунта и ниже глубины его промерзания.

6.3.4 Критериями выбора мест размещения анодных заземлений являются:

- первоочередное обеспечение нормативных параметров катодной защиты наиболее ответственных коммуникаций;
- участки с грунтами наименьшего удельного электрического сопротивления;
- ограничение негативного (вредного) влияния на сторонние подземные коммуникации с раздельной защитой (в том числе участки с локальной защитой).

6.3.5 Тип и количество анодных заземлителей определяются с учетом требований по величине сопротивления растеканию на начальный момент эксплуатации, приведенных в 7.3.

6.3.6 Анодные заземления не должны оказывать вредного влияния на окружающую среду. АЗ, расположенные в горизонтах питьевой воды, должны быть выполнены из малорастворимых материалов: углеродосодержащих, магнетита или высококремнистого чугуна.

6.3.7 При проектировании анодных заземлений должно быть обеспечено выполнение нормативных показателей Правил [4] в части требований к шаговому напряжению и напряжению прикосновения.

6.3.8 Для подземной прокладки кабелей в цепях анодных заземлений следует применять кабель с медными токоведущими жилами и с полиэтиленовой или полипропиленовой изоляцией и оболочкой. Сечение дренажного анодного кабеля, подключаемого к плюсовой клемме катодного преобразователя, должно быть не менее 16 мм<sup>2</sup> по меди.

6.3.9 Глубинные анодные заземления (ГАЗ) следует размещать на расстоянии не ближе 100 м от смежных коммуникаций при условии исключения негативного влияния.

6.3.10 В вечномерзлых грунтах ГАЗ следует проектировать преимущественно на участках с криопегами или ниже горизонта вечномерзлого грунта. В сложных геологических условиях (скальные, многолетнемерзлые грунты) возможно размещение анодных заземлений в одной траншее с трубопроводом.

6.3.11 Электроды распределенного анодного заземления и протяженное заземление УКЗ подземных коммуникаций следует размещать вдоль защищаемого сооружения, как правило, на расстоянии не ближе четырех его диаметров на линейной части. В стесненных условиях промышленной площадки допускается укладка в одну траншею на максимальном расстоянии от сооружения при обеспечении мероприятий по исключению непосредственного контакта между анодом и сооружением.

6.3.12 Коммутация кабелей протяженных анодных заземлений при последовательном подключении должна осуществляться на отдельных контрольно-измерительных пунктах для диагностики отдельных элементов заземления.

6.3.13 На промышленных площадках УКПГ, КС, ПХГ при наличии на одну УКЗ нескольких скважин ГАЗ, расположенных на расстоянии ближе 1/3 их глубины, проектируемые глубинные аноды должны быть оснащены устройствами для измерения и регулирования величины стекающего с них тока.

#### **6.4 Установки протекторной защиты**

6.4.1 Установки протекторной защиты используются для локальной электрохимической защиты подземных стальных сооружений, в качестве как самостоятельного, так и резервного средства ЭХЗ.

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

6.4.3 Срок службы УПЗ при временной защите сооружений определяется заданием на проектирование, по истечении которого протекторы отключаются от сооружения и находятся в резерве.

6.4.4 Подключение УПЗ к защищаемому трубопроводу или защитному кожуху на переходах следует осуществлять с использованием вентильных регулируемых перемычек. Коммутация выводов от протекторов и защищаемого сооружения выполняется на клеммной колодке КИП. Регулируемые перемычки в цепях «сооружение – протектор» следует применять в грунтах с удельным электрическим сопротивлением менее 50 Ом·м.

6.4.5 Размещение протекторов следует предусматривать в местах с минимальным сопротивлением грунта и ниже глубины его промерзания. Допускается использовать искусственное снижение удельного электрического сопротивления грунта в местах установки протекторов при исключении вредного воздействия на окружающую среду.

6.4.6 Одиночные протекторы располагают на расстоянии не ближе 3 м от подземного сооружения. Удаление групповых протекторов от сооружения определяют расчетом в соответствии с настоящим стандартом.

#### **6.5 Установки дренажной защиты**

6.5.1 Принятые технические решения при проектировании дренажной защиты по результатам изысканий и с учетом взаиморасположения источника блуждающих токов и защищаемого сооружения уточняются на этапе проведения пусконаладочных работ.

6.5.2 УДЗ следует проектировать, как правило, в анодных и знакопеременных зонах на подземном сооружении.

6.5.3 Установки дренажной защиты следует проектировать в местах пересечения с сооружением и/или сближения с источником блуждающих токов. При удалении сооружения от источника блуждающих токов на расстояние более 1000 м, а также при невозможности подключения к ним УДЗ следует применять УКЗ с автоматическим поддержанием защитного потенциала.

6.5.4 УДЗ следует проектировать с таким расчетом, чтобы среднечасовой ток всех УДЗ, подключенных электрически к одной тяговой подстанции, не превышал 20 % общей нагрузки подстанции.

6.5.5 Технические условия и схему подключения дренажного кабеля УДЗ к источнику блуждающих токов необходимо согласовать со службой эксплуатации источника блуждающего тока.

## 6.6 Контрольно-измерительные пункты

6.6.1 Предусматриваемые проектом контрольно-измерительные пункты (КИП) должны соответствовать техническим требованиям ОАО «Газпром». Конструкция КИП должна соответствовать его назначению, клеммная колодка — количеству кабелей, предназначенных для коммутации на КИП. Схемы и узлы коммутации средств ЭХЗ, защищаемых объектов, элементов контроля и диагностики должны соответствовать Унифицированным проектным решениям [2], [3].

6.6.2 КИП рекомендуется устанавливать на расстоянии не более 1 м от оси газопровода. В случае расположения сооружения на участке, где эксплуатация КИП затруднена (пашня, болото и др.), последние могут быть установлены в ближайших удобных для эксплуатации местах, но не далее 50 м от точки подключения контрольного провода к сооружению.

6.6.3 Контрольные, токоизмерительные и дренажные выводы в КИП должны быть выполнены медными двужильными кабелями в двойной полимерной изоляции, с приваркой каждой жилы отдельно к сооружению, сечение кабелей должно соответствовать значениям, указанным в таблице 6.1.

Т а б л и ц а 6.1 — Сечение кабельных линий, используемых в системе электрохимической защиты сооружений

Назначение кабельной линии	Количество жил и сечение, шт. × мм <sup>2</sup> (не менее)
Катодная дренажная линия от клеммы «минус» УКЗ до дренажного КИП	1 × 35 или 2 × 25
Катодная дренажная линия «КИП — сооружение»	2 × 25
Анодные дренажные линии «УКЗ — КИП — анод»	1 × 16
Кабельная линия «сооружение — КИП — УДЗ — рельс (дроссель-трансформатор)»	2 × (мм <sup>2</sup> )*
Дренажные линии «протектор — КИП — сооружение»	2 × 6
Выводы от трубопровода для измерения тока	
Выводы от трубопровода для измерения потенциала	
Кабельная линия «КИП — блок телеметрии УКЗ»	(шт.)* × 2,5
Проводник от электрода сравнения	1 × 0,75
Проводник от датчика потенциала	



## Окончание таблицы 6.1

Назначение кабельной линии	Количество жил и сечение, шт. × мм <sup>2</sup> (не менее)
Проводники от индикаторов коррозии и средств мониторинга	(шт.) ** × 0,75
*Определяется расчетом (раздел 7.5). **Определяется конструкцией изделия.	

6.6.4 Все контрольно-измерительные пункты должны иметь клеммную колодку для подключения кабельных наконечников, количество и сечение кабелей определяется при проектировании в зависимости от назначения КИП. Коммутацию кабелей необходимо производить в соответствии с проектом, на кабели должна быть нанесена неунитожимая маркировка.

6.6.5 Линейный КИП трубопровода рекомендуется совмещать с километровым знаком.

6.6.6 КИП в местах подключения протекторов, анодных заземлений и электрических переключателей должны иметь не менее двух клемм, к которым подключают объекты измерения и шунт необходимого номинала для измерения силы тока.

6.6.7 КИП для измерения тока в трубопроводе должны быть установлены в точках дренажа УКЗ на каждом плече защитной зоны и на участках подводных переходов на обоих берегах на границе водоохранной зоны шириной более 500 м.

Подключение токоизмерительного КИП должно соответствовать рекомендациям Унифицированных проектных решений [2]. Для измерения тока должны быть предусмотрены четыре вывода от трубопровода, расстояние по трубе между измерительными (внутренними) выводами должно составлять 100 м. Допускается проектировать отдельные КИП для каждой пары выводов от трубопровода.

6.6.8 На линейной части трубопроводов, шлейфах скважин и промысловых коллекторах КИП следует устанавливать:

- на каждом километре в обычных условиях и не реже чем через 500 м в зонах повышенной коррозионной опасности;
- у крановых площадок, на расстоянии не ближе 30 м;
- у водных и транспортных переходов (с обеих сторон);
- у пересечения сооружения с другими коммуникациями и кабелями связи, не далее 10 м от пересечения;
- в местах максимального сближения газопровода с анодным заземлением;

- в пунктах подключения дренажного кабеля к трубопроводу (возможно совмещение с линейным КИП при соблюдении расстояния между точкой дренажа и контрольным выводом не менее 3 диаметров трубопровода);

- на границах зон защиты смежных УКЗ.

6.6.9 Для контроля работы средств ЭХЗ КИП устанавливают:

- в точках дренажа УКЗ (УДЗ), УПЗ;
- в местах установки электроизолирующих вставок.

6.6.10 При многониточной системе газопроводов КИП следует устанавливать на каждом газопроводе по одной линии, перпендикулярной оси газопровода.

6.6.11 На подземных сооружениях промышленных площадок (КС, ПХГ, ГРС, ГИС и др.) КИП допускается не устанавливать при обеспечении контакта электрода сравнения с грунтом над контролируемым сооружением и контакта с самим сооружением, за исключением точек дренажа и пунктов мониторинга коррозионного состояния.

