МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ СТАНДАРТИЗАЦИИ

РАСЧЕТ КАТОДНОЙ И ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

РДС 39-01-016-78

Москва

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Научно-исследовательским и проектным институтом "ГИПРОМОРНЕФТЬ"
Зам. директора по научной работе Новоумов А.А.
Зав. сектором стандартизации Садовников Р.Г.
Руководитель темы Трифонов Н.С.
Исполнители: Гаевский В.М., Попов В.И.

ПОДГОТОВЛЕН К УТВЕРЖДЕНИЮ Техническим управлением Министерства нефтяной промышленности
Зам. начальника Управления Кармановский В.Д.
Начальник отдела стандартизации и нормирования Орлов В.И.

СОГЛАСОВАН Управлением бурения Зам. начальника Управления бурения С.Г.
Производственное объединение "Каспморнефть"
Генеральный директор Сулейманов А.К.

УТВЕРЖДЕН Министерством нефтяной промышленности
Заместитель Министра В.М. Хаванов

ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ ПРИКАЗОМ ПО МИНИСТЕРСТВУ
от 15.06.78 № 300.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ СТАНДАРТИЗАЦИИ

РАСЧЕТ КАТОДНОЙ И ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ	РДС Впервые

Приказом Министерства нефтяной промышленности
от 15.06.78 № 300 срок действия установлен с 01.01.79
до 01.01.84

Настоящий руководящий документ стандартизации устанавливает порядок расчета катодной и протекторной защиты проектируемых и находящихся в эксплуатации подводных магистральных стальных трубопроводов и распространяется на трубы диаметром от 146 до 1220 мм

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Выбор средств электрохимической защиты должен производиться по результатам технико-экономических расчетов, учитывающих условия и способы прокладки трубопровода.

Катодная защита может осуществляться только в случаях, когда в зонах установки катодных станций опасность возникновения взрывов и пожаров отсутствует.

I.2. Учитывая особенности условий по выполнению изоляционных работ на подводных трубопроводах, способов их прокладки, транспортировки изолированных труб в открытое море, а также погружение трубопроводов в электролит, обладающий высокой электропроводностью, и наличие биологических обрастателей, при расчете электрохимической защиты проектируемых трубопроводов следует принимать исходные величины переходных

сопротивлений "труба – вода" по таблице I Приложения.

I.3. При расчете электрохимической защиты проектируемых трубопроводов необходимо учитывать старение защитных покрытий в соответствии с требованиями "Указаний по прогнозированию изменения защитных свойств изоляционных покрытий и параметров установок катодной защиты магистральных трубопроводов" (ВСН I-53-74),Миннефтегазстрой,1974 г.

I.4. При расчете электрохимической защиты трубопроводов, находящихся в эксплуатации, величины переходного сопротивления следует определять по данным включений опытных катодных станций или по величинам,приведенным в таблице I Приложения.

При расчете электрохимической защиты трубопроводов, находящихся в эксплуатации более 5 лет,величину переходного сопротивления следует определять только по данным включений опытных катодных станций.

I.5. Методика оценки величины переходного сопротивления должна соответствовать требованиям "Инструкции по контролю состояния изоляции законченных строительством участков трубопроводов катодной поляризацией" (ВСН 2-28-76),Миннефтегазстрой,1976,и раздела 3 настоящего РДС.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

$Д$ – внешний диаметр трубопровода,м;

δ – толщина стенки трубопровода,мм;

H – глубина погружения трубопровода,м

ρ – удельное электрическое сопротивление морской воды, Ом·м ;

Σ – расстояние между двумя соседними установками катодной защиты или протекторными установками, м;

R_a – продольное сопротивление трубопровода, Ом/м;

$U_{корр}$ – потенциал коррозии металла трубопровода,В, по медносульфатному электроду сравнения (МСЭ);

В морской воде для малоуглеродистых сталей

$U_{макс}$ – максимальный поляризационный (защитный) потенциал, В по МСЭ ;

