

МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ
СТАНДАРТИЗАЦИИ**

**РАСЧЕТ КАТОДНОЙ И ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ
ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

РДС 39-01-016-78

Москва

РАЗРАБОТАН В ИДЦКБ Балтико-дальневосточным и
древесным институтом "ДВОРОКРЫЛЬЕ"
Зам. директора по научной работе Поповина А.А.
Зам. директора по производству Соловьевич Р.Г.
Командиром звена Трофимов А.С.
Исполнитель: Григорьев В.Н., Панов В.Н.

ПОДГОТОВКА КУЛЬТУРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
Министерства народной промышленности
Зав. институтом Украина. Борисовский В.Д.
Начальник отдела стимулирования и мотивации
Смирнов В.Н.

СОВЕСТНЫЙ" Торговляром бутиловым Эмильюсом
Уильямом Чарльзом С.Г.
Бывшим членом общества "Каскадерта"
Бывшим членом общества Сибирского А.К.

ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО УЧАСТНИКОВ МАРКЕТПЛЮС И ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
СОВЕТСКОГО СОЮЗА, 1918-1921 ГОДЫ

RECORDED IN ADJUDICATE SECTION OF THE HONORABLE COURT
ON 15-08-2018 BY 320.

РУКОВОДСТВО 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.1. Выбор стед.-тв. 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 исключительных 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 обработателей, 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, величину переходного сопротивления следует определять по данным величинам 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 величинам 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

D - внешний диаметр трубопровода, м;

b - толщина стенки трубопровода, мм;

H - глубина погружения трубопровода, м

R - 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_{corr} - потенциал коррозии металла трубопровода, В, по медносульфатному электроду сравнения (МСЭ);

В морской воде для малоуглеродистых сталей

U_{\max} - максимальный поляризационный (запиртный) потенциал,
В по МСЭ ;
для проектируемых трубопроводов

$$U_{\max} = -1,1 \text{ В}$$

для изолированных трубопроводов, находящихся в эксплуа-
тации до 5-и лет,

$$U_{\max} = -1,2 \text{ В}$$

для изолированных трубопроводов, находящихся в эксплуатации
более 5 лет,

$$U_{\max} = -1,3 \text{ В}$$

для незолированных трубопроводов, находящихся в эксплуа-
тации,

$$U_{\max} = -1,5 \text{ В}$$

U_{\min} - минимальный поляризационный (запиртный) потенциал,
В по МСЭ ;

$$U_{\min} = -0,85 \text{ В}$$

для трубопроводов, находящихся в эксплуатации и не оборудован-
ных специальными контрольно-измерительными пунктами для измерения
поляризационных потенциалов, максимальный потенциал трубы по МСЭ,
включаящий поляризационный и омическую составляющие, не должен превы-
шать :

- 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_n производят на основании данных опытной катодной станции по формуле

$$R_n = -\frac{\pi D}{K J_0} [(U_0 + U_1)(x_1 - x_0) + (U_1 + U_2)(x_2 - x_1) + \dots + (U_{n-1} + U_n)(x_n - x_{n-1})], \text{Ом} \cdot \text{м}^2 \quad (1)$$

где U_1, U_2, \dots, U_n - симметрические потенциалы, В ;
 x_1, x_2, \dots, x_n - расстояния от точки отсюза $x_0 = 0$, м ; U_0 - симметрический потенциал в отсюзе, В ; J_0 - полный ток в отсюзе, А ; K - константа, равная 2 в случае отсюза, совпадающего с концом трубопровода, и равная 1 для отсюза, удаленного от концов трубопровода,

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

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

3.1.3. Величину поляризационного сопротивления $R_{\text{пол}}$ определяют по формулам (1) и (2), в которых симметрические потенциалы U_0, U_1, \dots и т.д. заменяют разностями симметрических потенциалов U_0, U_1, \dots и т.д., измеренными в тех же точках при постоянном и периодическом включении опытной катодной станции.

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

3.2. Расчет параметров установок катодной защиты

3.2.1. Реальное плечо защиты определяют по формуле

$$\frac{\Sigma}{2} = L = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{2(U_{\text{макс}} - U_{\text{корр}})}{K \cdot k_1 (U_{\text{мин}} - U_{\text{корр}})} , \text{м} , \quad (3)$$

где α - постоянная расчета, |I/м|

K_I - константа

$$K_I = \frac{R_a}{R_{\text{пол}}}$$

3.2.2. Постоянную расчета α , характеризующую участок трубопровода в пределах каждого плача заземлы, находят по формуле