При применении сплошного «твердого покрытия» (бетонные плиты, асфальтирование и т.п.) над подземными технологическими трубопроводами на поверхности земли в этом покрытии должны быть предусмотрены следующие места, укрытые ковром, для возможности установки переносного МСЭ в грунт над трубопроводом:

- на коммуникациях с интервалом не более 50 м;
- в начале, середине, конце входных и выходных коллекторов ПУ, АВО и КЦ;
- в местах изменения направления коммуникации при ее длине более 50 м;
- в местах сближения коммуникаций с сосредоточенными анодными заземлениями;
- не менее чем в четырех диаметрально противоположных точках по периметру внешней поверхности подземного резервуара. Для резервуаров, имеющих малые габариты (менее 5 м в диаметре), допускается одна точка контроля параметров электрохимической защиты.

6.6.12 Для контроля за состоянием электрохимической защиты промысловых объектов КИП следует устанавливать:

- на расстоянии 50 м от устья скважин;
- на участке трубопровода с ВЭИ, контрольные выводы подключаются в соответствии с Унифицированными проектными решениями [2].

6.6.13 Конструкция КИП для подключения анодных заземлений и протекторов должна обеспечивать возможность контроля параметров каждого элемента (скважины или протектора).

## **6.7 Электроснабжение установок катодной защиты**

6.7.1 Электроснабжение УКЗ и УДЗ подземных сооружений должно осуществляться, как правило, от ЛЭП напряжением 0,23; 0,40; 6; 10 кВ. Источники электроснабжения и категорийность электроснабжения средств ЭХЗ должны соответствовать требованиям СТО Газпром 2-6.2-149 по основным производственным объектам ОАО «Газпром» с учетом условий их эксплуатации.

6.7.2 При проектировании электроснабжения УКЗ по II категории надежности необходимо предусматривать в комплексе их основное и резервное электропитание.

6.7.3 Для электроснабжения УКЗ при отсутствии внешних источников тока рекомендуется проектировать электроснабжение от автономных источников: электроагрегатов с газовым, дизельным или бензиновым двигателями, термоэлектрогенераторов, турбоальтернаторов, ветроэнергетических установок и других автономных источников тока, разрешенных к применению на объектах ОАО «Газпром».

## **7 Расчет параметров электрохимической защиты различных объектов ОАО «Газпром»**

### **7.1 Расчет электрических характеристик трубопроводов**

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

- переходное сопротивление  $R_{п}$ , Ом·м<sup>2</sup>;
- продольное сопротивление  $R_{л}$ , Ом·м<sup>2</sup>.

7.1.2 Исходные данные для определения электрических характеристик трубопроводов:

- диаметр трубы  $D_{т}$ , м;
- толщина стенки трубы  $\delta_{т}$ , м;
- марка стали трубы;
- сопротивление изоляции  $R_{из}$ , Ом·м<sup>2</sup>;
- среднее удельное электрическое сопротивление грунта  $\rho_{г}$ , Ом·м;
- глубина укладки трубопровода  $H_{т}$ , м.

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

7.1.2.2 Сопротивление защитного покрытия для вновь строящихся и реконструируемых трубопроводов определяют в зависимости от типа изоляции по таблице 7.1.

Т а б л и ц а 7.1 – Сопротивление изоляции строящихся и реконструируемых трубопроводов

Тип защитного покрытия	Начальное сопротивление изоляции уложенного в траншею и засыпанного трубопровода $R_{из0}$ , Ом·м <sup>2</sup>	Коэффициент* $\gamma$ , 1/год
Заводские двух-, трехслойные полиэтиленовые и полипропиленовые покрытия	$3 \cdot 10^5$	0,05
Полимерные покрытия на основе термоактивных смол и битумно-полимерные мастики	$1 \cdot 10^5$	0,08
*Коэффициент, характеризующий скорость изменения сопротивления изоляции во времени.		

7.1.2.3 Сопротивление изоляции эксплуатируемых трубопроводов определяют по результатам изысканий. Порядок определения переходного сопротивления защитного покрытия эксплуатируемых трубопроводов приведен в Руководстве [5].

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

7.1.3.1 Продольное сопротивление трубопровода  $R_t$ , Ом/м, вычисляют по формуле

$$R_t = \frac{\rho_t}{\pi \cdot (D_t - \delta_t) \cdot \delta_t}, \quad (7.1)$$

где  $\rho_t$  – удельное электрическое сопротивление материала трубы, Ом·м (определяют в зависимости от марки стали по таблице 7.2).

Т а б л и ц а 7.2 – 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, СТ3	$2,18 \cdot 10^{-7}$
18Г2САФ, 18ХГ2САФ	$2,63 \cdot 10^{-7}$
15ГСТЮ	$2,81 \cdot 10^{-7}$
Данные о марке стали отсутствуют	$2,45 \cdot 10^{-7}$

Продольное сопротивление стальных трубопроводов  $R_t$  в практике строительства трубопроводов в зависимости от удельного электрического сопротивления трубной стали определяют из приложения А.

7.1.3.2 При изменяющейся толщине стенки трубы вдоль трубопровода расчет продольного сопротивления производят по средней ее величине  $\delta_{\text{т.ср.}}$ , м, по формуле

$$\delta_{\text{т.ср.}} = \frac{\sum \delta_{\text{ти}} \cdot l_i}{\sum l_i}, \quad (7.2)$$

где  $\delta_{\text{ти}}$  — толщина стенки трубы  $i$ -того участка трубопровода, м;

$l_i$  — длина участка трубопровода с толщиной стенки  $\delta_{\text{ти}}$ , м.

7.1.3.3 Переходное сопротивление трубопровода  $R_{\text{п}}$ , Ом·м<sup>2</sup>, вычисляют по формуле

$$R_{\text{п}} = R_{\text{из}} + R_{\text{р}}, \quad (7.3)$$

где  $R_{\text{р}}$  — сопротивление растеканию трубопровода, Ом·м<sup>2</sup>.

7.1.3.4 Сопротивление растеканию тока трубопровода  $R_{\text{р}}$ , Ом·м<sup>2</sup>, вычисляют по формуле

$$R_{\text{р}} = \frac{\rho_{\text{г}} \cdot D_{\text{г}}}{2} \cdot \ln \frac{0,4 \cdot R_{\text{п}}}{D_{\text{т}}^2 \cdot H_{\text{т}} \cdot R_{\text{т}}}. \quad (7.4)$$

7.1.3.5 Сопротивление растеканию тока трубопровода на единицу длины  $R'_{\text{р}}$ , Ом·м, вычисляют по формуле

$$R'_{\text{р}} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{0,4 \cdot \pi \cdot R'_{\text{п}}}{D_{\text{т}} \cdot H_{\text{т}} \cdot R_{\text{т}}}. \quad (7.5)$$

Среднее удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м, вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{г}} = \frac{(\sum l_i)^2}{(\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\sqrt{\rho_{\text{г}i}}})^2}, \quad (7.6)$$

где  $l_i$  — длина  $i$ -го участка с удельным электрическим сопротивлением грунта  $\rho_{\text{г}i}$ , м;

$n$  — количество участков с удельным электрическим сопротивлением грунта  $\rho_{\text{г}i}$ .

7.1.3.6 Прогнозирование изменения во времени переходного сопротивления трубопровода на единицу длины  $R'_{\text{п}}(t)$ , Ом·м, осуществляют по формуле

$$R'_{\text{п}}(t) = R'_{\text{п}} + R'_{\text{из0}} \cdot e^{-\gamma \cdot t}, \quad (7.7)$$

где  $t$  — срок эксплуатации трубопровода, год;

$R'_{\text{из0}}$  — начальное значение сопротивления изоляции трубопровода, Ом·м, вычисляемое по формуле

$$R'_{\text{из0}} = \frac{R_{\text{из0}}}{\pi \cdot D_{\text{т}}}, \quad (7.8)$$

где  $\gamma$  — коэффициент, характеризующий скорость изменения сопротивления изоляции во времени согласно таблице 7.1.

На рисунке 7.1 приведена зависимость изменения сопротивления изоляционного покрытия от времени эксплуатации трубопровода, на основании которой можно прогнозировать необходимую величину защитного тока для участка трубопровода.

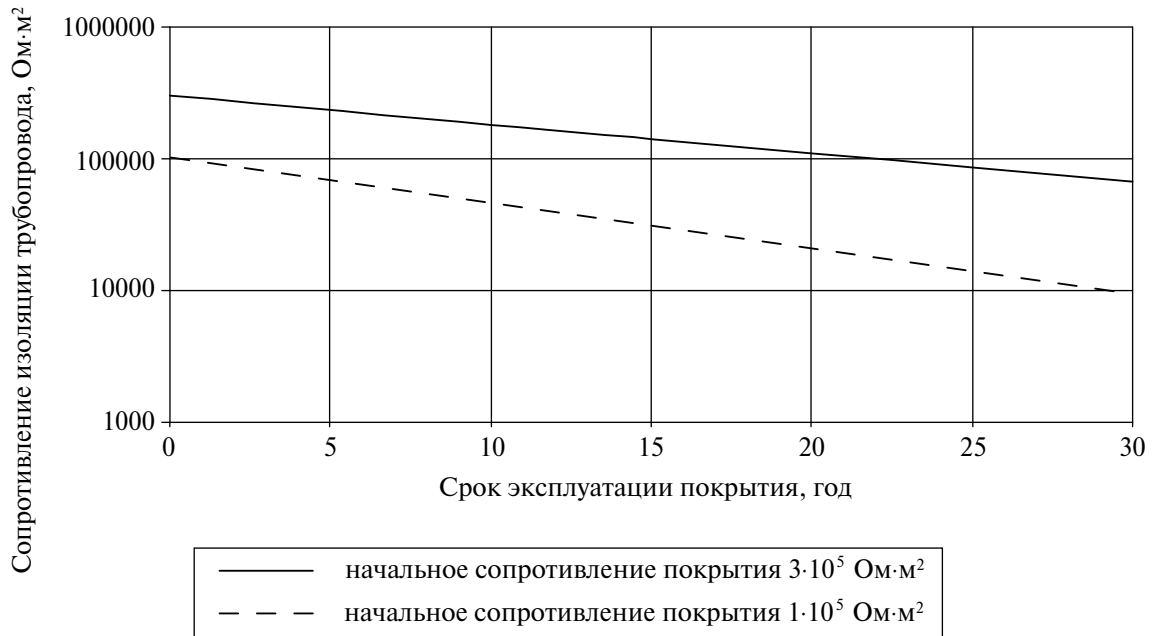


Рисунок 7.1 — Прогнозное изменение сопротивления изоляционного покрытия различных типов во времени эксплуатации трубопровода

