МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

# ИНСТРУКЦИЯ ПО КАТОДНОЙ ЗАЩИТЕ ОБСАДНЫХ КОЛОНН НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

РД-39-I- 562-8I

1981

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра
нефтяной промышленности

_____ В.И.ИГРЕВСКИЙ

15.05. 81 г.

# ИНСТРУКЦИЯ
## ПО КАТОДНОЙ ЗАЩИТЕ ОБСАДНЫХ КОЛОНН НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

РД-39-I- 562-81

НАСТОЯЩИЙ ДОКУМЕНТ РАЗРАБОТАН:

Татарским государственным научно-исследовательским и проектным институтом нефтяной промышленности

Первый заместитель директора

_____ 81 г. И.Г.Юсупов

Ответственные исполнители:

Зав.отделом КРС и ВНОК _____ М.М.Загиров

Зав.сектором ремонта и защиты от коррозии обсадных колонн _____ Ф.И.Даутов

СОГЛАСОВАНО:

Зам.Начальника Технического управления _____ В.Д.Барановский

## АННОТАЦИЯ

Настоящая Инструкция посвящена вопросам определения оптимальных параметров и схем катодной защиты обсадных колонн для условий крупных нефтяных месторождений, находящихся на средней или поздней стадиях разработки, когда имеет место определенная динамика коррозионных отказов обсадных колонн.

Инструкция составлена на основе " Инструкции по применению катодной защиты обсадных колонн скважин в нефтяной промышленности", разработанной институтом ТатНИПИнефть и утвержденной Управлением нефтегаздобычи Миннефтепрома в 1975 году, которая отменяется с введением настоящей Инструкции. В ней нашли отражение также результаты исследований, выполненных институтами ТатНИПИнефть, НИИ постоянного тока Минэнерго СССР и ВНИИСТ Миннефтегазстроя в последние годы.

Инструкция предназначена для территориальных научно-исследовательских и проектных институтов, строительных и эксплуатирующих организаций нефтяной промышленности.

Инструкция разработана кандидатами технических наук Друтовым Ф.И., Загировым М.М. ( ТатНИПИнефть ) и Глазовым Н.П. (ВНИИСТ) под общей редакцией к.т.н. Воупова И.Г. (ТатНИПИнефть ).При разработке Инструкции принимали участие Мигалимов А.Ф. ( объединение "Татнефть"), инженер Сотников Е.В. (ТатНИПИнефть ), инженер Шамшетдинов К.Л. (ВНИИСТ) и к.т.н. Тесов Н.И. (НИИ постоянного тока ).

# ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

## к "Инструкции по катодной защите обсадных колонн нефтяных скважин"

В последнее десятилетие на нефтедобывающих предприятиях отрасли наблюдается многочисленные случаи коррозионных отказов обсадных колонн скважин, обусловленных электрохимической коррозией обсадных труб по наружной поверхности.

С целью снижения интенсивности коррозии институтом ТатНИПИнефть была предложена и опробирована технология катодной защиты обсадных колонн, принятая МВК в 1975 году. Эта технология осуществлялась согласно "Инструкции по применению катодной защиты обсадных колонн скважин в нефтяной промышленности, разработанной ТатНИПИнефтью и утвержденной Управлением нефтедобычи 17 декабря 1975 года.

За истекшие 5 лет в области катодной защиты обсадных колонн накоплен значительный опыт ее внедрения и применения, а также дополнительный теоретический и экспериментальный материал, которые позволили усовершенствовать, дополнить и развить многие разделы указанной инструкции. Это привело к необходимости разработки новой инструкции, взамен ранее действующей, что было зафиксировано в решении выездного заседания секций добычи нефти и бурения скважин НТС Миннефтепрома в 1979 г. (г. Альметьевск).

Наряду с усовершенствованием многих положений старой инструкции в новом РД нашел отражение такой актуальный в настоящее время вопрос, как расчет и проектирование катодной защиты обсадных колонн при кустовом расположении устьев скважин. Кроме того, в новом РД приведен ряд формул, графиков и эмпирических рекомендаций, которые значительно облегчат сам процесс проектирования катодной защиты.

Составление инструкции производилось в рамках тематического плана ТатНИПИнефть за 1980-1981 гг. (тема №34/79).

Первый зам.директора ТатНИПИнефть — КУПОВ И.Г.

Ответственный исполнитель, зав.сектором — ДАУТОВ Ф.И.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

# Инструкция по катодной защите обсадных колонн нефтяных скважин

Вводится впервые

Приказ Министерства нефтяной промышленности
от 3.06.81г. № 288 Срок введения установлен с 01.07.81г.
Срок действия до

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящая Инструкция распространяется на катодную защиту от наружной коррозии обсадных колонн нефтяных скважин, в которых уровень тампонажного раствора за эксплуатационной колонной ниже глубины спуска предыдущей колонны.

I.2. Основные положения Инструкции разработаны для условий раздельной катодной защиты обсадных колонн без установки изолирующих фланцев на выкидных линиях у устьев скважин.

Раздельная катодная защита обсадных колонн применяется на ранее введенных в разработку месторождениях, нефтепромысловые трубопроводы которых не имеют наружного изоляционного покрытия, отвечающего требованиям ГОСТ 9015-74, при условии технической и технико-экономической нецелесообразности катодной защиты этих трубопроводов.

Катодная защита промысловых трубопроводов технически нецелесообразна в следующих случаях:

I) срок службы трубопроводов определяется внутренней коррозией даже при условии применения методов защиты от нее с

учетом реально достигаемого в промысловых условиях защитного эффекта этих методов;

2) трубопроводы проложены в грунтах низкой и средней коррозионной активности.

Катодная защита промысловых трубопроводов технико-экономически нецелесообразна в случае, если суммарные приведенные затраты на ее осуществление превышают суммарные приведенные затраты на замену или ремонты подверженного коррозионному разрушению трубопровода с учетом фактора времени.

Совместная катодная защита всех подземных объектов месторождения производится при условии, если наружная противокоррозионная изоляция промысловых трубопроводов соответствует ГОСТ 9.015-74, а также в случае технической и технико-экономической целесообразности такой защиты независимо от наличия и качества наружной изоляции.

1.3. Инструкция не распространяется на защиту скважин, в которых коррозионные отказы обусловлены специфическими видами разрушения: коррозионным растрескиванием и водородным охрупчиванием, которые могут иметь место при контакте обсадных труб, изготовленных из высокопрочных сталей ( $\sigma_в > 75$ кгс/мм$^2$, HV > 240, HRC > 22 ), с сероводородосодержащими средами.

1.4. Инструкция не распространяется на газовые, газоконденсатные и другие скважины, для которых по условиям надежности и безопасности требуется стопроцентная степень защищенности.

## 2. КОРРОЗИЯ ОБСАДНЫХ КОЛОНН

2.1. Основными коррозионными окислителями для стали в пластовых водах являются катионы водорода ( в случае углекислотной коррозии) и молекулы воды ( в случае сероводородной коррозии).

2.2. Различие физико-химических параметров пластовых вод по разрезу скважины ( температура, pH, ионный и газовый состав )

вызывает протекание по колонне токов макрокоррозионных пар, что снижает скорость коррозии в катодных и повышает ее в анодных зонах макрокоррозионных пар по сравнению со скоростью коррозии при стационарном потенциале.

Скорость коррозии, вызываемая действием макрокоррозионных пар, в общем случае составляет лишь некоторую (в случае сероводородной коррозии обычно небольшую) часть суммарной скорости коррозии обсадных труб, поэтому не характеризует полностью коррозионного состояния обсадных колонн.

2.3. Наличие межпластовых перетоков среды в заколонном пространстве скважины вызывает непрерывное обновление коррозионной среды, снижает диффузионные ограничения для коррозионных реакций и, следовательно, резко увеличивает скорость коррозии обсадных труб.

2.4. Качественное цементирование (сплошное, без дефектов) практически полностью предотвращает коррозию обсадных колонн за счет снижения термодинамической возможности коррозии вследствие высокого значения pH, исключения движения среды и значительного диффузионного ограничения коррозионных реакций.

Наличие дефектов небольших размеров в цементном покрытии не полностью исключает защитное действие цементирования, а лишь снижает его, поскольку отсутствуют межпластовые перетоки вод и проявляется защитное действие прилегающих к дефектам зацементированных участков колонны.

2.5. Наличие значительных по протяженности (более 5-10 м) участков неполного или некачественного цементирования в коррозионном отношении приравнивается к неполному подъему цементного раствора за колонной.

2.6. Коррозия обсадных труб, как правило, развивается неравномерно, особенно в случае сероводородной коррозии, и преимущест-

менно носит язвенный характер, вызывающий появление сквозных отверстий в трубах.

2.7. При сосредоточенном развитии общей и локальной коррозии и действии механических нагрузок возможны смятие или разрыв обсадной колонны до наступления сквозного коррозионного поражения ее.

## 3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ОТКАЗОВ ОБСАДНЫХ КОЛОНН

3.1. Коррозионный отказ обсадной колонны - это потеря ее герметичности или целостности в результате коррозионного износа тела трубы.

3.2. Основными внешними признаками коррозионных отказов в отличие от отказов, вызванных другими причинами (прокоги, чисто механические разрушения, случайные прострелы, абразивный износ, негерметичность резьбовых соединений), являются статистическая приуроченность коррозионных отказов к водоносным горизонтам, содержащим агрессивные компоненты (сероводород, углекислота), и рост количества аналогичных отказов во времени для достаточно большого количества скважин однотипной конструкции.

3.3. С целью более точного определения причины наступивших или будущих отказов рекомендуется проводить следующие исследования в комплексе или в отдельности:

- визуальное и инструментальное обследование обсадных труб на участках отсутствия цемента, на одном типичном для месторождения скважины;

- измерение средней толщины стенки труб геофизическими толщиномерами и калибраторами;

- измерение среднего продольного электрического сопротивления обсадных труб трехконтактным зондом по методике ВНИИГИС.

3.4. Прогнозирование коррозионных отказов производится для

группы скважин одной и той же категории и конструкции ( например, для добывающих нефтяных скважин, в которых подъем цементного раствора за эксплуатационной колонной ниже башмака предыдущей колонны, т.е. имеется открытый участок эксплуатационной колонны, контактирующий с горными породами через пластовые воды).

3.4.1. Если основное количество скважин выбранной группы пробурено в течение узкого интервала времени ( не более 10 лет ), то для всех скважин составляется один динамический ряд количества накопленных коррозионных отказов за $t$ лет эксплуатации, причем начало отсчета времени $t$ берется с средневзвешенного года бурения скважин группы $T_{ср}$.

3.4.2. В качестве прогнозируемого признака принимают отношение накопленного количества отказов за $t$ лет эксплуатации к фонду скважин группы, т.е. накопленное количество отказов за $t$ лет в среднем на одну скважину:

$$F(t)=\sum_{i=t_1}^{t} n(t)/N_\Phi, \qquad (3.1)$$

где $t_1$ - средневзвешенный срок эксплуатации скважин группы, отсчитываемый с года $T_{ср}$ до появления первых коррозионных отказов; $n(i)$ - количество коррозионных отказов скважин в группе в $i$ -том году эксплуатации, $N_\Phi$ - количество скважин в группе.

Для дальнейших расчетов полученный динамический ряд $F(t)$ аппроксимируется по возможности более простой аналитической функцией ( например, экспоненциальной, степенной). Это наиболее просто осуществить нанесением значений ряда на логарифмическую или билогарифмическую сетки.

3.4.3. Если скважины выбранной группы пробурены в течение длительного периода времени (более 10 лет), то для прогнозирова-

ния $\bar{F}(t)$, из этой группы выделяется подгруппа наиболее старых скважин, содержащая по возможности большее количество скважин, пробуренных в течение узкого периода времени, не более 10 лет. Функция $\bar{F}(t)$, определенная для этой подгруппы согласно п. 3.4.2, будет статистически справедлива для всех скважин группы в той мере, в какой выборка характеризует всю генеральную совокупность.

3.4.4. При наличии достаточно большой информации о корродированных отказах осадных колонн возможно более точное и долгосрочное прогнозирование коррозионных отказов с использованием законов распределения первичных и функции частоты повторных отказов по аналитической зависимости:

$$\bar{F}(t) = F(t) + \sum_{i=0}^{t} f(i)\,\Phi(t-i), \qquad (3.2)$$

где $F(t)$ и $f(t)$ – интегральная и дифференциальная функции распределения сроков от службы обсадных колонн в группе до первого коррозионного отказа, $\Phi(\tau)$ – интегральная функция частоты повторных отказов, статистически определяемая из

$$\Phi(\tau) = \sum_{i=0}^{\tau} \bar{n}(i)/N_n, \qquad (3.3)$$

где $\bar{n}(i)$ – количество повторных отказов в $i$-том году;
$\tau$ – время, отсчитываемое с момента первого восстановления;
$N_n$ – количество восстановленных скважин, численно равное количеству первичных отказов к выбранному моменту времени.

Функция $\Phi(\tau)$ так аппроксимируется по возможности более простой аналитической зависимостью.

3.4.5. Ежегодное количество отказов находят путем дифференцирования функции накопленных отказов, т.е.

$$\bar{f}(t) = \frac{d}{dt}\bar{F}(t). \qquad (3.4)$$

## 4. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ОБСАДНЫХ КОЛОНН

4.1. Необходимость катодной защиты обсадных колонн от наружной коррозии при недостаточном объеме информации по фактическим коррозионным отказам устанавливается в зависимости от значения скорости коррозии труб, определяемой экспериментально, по критерию

$$B = T_{п} - \frac{\Delta\delta}{П_{н} K_{нн} + П_{в} K_{нв}}, \qquad (4.1)$$

где $T_{п}$ – планируемый срок службы скважин, год; $\Delta\delta$ – допустимое коррозионное уменьшение толщины стенки труб, выше которого механические нагрузки вызывают нарушение целостности обсадной колонны, мм; $П_{н}$ – скорость наружной коррозии, мм/год ($П_{н}$ можно ориентировочно определить по приложению 1); $K_{нн}$ – коэффициент неравномерности наружной коррозии ($K_{нн}$ =1 при определении скорости коррозии по кольцам из извлеченных из скважины обсадных труб; $K_{нн}$ =5–10 при определении скорости коррозии в лабораторных условиях гравиметрическим и электрохимическим методами, а также при промысловом определении скорости коррозии измерением средней толщины стенки труб толщиномером и продольного сопротивления обсадной колонны с помощью трехконтактного зонда); $П_{в}$ – скорость внутренней коррозии, мм/год; $K_{нв}$ – коэффициент неравномерности внутренней коррозии ($K_{нв}$ = 1–2 для кислородосодержащих сред, $K_{нв}$ = 5–10 – для сероводородосодержащих сред).

При $B > 0$ катодная защита необходима, а при $B \leq 0$ – не требуется.

4.2. При скорости проникновения коррозии внутренней поверхности обсадных колонн более 0,1 мм/год, т.е. при $П_{в} K_{нв} > 0,1$, необходимость катодной защиты может быть установлена только по-

ле устранения внутренней коррозии или снижения ее скорости проникновения ниже 0,1мм/год.

4.3. Необходимость применения катодной защиты на средней или поздней стадии разработки месторождения или залежи, когда накоплен достаточный объем информации по коррозионным отказам, устанавливается по технико-экономическому критерию

$$\bar{З} = \frac{\Delta\bar{f}(0{,}54T)\cdot B(T)}{T}\left(C_р + q_н \cdot C_н \cdot t_р \cdot K_э\right) - З_{пр}(T), \qquad (4.2)$$

где $\Delta\bar{f}(t)$ – снижение ожегодного количества коррозионных отказов одной скважины в результате катодной защиты в $t$ -ом году ее применения; $\Delta\bar{f}(0{,}54T) = \Delta\bar{f}(t)$ при $t = 0{,}54T$; $T$ – срок применения катодной защиты (отсчитывается от года внедрения защиты до планируемого конца активной разработки месторождения), год; $C_р$ – средняя стоимость одного капитального ремонта по восстановлению герметичности обсадных колонн (или, в общем случае, по ликвидации последствий коррозионного повреждения обсадных колонн), руб; $q_н$ – средний дебит (приемистость) одной скважины за период времени $T$, т/сут; $C_н$ – экономия от дополнительной добычи (закачки) 1 т продукции скважины, руб/т; $t_р$ – средняя календарная продолжительность одного капитального ремонта, сут; $K_э$ – коэффициент эксплуатации скважин; $З_{пр}(T)$ – средние приведенные затраты на катодную защиту одной скважины за $T$ лет, руб/год; $B(T)$ – функция приведения равновременных затрат, которая равна

$$B(T) = 11\left[1 - (1+E_{нп})^{-T}\right], \qquad (4.3)$$

где $E_{нп}$ – нормативный коэффициент приведения равновременных затрат ($E_{нп} = 0{,}1$).

4.3.1. Приведенные затраты на катодную защиту равны

$$З_{пр}(T) = \frac{C\cdot B(T) + K_{кр}(T)}{T}, \text{ руб/год} \qquad (4.4)$$

где $C$ – годовые эксплуатационные затраты на защиту, руб/год; $K_{пр}(T)$ – приведенные к одному моменту времени суммарные капитальные затраты на катодную защиту одной скважины за $T$ лет ее применения, руб.

4.3.2. Приведенные капитальные затраты равны

$$K_{пр}(T) = K \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (1+E_{нп})^{-i \cdot T_a} \quad \text{, руб} \qquad (4.5)$$

где $K$ – капитальные затраты на катодную защиту одной скважины, руб; $n = T / T_a$ – количество вложений капитальных затрат на защиту одной скважины за $T$ лет; $T_a$ – срок службы катодных установок ( обычно $T_a = 10$ лет ), год.

4.3.3. Снижение накопленного количества отказов определяется из выражения

$$\Delta \bar{f}(t) = \bar{f}(t_э + t) - \bar{f}_э(t), \qquad (4.6)$$

где $t_э$ – срок эксплуатации скважин до года внедрения защиты, год; $\bar{f}_э(t)$ – ожидаемое накопленное количество отказов одной скважины после внедрения защиты за $t$ лет, которое рассчитывается по формуле

$$\bar{f}_э(t) = (1-P_к)\, \bar{f}[t_э + (1-P_к)t], \qquad (4.7)$$

где $\bar{f}(t)$ – функция, определяемая согласно п. 3.4.5; $P_к$ – степень защищенности обсадных колонн при катодной поляризации, доля единицы.

4.3.4. При обосновании необходимости катодной защиты расчет критерия $\bar{\vartheta}$ носит оценочный характер из-за отсутствия конкретных параметров катодной защиты обсадных колонн для данного месторождения. Поэтому в расчете $\bar{\vartheta}$ следует использовать величины эко-

на опыта применения ее на других месторождениях с учетом удорожаний, характерных для данного района. Для центральных районов СССР:

$C_э$ = 150 руб/год, $K_н$ = 1500 руб.

Величину степени вапрещенности в оценочных расчетах $\bar{\delta}$ следует брать равной $\bar{\delta}_к = 0,6 - 0,8$.

4.3.5. При $\bar{\delta} \geq 0$ катодная защита эффективна и необходима, а при $\bar{\delta} < 0$ - нецелесообразна на данном этапе.

4.3.6. После определения конкретных параметров катодной защиты для данного месторождения по методикам, изложенным в последующих разделах настоящей инструкции, производят уточненный расчет критерия $\bar{\delta}$, который в этом случае будет представлять собой приведенный годовой экономический эффект от применения катодной защиты в расчете на одну скважину и будет обозначаться буквой Э без черточки.

## 5. Расчет и проектирование катодной защиты

### 5.1. Принцип и схема катодной защиты обсадных колонн

5.1.1. Катодная защита обеспечивается смещением электродного потенциала металла обсадной колонны, возникающего при контакте металла с электролитом, в отрицательную сторону от стационарного значения под действием электрического тока внешнего источника постоянного или выпрямленного напряжения.

5.1.2. Катодная защита осуществляется присоединением отрицательного полюса станции катодной защиты (СКЗ) к обсадной колонне на устье скважины и положительного полюса к вспомогательному заземлителю, называемому анодным заземлителем (АЗ).

Защитный ток, появляющийся в такой цепи, втекает в обсадную колонну через все ее поверхность, распределяясь определенным образом, и смещает электродный потенциал в отрицательную сторону.

5.1.3. Катодную защиту обсадных колонн скважин можно осуществлять в основном по четырем схемам: индивидуальной, групповой, смешанной (индивидуально-групповой) и кустовой.

5.1.3.1. При индивидуальной схеме одна или несколько смежных скважин с помощью кабельных дренажных линий защищаются катодной установкой, состоящей из СКЗ и АЗ (приложение 2).

5.1.3.2. При групповой схеме все скважины, работающие на одну групповую сборную или замерную установку (ГУ) защищаются одной мощной катодной установкой, причем выкидные линии скважин используются в качестве токопроводов к обсадным колоннам и поэтому сами надежно защищаются от наружной коррозии (см. приложение 2).

5.1.3.3. Смешанная схема включает размещение групповой катодной установки на ГУ и индивидуальных катодных установок на отдаленных от ГУ скважинах, где защита от групповой катодной установки недостаточна.

5.1.3.4. Описанные в пп. 5.1.3.1- 5.1.3.3 схемы катодной защиты применяются на месторождениях с распределенными по площади устьями скважин. Причем выбор оптимальной схемы производится на основе технико-экономических расчетов.
При отсутствии таких расчетов выбор рациональной схемы производится по величине переходного сопротивления $R_т$ выкидных линий скважин: при $R_т < 150$ Ом.м применяется индивидуальная схема, при $R_т = 150$-$250$ Ом.м - смешанная и при $R_т > 250$ Ом.м - групповая.