Для проектируемых трубопроводов

$$U_{макс} = -1,1 \text{ В}$$

Для изолированных трубопроводов, находящихся в эксплуатации до 5-и лет,

$$U_{макс} = -1,2 \text{ В}$$

Для изолированных трубопроводов, находящихся в эксплуатации более 5 лет,

$$U_{макс} = -1,3 \text{ В}$$

Для неизолированных трубопроводов, находящихся в эксплуатации,

$$U_{макс} = -1,5 \text{ В}$$

$U_{мин}$ – минимальный поляризационный (защитный) потенциал, В по МСЭ ;

$$U_{мин} = -0,85 \text{ В}$$

Для трубопроводов, находящихся в эксплуатации и не оборудованных специальными контрольно-измерительными пунктами для измерения поляризационных потенциалов, максимальный потенциал трубы по МСЭ, включающий поляризационный и омическую составляющие, не должен превышать :

- 2,6 В для трубопроводов, находящихся в эксплуатации до 5 лет ;
- 2,7 В для трубопроводов, находящихся в эксплуатации более 5 лет.

3. РАСЧЕТ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ

3.1. Предварительные расчеты по трассе трубопровода

3.1.1. Для трубопроводов, находящихся в эксплуатации, определение величины переходного сопротивления трубопровода $R_п$ производят на основании данных опытной катодной станции по формуле

$$R_п = -\frac{\pi D}{K J_0}\left[(U_0+U_1)(X_1-X_0)+(U_1+U_2)(X_2-X_1)+\cdots\right.$$
$$\left.\cdots+(U_{n-1}+U_n)(X_n-X_{n-1})\right], \text{ Ом·м}^2 \qquad (1)$$

где $U_1, U_2, \ldots, U_n$ – смещения потенциалов, В;

$X_1, X_2, \ldots, X_n$ – расстояния от точки отсоса $X_0 = 0$, м;

U_0 – смещение потенциала в отсосе, В;

J_0 – полный ток в отсосе, А;

K – константа, равная 2 в случае отсоса, совпадающего с концом трубопровода, и равная 1 для отсоса, удаленного от концов трубопровода.

3.1.2. В случаях, когда по техническим причинам определение смещения потенциала более, чем в двух точках, невозможно, переходное сопротивление определяют по формуле

$$R_п = -\frac{2\pi D U_0 x'}{K J_0 [\ln U_0 - \ln U(x')]}, \text{ Ом·м}^2 \qquad (2)$$

3.1.3. Величину поляризационного сопротивления $R_{пол}$ определяют по формулам (1) и (2), в которых смещения потенциалов $U_0, U_1, \ldots$ и т.д. заменяют разностями смещения потенциалов $\varphi_0, \varphi_1, \ldots$ и т.д., измеренными в тех же точках при постоянном и периодическом включениях опытной катодной станции.

3.1.4. Средневзвешенное значение удельного электросопротивления морской воды является известной величиной для каждого бассейна

3.2. Расчет параметров установок катодной защиты

3.2.1. Реальное плечо защиты определяют по формуле

$$\frac{\Sigma}{2} = L = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{2(U_{макс} - U_{корр})}{K \cdot K_1 (U_{мин} - U_{корр})}, \text{ м}, \qquad (3)$$

где α – постоянная расчета, 1/м

K_I – константа

$$K_I = \frac{R_n}{R_{пол}}$$

3.2.2. Постоянную расчета α, характеризующую участок трубопровода в пределах каждого плеча защиты, находят по формуле

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 , \qquad (4)$$

где $\alpha_1 = a_1 b_1 c_1 d_1 e_1 g_1 + a_2 b_2 c_2 d_2 e_2 g_2 + a_3 b_3 c_3 d_3 e_3 g_3$ (5)

$$\alpha_2 = -\frac{0{,}000051}{D} + b_4 c_4 d_4 e_4 g_4 + b_5 c_5 d_5 e_5 g_5 \qquad (6)$$

Здесь $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, g_i$ – константы, зависящие соответственно только от расстояния трубопровода до анода l_{ab}, удельного электросопротивления среды ρ, переходного сопротивления трубопровода R_n^{ef}, продольного сопротивления трубопровода R_o, глубины погружения H и диаметра трубопровода D. (таблицы 2–7).