7.1.4 Постоянную распространения тока вдоль трубопровода  $\alpha$ , 1/м, вычисляют по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{R_{\tau}}{R_{\Pi}}}. \quad (7.9)$$

Постоянную распространения тока вдоль трубопровода как функцию времени  $\alpha(t)$ , 1/м, вычисляют по формуле

$$\alpha(t) = \sqrt{\frac{R_{\tau}}{R'_{\Pi}(t)}}. \quad (7.10)$$

7.1.5 Характеристическое сопротивление трубопровода  $Z$ , Ом, вычисляют по формуле

$$Z = \sqrt{R_{\tau} R'_{\Pi}}. \quad (7.11)$$

7.1.5.1 Если точка дренажа УКЗ разделяет трубопровод на плечи с различными электрическими параметрами, то характеристические сопротивления правого –  $Z_{\text{п}}$ , Ом, и левого –  $Z_{\text{л}}$ , Ом, плеча трубопровода вычисляют по формулам:

$$Z_{\text{п}} = \sqrt{R_{\text{тп}} \cdot R'_{\text{пп}}}; \quad (7.12)$$

$$Z_{\text{л}} = \sqrt{R_{\text{тл}} \cdot R'_{\text{пл}}}, \quad (7.13)$$

где  $R_{\text{тп}}$  и  $R_{\text{тл}}$  – продольное сопротивление соответственно правого и левого плеч трубопровода, Ом/м;

$R'_{\text{пп}}$  и  $R'_{\text{пл}}$  – переходное сопротивление соответственно правого и левого плеч трубопровода, Ом·м.

Входное сопротивление трубопровода  $Z_{\text{вт}}$ , Ом, вычисляют по формуле

$$Z_{\text{вт}} = \frac{Z_{\text{п}} \cdot Z_{\text{л}}}{Z_{\text{п}} + Z_{\text{л}}}. \quad (7.14)$$

Если характеристические сопротивления правого и левого плеч трубопровода одинаковы, то входное сопротивление  $Z_{\text{вт}}$ , Ом, вычисляют по формуле

$$Z_{\text{вт}} = \frac{1}{2} \sqrt{R_{\text{т}} \cdot R'_{\text{п}}}. \quad (7.15)$$

7.1.5.2 Входное сопротивление трубопровода как функцию времени эксплуатации  $Z_{\text{вт}}(t)$ , Ом, вычисляют по формуле

$$Z_{\text{вт}}(t) = \frac{1}{2} \sqrt{R_{\text{т}} \cdot R'_{\text{п}}(t)}. \quad (7.16)$$

## 7.2 Расчет параметров установок катодной защиты

7.2.1 На основании рассчитанных электрических параметров трубопровода определяют количество УКЗ, их электрические параметры, количество и тип анодных заземлителей, удаление анодных заземлений от защищаемых объектов.

7.2.2 Основными параметрами УКЗ являются сила тока и длина защитной зоны, создаваемая этой установкой. При расчете необходимо учитывать изменение переходного сопротивления во времени. Расчет выполняют на начальный и конечный срок службы УКЗ.

7.2.3 Расчет параметров УКЗ сводится к определению их количества и мощности. Количество УКЗ определяется длиной защитной зоны, мощность УКЗ зависит, в основном, от требуемого защитного тока и сопротивления анодного заземления.

7.2.4 Количество установок катодной защиты  $N$ , шт., необходимое для защиты трубопровода длиной  $L$ , м, вычисляют по формуле

$$N = \frac{L}{L_3}, \quad (7.17)$$

где  $L_3$  — длина защитной зоны одной УКЗ, м.

7.2.5 Длину защитной зоны  $L_3$ , м, вычисляют по формуле

$$L_3 = \frac{2}{\alpha(t)} \ln \frac{U_{\text{тзо}}}{k \cdot U_{\text{тзм}}}, \quad (7.18)$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий взаимовлияние соседних УКЗ (для одиночной УКЗ  $k = 1$ ; для УКЗ, работающей рядом с соседними,  $k = 2$ );

$U_{\text{тзо}}$  — смещение разности потенциалов (труба — земля) в точке дренажа, В, вычисляют по формуле

$$U_{\text{тзо}} = |U_o| - |U_e|, \quad (7.19)$$

где  $U_{\text{тзм}}$  — минимальное смещение разности потенциалов (труба — земля), В, вычисляют по формуле

$$U_{\text{тзм}} = |U_m| - |U_e|, \quad (7.20)$$

где  $U_m$  — минимальный защитный потенциал, В;

$U_e$  — естественный потенциал (труба—земля), В (если значение  $U_e$  неизвестно, его принимают равным минус 0,55 В);

$U_o$  — максимальный защитный потенциал, В.

7.2.6 Силу тока  $I$ , А, катодной установки вычисляют на начальный и конечный период эксплуатации по формуле

$$I = \frac{2 \cdot U_{\text{тзо}}}{Z_{\text{вт}}(t)}. \quad (7.21)$$

7.2.7 Напряжение на выходе катодной установки  $U$ , В, вычисляют по формуле

$$U = I[Z_{\text{вт}}(t) + R_{\text{л}} + R_3], \quad (7.22)$$

где  $R_{\text{л}}$  — сопротивление дренажной линии, соединяющей установку катодной защиты с трубопроводом и анодным заземлением, Ом;

$R_3$  — переходное сопротивление анодного заземления, Ом (определяют в соответствии с 7.3).

Сила тока  $I$  в формулах (7.21) и (7.22) должна быть вычислена на конечный период эксплуатации катодной установки.

7.2.8 Сопротивление дренажной линии  $R_{\text{л}}$ , Ом, вычисляют по формуле

$$R_{\text{л}} = 1,8 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{y + y_c}{S_{\text{пр}}}, \quad (7.23)$$



где  $\gamma$ ,  $\gamma_c$  — длина анодного провода и спусков провода с опор преобразователя катодной защиты к анодному заземлению и трубопроводу, м;

$S_{\text{пр}}$  — сечение медного провода дренажной линии, м<sup>2</sup>;

$1,8 \cdot 10^{-8}$  — удельное электрическое сопротивление медного провода, Ом·м.

7.2.9 Мощность катодной установки  $P$ , Вт, вычисляют по формуле

$$P = I \cdot U. \quad (7.24)$$

7.2.10 Выбор типа преобразователя катодной защиты выполняют в соответствии с результатами расчета силы тока, напряжения на выходе УКЗ и мощности. При выборе типа преобразователя необходимо увеличить в 1,5 раза требуемую максимальную силу тока при прокладке трубопровода в грунтах высокой коррозионной агрессивности.

### 7.3 Расчет параметров анодного заземления

7.3.1 Выбор типа анодного заземления осуществляют с учетом следующих факторов:

- силы тока катодной установки;
- свойств грунта в месте размещения заземления (удельное сопротивление грунта, глубина промерзания);
- расположения защищаемого объекта и других подземных металлических сооружений по отношению к анодному заземлению.

7.3.2 Переходное сопротивление одного заземлителя  $R_{з1}$  зависит от удельного электрического сопротивления грунта, геометрических размеров электродов и их взаимного расположения. Переходное сопротивление одного электрода заземления принимают равным величине его сопротивления растеканию тока. Переходное сопротивление протяженного анодного заземления принимают равным его входному сопротивлению.

Начальное сопротивление растеканию тока анодного заземления  $R_{р1}$  в различных грунтах не должно превышать величин, указанных в таблице 7.3.

Т а б л и ц а 7.3 — Требования к начальной величине сопротивления растеканию тока для различных условий применения анодных заземлений

Грунт	Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Сопротивление растеканию тока анодного заземления, не более, Ом
Солончаки, соры	Менее 10	0,5
Болота, влажные глины, суглинки	От 10 до 50	1,0
Супесь	От 50 до 100	1,5
Пески	От 100 до 500	3,0
Скальный грунт, сухие пески	Более 500	10,0
Вечномерзлый грунт	Более 500	10,0

7.3.3 Конкретное место монтажа и тип анодного заземления определяют исходя из удельного сопротивления грунта, результатов вертикального электрозондирования, топографических особенностей местности, условий землеотвода и удобства подъезда. Для протяженных кабельных анодов (в том числе на основе эластомерных материалов) условия применения определяют в соответствии с рекомендациями организации-изготовителя.

7.3.4 Выбор типа АЗ производят исходя из удельного электрического сопротивления грунта и наличия свободной площади:

- в грунтах с удельным электрическим сопротивлением не более 50 Ом·м следует применять сосредоточенные и распределенные подповерхностные АЗ с использованием малорастворимых электродов. Эти заземления следует устанавливать на глубину до 10 м и ниже глубины сезонного промерзания. Размещение подповерхностных заземлений следует проектировать преимущественно на некультивируемых землях;

- при отсутствии свободной площади и наличии на глубине пластов с удельным сопротивлением в два раза меньшим, чем поверхностные грунты (по данным вертикального электрического зондирования), необходимо использовать глубинные анодные заземления (ГАЗ). Глубинные заземления устанавливают в специально пробуренные скважины;

- в скальных и многолетнемерзлых грунтах применяются глубинные анодные заземления. В целях снижения затрат на строительные-монтажные работы и дальнейшую эксплуатацию заземлений в этих грунтах следует применять протяженные АЗ, укладываемые в траншею вместе с трубопроводом на максимальном расстоянии от его поверхности.

7.3.5 Расстояние от подповерхностного АЗ до ближайшего защищаемого сооружения должно быть не менее 200 м. Для ГАЗ это расстояние должно быть не меньше 50 м.

7.3.6 Расчет параметров анодного заземления включает определение количества электродов и их срок службы.

7.3.7 Количество электродов  $N_z$ , шт., в подповерхностном заземлении вычисляют в зависимости от расположения электродов.