5.1.3.5. Кустовая схема катодной защиты применяется при кустовом расположении устьев скважин.

При такой схеме, если все скважины куста имеют близкие конструкции (под конструкцией скважины в данном случае понимается геометрические размеры и количество обсадных колонн, высота подъема цемента за эксплуатационной колонной), то обсадные колонны соединяются между собой приваренной к ним как к кондукторам промежу-

точная колонна) стальной защиты сечением не менее 300 мм$^2$ и защищается как один объект. С целью равномерного распределения защитного тока по колонне рекомендуется применять несколько АВ, расположенных по периметру куста так, чтобы обсадные колонны не экранировали друг друга по отношению к близлежащим анодным заземлителям.

Если в кусте имеются разнородные скважины, то они по конструктивному признаку разбиваются на группы, которые защищаются как самостоятельные объекты с учетом взаимовлияния электрических полей и токораспределения вдоль обсадных колонн. Причем группы защищаются отдельными катодными установками или одной установкой с распределенными анодными заземлителями и с распределителем тока в катодной цепи (см. приложение 2 и 17).

5.1.4. Независимо от принятой схемы системы катодной защиты должна обеспечить подачу защитного тока к каждой обсадной колонне, величина которого определяется в соответствии с настоящей инструкцией.

5.2. Исходные данные для расчета и проектирования катодной защиты

5.2.1. Параметры катодной защиты обсадных колонн зависят от гидрогеологической характеристики района и конструкции скважин, поэтому все скважины кустовых площадок, подключенные к катодной защите, группируются по этим признакам. Предполагаемый сбор исходного и нормативного экспериментального материала, а также установление функциональных зависимостей между параметрами катодной защиты производятся для каждой группы с учетом их особенностей, а по мере накопления экспериментальных данных в расчетах катодной защиты для каждой группы используются средние характеристики скважин в группе.

В результате такого подхода выделяются группы кустов и катодной защиты, параметры которой для каждого конкретного скважина в груп-

не корректируются с учетом удельного электрического сопротивления грунта в районе расположения АЗ, характеристики выкидной линии и проектируемого удаления АЗ от устья скважины.

5.2.2. Для расчета и проектирования катодной защиты необходимы следующие исходные данные:

а) сводные геологические разрезы скважин отдельных групп с кривыми КС;

б) данные о газовом (содержание сероводорода и углекислоты) составе, величине рн пластовых вод разреза скважин;

в) распределение температуры пласт по глубине скважин; термограммы для определения возможных наличий и интервалов заколонной циркуляции пластовых вод;

г) распределение удельного электрического сопротивления горных пород по глубине скважин по данным бокового каротажного зондирования ( БКЗ ); при отсутствии данных БКЗ можно использовать кривые КС;

д) распределение удельного электрического сопротивления грунтов по глубине до 50м по данным вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) в районе сооружения АЗ;

е) средние значения диаметра, толщины стенки и длины обсадных колонн и высоты подъема цемента за эксплуатационной колонной для каждой группы;

ж) длина, диаметр, толщина стенки, глубина прокладки в грунте и сопротивление наружного изоляционного покрытия выкидных линий скважин;

з) план месторождения или отдельных его участков, где нанесены все ликвидированные ( но не извлеченные), действующие и проектируемые подземные металлические сооружения, их основные параметры.

5.2.3. Проектирование катодной защиты должны предшествовать экспериментальные работы ( выполняемые территориальными НИПИ или

[чий объединений], в результате которых получают следующие первичные экспериментальные материалы для каждой группы скважин:

а) стационарные катодные поляризационные кривые "плотность тока - величина катодной поляризации" трубной стали для наиболее агрессивных пластовых вод разреза скважин;

б) кривые распределения падения напряжения на эксплуатационной колонне по глубине скважины, снятые двух- или трехконтактными зондами для наиболее типичных по конструкции скважин в каждой группе в процессе опытной катодной защиты при трех значениях защитного тока: 5, 10 и 20 А;

в) если в разрезе скважин выше уровня цементного камня за эксплуатационной колонной имеются пласты с аномально высоким удельным электрическим сопротивлением, подстилающие пласты низкого сопротивления (отношение $\rho_{max} / \rho_{min} \geq 50$), то дополнительно устанавливают влияние удаления анодного заземлителя от устья скважины на распределение падения напряжения по колонне.

### 5.3. Определение функциональных зависимостей между основными параметрами катодной защиты

5.3.1. Снятие стационарных катодных поляризационных кривых.

5.3.1.1. Снятие поляризационных кривых трубной стали в пластовых водах производится в герметичной ячейке с использованием капилляра Лугина-Габера и вспомогательного анодного электрода из углеродистой стали с использованием инертных электродов без предупреждения возможности попадания выделяющегося на инертном аноде кислорода или хлора в катодную область ячейки не рекомендуется).

Рабочий (катодно-поляризуемый) электрод из трубной марки стали до и после поляризации выдерживают в исследуемой пластовой воде в

течение 10 суток с целью получения на нем сульфидов и установления стационарного потенциала. Количество приготовляемых рабочих электродов равно количеству задаваемых значений плотности тока.

Рекомендуемая схема установки приведена в приложении 3.

5.3.1.2. Электрохимическую ячейку для снятия кривых объемом не менее 2 л полностью (без газовой шапки) заполняют исследуемой натуральной или синтетической пластовой водой, после чего производят промывку ячейки 2-3 кратным объемом этой воды.

5.3.1.3. При использовании синтетической модели пластовой воды ее до введения агрессивных газов тщательно дезаэрируют барботированием чистым инертным газом (гелием, аргоном, водородом или азотом). Содержание кислорода после барботирования не должно превышать 0,5 мг/л или естественного содержания его в пластовой воде, если оно выше 0,5 мг/л.

5.3.1.4. В случае сероводородной коррозии ($[H_2S] \gg [CO_2]$) в ячейке поддерживают атмосферное давление. Если в пластовой воде присутствует значительное количество углекислоты, то в ячейке создается такое давление, которое обеспечивает заданную концентрацию растворенной углекислоты.

5.3.1.5. Если температура в пласте исследуемого интервала отличается от комнатной температуры более чем на $5^{\circ}$, то опыты проводят погружением электрохимической ячейки в термостатируемую ванну.

5.3.1.6. Стационарные катодные поляризационные кривые снимают с фиксированием установившихся значений электродного потенциала при различных значениях плотности поляризующего тока. Установившееся значение потенциала определяется измерениями потенциала через каждый час поляризации в первые сутки, а в дальнейшем измерения можно производить реже, например, два раза в сутки.

независимо от динамики электродного потенциала в начальной фазе поляризации продолжительность поляризации при каждом значении плотности тока должна составлять не менее 2 суток. Рекомендуемые значения задаваемых плотностей тока при сероводородной коррозии: 5, 20, 50 и 100 мА/м$^2$. С целью учета влияния катодных осадков на один рабочий электрод накладывают только одно значение плотности тока.

5.3.1.7. Полученная поляризационная кривая аппроксимируется по возможности более простой аналитической зависимостью $\Delta\varphi = \Delta\varphi'(j)$, где $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_c$, В; $\varphi$ - электродный потенциал при катодной поляризации (установившееся значение с учетом знака), В; $\varphi_c$ - стационарный потенциал до наложения тока, В.

Катодная поляризация $\Delta\varphi$ имеет отрицательный знак.

5.3.2. Определение зависимости плотности тока в исследуемом интервале колонны от поляризующего тока $j = j(\bar{J}_o)$.

5.3.2.1. Эта зависимость в неоднородных по удельному электросопротивлению грунтах устанавливается экспериментально путем снятия кривых падения напряжения на обсадной колонне двух- или трехконтактными зондами при, как минимум, трех значениях защитного (поляризующего) тока: 5, 10 и 20 А и времени экспозиции при каждом значении тока не менее 24 часов. Выводная линия сваи должна быть отсоединена от обсадной колонны.

5.3.2.2. Измерения падения напряжения на колонне двухконтактным зондом производят через каждые 50 м в пределах исследуемого интервала по истечении 30 с после установки зонда.

Для измерения падения напряжения применяют измерительные приборы (милливольтметры, микровольтметры), входное сопротивление которых должно превышать суммарное омическое сопротивление двух

жил геофизического кабеля не менее чем в 50 раз.

5.8.2.3. Плотность тока на поверхности обсадной колонны по данным измерения падения напряжения двухконтактным зондом рассчитывают по формуле

$$j = \frac{\Delta U_1 - \Delta U_2}{r_к \pi d_к \ell_з \Delta l}, \ А/м^2 \qquad (5.1)$$

где $\Delta U_1$ и $\Delta U_2$ – падения напряжения на обсадной колонне, измеренные в двух точках, между которыми определяется плотность тока утечки, В; $r_к$ – продольное сопротивление обсадной колонны, Ом/м; $d_к$ – наружный диаметр обсадной колонны, м; $\ell_з$ – расстояние между контактами зонда (обычно $\ell_з$ = 7,5 м), м; $\Delta l$ – расстояние между точками измерения $\Delta U_1$ и $\Delta U_2$, м.

5.8.2.4. По рассчитанным значениям плотности тока, соответствующим различным значениям поляризующего тока, находят зависимость $j = f(I_0)$, аппроксимируя ее по возможности простой аналитической формулой (приближенно эту зависимость можно принять прямо пропорциональной).

5.8.2.5. В ориентировочных расчетах для определения распределения плотности тока вдоль колонны в послойно неоднородных грунтах в качестве первого приближения можно пользоваться аналитической формулой (при бесконечно удаленном от скважины АВ)

$$j_i = \frac{I_0 \operatorname{ch}[\alpha_к (L_к - Z_i)]}{\pi d_к \rho_i \sum_{i=1}^{n} h_i \operatorname{ch}[\alpha_к (L_к - Z_i)]/\rho_i}, \ А/м^2 \qquad (5.2)$$

где $\alpha_к$ и $L_к$ – коэффициент утечки (м$^{-1}$) и длина (м) эксплуатационной колонны; $I_0$ – поляризующий ток, А; $Z_i$ – координата середины $i$-го слоя грунта, м; $\rho_i$ и $h_i$ – удельное электросопротивление (Ом·м) и толщина (м) $i$-го слоя грунта; $n$ – число

слоев грунта по длине обсадной колонны, в пределах которых $\rho$ примерно постоянно.

Формула (5.2) применима для слоев грунта толщиной не менее 50м.

5.3.3. Определение зависимости катодной поляризации обсадных труб в исследуемом интервале колонны от силы поляризующего тока $\bar{J}_o$.

5.3.3.1. Определение этой зависимости производится подстановкой значения плотности тока $j = j'(\bar{J}_o)$ для исследуемого интервала в функцию $\Delta\varphi = \Delta\varphi'(j)$, полученную в пластовой воде этого же интервала, т.е.

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi'(j) = \Delta\varphi'[j'(\bar{J}_o)] = \Delta\varphi''(\bar{J}_o), \text{ В} \qquad (5.3)$$

5.3.3.2. В случае, если после подстановки вид функции $\Delta\varphi = \Delta\varphi''(\bar{J}_o)$ станет сложной для дальнейших расчетов, то производится эмпирический подбор более простой аппроксимирующей функции этой зависимости.

5.3.4. Определение зависимости степени защищенности обсадных труб от величины катодной поляризации.

5.3.4.1. Степень защищенности обсадных труб в пластовых водах в зависимости от величины катодной поляризации рассчитывается по формуле $\gamma\rho$ – в долях единицы: $\gamma\rho = 1 - \exp\left(\frac{2{,}3}{b_a}\Delta\varphi\right)$, (5.4) где $b_a$ – угловой коэффициент прямолинейного участка анодной поляризационной кривой в полулогарифмических координатах, В.

5.3.4.2. С целью определения коэффициента $b_a$ строят анодную поляризационную кривую в полулогарифмических координатах с выдержкой времени 5 мин при каждом значении плотности тока. Плотности тока задают до таких величин, при которых анодная поляризация составляет не менее 0,15 В. Находят прямолинейный участок

анодной поляризационной кривой и коэффициент $b_a$ рассчитывают по формуле

$$b_a = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\lg \frac{i_2}{i_1}}, \text{ В} \qquad (5.5)$$

где $\varphi_1$ и $\varphi_2$ – значения потенциалов, соответствующих плотностям тока $i_1$ и $i_2$.

При этом в формулу (5.5) потенциалы подставляются в вольтах, а плотности тока – в любых, но одинаковых единицах измерения.

При отсутствии экспериментальных данных в сероводородсодержащих пластовых водах величину $b_a$ можно выбрать в пределах $b_a = 0{,}06$–$0{,}05$ В.

5.3.5. Определение зависимости степени защищенности обсадной колонны от поляризующего тока $J_o$.

5.3.5.1. В случае наличия в разрезе скважины только одного интервала с высокой агрессивностью степень защищенности обсадной колонны в целом равна степени защищенности обсадных труб в этом интервале.

5.3.5.2. При наличии в разрезе скважины нескольких интервалов с близкой агрессивностью степень защищенности колонны определяется степенью защищенности обсадных труб в интервале, где наблюдается максимальная остаточная скорость коррозии, в соответствии с выражением

$$P_к = 1 - \frac{П_м}{П_a}(1 - P_м), \quad \text{доли ед.} \qquad (5.6)$$

где $П_a$ – скорость коррозии до катодной защиты в наиболее агрессивном интервале скважины; $П_м$ и $P_м$ – соответственно скорость коррозии до защиты и степень защищенности в интервале с максималь-

ной остаточной скоростью коррозии.

Максимальная остаточная скорость коррозии обсадных труб после внедрения катодной защиты определяется сравнением остаточных скоростей коррозии всех агрессивных интервалов после внедрения защиты, рассчитываемых по формуле

$$\Pi_i = \Pi'_i \cdot (1 - P_i) \quad , \text{мм/год} \qquad (5.7)$$

где $\Pi'_i$ и $P_i$ – первоначальная скорость коррозии и степень защищенности труб $i$ -го интервала ( степень защищенности труб рассчитывается по формуле (5.4)).

5.8.5.3. Подставляя значение $\Delta\varphi = \Delta\varphi''(\bar{J}_o)$ в формулу (5.4), находят зависимость степени защищенности обсадных труб от силы защитного тока $\bar{J}_o$ и с учетом формул (5.6) и (5.7) определяют зависимость степени защищенности обсадной колонны от силы защитного тока $\bar{J}_o$ , т.е. $P_K = P'_K\ (\bar{J}_o)$.

5.8.6. Определение влияния удаления анодного заземлителя на величину защитного тока обсадной колонны.

5.8.6.1. При экспериментальном установлении зависимости $j = j'(\bar{J}_o)$ анодной заземлитель размещают на некотором конечном удалении от устья скважины $\ell_a^3$ , а фактические $\ell_a$ на скважинах обычно бывают различными и отличающимися от $\ell_a^3$ . С целью придания зависимости $P_K = P'_K(\bar{J}_o)$ универсального характер ( т.е. независимость от $\ell_a^3$ ), в нее подставляют величину силы тока, соответствующую $\ell_a = \infty$ , с учетом формулы

$$\bar{J}_o = K_a(\ell_a^3) \cdot J_o \ , \qquad (5.8)$$

где $K_a$ ( $\ell_a^3$ ) – коэффициент, учитывающий влияние АЗ на величи-

ну защитного тока; $J_o$ - защитный ток, соответствующий $l_a = \infty$.

То есть

$$P_K = P_K' [K_a(l_a^3) \cdot J_o] = P_K(J_o) \quad (5.9)$$

5.3.6.2. Коэффициент, учитывающий влияние удаления АЗ от скважины на величину защитного тока, рассчитывается для вертикального АЗ по эмпирической формуле

$$K_a = 0{,}23 L_1^{0{,}31} l_a^{-0{,}1}, \quad (5.10)$$

где $L_1$ - глубина скважины, на которой контролируется степень защищенности колонны, м.

5.3.7. Определение зависимости силы тока СкЗ в расчете на защиту одной скважины от защитного тока обсадной колонны.

5.3.7.1. Сила тока СкЗ для защиты одной скважины при отсутствии изолирующего фланца на выкидной линии рассчитывается по формуле

$$J = K_T \cdot K_a \cdot J_o, \quad (5.11)$$

где $K_T$ - коэффициент, учитывающий потребление тока СкЗ выкидной линией, который равен

$K_T = \frac{z_K \alpha_T \, cth(\alpha_K L_K)}{z_T \alpha_K \, cth(\alpha_T L_T)} + 1$ при индивидуальной и кустовой схеме,

$K_T = \left[\frac{z_K \alpha_T \, cth(\alpha_K L_K)}{z_T \alpha_K \, cth(\alpha_T L_T)} + 1\right] \cdot ch(\alpha_T L_T)$ при групповой схеме катодной защиты; $L_K$ - длина обсадной колонны, м; $z_T$, $\alpha_T$ и $L_T$ - соответственно продольное сопротивление (Ом/м), коэффициент утечки ($м^{-1}$) и длина (м) выкидной линии; $cth(\alpha L)$ и $ch(\alpha L)$ - гиперболические котангенс и коси-

нус аргумента ( $\alpha \cdot l$ ).

В случае кустовой схемы защиты при расчете $K_т$ учитываются эквивалентные электрические параметры обсадных колонн куста ( в первом приближении можно принять:

$$z_к^э = z_к / к \;,\quad R_к^э = R_к / к \;,\quad \alpha_к^э = \alpha_к \;,$$

где к - количество скважин куста).

5.3.7.2. Коэффициенты утечки обсадной колонны и выкидной линии определяют по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{z}{R}} \quad ,м^{-1} \qquad (5.12)$$

где $z$ и $R$ - продольное (Ом/м) и переходное (Ом.м) сопротивления протяженного подземного сооружения.

5.3.7.3. Продольное сопротивление протяженного сооружения можно определить по формуле

$$z = 0{,}32 \frac{\rho_{ст}}{\delta(\mathcal{D}-\delta)} \;,\; Ом/м \qquad (5.13)$$

где $\rho_{ст}$ - удельное сопротивление трубной стали ( $\rho_{ст}$ = 0,22-0,26 Ом.мм2/м); $\delta$ - толщина стенки труб,мм; $\mathcal{D}$ - наружный диаметр труб,мм.

5.3.7.4. Переходное сопротивление выкидной линии находят решением трансцендентного уравнения

$$R_т = R_и + 0{,}37 \rho_г \lg \frac{R_т}{\mathcal{D}_т h_т z_т} \;,\; Ом м \qquad (5.14)$$

где $R_и$ - сопротивление наружной изоляции выкидной линии, Ом.м; $\mathcal{D}_т$ - диаметр,м; $h_т$ - глубина залегания выкидной линии, м; $\rho_г$ - среднее удельное сопротивление грунта в районе прохождения выкидной линии, Ом.м.

5.3.7.5. Переходное сопротивление обсадной колонны определяется решением трансцендентного уравнения

$$R_к = 0{,}31\,\rho_п \lg \frac{2\,\ell}{D_к\sqrt{t_к/R_к}}, \text{ Ом} \qquad (5.15)$$

где $\rho_п$ – среднее удельное сопротивление пластов в разрезе скважины, Ом.м;

$$\rho_п = \frac{L_к}{\sum_i^n h_i/\rho_i} \qquad (5.16)$$

5.4. Определение оптимальных параметров катодной защиты

5.4.1. В формулу (4.7) подставляют значение степени защищенности обсадной колонны, представленное в виде функции от защитного тока, т.е.

$$\bar{f}_з(I_з) = [1-P_к(I_з)]\,\bar{f}\{t_з+[1-P_к(I_з)]\cdot 0{,}54\,T\}. \qquad (5.17)$$

5.4.2. Подставив полученную функцию $\bar{f}_з(I_з)$ в формулу (4.6), находят величину снижения коррозионных отказов одной скважины в виде функции от $I_з$

$$\Delta\bar{f}(I_з) = \bar{f}(t_з+0{,}54\,T) - \bar{f}_з(I_з). \qquad (5.18)$$

5.4.3. Эксплуатационные затраты на катодную защиту можно представить в виде

$$C = \frac{8{,}76}{\eta}\cdot 0{,}8\,I_з U_м K_а K_т C_э + C_м N_к(I_з) + C_{сс}, \text{ руб/год}, \qquad (5.19)$$

где $U_м$ – максимальное напряжение на выходе СКЗ, В; $C_э$ – стоимость электроэнергии, руб/кВт.ч; $C_м$ – плата за установленную мощность, руб/кВт.год; $\eta$ – КПД катодной станции; $C_{сс}$ – затраты на обслуживание катодной установки, руб/год; $N_к(I_з)$ – полная потребляемая мощность СКЗ, приходящаяся на одну скважину, кВт;

$$N_к(I_з) = \frac{U_н I_з K_т K_в}{1000\ 2} \qquad (5.20)$$

С учетом выражения ( $I_з$ ) выражение ( 5.19) представляют в виде функции

$C_{эл}$ ( $I_з$ ) , руб/год

5.4.4. Капитальные затраты на катодную защиту одной скважины равны

$$K = C_к + C_а + C_д + C_{мн}\ ; \quad C_а = \frac{a\, C_о I_з K_в K_т \rho_г}{2\, U_{ст}}, \qquad (5.21)$$

где $C_к$ – стоимость СКЗ, руб; $C_а$ – стоимость АЗ, руб; $C_д$ – стоимость дренажных линий, руб; $C_{мн}$ – стоимость монтажа и наладки СКЗ, руб; $C_о$ – стоимость АЗ в расчете на 1м его длины, руб/м; $a$ = 1,1 для вертикального и $a$ = 1,3 для горизонтального АЗ.