3.2.3. Величины продольного сопротивления R_o приведены в табл.8.

3.2.4. Анодные заземления могут выполняться в виде многоэлектродных систем, глубинных заземлений, естественных заземлений, протяженных заземлителей.

В таблице 9 представлены рекомендуемые минимальные значения расстояний от трубопровода до анода.

3.2.5. Сопротивление растеканию заземлителей для подземных трубопроводов определяется в зависимости от их геометрических размеров, формы и расположения относительно поверхности раздела в соответствии с таблицей 10.

3.2.6. В случае совмещения в анодном заземлении, нескольких электродов общее сопротивление растеканию принимается, исходя из их параллельного включения :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} , \text{ Ом}, \qquad (7)$$

2-1062

где $R_1, R_2, \ldots, R_n$ - сопротивления отдельных электродов, Ом

3.2.7. Сопротивление растеканию анодных заземлений, состоящих из большого числа близкорасположенных вертикальных анодов из углового железа или труб, определяется по формуле

$$R = \frac{R_1}{\eta n}, \text{ Ом}, \qquad (8)$$

где η - коэффициент использования заземлителя /см. рис. 3.1./

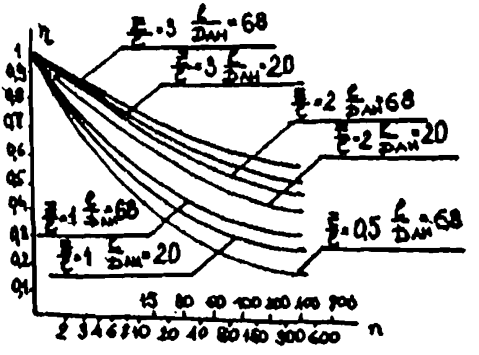

Рис.3.1. Зависимость коэффициента использования η от числа электродов n при заданных длине электрода l, диаметре или диагонали поперечного размера $D_{ан}$ и расстоянии между электродами a

3.2.8. При расчете сопротивления вертикального анодного заземлителя, расположенного в трехслойной среде (воздух-морская вода-донный грунт), могут представиться 2 случая :

- электропроводность воды в 10 и более раз выше, чем донных грунтов;
- проводимости обеих сред близки.

В первом случае расчет следует проводить без учета влияния части анода, забитой в грунт, в соответствии с таблицей 10 и формулами (7) и (8) с поверхностью раздела на границе "вода-воздух" и длиной электрода, равной глубине водоема.

Во втором случае расчет следует проводить раздельно для двух участков анода, расположенных в разных средах, по тем же формулам для поверхностей раздела соответственно "вода-воздух" и "вода-донный грунт". Полное сопротивление растеканию подсчитывается по выражению:

$$\frac{1}{R'} \simeq \frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2}, \frac{1}{Ом}, \qquad (9)$$

где R'_1 - сопротивление участка, контактирующего с водой, Ом;
R'_2 - то же, с донным грунтом, Ом.

Учет взаимных влияний отдельных электродов производится в соответствии с графиками рис.3.1.

3.2.9. Значения сопротивлений, определяемые по формулам таблицы 10, для анодных заземлений, выполненных из ферросилида, должны быть увеличены на величину

$$\frac{U_A - U_{корр}}{J_0}, Ом,$$

где U_A - потенциал коррозии металла анодного заземления, В по МСЭ
Для ферросилида $U_A = 0,3$ В
J_0 - ток катодной станции, А.

3.2.10. Расчет массы G, кг, анодных заземлителей осуществляется, исходя из заданного срока службы τ /лет/ анодного заземления, установленной его конфигурации, тока станции J_0 и удельного выхода по току анодного материала A, кг/А·год, по формуле:

$$G = 1,25 A J_0 \tau, кг \qquad (10)$$

1962

Величины удельных выходов по току для различных материалов приводятся в таблице II.