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

$$\text{где } \alpha_1 = a_1 b_1 c_1 d_1 e_1 q_1 + a_2 b_2 c_2 d_2 e_2 q_2 + a_3 b_3 c_3 d_3 e_3 q_3, \quad (5)$$

$$\alpha_2 = -\frac{0.000051}{D} + b_4 c_4 d_4 e_4 q_4 + b_5 c_5 d_5 e_5 q_5 \quad (6)$$

Здесь $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, q_i$ - константы, зависящие соответственно только от расстояния трубопровода до анода l_{AB} , удельного электросопротивления среды ρ , переходного сопротивления трубопровода $R_{\text{пер}}$, продольного сопротивления трубопровода R_o , глубиной 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 многовлек-тродных 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 :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}, \quad 0 \text{ М}, \quad (7)$$

2-106²

где R_1, R_2, \dots, R_n - сопротивления отдельных электродов, Ом

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

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

где η - коэффициент использования заземлений /ом.рис.3.1./

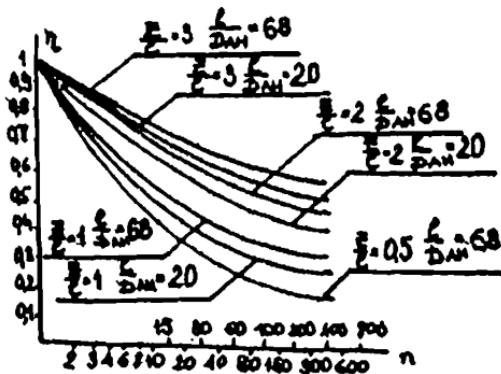


Рис.3.1. Зависимость коэффициента использования η от числа электродов n при заданных длине электрода ℓ , диаметре или диагонали поперечного размера D_{An} и расстояния между электродами Σ

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.

В 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:

$$\frac{1}{R'} \simeq \frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2}, \frac{1}{\Omega \cdot \text{м}}, \quad (9)$$

где R'_1 - сопротивление участка, контактирующего с водой, $\Omega \cdot \text{м}$;
 R'_2 - то же, с донным грунтом, $\Omega \cdot \text{м}$.

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

$$\frac{U_A - U_{\text{корр}}}{J_0}, \Omega \cdot \text{м},$$

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

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

$$G = 1,25 A J_0 T, \text{ кг} \quad (10)$$

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

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

3.2.12. Входное сопротивление защищаемого трубопровода определяют по формуле

$$\frac{1}{R_{Tp}} = \frac{1}{R_{p1}} + \frac{1}{R_{p2}} + \frac{1}{0m}, \quad (11)$$

где R_{p1} и R_{p2} - входные сопротивления участков трубопровода по обе стороны от точки отсоса установки катодной защиты.

3.2.13. Входные сопротивления R_{p1} определяют по формуле

$$R_{p1} = \frac{\alpha R_{p1}}{\pi d}, 0m, \quad (12)$$

где R_{p1} - переходное сопротивление трубопровода на соответствующем участке, $0m \cdot m^2$

3.2.14. Ток катодной станции определяют по формуле

$$J_o = J_{p1} + J_{p2}, A, \quad (13)$$

где J_{p1} и J_{p2} - токи защиты каждого плача катодной станции, A.

3.2.15. Ток J_{p1} , распределяемый, исходя из минимального значения потенциала, определяется одновременно с плечом защиты L_3 , т.е. с расстоянием от катодной станции до точки с наименьшим потенциалом между двумя смежными катодными станциями.

Расчет проводят по формулам

$$L_3 = \frac{\alpha_c \sum}{\alpha + \alpha_c}, m, \quad (14)$$

где α_c - постоянная расчета для смежного плача соседней станции, I/m

$$\bullet J_{Pi} = \frac{\kappa_1 (0,85 + U_{корр})}{2B} \cdot e^{\alpha L_1}, \text{ А,} \quad (15)$$

где $B = \frac{\alpha R_n}{\pi d}$

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

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

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

$$U_{кс} = J_o (R_a + R_T + R + R_{TP}) + (U_A + U_{корр} + 0,5), \text{ В,} \quad (17)$$

где R_{TP} - входное сопротивление трубопровода, Ом;

R_a - сопротивление анодной линии, Ом;

R_T - сопротивление отсасывающей линии, Ом;

R - сопротивление растекания 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. Количество катодной станции определяют, исходя из выбранных защитных токов и расчетных напряжений.