Представляя величину $C_к$ в виде функции от $I_з$ , находят функцию

$K_к = K$ ( $I_з$ ), руб.

5.4.5. С учетом формулы 4.5) определяют функцию приведенных к одному моменту времени капитальных затрат.

$$K_{пр} = K(I_з) \sum_{t=0}^{n-1} (1+E_{нд})^{-i \cdot T_о} = K_{пр}(I_з) \qquad \text{, руб} \quad (5.22)$$

5.4.6. Приведенные затраты на катодную защиту одной скважины равны

$$З_{пр} = \frac{1}{T}\left[C_{эл}(I_з) B(T) + K_{пр}(I_з)\right] = З_{пр}(I_з) \qquad \text{, руб/год.}$$

5.4.7. Определяют величину сравнительной годовой экономической эффективности катодной защиты в виде функции $I_з$

$$\Theta = \frac{\Delta F(J_o)\,\beta(T)}{T}\left(C_p + q_н C_н t_p K_э\right) - З_{пр}(J_o) = \Theta(J_o) \quad \text{,руб/год} \qquad (5.23)$$

5.4.8. Оптимальную величину защитного тока находят путем решения уравнения

$$\frac{d}{dJ_o}\,\Theta(J_o) = 0. \qquad (5.24)$$

Если полученное уравнение сложно для решения, то строят график зависимости $\Theta$ ( $J_o$ ). Максимальному значению этой функции соответствует оптимальное $J_o$ .

5.4.9. Оптимальное значение расстояния между АЗ и скважиной при индивидуальной и кустовой схемах выбирают в пределах:

$l_a$ = 20 - 30м при $L_1$ = 200-600м;

$l_a$ = 30-50м при $L_1$ = 600-1200м;

$l_a$ = 50-100м при $L_1$ > 1200м.

5.4.10. Расстояние между АЗ и ближайшей скважиной при групповой схеме должно составлять не менее 100 м.

5.5. Расчет и проектирование анодного заземлителя

5.5.1. Тип анодного заземлителя ( вертикальный, горизонтальный, глубинный ) выбирается исходя из грунтовых условий (уровень грунтовых вод, распределение удельного сопротивления грунта по глубине), наличия свободных площадок в районе защищаемых скважин и близости соседних подземных сооружений, которые могут подвергаться вредному влиянию блуждающих токов, создаваемых АЗ.

5.5.2. При густой сети подземных коммуникаций в районе скважины рекомендуется применение вертикальных АЗ длиной 20 - 50м, оснащенных малорастворимыми электродами (углеграфитовыми, графитированными, ферросилидовыми).

В случае защиты одной катодной установкой нескольких скважин при высоком удельном сопротивлении верхних слоев земли и низком сопротивлении нижних слоев целесообразно сооружение глубинных АЗ длиной до 100 м.

5.5.3. При отсутствии посторонних сооружений в районе скважины радиусом 60–70 м и низком уровне грунтовых вод (ниже 20–30 м) экономически более рационально сооружение подпочвенных (вертикальных глубиной до 10 м, горизонтальных, смешанных) АЗ.

5.5.4. В грунтах с высоким средним удельным сопротивлением ( $\rho_г \geq$ 100 Омм) применение малорастворимых электродов в АЗ экономически нецелесообразно. В этих условиях рекомендуется применять углеродистые насыпные заземлители с малорастворимыми или водонепроницаемыми тоководами или стальные (чугунные) заземлители в углеродистой (коксовой, графитовой) засыпке.

5.5.5. Требуемое общее сопротивление анодного заземлителя определяется по формуле

$$R_з^{об} = \frac{0{,}8\,U_м}{J_{об}} - R_{др},\ Ом \qquad (5.25)$$

где $U_м$ – максимальное напряжение на выходе СКЗ, В; $J_{об}$ – общий ток СКЗ, А;

$$J_{об} = K_{ин} \sum_{i=1}^{n} J_i ,$$

где n – количество скважин, защищаемых катодной установкой (КУ);
$J_i$ – ток КУ для защиты одной скважины, рассчитываемый по формуле (5.11);
$R_{др}$ – сопротивление дренажных кабелей (проводов), Ом; $K_{ин}$ – коэффициент интерференции ( при индивидуальной и групповой схемах $K_{ин}$ =1, при кустовой схеме $K_{ин}$ =1,2).

5.5.6. Требуемое сопротивление одного заземлителя при сооружении нескольких АЗ, соединенных в единый контур, находят из формулы

$$R_з = N_з K_и R_з^{об},\ Ом \qquad (5.26)$$

где $N_з$ – количество заземлителей ; $K_и$ – коэффициент использования, определяемый из приложения 4.

5.5.7. Сопротивление заземлителя, установленного вертикально в грунте, рассчитывают по формуле

$$R_з = 0{,}3\,\frac{\bar{\rho}_r}{\ell}\left(\lg\frac{2\ell}{d_э} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t+3\ell}{4t+\ell}\right), \text{ Ом} \qquad (5.27)$$

где $\bar{\rho}_r$ – среднее удельное сопротивление грунта в районе заземлителя, Ом.м; $\ell$ – длина рабочей части заземлителя, м; $d_э$ – диаметр электродов заземлителя ,м; $t$ – заглубление заземлителя – расстояние от поверхности земли до верхнего торца заземлителя,м;

При $t \approx 0$

$$R_з = 0{,}3\,\frac{\bar{\rho}_r}{\ell}\lg\frac{4\ell}{d_э}, \text{ Ом}. \qquad (5.28)$$

5.5.8. Сопротивление горизонтального заземлителя определяют из выражения

$$R_з = 0{,}3\,\frac{\bar{\rho}_r}{\ell}\left(\lg\frac{2\ell}{d_э} + \lg\frac{\ell+\sqrt{\ell^2+16h_э^2}}{4h_э}\right), \text{ Ом} \qquad (5.29)$$

где $h_э$ – глубина залегания электродов заземлителя ( расстояние от поверхности земли до середины электрода),м.

5.5.9. Если электроды заземлителя установлены в углеродистой засыпке, то в формулах (5.27),(5.28) и (5.29) вместо $d_э$ подставляют диаметр засыпки(сопротивлением самой углеродистой засыпки можно пренебречь) .

5.5.10. Сопротивление насыпного углеродистого заземлителя с равномерно распределенными по длине заземлителя токовводами рассчитывают по формуле

$$R_з = \frac{z_з}{\alpha_з n_т}\,\frac{ch\left(\frac{\alpha_з \ell}{2n_т}\right)}{sh(\alpha_з \ell)}\sum_{i=0}^{n_т-1} ch\left[(2i+1)\,\frac{\alpha_з \ell}{2n_т}\right], \text{ Ом} \qquad (5.30)$$

где $z_з$ и $\alpha_з$ – соответственно продольное сопротивление (Ом/м) и коэффициент утечки ($м^{-1}$) насыпного заземлителя ; $n_т$ – количество токовводов ;

$$z_з = \frac{\rho_к}{S_к}\,; \quad \alpha_з = \sqrt{\frac{z_з}{R_{пз}}}\,, \qquad (5.31)$$

где $\rho_к$ – удельное сопротивление углеродистой мелочи,Ом.м;

$S_к$ – площадь поперечного сечения насыпного электрода, м$^2$;

$R_{нз}$ – переходное сопротивление насыпного заземлителя, рассчитываемое по формуле

$$R_{нз} = 0{,}37\,\bar{\rho}_г \lg \frac{\ell^2}{h_э \sqrt{S_к}} \quad \text{,Ом} \qquad (5.32)$$

5.5.10.1. Оптимальное количество токовводов насыпного заземлителя ориентировочно можно определить из эмпирической формулы

$$n_т = 1{,}3\,\alpha_з \ell,$$

тогда сопротивление насыпного заземлителя можно рассчитать по упрощенной полуэмпирической формуле

$$R_з = \frac{0{,}46\,z_з}{\alpha_з^2 \ell} \cdot \frac{\exp(1{,}03\,\alpha_з \ell)}{\operatorname{sh}(\alpha_з \ell)} \quad \text{,Ом}. \qquad (5.33)$$

5.5.10.2 Насыпной АЗ может быть собран из упакованных в стальной кожух насыпных электродов. В этом случае каждый такой электрод оснащается одним токовводом, размещенным в середине электрода в горизонтальных АЗ и в верхней части электрода в вертикальных АЗ.

5.5.11. Формулы (5.26) – (5.33) используют для решения обратной задачи: по требуемому сопротивлению рассчитывают параметры заземлителей ( $\ell, t, S_к, n_т$ ) и их количество $N_з$.

5.5.12. Кроме расчета анодного заземлителя по сопротивлению растеканию производится расчет суммарной массы электродов по сроку службы, который должен быть не меньше срока службы всей системы, по формуле

$$M = 1{,}3\,J_{ср} \cdot q \cdot T_р \text{ , кг} \qquad (5.34)$$

где $T_р$ – расчетный срок службы заземлителя, год; $q$ – скорость анодного растворения (разрушения) материала электродов, кг/А·год (см. приложение 5).

5.5.12.1. В послойно неоднородных грунтах расчет массы электродов по формуле (5.34) дает заниженный результат, из-за чего расчетный срок службы АЗ не достигается. В таких условиях расчет следует вести по формуле

$$m_0 = 1{,}3\,J_{max} \cdot q \cdot T_р \text{ ,} \qquad (5.35)$$

где $m_o$ – масса I пог.м электрода, кг/м ; $j_{max}$ – максимальная плотность тока утечки с электрода, А/м ;

$$j_{max} = \mathcal{J}_з / \left(\rho_{min} \sum_{i=1}^{m} \frac{h_i}{\rho_{ri}}\right), \qquad (5.36)$$

где $\rho_{min}$ – минимальное удельное электросопротивление грунта в интервале АЗ, определяемое по данным ВЭЗ или бокового каротажа, Ом·м ; $h_i$ , $\rho_{ri}$ – толщина (м) и удельное электросопротивление (Ом·м) $i$ – го слоя грунта ; $m$ – количество слоев в интервале АЗ ; $\mathcal{J}_з$ – сила тока, стекающего с данного АЗ, А..

5.5.I3. Требуемая мощность на выходе СКЗ зависит от величины общего защитного тока и максимального напряжения на выходе и определяется по формуле

$$N = \mathcal{J}_{об} \cdot U_м \text{ , Вт.} \qquad (5.37)$$

По мощности и максимальному напряжению на выходе выбирается тип СКЗ из приложения 6.

## 5.6. Исключение вредного влияния блуждающих токов катодных установок скважин на соседние сооружения

5.6.I. Вредное влияние блуждающих токов, создаваемых катодными установками скважин, на коррозионное состояние соседних сооружений ( трубопроводов, бронированных кабелей) характеризуется появлением на них анодных зон ( участков выхода блуждающих токов из сооружения), где истинная плотность тока утечки составляет более I00 мА/м$^2$. При такой плотности тока скорость коррозии стального сооружения увеличивается сверх естественной примерно на 0,I мм/год.

5.6.2. Для предотвращения вредного влияния катодной защиты на посторонние сооружения более рационально применение технологических мероприятий: выбор типа и конструкции АЗ, соблюдение безопасного расстояния между АЗ и посторонним сооружением.

5.6.3. Выбор безопасного расстояния между АЗ и посторонним сооружением в зависимости от параметров системы катодной защиты и типа и размеров АЗ при $\rho_T > 20$ Ом·м производится по кривым приложения 7.

5.6.4. В общем случае безопасное расстояние между АЗ и протяженным подземным металлическим сооружением определяется путем решения следующих уравнений:

– для вертикального АЗ

$$j_T^u(x) = \frac{J_3 \rho_T \beta}{2\pi^2 D_T R_T} \left\{ \alpha_T \left(1 - e^{-\alpha_K L_K}\right) \Omega[\alpha_T x; \alpha_T C_1] - \alpha_K \Omega[0; \alpha_K \bar{X}_1] - \alpha_T \Omega[\alpha_T (x - x_a); \alpha_T C_2] + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{\ell} \ell n \left(t + \ell + \bar{X}_2\right) / \left(t + \bar{X}_1\right) \right\}; \qquad (5.38)$$

– для горизонтального АЗ ( независимо от ориентации АЗ относительно сооружения)

$$j_T^u(x) = \frac{J_3 \rho_T \beta}{2\pi^2 D_T R_T} \left\{ \alpha_T \left(1 - e^{-\alpha_K L_K}\right) \Omega[\alpha_T x; \alpha_T C_1] - \alpha_K \Omega[0; \alpha_K \bar{X}_1] - \right.$$
$$\left. - \alpha_T \Omega[\alpha_T (x - x_a); \alpha_T B_a] + \frac{1}{\ell} \ell n \frac{B_a + 0{,}5\ell + \bar{X}_4}{B_a - 0{,}5\ell + \bar{X}_5} \right\}, \qquad (5.39)$$

где $C_1^2 = B_c^2 + (0{,}5 L_K)^2$; $C_2^2 = B_a^2 + (t + 0{,}5\ell)^2$;

$\bar{X}_1^2 = x^2 + B_c^2$; $\bar{X}_2^2 = (t + \ell)^2 + (x - x_a)^2 + B_a^2$;

$\bar{X}_3^2 = t^2 + (x - x_a)^2 + B_a^2$; $x_a^2 = \ell_a^2 - (B_c - B_a)^2$;

$\bar{X}_4^2 = (B_a + 0{,}5\ell)^2 + (x - x_a)^2$; $\bar{X}_5^2 = (B_a - 0{,}5\ell)^2 + (x - x_a)^2$;

$j_T^u(x)$ – истинная плотность тока утечки с поверхности сооружения, А/м$^2$;

$J_3$ – сила тока, стекающего с АЗ, А; $\beta$ – коэффициент неравномерности утечки тока с поверхности сооружения; Вс – ближайшее расстояние между скважиной и сооружением, м; Ва – ближайшее расстояние между АЗ и сооружением, м (остальные обозначения см. выше; индексы "Т" буквенных обозначений в формулах (5.38) и (5.39) соответствуют сооружению, плотность тока на котором рассчитывается).

Расчетная схема, использованная при выводе формул (5.38) и (5.39), и характер распределения плотности тока на трубопроводе приведены в приложении 8.

5.6.4.I. При решении уравнения (5.38) и (5.39) вручную пользуются табулированными значениями специальной функции Зунде $\Omega[u;v]$, а при использовании ЭВМ эту функцию представляют в виде

$$\Omega[u;v]=\frac{1}{2}\left[e^{-u}\int_{-u}^{\infty}\frac{e^{-\tau}d\tau}{\sqrt{\tau^2+v^2}}+e^{u}\int_{u}^{\infty}\frac{e^{-\tau}d\tau}{\sqrt{\tau^2+v^2}}\right].$$

Значения функции Зунде приведены в книгах: Стрижевский И.В. Теория и расчет дренажной и катодной защиты магистральных трубопроводов от коррозии блуждающими токами М.,Гостоптехиздат,1963,стр.212-221 ; Защита подземных металлических сооружений от коррозии. Справочник.М., изд.МКХ РСФСР,1959,стр. 266-267.

5.6.4.2. Коэффициент неравномерности утечки для неизолированных сооружений принимают равным IO, а для изолированных сооружений рассчитывают по формуле

$$\beta=\frac{1}{\gamma}=\frac{2\pi_T R_u}{\rho_T \delta_u}, \qquad (5.40)$$

где $\gamma$ – коэффициент оголенности изоляционного покрытия ;

$R_u$ – сопротивление покрытия,Ом·м ; $\delta_u$ – толщина покрытия,м.

5.6.5. В расчетах и полевых измерениях блуждающих токов следует иметь в виду, что анодные зоны на подземном трубопроводе, находящемся в зоне влияния катодно-защищаемой скважины, образуются на расстоянии 200-600 м от точки трубопровода,наиболее близко расположенной к АЗ, по обе стороны от этой точки (т.е. при X= -(200-600) м и X=300-700 м). Причем максимальное значение плотности блуждающих токов в анодной зоне наблюдается на расстоянии 200-600 м от указанной точки в направлении скважины (т.е. при X= - (200-600) м). На участке трубопровода,непосредственно прилегающим к АЗ, расположена катодная зона, где блуждающие токи оказывают только защитное действие (см.приложение 8).

5.6.6. В случае, если выбранное безопасное расстояние при принятых параметрах катодной защиты выдержать для отдельных скважин невозможно, то допускается увеличение длины $\ell$ или заглубления $t$ заземлителя до тех значений, при которых максимальная истинная плотность тока в анодной зоне станет не более 100 мА/м$^2$.

5.6.7. Степень коррозионного влияния блуждающих токов на подземные трубопроводы контролируют по величине смещения потенциала трубы в сторону менее отрицательных от естественного значений, измеренного относительно электрода сравнения, отнесенного от оси трубопровода на расстояние 50-100 м.

5.6.8. Допустимое смещение потенциала в положительную сторону, при котором вредное влияние блуждающих токов ниже допустимого уровня, рассчитывают по формуле

$$\Delta U_{доп} = 0{,}15\left[\delta_u - 1{,}532 + 8 \lg\left(\alpha_т \sqrt{2_т \cdot h_т}\right)\right] \cdot \rho_г, \ В \qquad (5.41)$$

где $h_т$ – глубина залегания трубопровода, м.

5.6.8.1. Для трубопроводов с низким качеством наружного изоляционного покрытия ( $R_u \leq$ 100 Ом.м), характерных для нефтепромыслов, допустимое смещение потенциала можно рассчитать по упрощенной формуле

$$\Delta U_{доп} = 0{,}002 \cdot \rho_г, \ В \qquad (5.42)$$

5.6.9. В случае, если смещение потенциала постороннего сооружения превышает указанного в п.п. 5.6.8., то сооружение включают в совместную защиту со скважиной или на нем устраивают катодную защиту, которые должны обеспечить, как минимум, ликвидацию анодных зон, т.е. участков с положительным смещением потенциала.

5.6.9.1. Для осуществления совместной защиты трубопровода с защищаемой скважиной трубопровод соединяют с отрицательным полюсом СКЗ или с обсадной колонной ( в зависимости от расстояний) через

регулируемый резистор. Изменением сопротивления резистора и силы тока СКЗ добиваются полного устранения анодных зон на трубопроводе. При этом т[illegible], ответвляемый к обсадной колонне, не должен уменьшаться по сравнению с проектной величиной более чем на 20%. В противном случае сооружают дополнительный анодный заземлитель и устанавливают более мощную СКЗ.

5.6.9.2. В случае, если совместная защита постороннего трубопровода с обсадной колонной потребует значительного дополнительного увеличения тока и мощности СКЗ, то трубопровод снабжают самостоятельной катодной защитой. Параметры катодной защиты определяют опытным путем. При этом величина защитного тока должна обеспечить, как минимум, ликвидацию анодных зон на трубопроводе. Анодный заземлитель самостоятельной катодной установки размещают на удалении не менее 100 м от трубопровода.

## 6. СТРОИТЕЛЬСТВО СИСТЕМЫ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

### 6.1. Монтаж станций катодной защиты

6.1.1. Станция катодной защиты монтируется на специальной опоре (фундаменте) или трансформаторной подстанции в соответствии с типовым проектом (см. приложение 9).

Все отклонения от проектной документации допускаются лишь при предварительном согласовании с проектирующей организацией.

6.1.2. Рекомендуется высота установки СКЗ 1,4-1,7 м от поверхности земли. Станцию необходимо устанавливать строго вертикально (допустимое отклонение не более $2^{\circ}$).

6.1.3. Отверстия в кожухе СКЗ для прохода проводов и кабелей необходимо снабдить изолирующими втулками.

6.1.4. Концы кабелей, вводимых в СКЗ, защищают от механических повреждений трубами или коробками, нижняя часть которых углублена в землю на 0,4-0,5 м.

6.I.5. Если СКЗ монтируется на специальной опоре (фундаменте), то корпус ее заземляется в общий контур заземления на скважине в соответствии с требованиями ПУЭ ( правил устройства электроустановок).

6.I.6. Станция катодной защиты должна подключаться к сети переменного тока через отдельный автоматический выключатель типа АП-50-2 или рубильник, кабелем АВРБ 2х4 мм$^2$ или любым подобным.

6.2. Строительство анодных заземлителей

6.2.I. Требования, предъявляемые к анодным заземлителям.

6.2.I.I. Анодный заземлитель должен сооружаться согласно проекту кат дной защиты.

6.2.I.2. При выборе места для сооружения анодного заземлителя следует руководствоваться следующими условиями:

а) расстояние до защищаемой скважины согласно п.п.5.4.9;

б) расстояние до ближайшего постороннего сооружения, не имеющего непосредственной металлической связи с защищаемой скважиной, должно соответствовать п.п. 5.6.3;5.6.4;

в) расстояние до собственной выкидной линии ( водовода) эксплуатационной (нагнетательной) скважины не менее 20 м ;

г) с целью уменьшения затрат на строительство дренажных линий заземлитель должен размещаться по возможности ближе к источнику переменного тока ( трансформаторной подстанции);

д) при прочих одинаковых условиях предпочтение отдается более влажным участкам местности с низким удельным сопротивлением грунта и высоким уровнем грунтовых вод.

6.2.I.3. Анодный заземлитель должен обладать сроком службы не менее I0 лет и сопротивлением согласно пп. 5.5.5, которое к концу срока службы не должно увеличиваться более, чем на 20%.