7.3.7.1 При вертикальном или горизонтальном расположении электродов — по формуле

$$N_z = \frac{R_{p1}}{0,7 \cdot R_p}, \quad (7.25)$$

где  $R_{p1}$  — сопротивление растеканию тока одного электрода, Ом;

$R_p$  — сопротивление растеканию тока заземления, состоящего из  $N$  электродов, Ом.

7.3.7.2 При комбинированном заземлении из вертикальных электродов, соединенных горизонтальным электродом, по формуле

$$N_3 = \frac{1,7 R_{\text{в1}} \cdot R_{\text{г}} - 1,4 R_{\text{п}} \cdot R_{\text{в1}}}{R_{\text{п}} \cdot R_{\text{г}}}, \quad (7.26)$$

где  $R_{\text{в1}}$  — сопротивление растеканию тока одного вертикального электрода, Ом;

$R_{\text{г}}$  — сопротивление растеканию тока одного горизонтального электрода, Ом.

7.3.7.3 Сопротивление растеканию тока одного подповерхностного заземлителя ( $R_{\text{в1}}$ , Ом) зависит от его расположения и наличия коксовой засыпки заземлителя. Расчет производится по следующим формулам:

- при вертикальном расположении электрода заземлителя:

$$R_{\text{п1}} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2 \cdot \pi \cdot l_3} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_3}{d_3} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot h + l_3}{4 \cdot h - l_3} \right), \quad (7.27)$$

где  $\rho_{\text{г}}$  — удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м;

$l_3$  — длина электрода заземлителя, м;

$d_3$  — диаметр электрода заземлителя, м;

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

- при горизонтальном расположении электрода заземлителя, когда  $l_3 < h$ , то есть для короткого электрода:

$$R_{\text{п1}} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2 \cdot \pi \cdot l_3} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_3}{d_3}; \quad (7.28)$$

- при горизонтальном расположении электрода анодного заземлителя, когда  $l_3 > 12h$  (протяженного электрода):

$$R_{\text{п1}} = \frac{\rho_{\text{г}}}{\pi \cdot l_3} \cdot \ln \frac{l_3}{\sqrt{d_3 \cdot h}}; \quad (7.29)$$

- при горизонтальном расположении электрода, когда  $l_3 > h$  и  $l_3 \gg d_3$  в коксовой засыпке:

$$R_{\text{п1}} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2 \cdot \pi \cdot l_3} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_a}{d_a} + \ln \frac{l_a + \sqrt{l_a^2 + 16 \cdot h^2}}{4 \cdot h} + \frac{\rho_a}{\rho_{\text{г}}} \cdot \ln \frac{d_a}{d_3} \right); \quad (7.30)$$

- при горизонтальном расположении электрода, когда  $l_3 > 12h$  в коксовой засыпке:

$$R_{\text{п1}} = \frac{\rho_{\text{г}}}{\pi \cdot l_a} \cdot \left( \ln \frac{l_a}{\sqrt{d_a \cdot h}} + \frac{\rho_a}{2 \rho_{\text{г}}} \cdot \ln \frac{d_a}{d_3} \right). \quad (7.31)$$

7.3.8 Исходными данными для проектирования глубинного анодного заземления являются данные, указанные в 7.3.1, и данные о геоэлектрическом разрезе: мощность

и удельное электрическое сопротивление верхних пластов земли на глубине установки заземления.

Длину рабочей части глубинного заземления  $l_3$ , м, вычисляют по формуле

$$l_3 = \frac{3,5 \cdot \rho_i}{\pi \cdot R_3}, \quad (7.32)$$

где  $R_3$  — сопротивление растеканию глубинного анодного заземления (определяется в соответствии с таблицей 7.3), Ом;

$\rho_i$  — удельное электрическое сопротивление  $i$ -того слоя земли, в котором располагается анодное заземление, Ом·м.

7.3.9 Срок службы анодного заземления  $T_p$ , годы, проверяют следующим образом:

- для подповерхностного анодного заземления — по формуле

$$T_p = \frac{G_3 \cdot k_{и}}{q_3 \cdot I_{з.ср.}}, \quad (7.33)$$

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

$q_3$  — скорость растворения материала электродов анодного заземления, кг/А·год;

$k_{и}$  — коэффициент использования массы заземлителя (принимают равным 0,77);

$I_{з.ср.}$  — средняя сила тока, А, стекающего с заземления, за планируемый период эксплуатации заземления, вычисляемая по формуле

$$I_{з.ср.} = \frac{I_{н} + 3 \cdot I_{к}}{4}, \quad (7.34)$$

где  $I_{н}$  и  $I_{к}$  — сила тока, соответственно в начальный и конечный периоды планируемого срока работы анодного заземлителя, А;

- для глубинных и протяженных анодных заземлений — по формуле

$$T_p = \frac{G_{зк} \cdot k_{и}}{q_3 \cdot I_{з.ср.} \cdot k_{г}}, \quad (7.35)$$

где  $G_{зк}$  — масса рабочей части заземления в  $k$ -м слое грунта, кг;

$k_{г}$  — коэффициент неоднородности грунта, определяемый по формуле

$$k_{г} = \frac{l_{зк}}{\rho_k \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_{зи}}{\rho_i}}, \quad (7.36)$$

где  $l_{зк}$  — длина рабочей части заземления, находящейся в  $k$ -м слое грунта, м;

$\rho_k$  — удельное электрическое сопротивление  $k$ -го слоя грунта, имеющего минимальное удельное электрическое сопротивление из всех слоев, Ом·м;

$l_{зи}$  — длина рабочей части заземления, находящейся в  $i$ -м слое грунта, м;

$\rho_i$  — удельное электрическое сопротивление  $i$ -го слоя грунта, Ом·м;

$n$  — число слоев грунта, пересекаемых рабочей частью заземления;

- если срок службы по данным расчета окажется менее проектного, то необходимо увеличить либо количество электродов, либо их массу, либо рабочую длину заземления  $l_3$  (формула (7.32)) на величину  $l_3 \cdot k_T$ . Коэффициент  $k_T$  определяется по формуле

$$k_T = \frac{T - T_p}{T}, \quad (7.37)$$

где  $T$  — планируемый срок службы, год;

$T_p$  — расчетный срок службы, год;

- на заключительном этапе выполняется расчет сопротивления растеканию анодного заземления с откорректированным количеством электродов (или длиной) по формуле (7.27). Расчетная величина сопротивления растеканию тока анодного заземления используется для определения требуемой мощности УКЗ в соответствии с 7.2.

#### 7.4 Расчет параметров установок протекторной защиты

7.4.1 Для протекторной защиты подземных сооружений рекомендуется использовать протекторы на основе магниевых сплавов. Комплектные магниевые протекторы типа ПМ, применяемые для защиты подземных сооружений от коррозии, представляют собой магниевые аноды, упакованные вместе с активатором в хлопчатобумажные мешки.

Основные характеристики комплектных магниевых протекторов приведены в таблице 7.4.

Т а б л и ц а 7.4 — Технические характеристики комплектных магниевых протекторов типа ПМ

Тип протектора	Характеристики магниевых анодов в составе комплектного протектора		Значения коэффициентов А и В для расчета сопротивления растеканию тока комплектных магниевых протекторов	
	Масса, кг	Рабочая поверхность, м <sup>2</sup>	А, 1/м	В, Ом
ПМ10У	10	0,23	0,47	0,18
ПМ20У	20	0,35	0,41	0,15

7.4.2 Исходными данными для проектирования протекторной защиты являются:

- сопротивление изоляционного покрытия;
- диаметр трубопровода или кожуха;
- удельное электрическое сопротивление грунта на участке размещения протекторов;
- электрохимические характеристики протекторов.

При технико-экономическом обосновании допускается применение других протекторов, разрешенных к применению в ОАО «Газпром» (в том числе на основе цинковых сплавов).

7.4.3 Расчет протекторных установок заключается в определении:

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

7.4.3.1 Силу тока в цепи «протектор — труба»  $I_{\text{п}}$ , А, вычисляют по формуле

$$I_{\text{п}} = \frac{|U_{\text{п}}| - |U_{\text{е}}| - 1,15 \cdot U_{\text{тзм}} - 0,064 \cdot S_{\text{п}}}{R_{\text{пт}}}, \quad (7.38)$$

где  $U_{\text{п}}$  — стационарный потенциал протектора, В;

$U_{\text{е}}$  — естественная разность потенциалов (труба — земля), В;

$U_{\text{тзм}}$  — минимальная защитная наложенная разность потенциалов (труба — земля), В;

$S_{\text{п}}$  — рабочая поверхность протектора, м<sup>2</sup> (в соответствии с таблицей 7.4);

$R_{\text{пт}}$  — сопротивление цепи «протектор — труба», Ом.

Если значения  $U_{\text{п}}$  и  $U_{\text{е}}$  неизвестны, то разность потенциалов ( $U_{\text{п}} - U_{\text{е}}$ ) для протекторов на основе магния рекомендуется принимать равной 1 (одному) В.

7.4.3.2 Сопротивление цепи «протектор — труба»  $R_{\text{пт}}$ , Ом, вычисляют по формуле

$$R_{\text{пт}} = R_{\text{пр}} + R_{\text{рп}}, \quad (7.39)$$

где  $R_{\text{пр}}$  — сопротивление провода, соединяющего протектор с трубопроводом, Ом;

$R_{\text{рп}}$  — сопротивление растеканию одного протектора, Ом.

7.4.3.3 Сопротивление медного провода, соединяющего протектор с трубопроводом,  $R_{\text{пр}}$ , Ом, вычисляют по формуле

$$R_{\text{пр}} = 1,8 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{l_{\text{п}}}{S_{\text{п}}}, \quad (7.40)$$

где  $1,8 \cdot 10^{-8}$  — удельное электрическое сопротивление медного провода, Ом·м;

$l_{\text{п}}$  — длина соединительного провода, м;

$S_{\text{п}}$  — сечение провода, м<sup>2</sup>.