3.2.II. В тех случаях, когда масса анодного заземлителя, подсчитанная, исходя из формы и количества электродов, диктуемых расчетным сопротивлением растеканию, оказывается меньше величины G, выбор анодного заземлителя следует осуществлять по сроку его службы с увеличением массы отдельных электродов или их количества.

3.2.I2. Входное сопротивление защищаемого трубопровода определяют по формуле

$$\frac{1}{R_{тр}} = \frac{1}{R_{p_1}} + \frac{1}{R_{p_2}}, \frac{1}{Ом}, \qquad (11)$$

где R_{p_1} и R_{p_2} - входные сопротивления участков трубопровода по обе стороны от точки отсоса установки катодной защиты.

3.2.I3. Входные сопротивления R_{p_i} определяют по формуле

$$R_{p_i} = \frac{\alpha R_{пi}}{\pi D}, Ом, \qquad (12)$$

где $R_{пi}$ - переходное сопротивление трубопровода на соответствующем участке, Ом·м^2

3.2.I4. Ток катодной станции определяют по формуле

$$J_o = J_{p_1} + J_{p_2}, A, \qquad (13)$$

где J_{p_1} и J_{p_2} - токи защиты каждого плеча катодной станции, А.

3.2.I5. Ток J_{pi}, рассчитываемый, исходя из минимального значения потенциала, определяется одновременно с плечом защиты $L_з$, т.е. с расстоянием от катодной станции до точки с наименьшим потенциалом между двумя смежными катодными станциями.

Расчет проводят по формулам

$$L_з = \frac{\alpha_c \Sigma}{\alpha + \alpha_c}, м, \qquad (14)$$

где α_c - постоянная расчета для смежного плеча соседней станции, I/м

и $$J_{Pi} = \frac{K_1(0{,}85 + U_{корр})}{2B} \cdot e^{\alpha L_2}, \text{ А}, \qquad (15)$$

где $$B = \frac{\alpha R_n}{\pi D}$$

3.2.16. Ток J'_{Pi}, определяемый, исходя из максимального поляризационного потенциала, находят по формуле

$$J'_{Pi} = \frac{U_{макс} + U_{корр}}{B}, \text{ А} \qquad (16)$$

3.2.17. Величину требуемого напряжения источника тока $U_{кс}$ определяют, исходя из суммарного падения напряжения в контуре защиты:

$$U_{кс} = J_0(R_a + R_т + R + R_{тр}) + (U_A + U_{корр} + 0{,}5), \text{ В}, \qquad (17)$$

где $R_{тр}$ – входное сопротивление трубопровода, Ом;
R_a – сопротивление анодной линии, Ом;
$R_т$ – сопротивление отсасывающей линии, Ом;
R – сопротивление растеканию заземлителя, Ом;
U_A – потенциал коррозии металла анодного заземлителя, В;
$U_{корр}$ – потенциал коррозии металла трубопровода, В.

Ориентировочные значения величин U_A и $U_{корр}$ приводятся в таблице 12.

3.2.18. Мощность катодной станции определяют, исходя из выбранных защитных токов и расчетных напряжений.

В тех случаях, когда номинальное напряжение станции оказывается меньше расчетного, допускается последовательное включение цепей выпрямленного тока двух катодных станций. В тех случаях, когда расчетный защитный ток оказывается большим, чем номинальный ток катодной станции, допускается параллельное соединение цепей выпрямленного тока катодных установок. При этом необходимо принимать меры против перегрузки источника тока при отключении одной из параллельно включенных станций.

3.2.19. Установленную мощность катодной станции $P_{уст}$ определяют по формуле

$$P_{уст} = \frac{U_н J_н \cdot 10^3}{\eta_в}, \text{ кВА}, \quad (18)$$

где $U_н$ - номинальное напряжение катодной станции, В;
$J_н$ - номинальный ток катодной станции, А;
$\eta_в$ - коэффициент полезного действия выпрямителя.