6.2.I.4. После окончания строительства анодного заземлителя устанавливается пикет с надписью "Анодный заземлитель" с указанием ближайшего расстояния и направления от анодного заземлителя до скважины.

6.2.I.5. Пикет устанавливается на расстоянии 0,5 м от центра шурфа, если анодный заземлитель находится не на линии. В противном случае пикет устанавливается на линии "скважина"–анод" по возможности в ближайшей от анода точке.

6.2.I.6. В паспорт катодной установки заносятся координаты анодного заземлителя относительно скважины.

6.2.2. Бурение шурфов под вертикальный анодный заземлитель.

6.2.2.I. Бурение шурфа для анодного заземлителя производится буровой установкой (УРБ-3М, УРБ-2А, УГБ-50А, УГБ-50М и др.).

6.2.2.2. Глубина шурфа берется на 3-5 м больше, чем расчетная длина анодного заземлителя плюс расчетное заглубление.

6.2.2.3. Диаметр скважины определяется в пределах I6I-243 мм в зависимости от диаметра электродов и устойчивости грунта и в случае сыпучих грунтов, укрепление которых невозможно, обсаживается стальными трубами диаметром I27-I94 мм, толщиной стенки 5-8 мм, соединенными между собой сваркой.

6.2.2.4. Затрубное пространство обсадной колонны заполняется песком или загущенным глинистым раствором для уменьшения переходного сопротивления.

6.2.2.5. В случае, если разрез скважины сложен устойчивыми породами, обсаживание не производится.

6.2.3. Сборка и спуск в скважину вертикального анодного заземлителя из графитопластовых электродов типа ЭГТ.

6.2.3.1. Шурф должен быть очищен от выбуренных пород и заполнен буровым глинистым раствором для предотвращения обвала породы в период монтажа и спуска анодного заземлителя.

6.2.3.2. Сборка и спуск анодного заземлителя производится последовательно и, в случае необсаженной скважины, непосредственно после окончания бурения.

6.2.3.3. Перед началом работ подготовить соединительные и дополнительный провода, крепежные детали (болты, гайки, шайбы), битумную мастику, инструмент и необходимое количество электродов и соединителей-токовводов.

6.2.3.4. Соединительные провода сечением 6 мм$^2$ берутся на 250мм длиннее электрода и оконцовываются медными кабельными трубчатыми наконечниками серии Т. Дополнительный провод берется сечением, равным сечению дренажного кабеля (провода), и длиной на 2 м больше, чем расчетное заглубление. Один конец дополнительного провода оконцовывается медным трубчатым наконечником серии Т.

6.2.3.5. На первом электроде, на расстоянии 200 мм от торцевой поверхности, закрепляют элеватор и посредством подъемного механизма электрод спускают в шурф.

6.2.3.6. Вручную ввертывают соединитель-токоввод в электрод до упора, причем клеммный элемент должен быть направлен против направления спуска электродов, и закрепляют соединительный провод на клеммном элементе соединителя-токоввода посредством болта М6х45.58.09 ГОСТ 7798-70.

6.2.3.7. Устанавливают на соединитель-токоввод кольцо и горячим битумом заливают внутреннюю полость кольца до полного заполнения. Категорически запрещается заливать кольцо застывшей битумной мастикой во избежание образования пустот и каналов в массе, по которым возможно проникновение электролита к контактному соединению.

6.2.3.8. Закрепив элеватор, поднимают второй электрод, пропускают через него соединительный провод от первого электрода и наворачивают вручную на соединитель-токоввод.

6.2.3.9. Снимают первый элеватор и под действием собственного веса спускают колонну электродов в шурф. Механическое ударное воздействие на электроды не допускается.

6.2.3.10. Второй соединитель токоввод ввертывают в электрод согласно п. 6.2.3.6, при этом соединительный провод от первого электрода пропускают через отверстие в теле соединителя-токоввода.

6.2.3.11. Закрепив на клеммном элементе совместно с первым соединительным проводом следующий, производят изоляцию места соединения согласно п.п. 6.2.3.7.

Далее процесс монтажа электродов анодного заземлителя выполняется согласно вышеуказанной методике.

6.2.3.12. Для соединения анодного заземлителя с дренажным кабелем на последнем соединителе-токовводе закрепляют дополнительный провод.

6.2.3.14. Сняв элеватор, производят полный спуск анодного заземлителя под действием собственного веса. Заглубление электродов заземлителя должно быть по проекту, но не менее 2 м от дневной поверхности. В случае невозможности заглубления колонны электродов, необходимо защитить ее верхнюю часть металлическим кожухом.

Схема анодного заземлителя дана в приложении 10.

6.2.4. Заполнение заэлектродного пространства вертикального заземлителя.

6.2.4.1. В случае сооружения вертикальных заземлителей пространство между электродами и стенкой скважины - заэлектродное пространство - должно заполняться электропроводящим составом.

6.2.4.2. Заполнение заэлектродного пространства производится с целью увеличения срока службы заземлителя и снижения переходного сопротивления "заземлитель-грунт".

6.2.4.3. При незаполнении заэлектродного пространства эффективно работает лишь та часть заземлителя, которая находится ниже уровня естественных грунтовых вод. При этом проектные сопротивление и срок службы заземлителя не достигаются.

6.2.4.4. Для заполнения заэлектродного пространства заземлителей в скважинах глубиной до 10 м применяют коксовую мелочь по ГОСТ 8204-63 ( или ЧМТУ 2834-51).

6.2.4.5. В сухие скважины коксовую мелочь засыпают в сухом виде небольшими порциями во избежание образования пробок.

При наличии в скважине жидкости коксовую мелочь предварительно смачивают соленой водой с добавлением синтетического моющего средства из расчета 50 г на 10 кг коксовой мелочи.

После бурения скважины производят промывку ее чистой водой с целью вытеснения из нее глинистого раствора.

6.2.4.6. Для заполнения заэлектродного пространства в глубоких скважинах (более 10 м) применяют специальные электропроводящие составы, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

а) возможность закачки в скважину буровым насосом через систему промывки буровой установки ;

б) приобретение неподвижного состояния через 0,5-1 сутки после закачки в скважину во избежание потеснения жидкой фазы грунтом ;

в) высокая газопроницаемость в неподвижном состоянии;

г) удельное электросопротивление в неподвижном состоянии не более 50 Ом.м;

д) низкая скорость анодного растворения материала электрода, работающего в контакте с ним ;

е) стабильность свойств во время работы заземлителя.

6.2.4.7. Этим требованиям в наибольшей мере отвечают составы содержащие глинопорошок,тампонажный цемент,полимерные или другие загустители,коксовую или графитовую пыль и воду.

6.2.4.8. Заполнение скважины составами производится сразу же по окончании бурения и промывки ее водой или глинистым раствором до спуска электродов.

6.2.4.9. При применении специальных жидких составов электроды спускают в скважину после заполнения ее расчетным объемом выбранного состава, который определяют по формуле

$$V_c = 0{,}785\, K_з \cdot D_д^2 \cdot H_з \quad ,м^3$$

где $K_з$- коэффициент запаса ( $K_з$=I,5-2); $D_д$ - диаметр долота,м ; $H_з$- глубина заземлителя,м.

6.2.5. Строительство горизонтальных анодных заземлителей из графитопластовых электродов типа ЭГТ (см.приложение IO,рис.П.IO.Iа).

6.2.5.I. Глубина траншеи для заземлителя должна быть ниже уровня промерзания грунта, характерного для данного района.

6.2.5.2. Количество электродов и длина траншеи должны соответствовать проектным данным.

6.2.5.3. Графитопластовые электроды укладывают в один или несколько рядов ( в зависимости от требуемой массы электродов) на дно траншеи и соединяют между собой проводом сечения 6-8 $мм^2$.Перед укладкой электродов необходимо разровнять дно траншеи.

6.2.5.4. Соединительные провода берутся на I м больше длины двух электродов.

6.2.5.5. Сборка электродов заземлителя (см.приложение 10, рис. П.10.2).

6.2.5.5.1. В первый электрод вворачивают соединитель-токоввод до упора и закрепляют соединительный провод на клеммном элементе болтом М6х45.58.09 ГОСТ 7798-70.

6.2.5.5.2. Поставив электрод вертикально и установив кольцо на соединителе-тоководе, заливают внутреннюю полость горячим битумом до полного заполнения.

6.2.5.5.3. Наворачивают на соединитель-токоввод в горизонтальном положении второй электрод, пропустив через него соединительный провод от первого электрода.

6.2.5.5.4. Пропускают соединительный провод от первых двух электродов через третий и вворачивают в него соединитель-токоввод, при этом провод пропускают через отверстие в теле соединителя-токоввода.

6.2.5.5.5. Закрепляют на клеммном элементе совместно с первым соединительным проводом следующий и производят изоляцию места соединения согласно пп. 6.2.5.5.2.

6.2.5.5.6. Наворачивают на соединитель-токоввод следующий электрод (п.п. 6.2.5.5.4) и далее продолжают монтаж согласно вышеуказанной методике.

6.2.5.6. Для соединения заземлителя с дренажным кабелем на последнем соединителе-токоввода закрепляют дополнительный провод длиной 6 м и сечением, равным сечению дренажного кабеля.

6.2.5.7. По окончании монтажных работ, во избежании механического разрушения, электроды присыпают мягким грунтом слоем 0,2 м вручную.

6.2.6. Строительство насыпных горизонтальных анодных заземлителей.

6.2.6.I. Рабочим телом насыпного горизонтального анодного заземлителя служит углеродистая (коксовая, графитовая) мелочь фракции 0-I0 мм с удельным сопротивлением не более 0,25 Ом.м.

6.2.6.2. Поперечное сечение углеродистой засыпки должно быть 0,I6-0,I8 м$^2$, т.е. при ширине траншеи равной 0,8 м, высота засыпки лежит в пределах 0,20-0,22 м. В случае применения упакованных насыпных электродов с одним токовводом в каждом электроде длиной I,5-2,5 м сечение углеродистой мелочи находится в пределах 0,04-0,08 м$^2$.

6.2.6.3. В качестве токовводов используются графитопластовые электроды типа ЭГТ, длиной I,0-2,5 м.

6.2.6.4. Токовводы располагаются равномерно по длине траншеи и в центре засыпки ( см.приложение I0, рис.П.I0.I6); количество токовводов определяются согласно пп. 5.5.I0.I.

6.2.6.5. Токовводы соединяют между собой проводом сечения 6-8 мм$^2$ и длиной на 0,5 м больше расстояния между центрами токовводов.

6.2.6.6. Соединение проводов с телом токоввода осуществляют посредством соединительной муфты, ввернчиваемой в токоввод до упора (см.приложение I0, рис.П.I0.3).

6.2.6.7. Соединительную муфту изготавливают из соединителя-токоввода, входящего в комплект поставки электродов ЭГТ (см.приложение I0, рис.П.I0.4).

6.2.6.8. Провода крепятся к соединительной муфте болтом М8х75.58.09 IOCT 7798-70 через одно из отверстий в теле муфты.

6.2.6.9. Места соединений проводов с муфтой изолируются битумной мастикой. При этом необходимо установить токоввод вертикально.

6.2.6.10. Для соединения анодного заземлителя с дренажным кабелем к последнему токовводу крепится дополнительный провод длиной 3,0-3,5 м и сечением, равным сечению дренажного кабеля.

6.2.6.11. По окончании монтажных работ углеродистую мелочь присыпают мягким грунтом вручную и, после чего, траншею засыпают.

6.2.7. Контроль качества строительства анодных заземлителей.

6.2.7.1. Контроль качества строительства анодных заземлителей ведут в процессе монтажа и спуска электродов.

6.2.7.2. Длина анодного заземлителя и заглубление должны соответствовать проектным данным.

6.2.7.3. Особые требования предъявляются к качеству изоляции металлических частей анодного заземлителя, т.к. они находятся под положительным потенциалом относительно грунта и при недостаточно высоком качестве изоляции в процессе эксплуатации подвергаются электрокоррозии стекающим с них током.

6.2.7.4. Основным параметром качества строительства является сопротивление заземлителя, которое не должно превышать расчетного более чем на 20%.

Сопротивление заземлителя измеряется приборами МС-08 или М-416 с использованием обсадной колонны в качестве вспомогательного электрода с нулевым сопротивлением.

6.3. Строительство кабельных линий

6.3.1. Производят разбивку и планировку трассы под кабельные линии.

6.3.2. Рытье траншей производят механизированным способом (баровой машиной БРТ-100 М, экскаваторами Э-153, ЭТН-124, ЭТЦ-161, установкой УКС и т.д.); глубина траншей 0,8 м.

6.3.3. После подготовки траншеи укладывают кабель (провод), предусмотренный проектом. Возможно использование кабелей (проводов) других марок подходящего сечения (отработанный кабель КРПК и т.п.), имеющих поливинилхлоридную или полиэтиленовую оболочку и изоляцию жил.

6.3.4. Производят засыпку траншеи и планировку трассы.

6.3.5. Концы дренажных проводов (кабелей) оконцовывают наконечниками серии Т.

6.3.6. Производят присоединение проводов (кабелей) к обсадной колонне, анодному заземлителю и станции катодной защиты.

6.3.7. Присоединение дренажного кабеля к обсадной колонне производят с помощью приваренного к ней или кондуктору болта. Разрешается временно, до первого капитального или подземного ремонта на скважине, присоединять дренажный кабель к шпильке нижнего фланца устьевой арматуры или непосредственно к обсадной колонне контактным хомутом (зону крепления контактного хомута зачищают и покрывают техническим вазелином).

6.3.8. Присоединение дренажного кабеля к дополнительному проводу анодного заземления производят опрессовкой гильзами, серии ГМ, причем сечения их должны быть равны.

6.3.9. Особое внимание следует уделять качеству изоляции места соединения дренажного кабеля с анодным заземлителем во избежании растворения контакта и жил кабеля под действием анодного тока.

6.3.10. Место соединения дренажного кабеля и дополнительного провода АЗ изолируют горячим битумом с использованием муфты или пластмассового патрубка ( полиэтиленового, винипластового и т.д.) с внутренним диаметром 50-60 мм и длиной 150-200 мм.

## 6.4. Требования к качеству строительства системы катодной защиты

6.4.1. От качества строительства системы катодной защиты в полной мере зависит ее эффективность, а также вредное влияние, оказываемое на посторонние подземные сооружения.

6.4.2. Работы по строительству системы катодной защиты подлежат обязательной приемке от строительно-монтажных организаций по мере выполнения отдельных этапов монтажных работ и после окончания всех работ.

6.4.3. Промежуточной приемке с составлением актов на скрытые работы подлежат:

а) защитные и анодные заземлители ;

б) провода и кабели, прокладываемые в земле.

6.4.4. Окончательная приемка производится после выполнения всех монтажных работ и проведения измерений параметров СКЗ, разности потенциалов "Сооружение-земля", а также параметров анодного заземлителя ( сопротивления, удаления от скважины и других подземных сооружений).

6.4.5. Для приемки работ создается комиссия, которая после ознакомления с представленной строительно-монтажной организацией исполнительной документацией, должна проверить эффективность действия катодной защиты.

6.4.6. В состав исполнительной документации входят:

а) схемы включения СКЗ и рабочие чертежи на устройство защиты, скорректированные строительно-монтажной организацией в соответ-

ствии с фактическим выполнением монтажных работ ;

б) акты на выполнение скрытых работ ( сооружение анодных и защитных заземлителей,прокладка кабелей в траншее) ;

в) паспорта на СКЗ ( приложение II) ;

г) результаты наладки СКЗ ;

6.4.7. В акте приемной комиссии должны быть указаны недостатки принимаемых работ ( если они имеются), а также пути и сроки их устранения.

6.4.8. Акт должен быть утвержден лицом,назначившим эту комиссию.

6.4.9. Строительно-монтажные организации,выполнившие монтажные работы, несут ответственность за качество работ и после приемки системы катодной защиты в эксплуатацию и обязаны в действующие гарантийные сроки устранить за их счет выявленные в процессе эксплуатации дефекты ( если последние допущены строительно-монтажной организацией).

## 7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМЫ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

7.1. Для эксплуатации системы катодной защиты предусматривается служба с персоналом, имеющим специальную подготовку и квалификацию по технике безопасности не ниже III группы.

7.2. В задачу службы катодной защиты входят:

а) эксплуатация защитных устройств;

б) согласование проектируемых защитных мероприятий;

в) согласование режимов работы установок совместной защиты с заинтересованными организациями;

г) обследование коррозионного состояния и контроль степени защищенности всех подземных сооружений;

д) прием в эксплуатацию новых систем катодной защиты;

е) контроль за строительством новых систем катодной защиты.

7.3. Перед вводом в эксплуатацию системы катодной защиты производят следующие пуско-наладочные работы.

7.3.1. Замеряют естественную разность потенциалов "обсадная колонна - земля" переносным высокоомным милливольтметром с входным сопротивлением не менее 20 кОм/В по отношению к насыщенному медносульфатному электроду сравнения (МЭС).

При измерениях МЭС ставят в увлажненную лунку на расстоянии 0,5м от обсадной колонны скважины, причем пористая часть МЭС должна иметь контакт с грунтом по всей площади. Для замеров рекомендуются приборы типа УКИП-73, М 231 и др.

Применяются МЭС типа ЭН-1 НМ-СЭ-58, МЭП-1-АКХ, МЭП-2-АКХ, МЭП-3-АКХ. Удобным и долговечным является МЭС конструкции ТатНИПИнефть, который легко изготовить, используя медный стержень от МЭС типа ЭН-1, имеющего низкий срок службы ( приложение 12 ).

7.3.2. Производят внешний осмотр и проверку надежности всех электрических соединений станции катодной защиты.

7.3.3. Путем "прозвонки" проверяют целостность дренажных линий и производят пробное включение СКЗ.

7.3.4. Устанавливают необходимую величину защитного тока по амперметру и замеряют разность потенциалов "колонна-МЭС" с целью проверки полярности кабеля катодной цепи (отрицательный потенциал колонны должен возрастать, например, с - 0,7 В до - 0,95 В). При этом МЭС подключают к положительной клемме прибора, а обсадную колонну - к отрицательной.

7.4. В процессе эксплуатации служба катодной защиты проводит технический осмотр, текущий и средний ремонты установок катодной защиты по графикам, утвержденным главным инженером предприятия из расчета: технический осмотр СКЗ-1 раз в месяц, текущий ремонт - 1 раз в три месяца, средний ремонт - 1 раз в год.

7.5. При техническом осмотре производят:

а) внешний осмотр всех элементов катодной установки;

б) очистку корпуса СКЗ снаружи и внутри;

в) проверку параметров катодной защиты.

7.5.1. При проверке параметров измеряют ток и напряжение СКЗ, токи, распределяемые по скважинам ( в случае защиты нескольких скважин одной катодной установкой) и потенциалы обсадных колонн ( суммарный и в момент кратковременного отключения СКЗ - поляризационный ) на устье скважин.

7.5.2. Обслуживание станций катодной защиты производят в соответствии с инструкциями завода-изготовителя.

7.5.3. Среднее значение силы тока СКЗ не должно отличаться более чем на 20% от силы тока, установленного при пуско-наладочных работах.

7.5.4. Если регулировочная СКЗ не имеет [illegible]

ную силу тока, то необходимо выяснить причину его изменения.

Причинами могут быть изменение напряжения в цепи переменного тока, или выпрямленного напряжения, а также изменение сопротивления в цепи катодной установки ( сопротивления заземлителя, обрыв дренажных кабелей).

7.5.5. Резкое снижение силы тока свидетельствует либо об ухудшении контактных соединений линии, либо об ухудшении контактных соединений АЗ или существенном растворении электродов АЗ. В первом случае устраняют дефекты в контактах, во втором строят новый заземлитель ( если поврежденный элемент находится ниже 2м от поверхности земли).

7.5.6. Разность потенциалов на устье скважины должна быть по абсолютной величине не менее 0,95-1,0 В в момент кратковременного (5 сек) отключения тока. В случае меньшей разности потенциалов необходимо увеличить силу тока СКЗ до значения, обеспечивающего необходимую разность потенциалов (повторное измерение потенциала производят спустя 5-10 суток после изменения тока).

7.6. Численность обслуживающего персонала службы катодной защиты определяется из расчета обслуживания одним монтером катодной защиты 40 СКЗ ( в зависимости от местных условий эта норма может меняться). Минимальная численность электромонтеров, обслуживающих и производящих мелкий ремонт СКЗ на скважинах, должна составлять не менее 2 человек.

7.7. Для каждой катодной установки кроме паспорта необходимо иметь журнал контроля ее работы ( приложение 18), в который заносят результаты технического контроля, осмотра, измерений и регистрируют все ремонты.

7.8. В процессе длительной эксплуатации системы катодной

защиты степень защищенности обсадных труб может изменяться. Поэтому регулярно (через 10-15 лет) необходимо уточнять величину защитного тока обсадной колонны для каждой группы скважин.

7.9. Для выявления наличия блуждающих токов в посторонних сооружениях замеряют разность потенциалов "металлическое протяженное сооружение - земля" относительно медносульфатного электрода сравнения, размещенного на расстоянии не менее 50 м от сооружения. Точки измерения потенциала выбираются в интервале 200-600 м от перпендикуляра, опущенного от анодного заземлителя на протяженное сооружение (трубопровод, кабель с металлической броней и оболочкой), по обе стороны от этого перпендикуляра; шаг измерений 200 м. В случае, если сопротивление изоляции протяженного сооружения выше 150 Ом.м$^2$, то в местах шурфования необходимо провести качественный ремонт поврежденной изоляции.