7.4.3.4 При расчете сопротивления растеканию магниевых протекторов  $R_{\text{рп}}$ , Ом, типа ПМ10У, ПМ20У можно пользоваться формулой

$$R_{\text{рп}} = A \cdot \rho_{\text{г}} + B, \quad (7.41)$$

где  $A$  и  $B$  — коэффициенты, зависящие от размеров протектора. В таблице 7.4 приведены усредненные значения коэффициентов  $A$  и  $B$  при установке протектора на глубину до 2,5 м.

7.4.4 Длину участка трубопровода, защищаемого одним протектором на конец планируемого периода защиты, м, вычисляют по формуле

$$l_{зп} = \frac{I_{п} \cdot R_{пн} \cdot e^{-\gamma \cdot T_{п}}}{1,15\pi \cdot U_{тзм} \cdot D_{т}}, \quad (7.42)$$

где  $R_{пн}$  — начальное значение переходного сопротивления трубопровода, Ом·м<sup>2</sup>;

$T_{п}$  — планируемый срок эксплуатации протектора, год.

7.4.5 Количество протекторов, необходимое для защиты участка трубопровода,  $N_{п}$ , шт., определяют по формуле

$$N_{п} = \frac{l_{з}}{l_{зп}}, \quad (7.43)$$

где  $l_{з}$  — длина участка трубопровода, которую необходимо защитить протекторами, м.

7.4.6. Срок службы протекторов  $T_{п}$ , годы, вычисляют по формуле

$$T_{п} = \frac{m_{п} \cdot q \cdot \eta_{п} \cdot \eta_{и}}{8760 \cdot I_{п.ср.}}, \quad (7.44)$$

где  $m_{п}$  — масса протектора, кг (таблица 7.4);

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

$\eta_{п}$  — коэффициент полезного действия протектора (для сплава МП1  $\eta_{п} = 0,65$ , для сплава МП2  $\eta_{п} = 0,60$ );

$\eta_{и}$  — коэффициент использования материала протектора ( $\eta_{и} = 0,90$ );

$I_{п.ср.}$  — средняя сила тока в цепи «протектор — труба» за планируемый период времени  $T_{п}$ , А.

7.4.7 Среднюю силу тока в цепи «протектор — труба»  $I_{с.ср.}$ , А, вычисляют по формуле

$$I_{с.ср.} = \frac{|U_{п}| - |U_{е}| - 0,064 \cdot S_{п}}{\gamma \cdot T \cdot R_{пт}} \cdot \ln \frac{R_{пн} + \pi \cdot R_{пт} \cdot D_{т} \cdot l_{зп} \cdot e^{\gamma T_{п}}}{R_{пн} + \pi \cdot R_{пт} \cdot D_{т} \cdot l_{зп}}. \quad (7.45)$$

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

7.4.8 При расчете групповых протекторных установок определяют следующие параметры:

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

7.4.8.1 Количество групповых протекторных установок, необходимое для защиты участка трубопровода  $N$ , шт., вычисляют по формуле

$$N = \frac{l_3}{\eta_э \cdot l_{3п}}, \quad (7.46)$$

где  $\eta_э$  – коэффициент экранирования протекторов в групповой протекторной установке, определяемый из рисунка 7.2 ( $l_a$  – длина протектора,  $a$  – расстояние между протекторами).

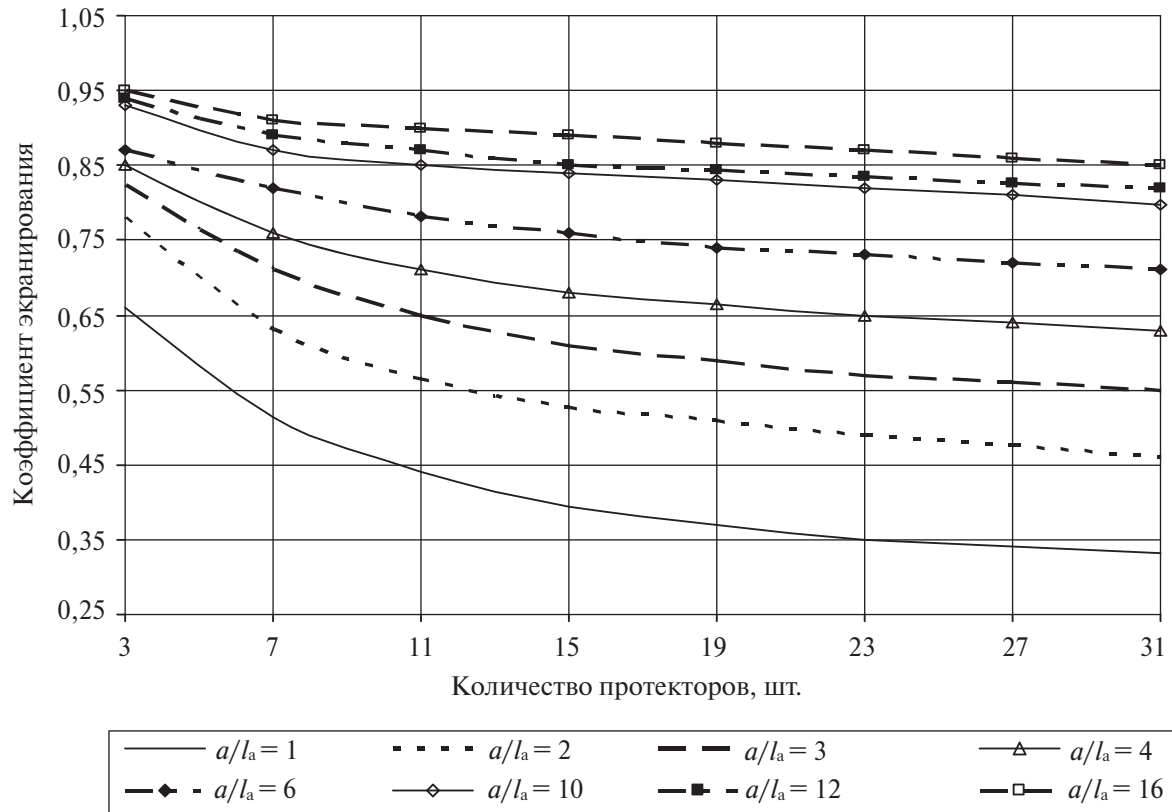


Рисунок 7.2 – Коэффициент экранирования протекторов в групповой протекторной установке в зависимости от отношения расстояния между ними и длины протекторов [ $a/l_a$ ] (глубина установки протекторов в грунт – 1,6 м)

7.4.8.2 Количество протекторов в группе для обеспечения защиты трубопровода  $N$ , шт., должно быть

$$N \geq F \cdot \frac{R_{рп}}{R_{пн}} \cdot e^{\gamma \cdot T_n}, \quad (7.47)$$

где  $F$  – поправочный коэффициент, вычисляемый по формуле

$$F = \frac{1,15 \cdot \pi \cdot U_{тзм} \cdot D_T \cdot l_3}{\eta_э \cdot (U_{п} - U_{е} - k \cdot U_{тзм} - 0,064 \cdot S_{п})}. \quad (7.48)$$



7.4.8.3 Расстояние между групповыми протекторами и трубопроводом  $y_{\text{пр}}$ , м, вычисляют по формуле

$$y_{\text{пр}} = \frac{0,5 \cdot I_{\text{пр}} \cdot \rho_3 \cdot D_{\text{т}} \cdot l_3}{\pi \cdot D_{\text{т}} \cdot l_3 \cdot U_{\text{тз0}} - i_{\text{пр}} \cdot R_{\text{пн}}}, \quad (7.49)$$

где  $I_{\text{пр}}$  — сила тока групповой протекторной установки в начальный период;

$R_{\text{пн}}$  — переходное сопротивление трубопровода в начальный период, Ом·м<sup>2</sup>;

$l_3$  — длина участка трубопровода, защищаемая групповой протекторной установкой, м.

7.4.8.4 Силу тока групповой протекторной установки  $I_{\text{пр}}$ , А, рассчитывают по формуле

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{п}} \cdot N_{\text{пр}} \cdot \eta_3. \quad (7.50)$$

## 7.5 Расчет параметров установок дренажной защиты

7.5.1 Защиту трубопроводов от коррозии блуждающими токами осуществляют УДЗ и/или УКЗ с автоматическими преобразователями.

7.5.2 УДЗ на участках негативного влияния электрифицированного железнодорожного транспорта следует подключать к рельсам, путевым дросселям или сборкам отсасывающих фидеров. Автоматические УДЗ следует подключать только к отсасывающим фидерам или к средним точкам путевых дросселей. Не допускается применять неавтоматические УДЗ с дренажами без регулировочных (балластных) сопротивлений.

7.5.3 УДЗ следует устанавливать преимущественно в местах пересечения и сближения, железных дорог с трубопроводами с подключением в зонах с наиболее отрицательными потенциалами рельс — земля.

7.5.4 Для расчета дренажной защиты необходимы следующие исходные данные:

- схема питания контактной сети электрифицированного транспорта;
- схема расположений, с указанием расстояния от проектируемого трубопровода, тяговых подстанций и отсасывающих пунктов электрифицированной железной дороги на участке ее сближения с проектируемым трубопроводом;
- максимальная сила тока нагрузки каждой тяговой подстанции и отсасывающих кабелей;
- фактическое или нормативное значение падения напряжения в отсасывающем фидере;
- количество параллельных ниток трубопровода.

7.5.5 Расчет параметров дренажной защиты сводится к определению силы тока дренажа, сечения дренажного кабеля и номинальной мощности дренажной установки.

7.5.5.1 Силу тока через электрический дренаж  $I_d$ , А, вычисляют по формуле исходя из условия, что ток утечки из рельсов электрифицированной железной дороги составляет не более 20 % от токов нагрузки тяговой подстанции:

$$I_d = 0,2 \cdot I_{\text{тп}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (7.51)$$

где  $I_{\text{тп}}$  — ток нагрузки тяговой подстанции, А;

$K_1$  — коэффициент, учитывающий расстояние между трубопроводом и электрифицированной железной дорогой (определяют в соответствии с таблицей 7.5);

$K_2$  — коэффициент, учитывающий расстояние от трубопровода до тяговой подстанции (определяют в соответствии с таблицей 7.5);

$K_3$  — коэффициент, учитывающий количество параллельно уложенных трубопроводов (определяют в соответствии с таблицей 7.6).