3.2.20. В тех случаях, когда ток катодной станции при проектировании определяется по минимальному поляризационному потенциалу между двумя соседними катодными станциями, оценка эффективности действия защиты требует расчета потенциала $U_{отс}$ в точке отсоса по формуле

$$U_{отс} = U_{корр} - \frac{K_1(0{,}85+U_{корр})}{2} \cdot e^{\alpha L_3}, \text{ В} \quad (19)$$

3.2.21. Если величина поляризационного потенциала трубопровода в точке отсоса $U_{отс}$ превышает по модулю значение максимального поляризационного (защитного) потенциала $U_{макс}$, то ток станции должен быть снижен, а реальное плечо защиты должно быть подсчитано по формуле (3).

4. РАСЧЕТ ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ

4.1. Расчет протекторной защиты трубопроводов включает в себя:

- выбор конструкции протекторной установки;
- определение константы расчета α;
- расчет сопротивления растеканию протекторной установки;
- расчет входного сопротивления защищаемого трубопровода;
- определение тока и срока службы протектора и зоны его действия.

4.2. Число протекторов в группе рекомендуется не более 5 при расстоянии между центрами протекторов от 3 до 5 м.

4.3. Постоянную расчета α определяют в соответствии с п.3.2.2.

4.4. Переходное сопротивление трубопровода $R_п$ определяют в соответствии с п.п.3.I.I., 3.I.2.

4.5. Сопротивление растеканию одиночных протекторов определяют в соответствии с табл. I0.

4.6. Сопротивление растеканию групповых протекторных установок определяют по формуле

$$R_{гп} = \frac{R_{оп}}{\eta n}, \text{ Ом}, \qquad (20)$$

где $R_{гп}$ – сопротивление растеканию групповой протекторной установки, Ом;

$R_{оп}$ – сопротивление растеканию одиночного протектора, Ом;

n – число протекторов в одной установке;

η – коэффициент использования /рис.3.I./.

4.7. Входное сопротивление защищаемого трубопровода в цепи рассматриваемой протекторной установки, учитывая влияние соседних протекторных установок, определяют по формуле

$$R_{тр} = \frac{\alpha R_п}{2\pi D}\left[\frac{1+e^{-\alpha l_п}}{1-e^{-\alpha l_п}}\right], \text{ Ом}, \qquad (21)$$

где $l_п$ – средневзвешенное значение расстояний между соседними протекторами l_i по обе стороны от точки подключения протектора

$$l_п = \frac{l_1 + l_2}{n}, \text{ м}$$

$R_п$ – значение переходного сопротивления трубопровода, Ом·м^2;

α – постоянная расчета, I/м;

D – диаметр трубопровода, м.

4.8. Входное сопротивление защищаемого трубопровода в цепи начальных или концевых протекторных установок определяют по формуле $R'_{тр} = 2R_{тр}$, Ом (22)

1962

4.9. Ток одиночного протектора $J_{оп}$ рассчитывают по формуле

$$J_{оп} = \frac{U_{мин} - U_{пр}}{R_{пр} + R_{тр}}, \text{ А}, \qquad (23)$$

где $R_{тр}$ - входное сопротивление трубопровода в цепи рассматриваемого протектора или протекторной установки, Ом;

$R_{оп}$ - сопротивление растеканию одиночного протектора, Ом;

$U_{пр}$ - рабочий потенциал протектора, В.

$U_{пр}$ = -1,47 В по МСЭ для протекторного сплава МгI6.

$U_{пр}$ = -1,50 В по МСЭ для протекторного сплава МгI6пч.

4.10. Ток групповой протекторной установки

$$J_{гп} = \frac{U_{мин} - U_{пр}}{R_{гп} + R_{тр}}, \text{ А}, \qquad (24)$$

где $R_{гп}$ - сопротивление растеканию групповой протекторной установки, Ом.

4.11. Расстояние l_i между двумя соседними протекторами или групповыми протекторными установками определяется по формуле:

$$l_i = \frac{2}{\alpha} \cdot \operatorname{Arsh} \frac{U_{отс}}{K_1 (U_{мин} - U_{корр})}, \text{ м}, \qquad (25)$$

где α - постоянная расчета, I/м;

$$K_1 = \frac{R_п}{R_{пол}} \qquad \text{(см.п.3.2.I.)}$$

$U_{мин}$ - минимальный поляризационный потенциал, В;

$U_{корр}$ - потенциал коррозии металла трубопровода, В;

$U_{отс}$ - потенциал в точке подключения протектора, определяемый действием только одного рассматриваемого протектора или протекторной установки, В,

$$U_{отс} = -\alpha \frac{J_п R_п}{2\pi D}, \text{ В},$$

где $J_п$ - ток одиночного протектора или групповой протекторной установки, А.