Измерения разности потенциалов "сооружение - земля" производят также на сосредоточенных объектах, расположенных в грунте или на нем, если они имеют металлический контакт с протяженными сооружениями, проходящими вблизи анодного заземлителя.

7.9.1. Измерение разности потенциалов производят при включенной и отключенной (на время измерения) установке катодной защиты. Смещение разности потенциалов при включении установки в положительную сторону более чем на $U_{доп}$ указывает на наличие вредного влияния блуждающих токов выше допустимого уровня.

## 8. КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

8.1. Контроль эффективности катодной защиты осуществляют косвенным методом по снятию показаний приборов СКЗ, замеру потенциала на устье скважины и падения напряжения (градиента падения

напряжения) на обсадной колонне.

8.2. Измерение падения напряжения и градиента падения напряжения на обсадной колонне производят с помощью двух - или трех - контактных зондов. Эти измерения проводят на 1-5% скважин месторождения ( площади) от всего количества взятых под защиту через каждые 10-15 лет эксплуатации катодной защиты.

8.3. Измерения падения напряжения на обсадной колонне с помощью измерительных зондов выполняются промысловыми геофизическими службами. Схема измерения и характер получаемых кривых в качестве примера приведены в приложении 14.

8.4. Зонд необходимо подключать к измерительной аппаратуре нижним контактом к плюсовой клемме прибора, верхним - к минусовой.

8.5. Измерение зондом производится по методике ВНИИСТа ( Инструкция по определению коррозионного состояния и защищенности обсадных колонн скважин. М., 1972 г.).

8.6. Контроль эффективности катодной защиты по данным измерений падения напряжения на колонне контактными зондами производится по плотности тока в исследуемых интервалах обсадной колонны, определяемой согласно пп. 5.3.2.3, и стационарным катодным поляризационным кривым трубной стали в пластовых водах этих интервалов. Для этого при измеренной плотности тока из поляризационной кривой, соответствующей исследуемому интервалу, находят величину катодной поляризации, по которой рассчитывают степень защищенности согласно пп. 5.3.4.

## 9. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

### 9.1. Общие положения

9.1.1. При производстве строительно-монтажных работ по катод-

ной защите следует руководствоваться следующими документами: СНиП Ш-А-11-70, часть Ш, раздел А, глава П "Техника безопасности в строительстве",," Правилами пожарной безопасности при производстве строительно-монтажных работ", "Правилами устройства электроустановок" МЭС СССР.

9.1.2. При производстве работ по эксплуатации катодной защиты следует руководствоваться следующими документами: "Правилами устройства электроустановок", "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей", "Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей" и " Правилами безопасности в нефтегазодобывающей промышленности".

9.1.3. К выполнению работ допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте и сдавшие экзамены в объеме соответствующих разделов вышеперечисленных документов. Периодические инструктажи рабочих проводят не реже чем через каждые 3 месяца.

9.1.4. При выполнении работ по катодной защите работающий персонал должен быть обеспечен спецодеждой и средствами индивидуальной защиты в соответствии с действующими нормами и характером выполняемой работы.

9.2. Строительство анодных заземлений

9.2.1. Бурение скважин под анодные заземления производят механизированно установками разведочного или специального бурения. При бурении скважин следует руководствоваться едиными правилами безопасности при геологоразведочных работах.

9.2.2. Место для бурения скважины под анодное заземление должно удовлетворять требованиям настоящей Инструкции и согласоваться с представителями эксплуатирующей организации.

9.2.3. К производству буровых работ допускаются лица, имеющие специальное образование, или специально обученный персонал.

9.2.4. Бурение шурфов бурильными машинами должно производиться при надежной устойчивости машин. Работа на косогорах разрешается при крутизне склонов не более 6°.

9.2.5. Бурильные машины необходимо устанавливать на выносных опорах - аутригерах.

9.2.6. При работе с битумной мастикой соблюдать следующие требования безопасности:

а) приготовить битумную мастику можно только на специально отведенной площадке ;

б) место приготовления мастики необходимо обеспечить комплектом противопожарных средств.

9.2.7. Электроды анодного заземления опускаются в скважину механизированным способом с соблюдением "Правил устройства и безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов".

9.3. Земляные работы и прокладка кабелей

9.3.1. Земляные работы в зоне расположения действующих подземных коммуникаций следует производить с письменного разрешения организации, ответственной за эксплуатацию этих коммуникаций, под наблюдением производителя работ и в присутствии представителя эксплуатирующей организации. К разрешению на производство указанных работ должен быть приложен план с указанием глубины заложения коммуникаций.

9.3.2. Рыть траншеи в местах прохождения подземных трубопроводов и кабелей следует с особой предосторожностью, пользуясь исключительно лопатами.

9.3.3. При случайном обнаружении подземного кабеля или трубопровода во время рытья необходимо приостановить работу и сообщить

об этом техническому руководителю.

9.3.4. При обнаружении на месте работы газа рабочие должны быть немедленно сняты с работы и вновь допущены лишь после устранения причины поступления газа.

9.3.5. При работе с кабельной массой и эпоксидным компаундом необходимо соблюдать инструкции по технике безопасности по соответствующим веществам.

9.4. Монтаж станций катодной защиты.

9.4.1. К работе по монтажу СКЗ допускается бригада в составе 2-3 человек, обученных производству работ и прошедших инструктаж по технике безопасности, с оформлением наряда на производство работ.

9.4.2. Все металлические части: опора, кожух и корпус СКЗ должны быть надежно заземлены в соответствии с "Правилами устройства электроустановок".

9.4.3. Монтаж линии питания СКЗ производится в последнюю очередь.

9.4.4. На время монтажа линии питания СКЗ отключаются рубильник и разъединитель на трансформаторном пункте, проверяется индикатором отсутствие напряжения на рубильнике, на ручке разъединителя вывешивается предупредительный плакат " не включать, работают люди".

9.5. Сварочные работы.

9.5.1. Электро- и газосварочные работы должны производиться с соблюдением "Правил техники безопасности и производственной санитарии при электро-сварочных работах", "Правил техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов".

9.5.2. К сварочным работам на устье скважины могут допускаться только квалифицированные сварщики, сдавшие экзамены и имеющие соответствующие удостоверения.

9.5.3. Сварщик должен быть обеспечен необходимыми защитными средствами. За работой сварщика должен наблюдать специально выделенный человек.

9.5.4. Запрещаются электро- и газосварочные работы, не связанные с монтажом и ремонтом оборудования и коммуникаций:

а) на расстоянии менее 20 м от резервуаров;

б) на расстоянии менее 50 м от открытых нефтеловушек;

в) на расстоянии менее 20 м от канализационных нефтяных колодцев, стоков и манифольдов.

9.5.5. Приварка контактного болта к обсадной колонне производится после глушения скважины глинистым раствором с разрешения Госгортехнадзора, с ведома пожарной охраны и по письменному разрешению ( наряду ) технического руководителя предприятия (НГДУ).

9.5.6. Перед началом сварочных работ производят отбор пробы газа у устья скважины и ее анализ на содержание пожаро-взрывоопасных компонентов.

9.5.7. К самостоятельной сварке термитным способом допускаются только сварщики, которые хорошо изучили и освоили этот вид сварки, а также технику безопасности при термитной сварке.

9.5.8. При термитной сварке необходимо выполнять следующие требования безопасности:

термопатроны и коробки со спичками следует вскрывать только перед работой, запрещается пользоваться неисправной тигель-формой;

а) при термитной сварке необходимо пользоваться очками;

б) нельзя приближать лицо к месту термитной сварки ближе чем

в) сварщику запрещается передавать термитные материалы лицам, не имеющим отношения к сварке.

9.6. Эксплуатация катодной защиты

9.6.1. Персонал, допущенный к обслуживанию СКЗ, должен иметь квалификацию не ниже 3 группы. Работникам, не имеющим права обслуживать СКЗ, разрешается только снимать показания приборов СКЗ. Они должны иметь квалификацию не ниже 2 группы.

9.6.2. При эксплуатации СКЗ обслуживающий персонал должен быть обеспечен средствами изоляции от токоведущих частей: изолирующими подставками, резиновыми ковриками, диэлектрическими калошами, ботами, перчатками и монтерским инструментом с изолированными ручками. Эти средства должны через определенные промежутки времени, согласно правилам электробезопасности, проходить электрические испытания.

9.6.3. При осмотре и ремонте СКЗ, связанных со снятием ее из кожуха, необходимо отключить питание рубильником на ТП.

9.6.4. На СКЗ проведение любых видов работ во время грозы запрещается.

9.6.5. Подача напряжения для опробирования или пуска в эксплуатацию смонтированного электрического оборудования осуществляется по указанию мастера или прораба при условии полного окончания монтажных работ и проверки правильности их выполнения, а также после принятия всех мер безопасности, исключающих поражение персонала электрическим током.

9.6.6. При работах, связанных с электрическими измерениями на подземных сооружениях, а также при работах по монтажу и наладке электрозащитных установок следует соблюдать правила и требования безопасности, предписанные для персонала, обслуживающего

электроустановки напряжением до 1000 В, согласно ПУЭ.

9.6.7. При производстве электрических измерений на обсадной колонне или трубопроводе следует выполнять правила техники безопасности при эксплуатации этих сооружений.

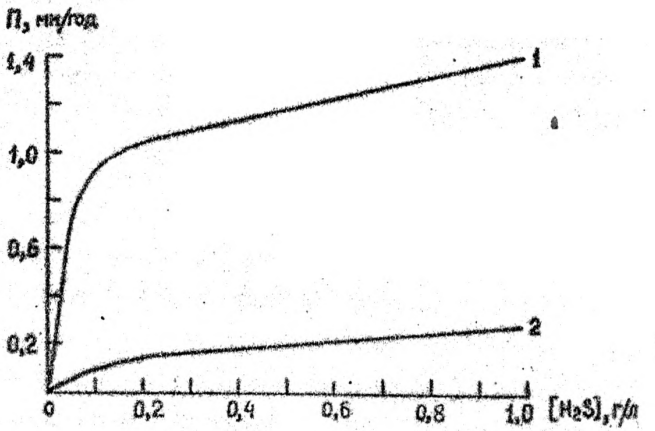
9.6.8. При производстве ремонтных работ на скважине, связанных с отсоединением устьевой арматуры, если это может вызвать разрыв цепи катодной защиты, необходимо предварительно отключить СКЗ во избежание образования электрической искры в месте разрыва.

9.6.9. В планах на капитальные, подземные и надземные ремонты на скважине должно быть указано, что скважина находится под катодной защитой, а члены бригады ремонта должны пройти инструктаж.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

## Скорость коррозии обсадных труб в сероводородсодержащих пластовых водах




I- скорость коррозии в динамических условиях ;
2- то же в статических условиях.

Примечания. I. Скорость коррозии определялась весовым методом и экстраполяцией прямолинейных участков поляризационных кривых, поэтому для определения скорости проникновения коррозии ( или скорости локальной коррозии) данные рисунка следует помножить на коэффициент неравномерности коррозии.

2. Кривые справедливы для области температур $t = 15–35^{0}C$.

Приложение 2

Схемы катодной защиты скважин

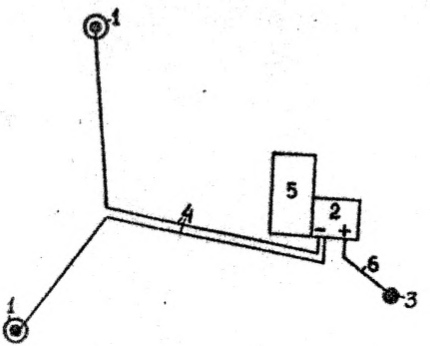



Рис.П.2.I. Схема индивидуальной катодной защиты обсадных колонн

I – обсадные колонны скважин ; 2– станция катодной защиты ; 3 – анодный заземлитель ; 4–кабель катодной цепи ; 5–кабель анодной цепи ; 6 – трансформаторный пункт ( подстанция).

Продолжение приложения 2

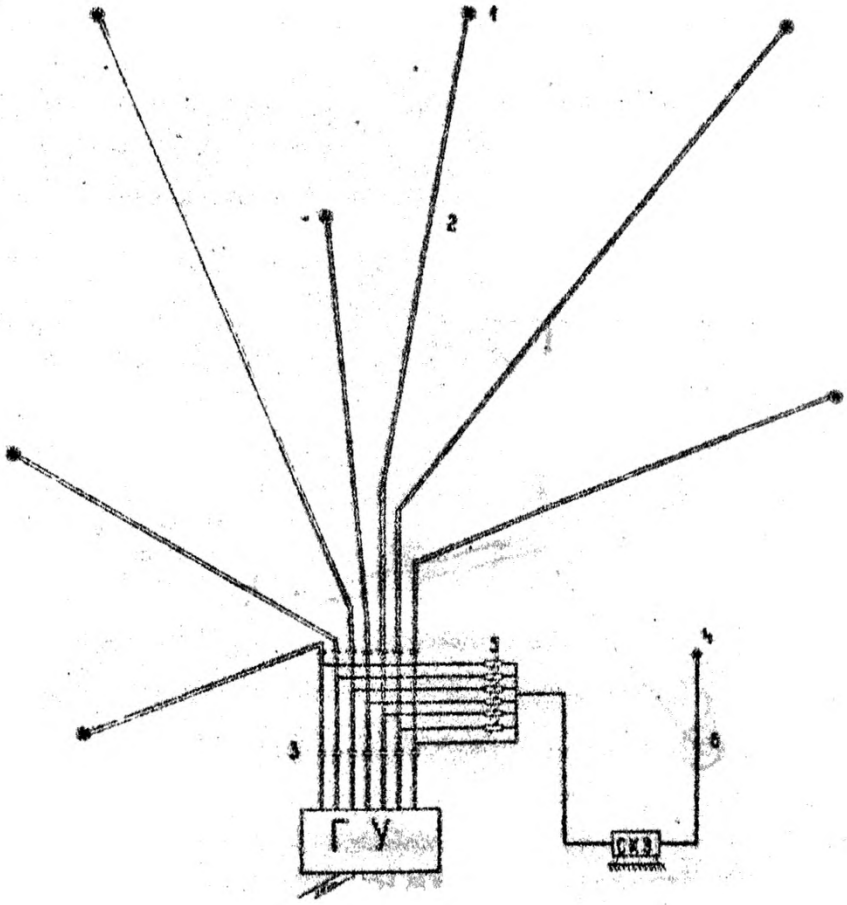



Рис. П.2.2. Схема групповой катодной защиты обсадных колонн скважин.

I- скважины ; 2 - выкидные линии (шлейфы); 3- изолирующие фланцы ; 4 - глубинный анодный заземлитель ; 5 -блок сопротивлений ; 6 - кабельные линии.

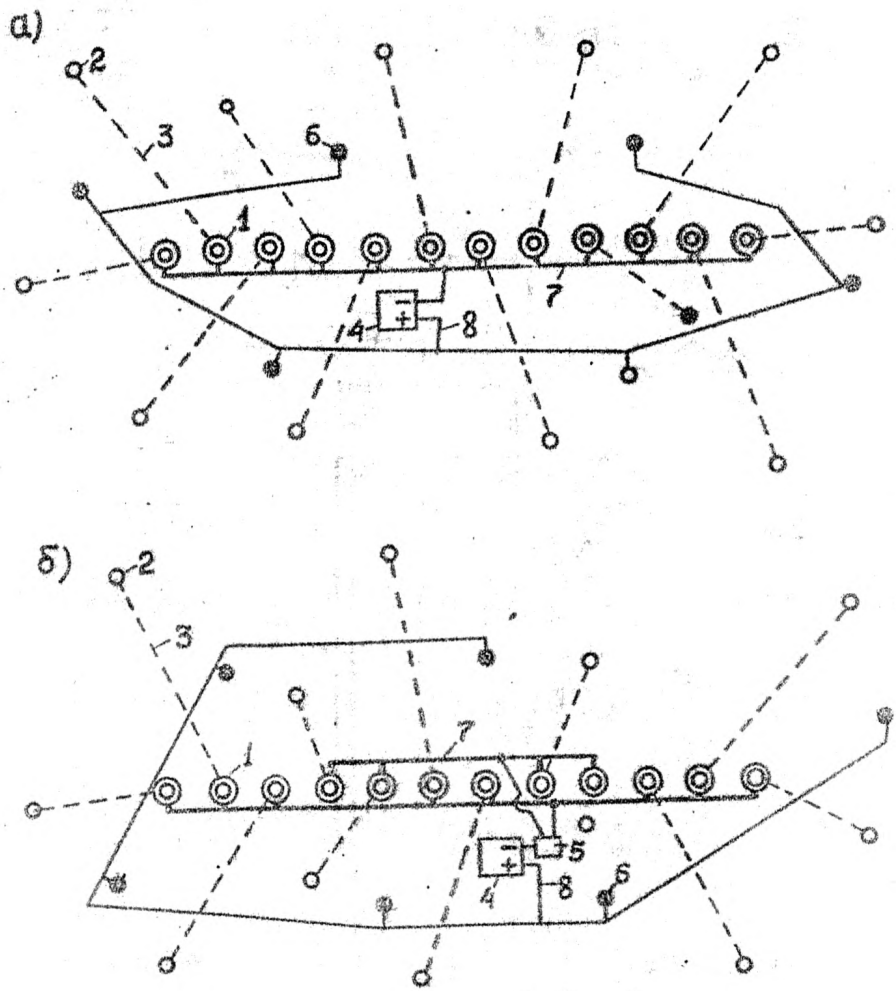
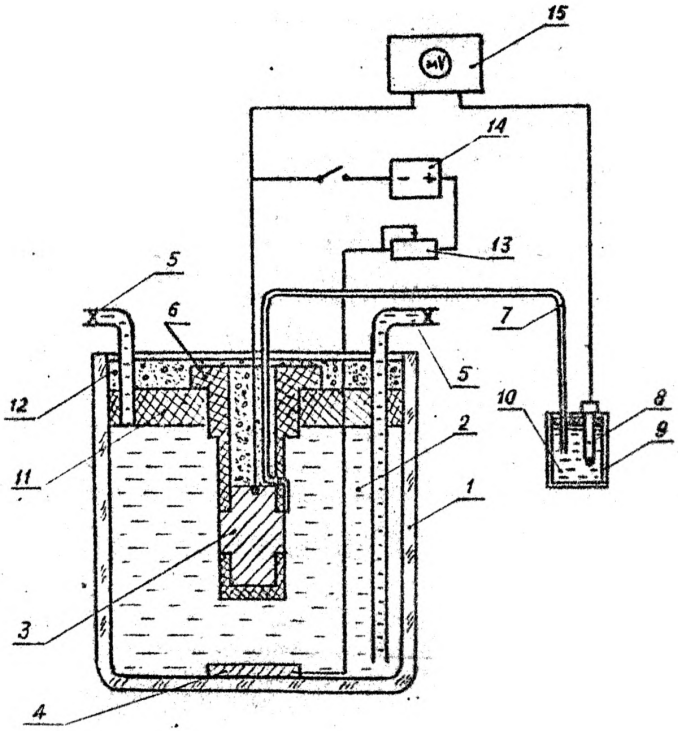



Рис. П.2.3. Схемы кустовой катодной защиты однородных (а). и разнородных (б) скважин.

1- устья скважин ; 2-забои скважин;3-обсадные колонны; 4-катодная станция ; 5-распределитель тока ;6-анодные заземлители ; 7-стальные шины;8-дренажные кабели.

Приложение 3

**Схема лабораторной установки для снятия поляризационных кривых в сероводородосодержащих пластовых водах**




1-стеклянный цилиндр;2-пластовая вода;3-исследуемый электрод; 4-вспомогательный электрод;5-стеклянные трубки;6-держатель электрода; 7-электролитический мостик с капилляром Луггина-Габера; 8-хлорсеребряный электрод сравнения;9-стакан;10-раствор хлористого калия ; 11-крышка цилиндра;12-герметизирующая мастика;13-переменный резистор ;14-источник тока ;15-высокоомный милливольтметр.