Т а б л и ц а 7.5 — Значение коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$

Расстояние, м	Величина коэффициента	
	$K_1$	$K_2$
До 500	0,9	0,90
От 500 до 1000	0,7	0,60

Т а б л и ц а 7.6 — Значение коэффициента  $K_3$

Количество параллельных трубопроводов	Величина коэффициента $K_3$
1	0,75
2	0,85
3	0,93
4	0,97
Более 4	1,00

7.5.5.2 Сечение дренажного кабеля следует определять из условия, что сумма падения напряжения в кабеле и наложенного потенциала трубы не должна превышать величину разности потенциалов между трубопроводом и рельсом.

7.5.5.3 Сечение дренажного кабеля  $S_d$ , мм<sup>2</sup>, вычисляют по формуле

$$S_d = \frac{I_{\text{др}} \cdot \rho_m \cdot l_k}{\Delta U_d}, \quad (7.52)$$

где  $\rho_m$  — удельное электрическое сопротивление материала кабеля, Ом·м;

$l_k$  — длина дренажного кабеля, м;

$\Delta U_d$  — допустимое падение напряжения в дренажной цепи, В.

7.5.5.4 Падение напряжения в дренажной цепи  $\Delta U_d$ , В, при подключении дренажного кабеля к фидеру вычисляют по формуле

$$\Delta U_d = \Delta U_k + \Delta U_{\phi}, \quad (7.53)$$

где  $\Delta U_k$  — допустимые значения падения напряжения в дренажном кабеле, определяемые в соответствии с таблицей 7.7;

$\Delta U_{\phi}$  — падение напряжения в отсасывающем фидере, В, определяемое по данным службы эксплуатации железной дороги (для обычных условий эксплуатации составляет 6 В).

Т а б л и ц а 7.7 — Допустимые значения падения напряжения в дренажном кабеле, В

Длина кабеля, м	200	500	1000	2000
Между отсасывающим пунктом железной дороги и трубопроводом при подключении к минусовой шине тяговой подстанции	10	11	12	13
Между трубопроводом и электрифицированной железной дорогой при подключении к средней точке путевого дросселя	—	3	5	6

## 8 Требования к системам электрохимической защиты различных объектов ОАО «Газпром»

### 8.1 ЭХЗ многониточных трубопроводов

8.1.1 При проектировании электрохимической защиты магистральных трубопроводов должно быть исключено негативное влияние на соседние подземные металлические сооружения. Не допускается уменьшение по абсолютной величине минимального или увеличение по абсолютной величине максимального защитного потенциала на соседних металлических сооружениях, имеющих катодную поляризацию, а также смещение естественного потенциала более чем на 40 мВ на соседних сооружениях, ранее не требовавших ЭХЗ.

8.1.2 Полное устранение негативного влияния системы ЭХЗ защищенного сооружения на смежные (параллельные) сооружения, не имеющие электрохимической защиты, должно 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  $3y$  ( $y$  — расстояние между анодным заземлением и защищаемым трубопроводом);
- установкой электрической перемычки в точке дренажа между защищаемым трубопроводом и смежным сооружением с применением диодно-резисторного блока;

- установкой протекторов или группы протекторов на смежном подземном сооружении.

8.1.3 Степень негативного влияния при раздельной электрохимической защите смежных сооружений устанавливается при пусконаладочных работах запроектированных средств электрохимической защиты.

8.1.4 ЭХЗ новых трубопроводов, прокладываемых в одном коридоре со старыми, нереконструированными трубопроводами, следует осуществлять раздельно от старых трубопроводов. При этом в проекте требуется учесть монтаж электроизолирующих вставок на технологических перемычках для электрического отделения нового трубопровода от старых сооружений. Расчет УКЗ при раздельной защите выполняют согласно 7.2 и 7.3.

8.1.5 Расчет параметров УКЗ при совместной защите выполняют так же, как и для одиночных трубопроводов.

8.1.6 Силу тока УКЗ при совместной защите  $I$ , А, вычисляют по формуле

$$I = \sum_{i=1}^{I=n} I_i, \quad (8.1)$$

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

$n$  – количество совместно защищаемых трубопроводов.

8.1.7 Размещение УКЗ на параллельных трубопроводах проектируют с интервалом, равным или меньшим длине защитной зоны на 30-й год эксплуатации с учетом возможной совместной катодной защиты.

8.1.8 В точках дренажа всех параллельных трубопроводов проектируют электрические перемычки для резервирования катодной защиты на случай отказа в работе одной из защитных установок.

8.1.9 Все электрические перемычки совместно защищаемых сооружений должны быть разъемными. Коммутация перемычек осуществляется на КИП с целью обеспечения контроля параметров ЭХЗ, в том числе тока защиты, и облегчения регламентных работ.

8.1.10 Сопротивление перемычки для двух трубопроводов  $R_{\text{пм}}$ , Ом, определяют по формуле

$$R_{\text{пм}} = \frac{Z_2}{\text{sh}(\alpha_2 \cdot l)} \cdot (\text{ch}(\alpha_1 \cdot l) - \text{ch}(\alpha_2 \cdot l)), \quad (8.2)$$

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

$Z_2$  — характеристическое сопротивление трубопровода, имеющего наихудшее изоляционное покрытие, 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  $S_{\text{пм}}$ , м<sup>2</sup>, вычисляют по формуле

$$S_{\text{пм}} = \frac{\rho_{\text{м}} \cdot l_{\text{пм}}}{R_{\text{пм}}}, \quad (8.3)$$

где  $\rho_{\text{пм}}$  — удельное электрическое сопротивление материала перемычки, Ом·м;

$l_{\text{пм}}$  — длина перемычки, м;

$R_{\text{пм}}$  — сопротивление перемычки, Ом.

8.1.11 Включение нескольких преобразователей катодной защиты с разными точками дренажа на одно анодное заземление не допускается.

8.1.12 Рекомендуемые схемы совместной катодной защиты параллельных трубопроводов

8.1.12.1 Одна катодная установка на несколько параллельных трубопроводов при общей силе тока защиты не более 30 А на 30-й год эксплуатации. Анодное заземление может быть расположено по любую сторону от трубопроводов.

8.1.12.2 Две катодных установки при числе параллельных трубопроводов больше трех, при общей силе тока защиты на 30-й год эксплуатации не более 40 А. Анодные заземления катодных установок могут быть расположены как по одну сторону от трубопроводов, так и по разные стороны.

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

8.1.12.4 При расстоянии между параллельными трубопроводами более 50 м независимо от силы защитного тока проектируют УКЗ на каждом трубопроводе.

8.1.13 В местах сближения (до 30 м) или пересечения трубопроводов следует устанавливать КИП, на клеммную панель которых выводят проводники от этих трубопроводов с соответствующей маркировкой. По результатам наладки средств электрохимической защиты могут устанавливаться дополнительные перемычки.

8.1.14 При проектировании совместной дренажной защиты нескольких параллельных трубопроводов силу дренажного тока определяют в соответствии с 7.5.

## 8.2 Временная ЭХЗ трубопроводов

8.2.1 Для защиты трубопроводов на период строительства и до ввода в эксплуатацию средств электрохимической защиты, предусмотренных проектными решениями, применяют в основном временную протекторную защиту.

В случае строительства трубопровода параллельно построенному трубопроводу, оснащенному системой катодной защиты, временную защиту можно осуществлять подключением средств электрохимической защиты от эксплуатируемого трубопровода.

Временная защита подземных коммуникаций КС и промышленных площадок может осуществляться УКЗ с использованием протяженных анодных заземлений, уложенных в одну траншею с трубопроводом (при наличии соответствующих проектных решений). Подключение УКЗ к источнику электроснабжения производят временными кабельными линиями.

8.2.2 Размещение протекторных групп для временной защиты осуществляется в грунтах с удельным электрическим сопротивлением до 500 Ом·м.

8.2.3 Для сооружений, располагающихся в грунтах с удельным электрическим сопротивлением выше 150 Ом·м и низкой коррозионной агрессивностью, временную защиту следует проектировать с учетом минимального смещения поляризационного потенциала относительно естественного потенциала сооружения не менее чем на 100 мВ.

8.2.4 Протекторы временной защиты следует подключать к сооружению через линейный КИП, предусмотренный проектом. Протекторы следует устанавливать на участках с минимальным удельным электрическим сопротивлением грунта.

8.2.5 Допускается в качестве средства временной защиты участка трубопровода использовать протекторы, предусмотренные проектом для защиты кожуха на переходах через авто- и железные дороги.

8.2.6 При расчете временной защиты от коррозии трубопровода с помощью протекторов определяют их необходимое количество. Расчет выполняют в соответствии с 7.4.

8.2.7 Если по расчетам длина защитной зоны протектора больше участка трубопровода между крановыми узлами, следует проектировать по одному протектору на один крановый узел. Дополнительные протекторы устанавливаются по результатам наладки временной защиты.

8.2.8 В анодных и знакопеременных зонах блуждающих токов количество протекторов следует удваивать относительно расчетного количества.

Расстояние между протекторами в групповой протекторной установке должно быть не менее 5 м.

### **8.3 ЭХЗ подземных коммуникаций промышленных площадок компрессорных станций, газораспределительных станций и подземных хранилищ газа**

8.3.1 Технологические коммуникации КС, ГРС и ПХГ должны, как правило, иметь раздельную от линейной части электрохимическую защиту трубопроводов. В проекте следует предусматривать электрическое секционирование с помощью ВЭИ: шлейфов, трубопроводов пускового, топливного и импульсного газа и других трубопроводов, металлическую броню кабелей и других электропроводящих сооружений и устройств между линейной частью и КС, ГРС и ПХГ.

8.3.2 Анодные заземления следует размещать в соответствии с требованиями 6.3.

ЭХЗ подземных коммуникаций промышленных площадок осуществляется с помощью УКЗ и комбинированных анодных заземлений (глубинных и подповерхностных). Для оптимизации эксплуатационных затрат целесообразно осуществлять проектирование средств ЭХЗ для отдельных групп технологически соединенных коммуникаций с помощью УКЗ малой мощности и подповерхностных анодных заземлений.