4.12. Для проверки выполнения ограничения, установленного пунктом 3.2.21., максимальное значение потенциала защищаемого трубопровода в отсосе определяется по формуле:

$$U_{макс} = U_{отс} \frac{1+e^{\alpha l}}{1-e^{\alpha l}} + U_{корр}, В \qquad (26)$$

4.13. Срок службы одиночного протектора определяют по формуле

$$\tau = \frac{G}{A J_{оп}}, \text{ лет},$$

где G - масса протектора, кг,

A - удельная емкость по току протекторного сплава, кг /А.год (табл.11).

4.14. Срок службы групповой протекторной установки определяют по формуле

$$\tau = \frac{G n}{A J_{гп}}, \text{ лет},$$

где n - количество протекторов в группе.

Таблица I

Примерные значения величин переходного сопротивления "труба-земля"

№№ п/п	Структура защитного покрытия	Способ прокладки трубопровода	Исходные величины переходного сопротивления, Ом·м^2	Переходное сопротивление, Ом·м^2, при сроке эксплуатации трубопровода	
				до 2 лет	до 5 лет
I	Цинконаполненная грунтовка Битумно-резиновая мастика Обертка каландрированной резиной	Свободное погружение	400	300	I50
2	Цинконаполненная грунтовка Битумно-резиновая мастика Обертка бризолом или стеклохолстом Железобетонная оболочка	Свободное погружение С трубоукладочной баржи	600 500	400 300	200 I50

Таблица 2

Значения констант a_1, a_2, a_3

Расстояние между трубопроводом и анодным заземлением ℓ мин,м	a_1	a_2	a_3
1	2	3	4
5,0 и менее	0,2240	0,3613	0,8211
7,5	0,1537	0,2699	0,7613
10	0,1176	0,2239	0,7542
15	0,08069	0,1720	0,7177
20	0,06176	0,1427	0,6928
30	0,04236	0,1096	0,6592
40	0,03242	0,09092	0,6364
50	0,02636	0,07864	0,6193
75	0,01808	0,06042	0,5892
100	0,01384	0,05012	0,5668
150	0,009491	0,03861	0,5413
200	0,007264	0,03194	0,5225
300	0,004983	0,02454	0,4972
400	0,003814	0,02035	0,4800
500	0,003100	0,01761	0,4671
600	0,002616	0,01564	0,4567
700	0,002267	0,01415	0,4482
800	0,002002	0,01297	0,4409
900	0,001795	0,01202	0,4346
1000	0,001627	0,01122	0,4290

Таблица 3

Значения констант b_1, b_2, b_3, b_4, b_5

Удельное сопротивление воды, ρ, Ом	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
0,50	0,7297	I,0364	0,9671	I,7363	0,9899
I,0	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000

Таблица 4

Значения констант c_1, c_2, c_3, c_4, c_5

Переходное сопротивление, $R_п$, Ом·м²	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
50	0,4679	23,346	-I20,I2	-0,3904	0,9058
75	0,4502	23,344	-I69,2I	-0,3I88	0,7482
I00	0,438I	23,343	-2I5,77	-0,276I	0,6533
I50	0,42I7	23,342	-303,94	-0,2254	0,5396
200	0,4I04	23,34I	-387,58	-0,I952	0,47I2
260	0,4004	23,340	-483,77	-0,I7I2	0,4I64
300	0,395I	23,340	-545,95	-0,I594	0,3892
400	0,3845	23,339	-696,I9	-0,I380	0,3399
500	0,3766	23,338	-840,66	-0,I235	0,3059
600	0,370I	23,337	-960,68	-0,II27	0,2807
700	0,3648	23,337	-III7,I	-0,I043	0,26I0
800	0,3602	23,336	-I250,5	-0,0976I	0,245I
900	0,3562	23,336	-I38I,4	-0,09203	0,23I9
I000	0,3527	23,335	-I5I0,0	-0,08731	0,2206