Приложение 4

Коэффициенты использования для электродов анодного заземлителя

| Отношения расстояния между заземлителями к длине заземлителя $a/l$ | Количество заземлителей $N_3$ | Коэффициент использования для системы заземлителей $K_и$ |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| | Для вертикальных электродов | |
| I | 2 | 0,84-0,87 |
| 2 | 2 | 0,90-0,92 |
| 3 | 2 | 0,93-0,95 |
| I | 3 | 0,76-0,80 |
| 2 | 3 | 0,85-0,88 |
| 3 | 3 | 0,90-0,92 |
| I | 5 | 0,67-0,72 |
| 2 | 5 | 0,79-0,83 |
| 3 | 5 | 0,85-0,88 |
| I | I0 | 0,56-0,62 |
| 2 | I0 | 0,72-0,77 |
| 3 | I0 | 0,79-0,83 |
| | Для горизонтальных электродов | |
| I | 2 | 0,85-0,87 |
| 2 | 2 | 0,92-0,94 |
| 3 | 2 | 0,95-0,97 |
| I | 3 | 0,79-0,81 |
| 2 | 3 | 0,89-0,91 |
| 3 | 3 | 0,93-0,94 |
| I | 5 | 0,72-0,74 |
| 2 | 5 | 0,84-0,86 |
| 3 | 5 | 0,88-0,90 |

Приложение 5

Скорости анодного разрушения электродов заземлителей, кг/А.год

| Материал электрода | Среда или засыпка: глина | суглинок | песок | Коксовая мелочь: в малоувлажненном грунте | в высокоувлажненном грунте |
|---|---|---|---|---|---|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Сталь | I0 | I0 | I0 | 2-4 | 4-7 |
| Чугун | 5-7 | 5-7 | 5-7 | I-3 | 3-5 |
| Ферросилид | 0,25-0,35 | 0,25-0,35 | 0,25-0,35 | 0,I-0,2 | 0,2-0,3 |
| Графит и графитопласт | I,3-I,4 | I,I-I,2 | 0,9-I,0 | 0,20-0,25 | 0,25-0,30 |

Приложение 6

Технические характеристики СКЗ

| Тип СКЗ | Номинальная мощность на выходе, Вт | Максимальные напряжения в I и II диапазонах, В | Номинальные токи в I и II диапазонах, А | Габариты, мм | Масса, кг |
|---|---|---|---|---|---|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| КСС-300 | 300 | I2/24 | 25/I2,5 | 5I5x593x3I5 | 38 |
| КСС-600 | 600 | I2/24 | 50/25 | 590x7I3x345 | 75 |
| КСС-I200 | I200 | I2/24 | I00/50 | 934x830x472 | 95 |
| СКСУ-600/24 | 600 | 3-I2/I2-24 | 50/25 | 630x805x430 | 95 |
| СКСУ-600/48 | 600 | 6-24/24-48 | 25/I2,5 | 630x805x430 | 95 |
| СКСУ-I200/24 | I200 | 3-I2/I2-24 | I00/50 | 9I4x905x532 | I20 |
| СКСУ-I200/48 | I200 | 6-24/24-48 | 50/25 | 9I4x905x532 | I20 |
| СКЗТ-800 | 800 | 40/24 | 25/50 | 700x485x540 | 95 |
| СКЗТ-I500 | I500 | 60/24 | 25/60 | 700x485x540 | II0 |
| СКЗТ-3000 | 3000 | 60/30 | 50/I00 | | |
| СКСН-600/24 | | 3-I2/I2-24 | I2,5/6;25 | 630x805x430 | 95 |
| СКНН-600/48 | 600 | 6-24/24-48 | 6,25/3,I25 | 630x805x430 | 95 |
| СКСТ-I200/50 | I200 | 24/48 | 50/25 | 455x590x700 | 90 |
| АРТЗ-0,6 | 600 | 48/24 | I2,5/25 | 780x650x427 | I00 |
| АРТЗ-I,2 | I200 | 48/24 | 25/50 | 780x650x427 | II0 |
| АРТЗ-2,0 | 2000 | 96/48 | 2I/42 | 780x650x427 | I20 |
| АРТЗ-3,0 | 3000 | 96/48 | 3I/62 | 780x650x427 | I50 |
| АРТЗ-5,0 | 5000 | 96/48 | 52/I04 | 780x650x427 | 200 |
| ТСКЗ-I500 | I500 | 60/30 | 25/50 | 450x450x430 | 80 |
| ТСКЗ-6 | 6000 | I20/60 | 50/I00 | 560x685x450 | I50 |
| СКСТ-0,6 | 600 | 48/24 | I2,5/25 | 600x690x450 | I00 |
| СКСТ-I,2 | I200 | 48/24 | 25/50 | 600x690x450 | II0 |

Приложение 7

## Выбор безопасных расстояний между анодным заземлителем и трубопроводами $B_a^{кр}$

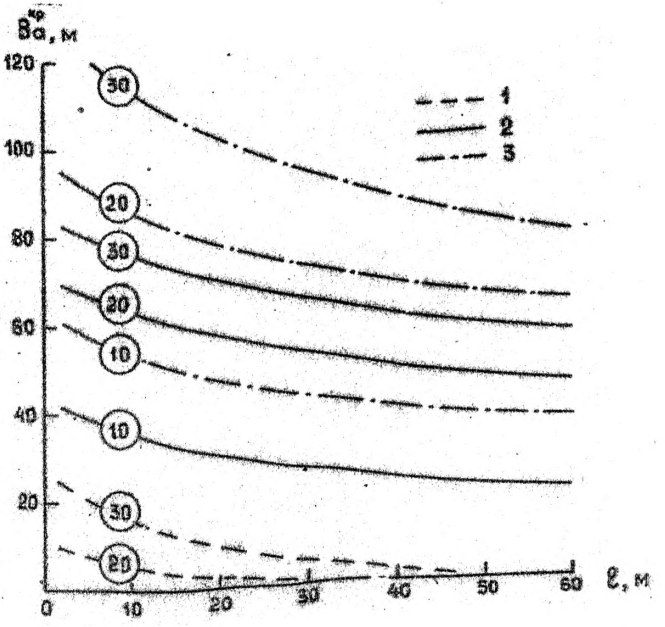



Рис.П.7.I. Безопасные расстояния для вертикальных анодных заземлителей в зависимости от длины АЗ $\ell$, тока (указан в кружочках) и сопротивления изоляции трубопровода $R_и$ : I- $R_и$ =0; 2- $R_и$ =50 Ом.м ; 3- $R_и$ =500 Ом.м

Продолжение приложения 7

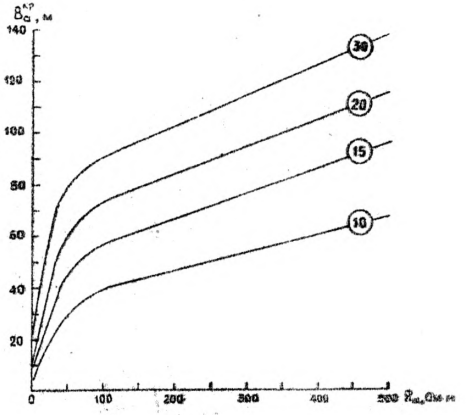


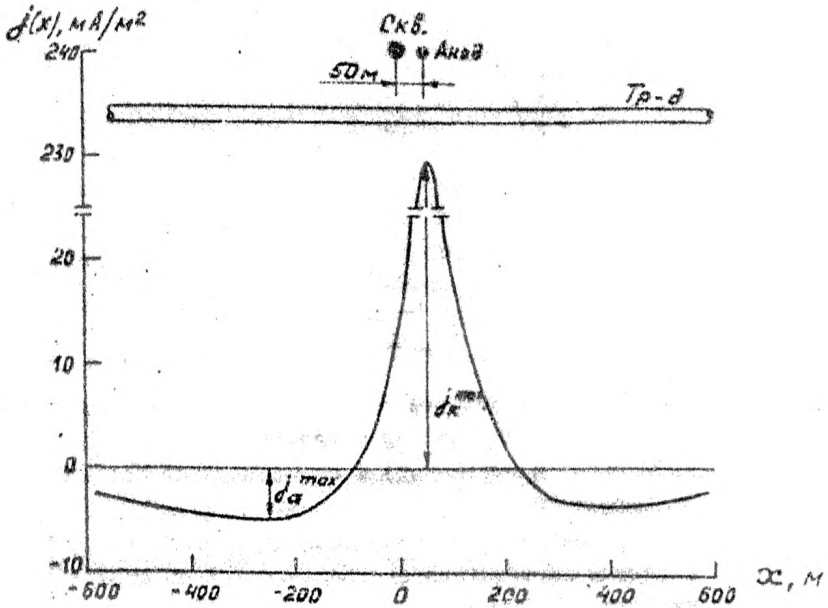

Рис.П.7.2. Безопасные расстояния для горизонтальных заземлителей в зависимости от тока (указан в кружочках) и сопротивления изоляции трубопровода $R_{\text{и}}$.

Примечания. 1. Безопасное расстояние отсчитывается от середины горизонтального заземлителя до ближайшей точки трубопровода.

2. Безопасное расстояние для горизонтального заземлителя практически не зависит от длины заземлителя и его ориентации относительно трубопровода.

Приложение 8

Расчетная схема расположения сооружений и распределение плотности блуждающих токов на трубопроводе




Примечание. Кривая распределения плотности тока рассчитана для вертикального анодного заземлителя длиной $\ell$ =I5 м при $J$ =I0А, $\ell_a$ =50 м, $\beta_a$ = $\beta_c$ =5м, $\rho_r$ =30 Ом.м, $Д_т$=0,I м, $L_к$ =I700 м, $\alpha_к$ =I,2·I0$^{-3}$м$^{-I}$, $R_и$ =50 Ом.м, $t$ =0.

Приложение 9

## Схемы установки катодных станций на скважинах

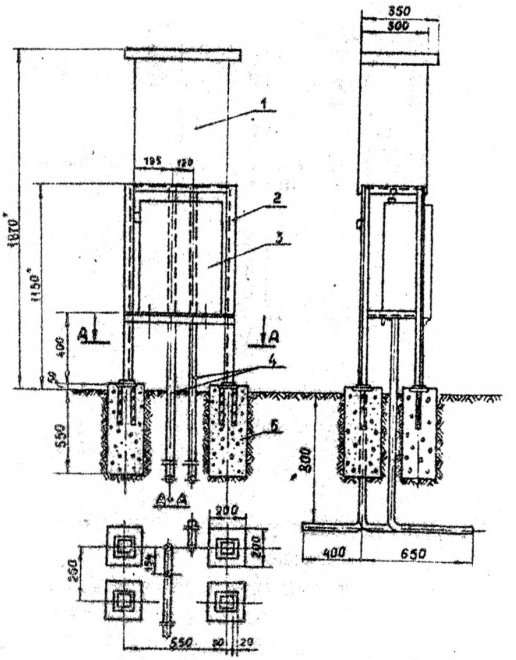



Рис.П.9.I. Схема установки СКЗ типа КСС-600 на фундаменте для защиты двух скважин с узлом сопротивлений.

I – станция сетевая катодная ; 2 – рама для установки СКЗ;
3 – ящик сопротивлений ; 4 – труба для ввода кабеля ;
5 – бетонная стойка фундамента.

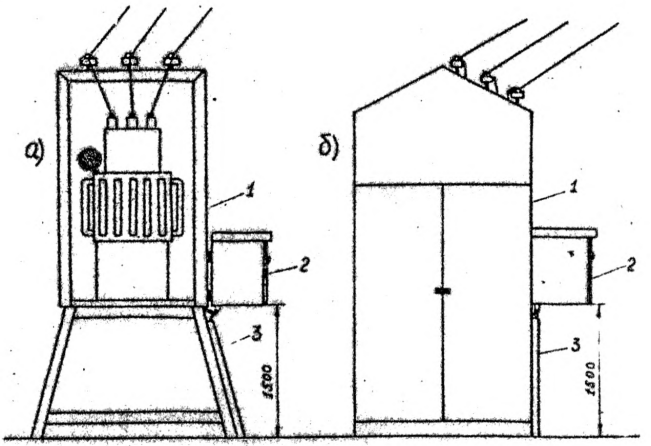



Рис.П.9.2. Схема установки катодной станции на трансформаторной подстанции скважины в открытом (а) и закрытом ( б) исполнениях.
1 – трансформаторная подстанция ; 2 – станция катодной защиты (СКЗ); 3 – защитная труба для дренажных кабелей.

Приложение IO

## Конструкция анодных заземлителей для скважин

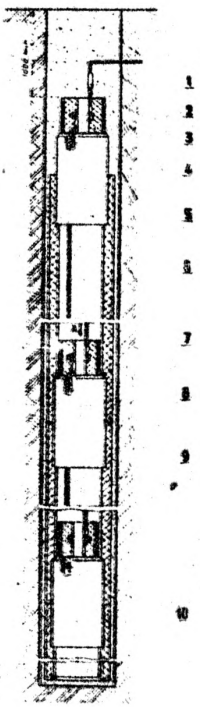



рис. П.IO.I Схема вертикального АЗ с углеграфитовыми электродами типа ЭГТ.

I – засыпка анодного заземления ; 2–дренажный кабель; 3 – соединительная гильза ; 4–дополнительный соединительный провод ; 5 – кольцо; 6–битумная мастика ; 7–соединитель-токоввод ; 8– углеграфитовый электрод; 9–соединительный провод ; IO – пробка.

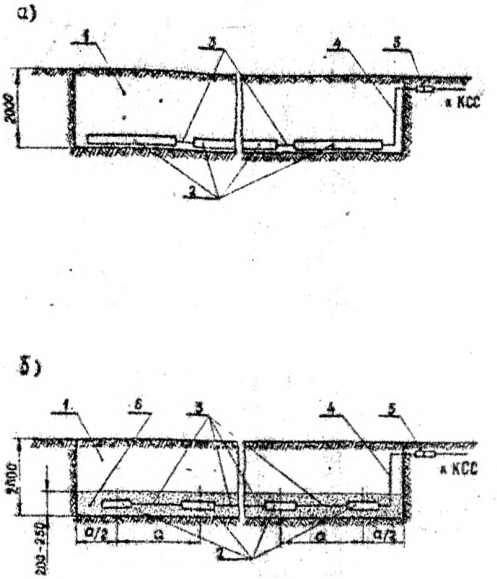



Рис.П.I0.I. Схемы горизонтального заземлителя с углеграфитовыми электродами без засыпки (а) и насыпного коксового заземлителя с углеграфитовыми тоководами (б).
I- траншея; 2 - углеграфитовые электроды ; 3,4-соединительные кабели ( провода); 5-кабельная муфта ; 6-коксовая мелочь.

Продолжение приложения 10

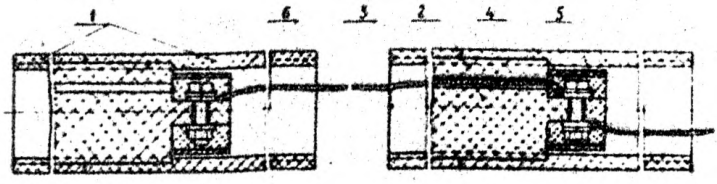


Рис.П.10.2. Углеграфитовые электроды горизонтального заземлителя без засыпки в сборе.
I - углеграфитовый электрод ЭГТ; 2-соединитель-токоввод;
3 - соединительный провод (кабель); 4-болт с гайкой ;
5 - графитопластовое кольцо ; 6- битумная мастика.

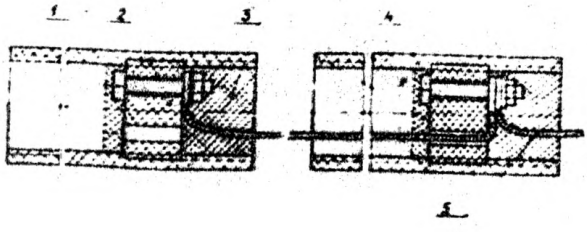


Рис. П.10.3. Углеграфитовые токовводы насыпного коксового заземлителя в сборе.
I - электрод ЭГТ ; 2 - соединительная муфта ; 3 - битумная мастика; 4 - болт; 5 - провод (кабель).

Продолжение приложения I0

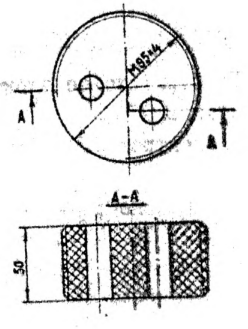



рис.П.I0.4. Конструкция соединительной муфты токоввода для насыпного коксового заземлителя.

Приложение II

(ведомство и эксплуатирующая организация)

название сооружения _____

# П А С П О Р Т

## катодной установки с внешним источником тока

Катодная установка _____
(наименование источника тока)

Расстояние от скважины до анодного заземления _____

Дата пуска в эксплуатацию _____

### Катодная станция

_____ _____
(разновидность) (тип)

_____ _____
(изготовитель) (дата выпуска и заводской №)

### Цепь катодной защиты

характер _____
(подземная, воздушная)

Марка, сечение, длина кабелей (проводов) _____

Сопротивление _____

### Анодный заземлитель

Материал, конструкция, размеры, количество и общий вес электродов-заземлителей _____

_____

Активатор (или засыпка) _____
(материал, техн. данные, вес)

Уд. сопротивление грунта _____ Ом.м _____
(дата измерения)

Координаты анода _____

Продолжение приложения II

Защитное заземление

материал, конструкция, размеры, количество электродов-заземлителей

_____

_____

_____

Сопротивление растеканию _____ Ом _____
(дата измерения)

Питающая электролиния

Разновидность _____
(воздушная, подземная)

Напряжение _____ В

Подключена к _____

марка, сечение, длина провода _____

Тип и количество опор ( при воздушной электролинии) _____

_____

Сезонное колебание напряжения от _____ до _____ В

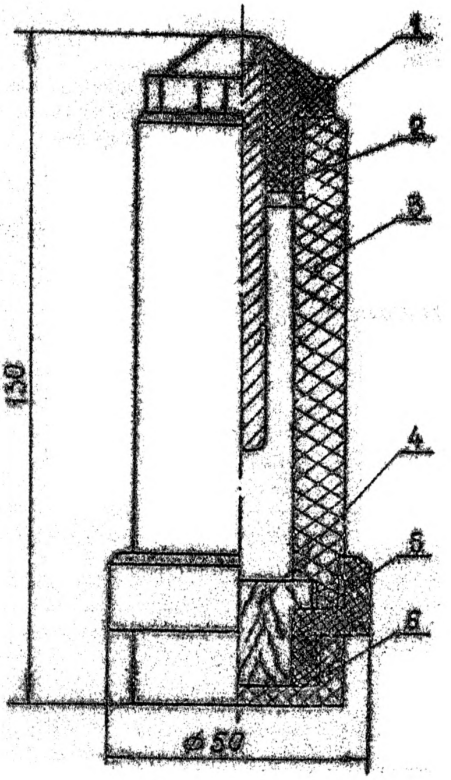
Обеспеченность питания СКЗ _____

_____

" _____ " _____ I9 _____ г.
(должность и подпись лица, заполняющего паспорт)

Приложение I2

Медносульфатный электрод сравнения




I- медный электрод от МЭС типа ЭН-I; 2 – пробка ; 3 – диэлектрический корпус ; 4-пористое днище (из дерева);5-гайка ;
6 – заглушка ; 7 – насыщенный раствор медного купороса ;
8 – кристаллики медного купороса ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

Приложение I3

(ведомство и эксплуатирующая организация)

Название сооружения

# Ж У Р Н А Л

регистрации измеренных параметров и выполненных профилактических и ремонтных работ на катодной установке с внешним источником тока

Начато "_____" _____ I9___ г.

Окончено "_____" _____ I9___ г.

Измерение параметров катодной станции

| Дата измерения | Сила тока на выходе СКЗ, А | Напряжение на выходе СКЗ, В | Напряжение электросети, В | Подпись |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

Продолжение приложения 13

Измеренные параметры на сооружении

Естественный потенциал обсадной колонны на устье скважины

(по МЭС) _____ В _____
(дата измерения)

| Дата измерения | Суммарный потенциал колонны при работающей СКЗ, мВ | Электродный потенциал в момент кратковременного отключения СКЗ, мВ | Подпись |
|---|---|---|---|
| | | | |

Выполненные профилактические и ремонтные работы

| Дата | Результаты проверки, выполненные работы и рекомендации | Подпись |
|---|---|---|
| | | |

Приложение I4

## Контроль защищенности обсадных колонн

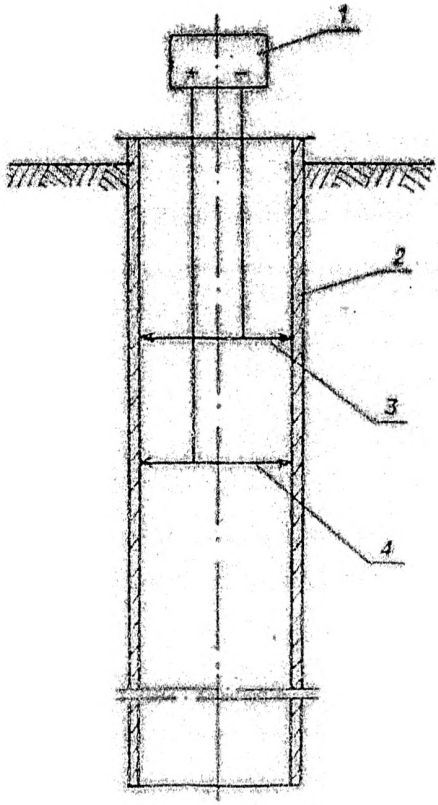



Рис.П.I4.I. Схема измерения падения напряжения на обсадной колонне скважин.

I – милливольтметр ; 2– эксплуатационная колонна скважины; 3– верхний контакт зонда ; 4 – нижний контакт зонда.

Продолжение приложения I4

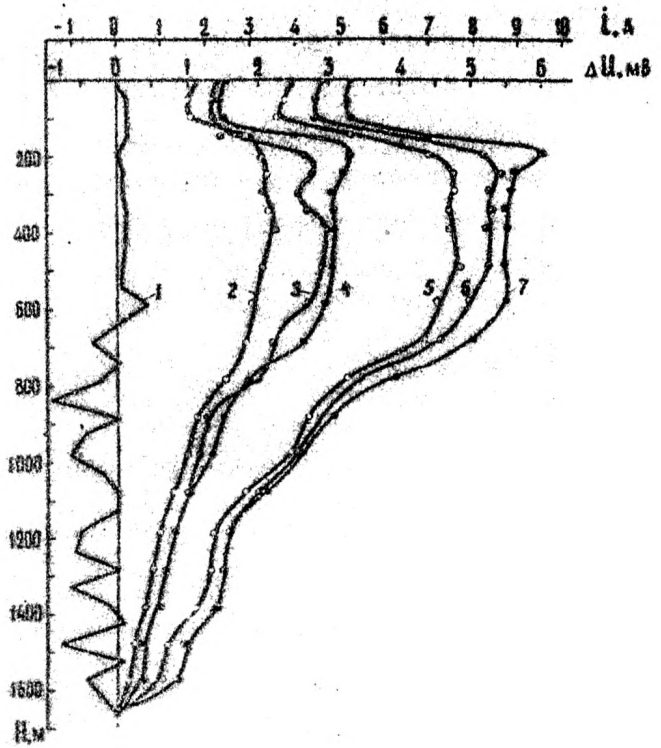



Рис.П.I4.2. Кривые распределения падения напряжения на обсадной колонне $\Delta U$ и тока в ней $i$ по глубине скважины.