8.3.3 Если на линейной части трубопровода предусматривается установка электрических дренажей на расстоянии до 5000 м от промышленных площадок, проектируемые средства электрохимической защиты должны обеспечивать режим с автоматическим поддержанием защитного потенциала.

8.3.4 Исходными данными для проектирования электрохимической защиты являются следующие данные:

- план промышленной площадки с указанием размещения оборудования, трубопроводов и инженерных сетей;
- перечень всех подземных трубопроводов с указанием их длины и диаметра;
- удельное электрическое сопротивление грунтов, измеренное на площадке по квадратной сетке с размерами сторон 10 м;
- результаты вертикального электрического зондирования по периметру промышленной площадки на глубину до 100 м (по три вертикальных электрических зондирования на каждой стороне площадки);
- содержание водорастворимых солей в грунте на глубине укладки технологических газопроводов в трех-четыре точки площадки;
- максимальная температура перекачиваемого продукта;
- оценка влияния блуждающих токов от источников постоянного и переменного тока.

За максимальную температуру перекачиваемого продукта принимают проектную максимальную среднесуточную температуру газа в технологических газопроводах. За величину

удельного электрического сопротивления грунта принимают ее минимальное значение, полученное на площадке при изысканиях.

8.3.5 Задачей проектирования является обеспечение эффективной электрохимической защиты подземных коммуникаций КС, ГРС и ПХГ с определением количества средств электрохимической защиты, их мощности и размещения.

8.3.6 Общую силу защитного тока  $I_{\text{пл}}$ , А, вычисляют по формуле

$$I_{\text{пл}} = j_{\text{з.пл}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{\text{пл}}} S_i, \quad (8.4)$$

где  $j_{\text{з.пл}}$  — защитная плотность тока коммуникаций площадки, А/м<sup>2</sup>;

$S_i$  — площадь поверхности  $i$ -го трубопровода, м<sup>2</sup>;

$N_{\text{пл}}$  — общее количество подземных трубопроводов на площадке.

8.3.7 Защитную плотность тока подземных коммуникаций площадки определяют из таблицы 8.1.

Т а б л и ц а 8.1 — Защитная плотность тока трубопроводов и коммуникаций площадок КС

Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м	Наличие блуждающих токов	Максимальная температура перекачиваемого продукта, °С	Защитная плотность тока, мА/м <sup>2</sup>
Менее 10	Имеются	> 20	35
	Не имеются	< 20	25
От 10 до 40	Имеются	> 20	25
	Не имеются	< 20	17
Более 40	Имеются	> 20	17
	Не имеются	< 20	12

8.3.8 Оценку влияния блуждающих токов производят в соответствии с требованиями действующей НД.

8.3.9 Количество установок катодной защиты КС, ГРС и ПХГ  $N_{\text{укз}}$ , шт., вычисляют по формуле

$$N_{\text{укз}} = \frac{I_{\text{пл}}}{0,7 \cdot I_{\text{н}}}, \quad (8.5)$$

где  $I_{\text{пл}}$  — общий защитный ток подземных коммуникаций площадки, А;

$I_{\text{н}}$  — номинальный выходной ток катодного преобразователя, определяемый по технической документации, А.

8.3.10 Проектные решения по типу и конструкции анодных заземлений должны соответствовать требованиям 6.3 и 7.3.



8.3.11 Оптимальные режимы работ УКЗ промышленной площадки определяют при проведении пусконаладочных работ.

8.3.12 На территории промышленных площадок КИП необходимо устанавливать в соответствии с требованиями 6.6.

#### 8.4 ЭХЗ трубопроводов на участках пересечения с железными и автомобильными дорогами и водными преградами

8.4.1 При расчете электрохимической защиты трубопроводов на участках пересечения с железными и автомобильными дорогами следует предусматривать электрохимическую защиту кожухов (патронов) с использованием протекторов. В случае большой протяженности, при неудовлетворительном состоянии защитного покрытия кожуха и возможности обеспечения внешнего электроснабжения могут быть применены маломощные установки катодной защиты.

8.4.2 Расчет параметров протекторной защиты кожухов следует проводить в соответствии с методикой, приведенной в 7.4.

8.4.3 Силу тока в цепи «протектор – кожух»  $I_{пк}$ , А, вычисляют по формуле

$$I_{пк} = \frac{U_{п} - U_{ек} - 1,1 \cdot U_{кзм} - 0,064 \cdot S_{п}}{R_{пк}}, \quad (8.6)$$

где  $U_{п}$  – стационарный потенциал протектора, В;

$U_{ек}$  – естественная разность потенциалов кожух – земля, В;

$U_{кзм}$  – минимальная защитная наложенная разность потенциалов кожух – земля, В, которую вычисляют по формуле

$$U_{кзм} = U_{м} - U_{ек}, \quad (8.7)$$

где  $U_{м}$  – минимальный защитный потенциал кожуха, В;

$U_{ек}$  – естественная разность потенциалов кожух – земля, В;

$R_{пк}$  – сопротивление цепи «протектор-кожух», Ом, которое определяют по формуле

$$R_{пк} = R_{пр} + R_{рп}. \quad (8.8)$$

Если значения  $U_{п}$  и  $U_{ек}$  неизвестны, то разность потенциалов  $U_{п} - U_{ек}$  для магниевых протекторов следует принимать равной 1 (одному) В.

8.4.4 Длина участка кожуха  $l_{зкп}$ , м, защищаемая одним протектором, на конец планируемого периода, равна

$$l_{зкп} = \frac{I_{п} \cdot R_{пнк} \cdot e^{-\gamma T_{п}}}{1,15 \cdot \pi \cdot U_{кзм} \cdot D_{к}}, \quad (8.9)$$

где  $R_{\text{пнк}}$  — начальное значение переходного сопротивления кожуха, Ом·м<sup>2</sup>;

$D_{\text{к}}$  — диаметр кожуха, м.

8.4.5 Количество протекторов, необходимое для защиты кожуха,  $N_{\text{п}}$ , шт., определяют по формуле

$$N_{\text{п}} = \frac{l_{\text{к}}}{l_{\text{зкп}}}, \quad (8.10)$$

где  $l_{\text{к}}$  — длина кожуха, м.

8.4.6 Количество протекторов, рассчитанное по формуле (8.10), необходимо распределить между двумя группами, устанавливаемыми с обоих концов кожуха. При невозможности установки протекторов с обоих концов кожуха и длине защитной зоны протекторов больше длины кожуха допускается установка всех протекторов с одного его конца.

8.4.7 Параметры протекторной защиты кожухов уточняют при пусконаладочных работах системы электрохимической защиты трубопровода.

8.4.8 Расчет электрохимической защиты кожуха с помощью маломощных катодных установок производится в соответствии с методикой, приведенной в 7.2.

8.4.9 Входное сопротивление кожуха  $Z_{\text{вк}}$ , Ом, как функцию времени эксплуатации вычисляют по формуле

$$Z_{\text{вк}}(t) = \frac{1}{2} \sqrt{R_{\text{к}} \cdot R_{\text{пнк}}(t)}, \quad (8.11)$$

где  $R_{\text{к}}$  — продольное сопротивление кожуха, Ом/м, которое вычисляют по формуле

$$R_{\text{к}} = \frac{\rho_{\text{к}}}{\pi(D_{\text{к}} - \delta_{\text{к}}) \cdot \delta_{\text{к}}}, \quad (8.12)$$

где  $\rho_{\text{к}}$  — удельное электрическое сопротивление материала кожуха, Ом·м;

$\delta_{\text{к}}$  — толщина стенки кожуха, м;

$R_{\text{пнк}}$  — значение переходного сопротивления единицы длины кожуха через  $t$  лет, Ом·м.

В данном случае переходное сопротивление  $R_{\text{пнк}}(t)$ , Ом·м, вычисляют по формуле

$$R_{\text{пнк}}(t) = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi} \ln \frac{0,4\pi \cdot R_{\text{рк}}}{D_{\text{к}} \cdot H_{\text{к}} \cdot R_{\text{к}}} + \frac{R_{\text{изк}}}{\pi D_{\text{к}}} \cdot e^{-\gamma t}, \quad (8.13)$$

где  $R_{\text{рк}}$  — сопротивление растеканию кожуха, Ом·м;

$H_{\text{к}}$  — глубина залегания кожуха, м;

$R_{\text{изк}}$  — начальное значение сопротивления изоляции кожуха, Ом·м<sup>2</sup>.

8.4.10 Силу тока катодной установки  $I$ , А, вычисляют по формуле

$$I = \frac{2U_{\text{кзо}}}{Z_{\text{вк}}(t)}, \quad (8.14)$$

где  $U_{\text{кзо}}$  — смещение потенциалов кожух — земля в точке дренажа, В, которое определяют по формуле

$$U_{\text{кзо}} = U_0 - U_{\text{ек}}, \quad (8.15)$$

где  $U_0$  — максимальный защитный потенциал кожуха, В;

$U_{\text{ек}}$  — естественная разность потенциалов кожух — земля, В.

8.4.11 На переходах через водные преграды при меженном горизонте 75 м и более на одном из берегов должна быть предусмотрена установка катодной защиты, размещение которой должно быть не ниже отметок горизонта высоких вод (ГВВ) 10 % обеспеченности, но на расстоянии не более 1 км от уреза воды.

8.4.12 На всех водных переходах длиной более 500 м необходимо устанавливать КИП для контроля потенциала и силы тока в трубопроводе по обе стороны от перехода.

8.4.13 На действующих трубопроводах проектирование и реконструкцию катодной защиты следует производить на основании результатов обследования, которое должно включать измерения смещения потенциала на одном из берегов при включении и выключении установки катодной защиты на другом берегу.

## 8.5 ЭХЗ обсадных колонн скважин промысловых сооружений

8.5.1 Исходными данными при проектировании катодной защиты куста скважин являются:

- количество скважин на промысле;
- количество скважин в кусте и их размещение;
- длина скважин;
- длина шлейфов.