Таблица 5

Значения констант d_1, d_2, d_3, d_4, d_5

Продольное сопротивление трубопровода, $R_0 = R_0' \cdot 10^{-6}$ $\frac{Па}{м}$	$d_1 = d_1' \cdot 10^{-2}$	$d_2 = d_2' \cdot 10^{-4}$	$d_3 = d_3' \cdot 10^{-8}$	$d_4 = d_4' \cdot 10^{-2}$	$d_5 = d_5' \cdot 10^{-7}$
R_0'	d_1'	d_2'	d_3'	d_4'	d_5'
5,0	0,2236	0,8365	I,II80	0,9I44	2,0355
I0,0	0,3I62	I,4256	3,I623	I,I937	2,8940
I5,0	0,3873	I,9474	5,8095	I,3952	3,5555
20,0	0,4472	2,4297	8,9443	I,5585	4,II46
30,0	0,5477	3,3I89	I6,432	I,82I5	5,066I
40,0	0,6324	4,I4I0	25,298	2,0346	5,850I
50,0	0,7I60	4,9200	32,500	2,I500	6,7000
60,0	0,8020	5,7000	43,500	2,3200	7,5500
70,0	0,8860	6,5000	52,500	2,4700	8,3800
80,0	0,9740	7,3000	6I,500	2,6400	9,I600
90,0	I,0620	8,0800	70,500	2,8000	I0,000-
I00,0	I,I500	8,8800	79,750	2,9600	I0,820
II0,0	I,2340	9,3600	88,750	3,I200	II,620

Таблица 6

Значения констант

e_1, e_2, e_3, e_4, e_5

Глубина погружения трубопровода, H, м	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
1,0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
2,0	1,4142	1,2303	1,3588	0,5567	0,9628
3,0	1,7320	1,3888	1,6257	0,3952	0,9416
4,0	2,0000	1,5136	1,8462	0,3099	0,9270
5,0	2,2361	1,6190	2,0378	0,2567	0,9157
10,0	3,3500	2,2000	3,2500	0,0000	0,8800
20,0	5,6000	3,2000	5,4000	0,0000	0,8300
30,0	7,8000	4,2500	7,6000	0,0000	0,7850
40,0	10,100	5,2500	9,8000	0,0000	0,7350
50,0	12,300	6,3000	12,000	0,0000	0,6850
60,0	14,600	7,3000	14,200	0,0000	0,6450
70,0	16,800	8,3500	16,400	0,0000	0,5950
80,0	19,100	9,4000	18,600	0,0000	0,5450
90,0	21,400	10,400	20,800	0,0000	0,4980
100,0	23,500	11,450	23,100	0,0000	0,4480
110,0	25,900	12,500	25,300	0,0000	0,4000
120,0	28,200	13,550	27,500	0,0000	0,3520
130,0	30,500	14,600	29,800	0,0000	0,3050
140,0	32,700	15,650	32,000	0,0000	0,2600
150,0	34,900	16,700	34,250	0,0000	0,2100

Таблица 7

Значения констант q_1, q_2, q_3, q_4, q_5

Диаметр трубопровода, D, мм	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
1	2	3	4	5	6
194	2,1933	0,6696	37,904	0,05577	0,3184
219	2,1059	0,6836	31,381	0,06589	0,3379
245	2,0278	0,6969	26,348	0,07564	0,3569
273	1,9552	0,7100	22,260	0,08540	0,3765
299	1,8963	0,7212	19,318	0,09663	0,3936
325	1,8436	0,7316	16,965	0,1071	0,4101
351	1,7966	0,7414	15,048	0,1177	0,4269
377	1,7539	0,7505	13,462	0,1285	0,4410
426	1,6832	0,7665	11,129	0,1493	0,4683
477	1,6203	0,7815	9,3609	0,1716	0,4950
529	1,5648	0,7955	7,9416	0,1949	0,5208
620	1,4834	0,8176	6,2015	0,2369	0,5629
720	1,4106	0,8389	4,9126	0,2847	0,6058
820	1,3501	0,8578	4,0116	0,3341	0,6458