I – падение напряжения и ток в естественном состоянии ; 2,3 и 4 – тоже при времени поляризации соответственно 0,6 и 24 часа током I0 А ; 5,6 и 7 – то же током 20 А.

Продолжение приложения I4

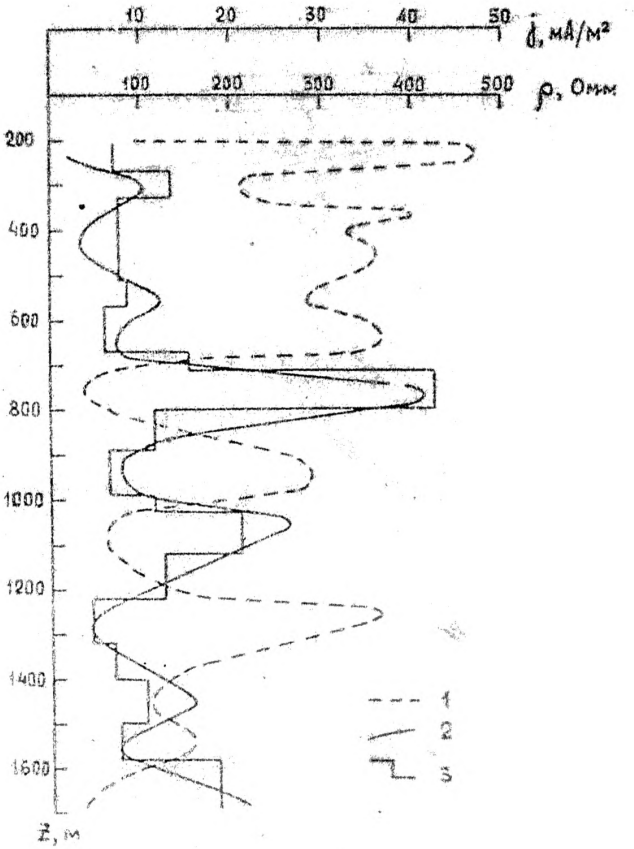



Рис.П.I4.3. Распределение плотности наложенного тока на обсадной колонне $j$ и кажущегося удельного электросопротивления грунта $\rho_к$ по глубине скважины $z$ .

I – кривая $\rho_к$ ; 2 – экспериментальная кривая $j$ ; 3 – расчет-

Приложение I5

## Пример определения необходимости катодной защиты обсадных колонн

I. Исходные данные

I.I. Для обоснования катодной защиты выбрана группа действующих скважин с недоподъемом цементного раствора за эксплуатационной колонной. Эти скважины пробурены в основном I960–1970 гг., причем средневзвешенный год бурения – I966 , фонд скважин $N_\varphi$ =I500.

I.2. К 1980 году по этой группе скважин месторождения установлена следующая динамика коррозионных отказов ( первые отказы начали появляться в 1972 г.)

Таблица I

| Показатели | Годы | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 |
| Средневзвешенный срок службы скважин группы $t$ ,год | 6 | 7 | 8 | 9 | I0 | II | I2 | I3 | I4 |
| Количество ежегодных отказов $n(t)$ | 3 | 8 | I | 6 | 6 | 2 | 7 | 9 | I0 |
| $N_н(t)=\sum_{i=6}^{t} n(i)$ | 3 | II | I2 | I8 | 24 | 26 | 33 | 42 | 52 |
| $F(t)=N_н(t)/N_\varphi$ | 0,002 | 0,007 | 0,008 | 0,0I2 | 0,0I6 | 0,0I7 | 0,022 | 0,028 | 0,035 |

I.3. Скорость коррозии обсадных труб в наиболее агрессивной пластовой воде разреза скважин ( содержание сероводорода 300 мг/л, температура воды в пласте 25°С, минерализация 200 г/л, содержание

углекислоты незначительно, сильные межпластовые перетоки вод в заколонном пространстве скважин отсутствуют), определенная в лабораторных условиях весовым методом равна $П_н$=0,16 мм/год.

Скоростью внутренней коррозии обсадных труб добывающих скважин можно пренебречь, т.е. $П_в \approx 0$.

Допустимое коррозионное уменьшение толщины стенки труб при известной коррозии $\Delta\delta$ =6 мм при начальной толщине $\delta$ =8 мм.

Планируемый срок службы скважин с года бурения, т.е. с 1966 г., равен $Т_п$=40 лет.

I.4. Средняя стоимость одного капитального ремонта скважины $С_р$=I5000 руб, средняя календарная продолжительность ремонта $t_р$=30 сут.

Средний дебит нефти одной скважины $q_н$ =20 т/сут, экономия от дополнительной добычи I т нефти $С_н$ =3 руб, $К_э$=0,85.

I.5. Средневзвешенный год внедрения катодной защиты I980, общий предполагаемый срок применения катодной защиты Т=26 лет.

2. Решение задачи по критерию Д.

2.I. Принимаем $К_{вн}$ =5.

2.2. По формуле (4.I) находим

$$Д = 40 \cdot \frac{8}{0{,}16 \cdot 5} - 30 = 38 > 0,$$

т.е. катодная защита необходима.

3. Решение по критерию Э.

3.I. Поскольку к моменту расчета по месторождению накоплен достаточный объем информации ( табл. I), то возможно более точное строгое решение по критерию Э.

3.2. Статистическую функцию $\bar{F}(t)$ ( см.табл.I) аппроксимируем аналитической функцией путем нанесения ее значений на обычную сетку координат, а также на биэкспоненциальную и логарифмическую сетки. Точки обрисуют прямую линию на логарифмической сетке - значит подхо-

дит экспоненциальная функция вида $\bar{F}(t) = a \cdot \exp \kappa t$ .

Коэффициенты a и к находим, решая функцию при двух значениях $t$ ( при этом значения $\bar{F}(t)$ следует брать из осредняющей прямой, проведенной по фактическим точкам ):

$$\begin{cases} 0.0I = a \exp(8\kappa), \\ 0,027 = a \exp(I3\kappa). \end{cases}$$

Отсюда получаем : a=0,002 ; к=0,2.

Таким образом $\bar{F}(t) = 0,002 \exp(0,2t)$.

3.3. Находим функцию

$$\bar{f}(t) = \frac{d}{dt}\bar{F}(t) = 0,002 \cdot 0,2 \exp(0,2t) =$$

$$= 0,0004 \exp(0,2t), \text{ отсюда}$$

$$\bar{f}(t_3 + t) = 0,0004 \exp\left[0,2(t_3 + t)\right] .$$

3.4. Определяем $t_3$ =I980-I966 =I4 лет.

3.5. Рассчитываем функцию

$$\bar{f}_3(t) = (I-\bar{F})\bar{f}\left[t_3 + (I-Pк)t\right] =$$

$$= (I-Pк) \cdot 0,0004 \exp\left\{0,2\left[t_3 + (I-Pк)t\right]\right\} .$$

При Рк=0;8 ; $t_3$ =I4, $t$ =0,54 T =0,54·26 =I4

по формуле (4.6) получим

$$\Delta\bar{f}(0,54T) = \Delta\bar{f}(I4) = 0,0004 \exp\left[0,2 \cdot (I4+I4)\right] -$$

$$-(I-0,8) \cdot 0,0004 \exp\left\{0,2\left[I4+(I-0,8)\cdot I4\right]\right\} =$$

$$= 0,0004 \exp 5,6 - 0,00008 \exp 3,36 = 0,I06.$$

3.6. Рассчитываем по формуле (4.3) функцию (T=26)

$$B(T) = II\left[I-(I+0,I)^{-T}\right] = II\left[I-(I,I)^{-26}\right] = I0,I$$

3.7. Рассчитываем приведенные капитальные затраты по формуле (4.5)

$$Кпр(T) = K \sum_{t=0}^{n-1} (I+0,I)^{-i \cdot T_a} = \left| n = T/Ta = 26/I0 = 2,6 \approx 3 \right| = K\left[\frac{1}{1,1^0} + \frac{1}{1,1^{I0}} + \frac{1}{1,1^{20}}\right] = I,54K = I,54 \cdot I300 = 23T0 \text{ руб.}$$

3.8. Общие приведенные годовые затраты согласно формуле (4.4)

$$З_{пр}(Т) = \frac{С \cdot В(Т) + К_{пр}(Т)}{Т} = \frac{150 \cdot 10,1 + 2310}{26} = 147 \text{ руб/год}.$$

3.9. Рассчитываем критерий $\bar{Э}$ по формуле (4.2)

$$\bar{Э} = \frac{0,106 \cdot 10,1}{26}(1500 + 20 \cdot 3 \cdot 30 \cdot 0,95) - 147 = 541 > 0,$$

т.е. катодная защита необходима и эффективна.

Приложение I6

## Пример определения защитного тока обсадной колонны

I. Исходные данные

I.I. Геологические разрезы всех добывающих скважин месторождения однотипные. Скважины группируем по высоте подъема цементного раствора за эксплуатационной колонной : I группа – скважины с недоподъемом цемента до башмака предыдущей колонны ( в нашем случае – кондуктора), 2 группа – скважины с цементным раствором выше башмака кондуктора. К I группе причисляем также скважины, имеющие в интервале агрессивных водоносных пластов участки некачественного цементирования протяженностью более 5 м. Расчеты ведем для I группы.

Интенсивные межпластовые перетоки вод в заколонном пространстве скважин не обнаружены, т.е. коррозия обсадных труб происходит в статических условиях.

I.2. Распределение кажущегося удельного электросопротивления пластов в сводном геологическом разрезе скважин следующее:

Таблица 2

| Интервалы глубин, м | 0-200 | 200-270 | 270-670 | 670-710 | 710-800 | 800-1020 | 1020-1220 | 1220-1320 | 1320-1580 | 1580-1700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № интервала | I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | I0 |
| $\rho_{к}$, Ом.м | 30 | 470 | 324 | I30 | 45 | 202 | 90 | 330 | I4I | 60 |
| Толщина слоя $H_i$, м | 200 | 70 | 400 | 40 | 90 | 220 | 200 | I00 | 260 | I20 |

I.3. Среднее удельное электросопротивление верхних слоев грунта на месторождении (до глубины I0 м) $\rho_г$ =40 Ом.м.

I.4. Обсадные колонны в трубе имеют следующие средние характеристики : длина $L_к$ =1700 м, диаметр $D_к$ =0,146 м, толщина стенки $\delta_к$ =8 мм.

I.5. Выкидные линии скважин имеют следующие средние характеристики : длина $L_т$ =800 м, диаметр $D_т$=0,1 м, толщина стенки $\delta_т$ =5 мм, сопротивление наружной изоляции $R_и$=20 Ом·м, глубина прокладки $h_т$=1м.

I.6. В сводном гидрогеологическом разрезе скважины выделяются 2 агрессивных водоносных горизонта : I горизонт с концентрацией сероводорода в пластовой воде 100 мг/л в интервале 600-700 м, 2 горизонт с $H_2S$ =300 мг/л в интервале 700-820 м.

I.7. Для пластовых вод двух агрессивных горизонтов получены следующие стационарные катодные поляризационные кривые ( при отсутствии этих кривых в случае сероводородной коррозии в качестве первого приближения можно пользоваться кривыми приложения I8) :

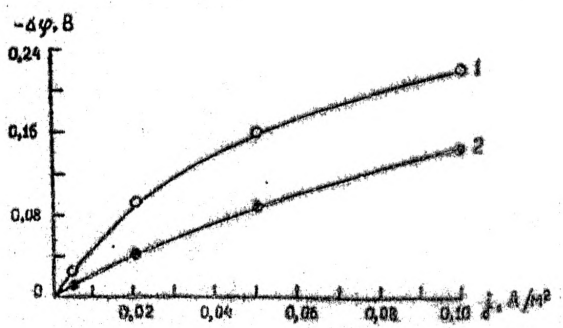



Рис. II.I8.I. Стационарные катодные поляризационные кривые трубной стали в пластовых водах первого (кривая I) и второго (кривая 2) агрессивных водоносных горизонтов.

I.8. Получены кривые распределения падения напряжения на эксплуатационной колонне, снятые двухконтактным зондом при токах защиты 10 и 20 А (расстояние между ротором станции и анодным заземлителем $r_a^2$ =100 м; величина падения напряжения в любой точке колонны примерно пропорциональна силе поляризующего тока, поэтому кривая при токе 5А не снималась). Кривые приведены в приложении I4.

2. Определение функциональных зависимостей между параметрами катодной защиты.

2.I. Рассчитываем плотности тока в интервале первого продуктивного горизонта (600–700 м) по формуле (5.I) по значениям падения напряжения из кривых 4 и 7 (рис.II.I-.2).

при токе I0 А

$$j'(10) = 0,32\,\frac{0,00305-0,00267}{69,6\cdot10^{-6}\cdot0,146\cdot7,5\cdot100} = 0,016\ А/м^2;$$

при токе 20 А

$$j'(20) = 42\cdot(0,0056-0,00508)=0,022\ А/м^2.$$

2.2. Рассчитываем плотности тока в интервале второго продуктивного горизонта (700–820 м):

$$j'(10)=0,32\,\frac{0,00267-0,00186}{69,6\cdot10^{-6}\cdot0,146\cdot7,5\cdot120} = 0,030\ А/м^2;$$

$$j'(20) = 35\cdot(0,00508-0,0036) = 0,052\ А/м^2.$$

2.3. Поскольку при токе, равном 0, плотности тока во всех интервалах равны 0, то, проводя прямые линии по трем точкам, находим зависимости плотности тока от силы поляризующего тока для обоих интервалов:

– для первого интервала

$$j'(\bar{J}_o) = 0,00125\cdot\bar{J}_o; \qquad (I)$$

– для второго интервала

$$j'(\bar{J}_o) = 0,00243\cdot\bar{J}_o. \qquad (2)$$

2.4. При отсутствии опытных данных можно пользоваться формулой (5.2) ( $\alpha_{\kappa} \approx 0{,}68 \cdot 10^{-3} 1/\nu$).

2.4.1. Рассматриваем сумму в формуле (5.2), пользуясь данными таблицы 2:

$$\sum_{i=1}^{10} H_i ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300 - \bar{T}_i)\right] / \rho_i = \frac{200\, ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-100)\right]}{30} +$$

$$+ \frac{70\, ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-255)\right]}{410} + \frac{900\, ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-410)\right]}{324} + \frac{40\, ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-690)\right]}{130} +$$

$$+ \frac{90\, ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-755)\right]}{45} + \frac{220\, ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-910)\right]}{92} + \frac{200\, ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-1120)\right]}{90} +$$

$$+ \frac{100\, ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-1210)\right]}{530} + \frac{260\, ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-1170)\right]}{141} + \frac{120\, ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-1640)\right]}{60} = 23{,}6.$$

2.4.2. Рассчитываем плотности тока в интервалах с №№ 4, 5 и 6, в пределах которых расположены агрессивные горизонты:

$$j_4 = J_0 \frac{ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-690)\right]}{3{,}14 \cdot 0{,}146 \cdot 130 \cdot 2 \ldots 6} = 0{,}009\, J_0; \quad j_5 = J_0 \frac{ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-755)\right]}{3{,}14 \cdot 0{,}146 \cdot 45 \cdot 23{,}6} = 0{,}0025\, J_0;$$

$$j_6 = J_0 \frac{ch\left[0{,}68 \cdot 10^{-3}(1300-910)\right]}{3{,}14 \cdot 0{,}146 \cdot 202 \cdot 23{,}6} = 0{,}00053\, J_0.$$

2.4.3. Поскольку первый агрессивный горизонт (600–700 м) под устьем скважины в 4-м интервале, то для него

$$j(J_0) = 0{,}0009 \cdot J_0.$$

2.4.4. Второй агрессивный горизонт (700–820) расположен в 5-м и 6-м интервалах, поэтому для него определяем средневзвешенное значение плотности тока:

$$j(J_0) = \frac{0{,}0025 \cdot 100 + 0{,}00058 \cdot 20}{120} J_0 = 0{,}0022 \cdot J_0.$$

2.5. В практике катодной защиты защитный ток обсадной колонны не выходит обычно за пределы $J_0 = 0$–30 А, которым соответствуют плотности тока в первом и втором горизонтах 0,–0,04 и 0–0,07 А/м$^2$. В этих пределах аппроксимирование кривых рис. II.16.1 можно аппроксимировать следующими функциями:

– для кривой 1

$$\Delta\varphi = -1{,}3 \cdot j^{0{,}7}; \qquad (3)$$

– для кривой 2

$$\Delta\varphi = -1{,}8 \cdot i \qquad (4)$$

2.6. Определяем зависимости поляризации в исследуемых горизонтах от силы поляризующего тока, подставляя значения плотностей тока из выражений (I) и (2) в функции (3) и (4):

– для первого горизонта

$$\Delta\varphi = -1{,}3\,(0{,}00125\,\bar{J}_o)^{0{,}7} = -0{,}012\,\bar{J}_o^{0{,}7};$$

– для второго горизонта

$$\Delta\varphi = -1{,}8\,(0{,}00245\,\bar{J}_o) = -0{,}0044\,\bar{J}_o.$$

2.7. Определяем зависимость степени защищенности обсадных труб в указанных горизонтах от силы поляризующего тока, подставляя последние зависимости в формулу (5.4), причем принимаем $b_a$ =0,07 В:

– для первого горизонта

$$P_1 = 1 - \exp\left[\frac{2{,}3}{b_a}\left(-0{,}012\,\bar{J}_o^{0{,}7}\right)\right] = 1 - \exp\left(-0{,}39\,\bar{J}_o^{0{,}7}\right);$$

– для второго

$$P_2 = 1 - \exp\left[\frac{2{,}3}{b_a}\left(-0{,}0044\,\bar{J}_o\right)\right] = 1 - \exp\left(-0{,}145\,\bar{J}_o\right).$$

2.8. Задаемся наиболее вероятным, практически применимым, значением тока $\bar{J}_o$ =10А и рассчитываем остаточные скорости коррозии в исследуемых горизонтах для выявления интервала колонны, где наблюдается максимальная остаточная скорость коррозии ( первоначальные скорости коррозии определяем из приложения I, кривая 2):

$$\Pi_1 = \Pi_1'(1-P_1) = 0{,}1\left[1 - 1 + \exp(-0{,}39 \cdot 10^{0{,}7})\right] = 0{,}014 \text{ мм/год};$$

$$\Pi_2 = \Pi_2'(1-P_2) = 0{,}16\left[1 - 1 + \exp(-0{,}145 \cdot 10)\right] = 0{,}038 \text{ мм/год}.$$

т.е. максимальная остаточная скорость коррозии будет наблюдаться во втором горизонте ; тогда степень защищенности обсадной колонны согласно формуле (5.6) будет равна ( $\Pi_a = \Pi_M = \Pi_2$, $P_M = P_2$):

$$P_K = P_K'(\bar{J}_o) = 1 - \frac{\Pi_M}{\Pi_a}(1 - P_M) = 1 - \frac{\Pi_2}{\Pi_2}(1 - P_2) = P_2 = 1 - \exp(-0{,}145 \cdot \bar{J}_o).$$

2.9. Для того, чтобы полученная зависимость соответствовала

нала середини найбільш віддаленого горизонта): $l_a^3 = 100$ м :

$K_a = 0{,}23 \cdot 160^{0{,}31} \cdot l_a^{-0{,}1} = 1{,}8 \cdot l_a^{-0{,}1} = 1{,}8 \cdot 100^{-0{,}1} = 1{,}14$ ,тогда

согласно формулы (5.9) получим

$$P_k = 1 - \exp[-0{,}145\,(1{,}14 \cdot \gamma)] = 1 - \exp(-0{,}165 \cdot \gamma_0).$$

2.10. Рассчитываем средние продольные сопротивления обсадных колонн и заводских линий по формуле (5.12)

$$\gamma_k = \frac{0{,}32 \cdot 0{,}24}{5\,(146-5)} = 69{,}6 \cdot 10^{-6}\ \text{Ом/м}; \quad \gamma_r = \frac{0{,}32 \cdot 0{,}24}{5\,(100-5)} = 162 \cdot 10^{-6}\ \text{Ом/м}.$$

2.11. Рассчитываем среднее удельное сопротивление пород разреза скважин по формуле (5.13), используя данные табл.2:

$$\rho_n = \frac{1100}{\sum H_i / \rho_i} = 95\ \text{Ом м}.$$

2.12. Рассчитываем среднее переходное сопротивление обсадных колонн по формуле (5.15) методом последовательных приближений ; в первом приближении принимаем $R_k = \rho_n = 95$ Ом :

$$R_k = 0{,}31 \cdot 95 \cdot \lg \frac{2 \cdot 10^3}{0{,}146\sqrt{69{,}6 \cdot 95}} = 158\ \text{Ом}$$

во втором приближении подставляем полученное значение

$$R_k = 0{,}31 \cdot 95 \cdot \lg \frac{2 \cdot 10^3}{0{,}146\sqrt{69{,}6 \cdot 158}} = 151\ \text{Ом},$$

т.к. последнее значение мало отличается от предыдущего, то расчеты можно закончить.