8.5.2 При проектировании электрохимической защиты определяют параметры средств защиты на конечный период эксплуатации промысловых сооружений с учетом старения изоляционного покрытия и увеличения сети подземных сооружений.

8.5.3 Проектирование ЭХЗ обсадных колонн скважин осуществляется исходя из минимальной защитной плотности тока 10 мА/м<sup>2</sup>. Допускается не применять ЭХЗ для защиты

скважин при наличии технико-экономического обоснования безопасной эксплуатации скважины в течение всего срока службы.

8.5.4 Для эффективной защиты промышленного объекта следует предусматривать установку изолирующих соединений между скважиной, кустами скважин, УКПГ и трубопроводом. Участки размещения ВЭИ определяются в соответствии с действующими НД.

8.5.5 Расчет катодной защиты промышленных трубопроводов осуществляется согласно 7.1.

8.5.6 Система ЭХЗ промышленных объектов и объектов ПХГ может проектироваться с использованием одной установки катодной защиты для различных коммуникаций. Тогда суммарный ток защиты  $I_{\text{общ}}$ , А, определяется по формуле

$$I_{\text{общ}} = \sum_1^i I_{\text{ci}}, \quad (8.16)$$

где  $I_{\text{ci}}$  – расчетный ток защиты  $i$ -го сооружения, А.

8.5.7 Напряжение на выходе преобразователя катодной защиты  $U$ , В, вычисляют по формуле

$$U = I_{\text{общ}} \cdot (R_3 + R_{\text{л}}), \quad (8.17)$$

где  $R_3$  – сопротивление растеканию тока заземления, Ом;

$R_{\text{л}}$  – сопротивление дренажной линии, Ом:

$$R_{\text{л}} = \frac{\rho_{\text{м}} \cdot y}{S_{\text{пр}}}; \quad (8.18)$$

$\rho_{\text{м}}$  – удельное электрическое сопротивление провода, Ом·м;

$y$  – длина анодного провода, м;

$S_{\text{пр}}$  – сечение провода дренажной линии, м<sup>2</sup>.

8.5.8 Мощность преобразователя катодной защиты  $P$ , Вт, вычисляют по формуле

$$P = I_{\text{общ}} \cdot U. \quad (8.19)$$

**Приложение А**  
(рекомендуемое)

**Значения продольного сопротивления трубопровода  
 $R_t$  при различной толщине стенки трубы**

Т а б л и ц а А.1 – Толщина стенки трубы от 4 до 9,5 мм, при условии что  $\rho_t = 2,45 \cdot 10^{-7}$  Ом·м;  
 $t = +20^\circ\text{C}$

Диаметр трубы $D_t$ , м	Толщина стенки трубы $\delta_t \cdot 10^{-3}$ , м										
	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
0,146	137,0	111,0	101,0	92,8	86,0	80,2	75,1	70,6			
0,152	132,0	106,0	96,8	89,0	82,5	76,8	72,0	67,7			
0,159	126,0	101,0	92,4	85,0	78,7	73,3	68,6	64,6			
0,168	119,0	95,7	87,3	80,2	74,3	69,2	64,8	60,9			
0,180	111,0	89,1	81,3	74,7	69,2	64,4	60,3	56,7			
0,194	103,0	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

П р и м е ч а н и е – В расчет за  $R_t$  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  $12,0 \cdot 10^{-6}$  Ом/м.

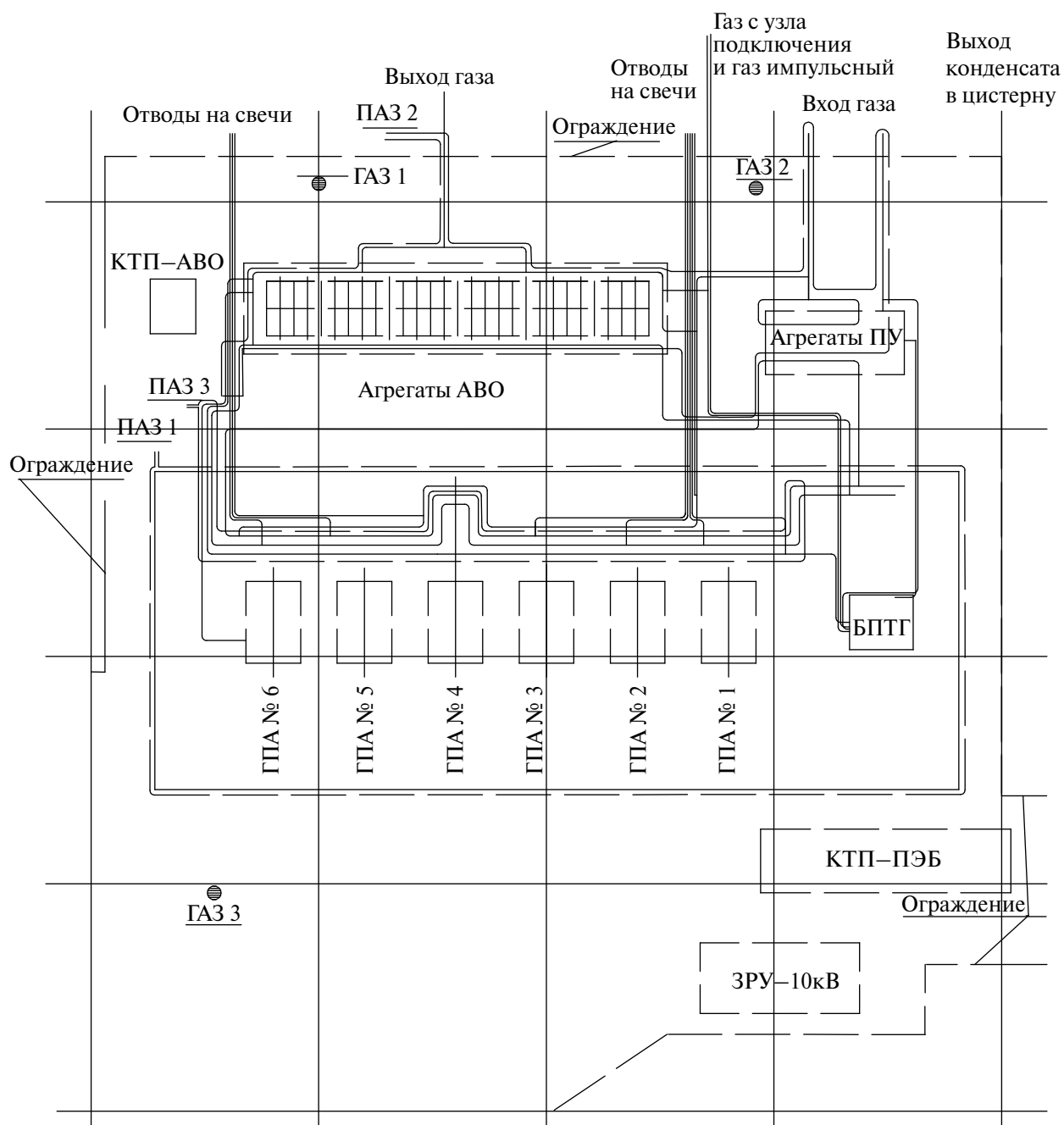
Т а б л и ц а А.2 – Толщина стенки трубы от 10 до 20 мм, при условии что  $\rho_t = 2,45 \cdot 10^{-7}$  Ом·м;  
 $t = +20^\circ\text{C}$

Диаметр трубы $D_t$ , м	Толщина стенки трубы $\delta_t \cdot 10^{-3}$ , м										
	10,00	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	14,0	15,0	16,0	17,0	20,0
0,72	11,00	10,50	10,00								
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

П р и м е ч а н и е – В расчет за  $R_t$  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  $6,45 \cdot 10^{-6}$  Ом/м.

**Приложение Б**  
(рекомендуемое)

**Схема ЭХЗ для типовой компрессорной станции**



ГАЗ – глубинные заземления;

КТП – АВО – блок-бокс УКЗ 1;

КТП – ПЭБ – блок-бокс УКЗ 2;

ПАЗ 1 – контур протяженного анодного заземления противопожарного кольца;

ПАЗ 2 – контур протяженного анодного заземления шлейфов входа и выхода газа;

ПАЗ 3 – контур протяженного анодного заземления технологических трубопроводов

## Библиография

- [1] Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87  
«О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»
  
- [2] Унифицированные Узлы и детали электрохимической защиты подземных  
проектные решения по коммуникаций от коррозии (утверждены ОАО «Газ-  
электрохимической защите пром» 10 декабря 2007 г.)  
подземных коммуникаций  
УПР.ЭХЗ-01-2007
  
- [3] Унифицированные Типовые схемы электрохимической защиты  
проектные решения по от коррозии (утверждены ОАО «Газпром»  
электрохимической защите 10 декабря 2007 г.)  
подземных коммуникаций  
УПР.ЭХЗ-02-2007
  
- [4] Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание 7 (утверждены приказом  
министра топлива и энергетики Российской Федерации от 6 октября 1999 г.,  
с изменениями, внесенными приказами Министерства энергетики Российской  
Федерации от 8 июля 2002 г. № 204, от 20 мая 2003 г. № 187, от 20 июня 2003 г. № 242)
  
- [5] Руководство по эксплуатации систем противокоррозионной защиты трубопроводов  
(утверждено ОАО «Газпром» 23 февраля 2004 г.)

---

Ключевые слова: проектирование, электрохимическая защита, подземное сооружение, катодная защита, дренажная защита, протекторная защита, совместная защита, временная защита, расчет, трубопровод, компрессорная станция, защитный кожух, промышленные сооружения, контроль эффективности электрохимической защиты

---



Корректурa *Е.С. Иншаковой, И.А. Шишковой*  
Компьютерная верстка *Н.А. Волянской*

---

Подписано в печать 20.11.2009 г.  
Формат 60х84/8. Гарнитура «Ньютон». Тираж 150 экз.  
Уч.-изд. л. 5,2. Заказ 982.

---

ООО «Газпром экспо» 117630, Москва, ул. Обручева, д. 27, корп. 2.  
Тел.: (495) 719-64-75, (499) 580-47-42.

Отпечатано в ООО «Полиграфия Дизайн»