Таблица 8

Продольное сопротивление стальных трубопроводов

$$R_o = R'_o \cdot 10^{-6},\ \text{Ом/м}$$

Диаметр трубопровода, мм	Значение R'_o при толщине стенки трубопровода, мм														
	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	I0,0	I0,5	II,0	II,5
I94	I03	82,6	75,3	69,2	64,0	59,6	55,8	52,4	-	-	-	-	-	-	-
2I9	90,7	73,2	66,5	6I,I	56,5	52,6	49,2	46,2	-	-	-	-	-	-	-
245	80,9	65,0	59,2	54,4	50,3	46,8	43,8	4I,I	-	-	-	-	-	-	-
273	72,5	58,2	53,0	48,7	45,0	4I,9	39,2	36,8	-	-	-	-	-	-	-
299	66,I	53,I	48,3	44,4	4I,0	38,2	35,7	33,5	-	-	-	-	-	-	-
325	60,8	48,8	44,4	40,8	37,7	35,I	32,8	30,8	-	-	-	-	-	-	-
377	52,3	4I,9	38,2	35,I	32,4	30,I	28,2	26,4	24,9	-	-	—	-	-	-
426	46,2	37,I	33,7	3I,0	28,6	26,6	24,9	23,3	22,0	20,8	-	-	-	-	-
530	-	29,7	27,I	24,8	22,9	2I,3	I9,9	I8,7	I7,6	I6,6	-	-	-	-	-
720	-	-	-	-	I6,8	I5,6	I4,6	I3,7	I2,9	I2,2	II,6	II,0	I0,5	I0,0	-
820	-	-	-	-	-	-	I2,8	I2,0	II,3	I0,7	I0,I	9,63	9,I8	8,77	8,39

Таблица 9

Рекомендуемые величины минимальных расстояний от трубопровода до анодных заземлений

Переходное сопротивление трубопровода, Ом·м²	Удельное электросопротивление среды, Ом·м	Минимальные расстояния $\ell_{мин}$, м для трубопроводов диаметром, мм		
		194	426	820
50	0,5	50	100	200
	1,0	100	200	250
100	0,5	50	100	200
	1,0	100	200	400
500	0,5	50	75	100
	1,0	50	100	150
1000	0,5	50	50	50
	1,0	50	50	100

Таблица II

Удельные выходы по току различных материалов, применяемых для изготовления анодов

Металл анода	Удельные выходы по току, кг/А.год	
	морская вода	грунт
Сталь	9 - I0	9 - I0
Чугун	9 - I0	9 - I0
Алюминий и его сплавы	3 - 3,5	3 - 3;5
Хромоникелевая отожженная сталь	8 - I0	0,45 - 0,6
Ферросилид	0,I4 - 0,66	0,I2 - 0,48
Магниевые сплавы	6,2 - 8	6 - 7
Цинковые сплавы	I2 - I3	II - I2

Таблица I2

Потенциалы коррозии различных металлов относительно медносульфатного электрода сравнения, В

Материалы	Морская вода	Грунт влажностью I5%
	ρ= 0,5 Ом	ρ = 5 ÷ 50 Ом
Ферросилид	+ 0,3	+ 0,20
Сталь	- 0,7	- 0,45
Чугун	- 0,68	- 0,45
Алюминий	- 0,7	- 0,70
Алюминиевые сплавы	- 0,7 - I,I	- 0,7 - I,I
Хромоникелевая холоднокатанная сталь	-	- 0,20
Магниевые сплавы	- I,45 - I,55	- I,65
Цинковые сплавы	- 0,9 - I,I	0,9 - I,I5

Ф.П.Л. 1,5 Тираж 500.

Типография ХОЗУ Миннефтепрома. Зак. 1962

gost.e-ecolog.ru