2.13. Точно также рассчитываем среднее переходное сопротивление заводских линий по формуле (5.14), приняв в первом приближении $R_r = R_k + \rho_r$:

$$R_r = 20 + 0{,}37 \cdot 40 \lg \frac{60 \cdot 10^6}{0{,}1 \cdot 162} = 117\ \text{Ом},$$

$$R_r = 20 + 0{,}37 \cdot 40 \lg \frac{117 \cdot 10^6}{0{,}1 \cdot 162} = 121\ \text{Ом},$$

$$R_r = 20 + 0{,}37 \cdot 40 \lg \frac{121}{0{,}1 \cdot 162} = 122\ \text{Ом}.$$

2.14. Так как $R_r < 150$ Ом, принимаем индивидуальную схему катодной защиты.

2.15. Определяем по формуле (5.12) коэффициенты утечки сталеалюминиевой опоры и грозового гиней :

$$\alpha_м = \sqrt{r_м / R_м} = \sqrt{69{,}6 \cdot 10^{-6} / 151} = 0{,}68 \cdot 10^{-3}\ 1/м;$$

$$\alpha_т = \sqrt{r_т / R_т} = \sqrt{162 \cdot 10^{-6} / 122} = 1{,}15 \cdot 10^{-3}\ 1/м.$$

2.16. Рассчитываем коэффициент

$$K_т = \frac{69{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}15\,10^{-3} cth(0{,}68 \cdot 10^{-3} \cdot 1700)}{162 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}68 \cdot 10^{-3} cth(1{,}15 \cdot 10^{-3} \cdot 200)} + 1 = 1{,}64.$$

3. Определение оптимальной величины защитного тока.

3.1. При $l_1 = 760$ м и согласно пп. 5.4.9 принимаем $l_м = 30$ м.

Рассчитываем коэффициент:

$$K_a = 0{,}23 \cdot 760^{0{,}35} \cdot 30^{-0{,}1} = 1{,}28.$$

3.2. Определяем функцию ежегодных отказов (см. приложение 15)

$$\bar{f}(t_3 + t) = 0{,}0004 \exp[0{,}2 (t_3 + t)], \text{ при } t = 0{,}5\,T, t_3 = 14, T = 2.$$

$$\bar{f}(14 + 14) = \bar{f}(28) = 0{,}0004 \exp(0{,}2 \cdot 28) = 0{,}101.$$

3.3. По формуле (5.17) определяем функцию

$$\bar{f}_3(J_0) = [1 - 1 + \exp(-0{,}165 J_0)] \cdot 0{,}0004 \exp\{0{,}2[14 + 1 - 1 + \exp(-0{,}165 J_0)]\} = \exp(-0{,}165 J_0) \times$$

$$\times 0{,}0004 \exp[2{,}8 + 2{,}8 \exp(-0{,}165 J_0)] = 0{,}0066 \exp[2{,}8 \exp(-0{,}165 J_0) - 0{,}165 J_0].$$

3.4. Определяем функцию

$$\Delta \bar{f}(J_0) = 0{,}101 - 0{,}0066 \exp[2{,}8 \exp(-0{,}165 J_0) - 0{,}165 J_0].$$

3.5. При $C_{об} = 50$ руб/год, $C_э = 0{,}007$ руб/квт.ч, $C_м = 18{,}5$ руб/квт.год, $\cos\varphi = 0{,}7$ и $U_м = 24$ кВ рассчитываем эксплуатационные расходы по формулам (5.19) и (5.20)

$$C = 3{,}53 J_0 + 1{,}33 J_0 + 50 = 50 + 4{,}86 J_0 = C(J_0)$$

3.6. Стоимость капитальных затрат тала КСС и зависимость от величины мощности можно представить в виде следующей эмпирической зависимости:

$$C_к = 170 + 330 \cdot 2 N_к(J_0) = 170 + 0{,}33 U_м \cdot J_0 K_т R_0 = 170 + 16{,}6 J_0.$$

3.7. При $C_{ин}$=20 руб, $C_д$ =90 руб, $\rho_г$ =40 Ом·м, a=1,1 (принимаем вертикальный АЗ) и Со=25 руб/м по формуле (5.21) находим функцию капитальных затрат на катодную защиту

$$K = 170 + 16{,}6\,J_o + \frac{1{,}1 \cdot 25 \cdot 1{,}28 \cdot 1{,}64 \cdot 40}{0{,}8 \cdot 24}\,J_o + 90 + 20 = 280 + 137\,J_o.$$

3.8. По формуле (4.3) рассчитываем B(т)

$$B(T) = B(26) = 11\left[1 - 1{,}1^{-26}\right] = 10{,}1.$$

3.9. Рассчитываем по формуле (5.22) функцию приведенных капитальных затрат

$$K_{пр}(J_o) = (280 + 137\,J_o)\left(\frac{1}{1{,}1^{0}} + \frac{1}{1{,}1^{10}} + \frac{1}{1{,}1^{20}}\right) = 431 + 211\,J_o.$$

3.10. Рассчитываем среднегодовые приведенные затраты на защиту

$$З_{пр} = \frac{1}{T}\left[C(J_o)B(T) + K'_{пр}(J_o)\right] = \frac{1}{26}\left[(50 + 4{,}86\,J_o)10{,}1 + 431 + 211\,J_o\right] = 36 + 10\,J_o.$$

3.11. По формуле (5.23) находим функцию сравнительной экономической эффективности

$$Э(J_o) = \frac{\left\{0{,}108 - 0{,}0066\exp\left[2{,}8\exp(-0{,}165\,J_o) - 0{,}165\,J_o\right]\right\}10{,}1}{26}(15000 + 20 \cdot 3 \cdot 30 \cdot 0{,}95) - 36 - 10\,J_o =$$

$$= 701 - 42{,}8\exp\left[2{,}8\exp(-0{,}165\,J_o) - 0{,}165\,J_o\right] - 36 - 10\,J_o =$$

$$= 665 - 42{,}8\exp\left[2{,}8\exp(-0{,}165\,J_o) - 0{,}165\,J_o\right] - 10\,J_o.$$

Решаем эту функцию при различных значениях $J_o$:

Э(5)=551, Э(8)=561, Э(10)=551.

Строя график этой зависимости, находим $Э_{max}(7{,}5)$=562. Следовательно, оптимальный защитный ток одной обсадной колонны равен

$J_o$ =7,5 ≈ 8А.

Приложение I7

## Пример расчета параметров кустовой катодной установки

I. Исходные данные

I.I Количество скважин в кусте К=I0.

I.2. Средние характеристики обсадных колонн всех скважин куста примерно одинаковые и совпадают с примером в приложении I6.

I.3. Все скважины куста работают на одну общую выкидную линию-коллектор, со следующими характеристиками : $L_т$ =I0000 м, $Д_т$=0,2 м, $\delta_т$ =7 мм, $R_и$ =500 Ом , $h_т$=I,2 м.

I.4. Среднее удельное сопротивление грунта по трассе выкидной линии $\rho_г$ =60 Ом·м, среднее сопротивление пластов в разрезе скважин $\rho_п$ =95 Ом·м. Распределение удельного сопротивления грунта до глубины 50 м в районе куста следующее :

Таблица 3

| Интервалы,м | 0–I0 | I0–25 | 25–40 | 40–50 |
|---|---|---|---|---|
| № слоя | I | 2 | 3 | 4 |
| Толщина слоя $h_i$,м | I0 | I5 | I5 | I0 |
| $\rho_{гi}$ , Ом·м | 40 | 30 | 20 | 85 |

I.5. Величина защитного тока обсадной колонны составляет $J_0$ =8А (см.приложение I6).

2. Расчет параметров КУ

2.I. Рассчитываем электрические параметры обсадных колонн куста:

$$\gamma_к = 69{,}6 \cdot 10^{-6}\ Ом/м\ ;\quad R_к = 161\ Ом\cdot м\ ;\quad \alpha_к = 0{,}68 \cdot 10^{-3}\ 1/м.$$

2.2. Рассчитываем эквивалентные электрические параметры обсадных колонн куста

$$Z_к^э = \frac{Z_к}{k} = \frac{69,6}{10} 10^{-6} = 7 \cdot 10^{-6}\ Ом/м;\quad \alpha_к^э = \alpha_к = 0,68\ 10^{-3}\ 1/м.$$

2.3. Рассчитываем электрические параметры выходной линии:

$$Z_т = \frac{0,32 + 0,24}{7(500-1)} = 2^{-3},4 \cdot 10^{-6}\ Ом/м;$$

$$R_т = 500 + 0,37 \cdot 60\ Cg \frac{500+60}{0,3 \cdot 1,2\ 32,4\ 10^{-6}} = 669\ Ом,$$

$$R_т = 500 + 0,37 \cdot 60\ Cg \frac{669}{0,3 \cdot 1,2 \cdot 32,4\ 10^{-6}} = 671\ Ом;$$

$$\alpha_т = \sqrt{32,4 \cdot 10^{-6} / 671} = 0,24\ 10^{-3}\ 1/м$$

2.4. Рассчитываем коэффициент

$$K_т = \frac{2 R_к^2 \alpha_т\ cth(\alpha_к^э L_к)}{2 \alpha_к^э\ cth(\alpha_т L_к)} + 1 = \frac{7 \cdot 10^{-6} \cdot 0,24 \cdot 10^{-3}\ cth\ 2,16}{32,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,68 \cdot 10^{-3}\ cth\ 2,4} = 1,08.$$

2.5. Удаление вводных заземлителей от устья боковых скважин выбираем $l_а$ = [illegible] м. При этом коэффициент ( $L_1$ =700 м)

$$K_а = 0,23\ 700^{0,34} \cdot 5^{-0,1} = 1,28.$$

2.6. Находим общий ток КУ

$$I_{кг} = k_{нн} \sum_{i=1}^{K} K_т K_а J_{ci} = k\ Y_{нн}\ K_т \cdot K_а \cdot J_с = 133\ А.$$

2.7. Рассчитываем общее сопротивление АЗ ( $U_н$ =48 В, $R_{ст}$ =0,05 Ом)

$$R_з^{ж} = \frac{0,8 \cdot 48}{133} - 0,05 = 0,239\ Ом.$$

2.8. Рассчитываем среднее удельное сопротивление верхних слоев грунта в зоне растекания по данным табл. 3

$$\bar{\rho}_г = \frac{\sum h_i}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \frac{h_3}{\rho_3} + \frac{h_4}{\rho_4}} = \frac{60}{\frac{15}{70} + \frac{15}{30} + \frac{15}{50} + \frac{15}{55}} = 31\ Ом.$$

2.9. АЗ выбираем вертикальное, длиной электродов $l$ =40 м, диаметром $d_э$ =0,114 м ([illegible] типа ЭГТ-2500 по ТУ 48-20-[illegible]-77 Новочеркасского электродного завода, материал электродов – графитопласт, масса 1 пог.м $m_э^п$ =7 кг/м).

Сопротивление одного АЗ

$$R_з = 0,27 \frac{31}{40} Cg \frac{4 \cdot 40}{0,114} = 0,9\ Ом.$$

2.10. Определяем ориентировочное количество АЗ без учета коэффициента использования:

$$N_3' = R_3 / R_3^{ОС} = 0,9/0,239 = 3,77 \approx 4.$$

2.11. Располагаем АЗ равномерно по периметру куста. Определяем среднее расстояние между предполагаемыми точками размещения АЗ $b$ = 20 м, так что $b/l = 20/40 = 1,75$.

Из приложения 4 определяем коэффициент использования для $b/l = 2$ и $N_3 = 5$: $K_и = 0,8$.

2.12. Уточняем количество АЗ по формуле (5.36)

$$N_3 = R_3 / (K_и \cdot R_3^{ОС}) = 0,9/(0,8 \cdot 0,239) = 4,7 \approx 5.$$

2.13. Уточняем с учетом полученного количества АЗ места их размещения.

2.14. Рассчитываем максимальную плотность тока утечки с электродов по формуле (5.36)

$$j_{max} = \frac{J_3}{\rho_{min} \sum_{i=1}^{m} h_i/\rho_{ri}} = \left| \begin{array}{l} J_3 = \frac{J_{ОС}}{N_3} = \frac{133}{5} = 26,6 \text{ А}, \\ m = 3,\ \rho_{min} - 20 \text{ Ом м} \end{array} \right| = \frac{26,6}{20\left(\frac{10}{40} + \frac{15}{30} + \frac{15}{70}\right)} = 0,89 \text{ А/м}.$$

2.15. Рассчитываем требуемую массу 1 пог. м электродов без применения засыпки (Тр=10 лет, слой грунта с минимальным сопротивлением с окисн сугланником, поэтому, согласно приложению 5, для графитопласта $q$ =1,1 кг/А·год)

$$m_0 = 1,3 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 10 = 12,7 \text{ кг/м},$$

т.е. полученная величина больше фактической массы выбранных электродов. Это значит, что расчетный срок службы АЗ не будет достигнут. Поэтому применяем коксовую засыпку электродов путем заполнения скважин АЗ после спуска электродов коксовой мелочью. Тогда $q$ =0,3 кг/А·год, а

$$m_0 = 1,3 \cdot 0,89 \cdot 0,3 \cdot 10 = 3,5 \text{ кг/м},$$

что меньше фактической массы 1 пог.м. электродов.

При отсутствии коксовой мелочи (из-за, например, больших транспортных затрат) увеличивают количество АЗ. Общее количество АЗ с учетом обеспечения расчетного срока их службы рассчитывается по формуле

$$N_3 = \frac{1,3 \cdot J_{cs} \cdot \varphi \cdot T_p}{m_c^n \cdot \rho_{min} \sum_{i=1}^{m} h_i / \rho_{ri}} = \frac{1,3 \cdot 133 \cdot 1,1 \cdot 10}{7 \cdot 20 \left(\frac{10}{40} \cdot \frac{15}{30} \cdot \frac{15}{20}\right)} = 9,$$

т.е. при отсутствии коксовой засыпки количество АЗ необходимо увеличить до 9.

2.16. Определим мощность на выходе СКЗ котельной установки куста

$$N = J_c \cdot U_н = 133 \cdot 48 = 6384 \text{ Вт} = 6,4 \text{ кВт}$$

Согласно приложению 6, СКЗ мощностью 6,4 кВт с номинальным током 133 А отсутствует. Поэтому определяем мощность, теряемую на каждом АЗ

$$N_{a3} = N/N_3 = 6384/5 = 1277 \text{ Вт} = 1,3 \text{ кВт}.$$

Выбираем два АПЗ-3,0 и один АПЗ-1,2 , причем соединение АЗ с дренажными линиями осуществляем таким образом, чтобы каждый АПЗ-3,0 работал на пять АЗ, а АПЗ-1,2 – на один АЗ.

Отрицательные клеммы всех АПЗ соединяются вместе и далее со стальной полосой, проложенной по всем колоннам сварки (рис. П.17.1).

Продолжение приложения I7

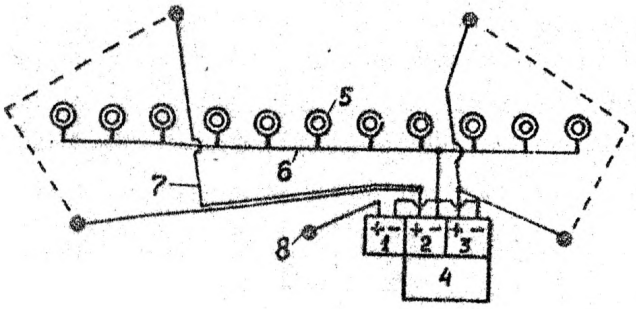


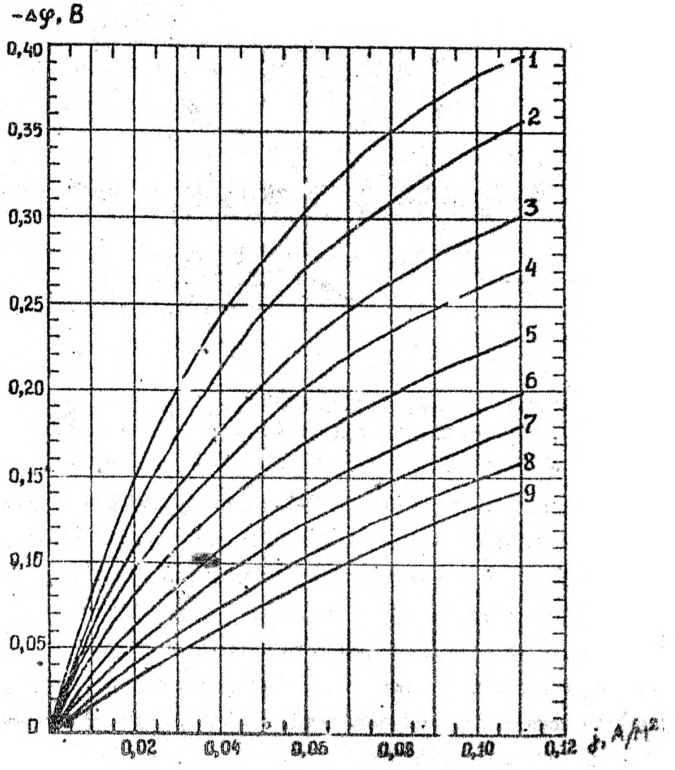

Рис. П.I7.I. Схема расположения и соединения АЗ и СКЗ на кусте.

I- АРТЗ-I,2 ; 2 и 3 - АРТЗ-3,0 ; 4- трансформаторная подстанция ; 5 - устья скважин ; 6 - стальная шина сечением 300 мм$^2$; 7-кабель АВВГ-500 сечением I х 20 мм$^2$.

Примечание. В случае,если обстановка в районе устьев скважин в кусте не позволяет прокопать кабельную траншею между скважинами,то кабельные линии прокладываются в обход устьев скважин, как это показано пунктирными линиями. В этом случае сечение кабеля увеличивается.

Приложение I6

Стационарные катодные поляризационные кривые трубной стали в сероводородсодержащих пластовых водах ( $t$ =I5-35°C)




Кривые соответствуют концентрациям $H_2S$ :

I- 0÷5 мг/л ; 2-5÷30 мг/л; 3-30÷60 мг/л ; 4-60÷80 мг/л; 5-80÷I20 мг/л; 6-I20÷I70 мг/л ; 7-I70÷250 мг/л; 8-250÷350 мг/л; 9-350÷450 мг/л.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

I. Инструкция по применению катодной защиты обсадных колонн скважин в нефтяной промышленности. Бугульма,ТатНИПИнефть,1975,73с.

2. Инструкция по сооружению анодных заземлений из графитопластовых электродов в системе катодной защиты скважин. РДИ-39-43-78. Бугульма,ТатНИПИнефть,1977,24 с.

3. Методика оценки технической надежности обсадных колонн нефтяных скважин для месторождений,находящихся на поздней стадии разработки. РД I-39-44-78. Бугульма,ТатНИПИнефть,1977,42 с.

4. Глазов Н.П.,Стрижевский И.В. и др. Методы контроля и измерений при защите подземных сооружений от коррозии.М.,"Недра",1978,215с.

5. Строительные нормы и правила. Часть Ш, раздел В.Глава 6.I , М., Стройиздат,1965 .

6. Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности. М.,"Недра", 1975.

7. Инструкция по технике и технологии катодной защиты обсадных колонн скважин ( для объединения "Татнефть")г.Бугульма,ТатНИПИнефть, 1979,63 с.

# СОДЕРЖАНИЕ

стр

АННОТАЦИЯ . . . . . 2

1.ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ . . . . . 3-4

2.КОРРОЗИЯ ОБСАДНЫХ КОЛОНН . . . . . 4-6

3.ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ОТКАЗОВ ОБСАДНЫХ КОЛОНН. . . . 6-8

4.ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ОБСАДНЫХ КОЛОНН.. 9-12

5.РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ . . . . . 12-35

5.1. Принципы и схемы катодной защиты обсадных колонн ..... 12-14

5.2. Исходные данные для расчета и проектирования катодной защиты . . . . . 14-16

5.3.Определение функциональных зависимостей между основными параметрами катодной защиты . . . . . 16-25

5.4.Определение оптимальных параметров катодной защиты . . 25-27

5.5.Расчет и проектирование анодного заземлителя . . . . . 27-31

5.6.Исключение вредного влияния блуждающих токов катодных установок к скважин на соседние сооружения . . . . . 31-35

6. СТРОИТЕЛЬСТВО СИСТЕМЫ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ . . . . . 35-47

6.1. Монтаж станций катодной защиты . . . . . 35-36

6.2. Строительство анодных заземлителей . . . . . 36-44

6.3. Строительство кабельных линий . . . . . 44-46

6.4. Требования к качеству строительства системы катодной защиты . . . . . 46-47

7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМЫ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ . . . . . 48-51

8. КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ . . . . . 51-52

9. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ . . . . . 52-58

9.1. Общие положения . . . . . 52-63

9.2. Строительство анодных заземлителей . . . . . 53-54
9.3. Земляные работы и прокладка кабелей . . . . . 54-55
9.4. Монтаж станций катодной защиты . . . . . 55-56
9.5. Сварочные работы . . . . . 56-57
9.6. Эксплуатация катодной защиты . . . . . 57-58
ПРИЛОЖЕНИЯ . . . . . 59-102
ЛИТЕРАТУРА . . . . . 103

gost.e-ecolog.ru