В тех случаях, когда nominalное напряжение станции оказывается меньше расчетного, допускается последовательное включение цепей выпрямленного тока двух катодных станций. В тех случаях, когда расчетный защитный ток оказывается большим, чем nominalный 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

$$P_{уст} = \frac{U_n J_n \cdot 10^3}{\gamma_8}, \text{ кВА,} \quad (18)$$

где

U_n -名义ное напряжение катодной станции, В;

J_n -名义ный ток катодной станции, А;

γ_8 - 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 $U_{стс}$ в точке отсоса по формуле

$$U_{стс} = U_{корр} - \frac{K_1(0.85 + U_{корр})}{2} \cdot e^{-\frac{U_{стс}}{U_{корр}}}, \text{ В} \quad (19)$$

3.2.21. Если величина поляризационного потенциала трубопровода в точке отсоса $U_{стс}$ 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 расстояниях между центрами протекторов от 3 до 5 м.

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

4.4. Переходное сопротивление трубопровода $R_{\text{п}}$ определяют в соответствии с п.п.3.1.1., 3.1.2.

4.5. Сопротивление растеканию одиночных протекторов определяют в соответствии с табл. 10.

4.6. Сопротивление растеканию групповых протекторных установок определяют по формуле

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

где $R_{\text{гп}}$ - сопротивление растеканию групповой протекторной установки, Ом;

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

n - число протекторов в одной установке;

η - коэффициент использования /рис.3.1./.

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

$$R_{\text{tp}} = \frac{\alpha R_{\text{п}}}{2\pi D} \left[\frac{1+e^{-\alpha l_{\text{п}}}}{1-e^{-\alpha l_{\text{п}}}} \right], \text{ Ом,} \quad (21)$$

где $l_{\text{п}}$ - средневзвешенное значение расстояний между соседними протекторами l_i по обе стороны от точки подключения протектора

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

$R_{\text{п}}$ - значение переходного сопротивления трубопровода, $\text{Ом} \cdot \text{м}^2$;

α - постоянная расчета, 1/м ;

D - диаметр трубопровода, м.

4.8. Входное сопротивление защищаемого трубопровода в цепи начальных или концевых протекторных установок определяют по формуле

$$R'_{\text{tp}} = 2R_{\text{tp}}, \text{ Ом} \quad (22)$$

1962

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

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

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

$R_{\text{оп}}$ - сопротивление протеканию одиночного протектора, Ом;

$U_{\text{пр}} = -1,47$ В по МСЭ для протекторного сплава Мн16.

$U_{\text{пр}} = -1,50$ В по МСЭ для протекторного сплава Мн16пч.

4.10. Ток групповой протекторной установки

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

где $R_{\text{гп}}$ - сопротивление протеканию групповой протекторной установки, Ом.

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

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

где α - постоянная расчета, м/н ;

$$K_1 = \frac{R_{\text{п}}}{R_{\text{пол}}} \quad (\text{см.п.3.2.1.})$$

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

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

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

$$U_{\text{отс}} = -\alpha \frac{J_{\text{п}} R_{\text{п}}}{2\pi\lambda}, \text{ В,}$$

где $J_{\text{п}}$ - ток одиночного протектора или групповой протекторной установки, А.

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

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

4.13. Срок службы одиночного протектора определяют по формуле

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

где G - масса протектора, кг,

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

4.14. Срок службы групповой протекторной установки определяют по формуле

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

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, $\Omega \cdot \text{м}^2$	Переходное сопротивление, $\Omega \cdot \text{м}^2$, при сроке эксплуатации трубопровода	
				до 2 лет	до 5 лет
1	Цинковаложенная грунтовка Битумно-резиновая мастика Обертка камандиркованной резиной	Свободное погружение	400	300	150
2	Цинковаложенная грунтовка Битумно-резиновая мастика Обертка брезолом или стеклохолстом Изодобетонная оболочка	Свободное погружение С трубоукладочной барикой	600 500	400 300	200 150

Таблица 2

Значения констант $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$

Расстояние между трубопро- водом и анод- ным заземлением l мим,м	α_1	α_2	α_3
	1	2	3
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 a_1, a_2, a_3, a_4, a_5

Удельное сопротивление воды, $\rho, \text{Омм}$	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0,50	0,7297	1,0364	0,9671	1,7963	0,9899
1,0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Таблица 4

Значения констант c_1, c_2, c_3, c_4, c_5

Переходное сопротивление, $R_n, \text{Ом}\cdot\text{м}^2$	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
50	0,4679	23,346	-120,12	-0,3904	0,9058
75	0,4502	23,344	-169,21	-0,3188	0,7482
100	0,4381	23,343	-215,77	-0,2761	0,6533
150	0,4217	23,342	-303,94	-0,2254	0,5396
200	0,4104	23,341	-387,58	-0,1952	0,4712
250	0,4004	23,340	-483,77	-0,1712	0,4164
300	0,3951	23,340	-545,95	-0,1594	0,3892
400	0,3845	23,339	-696,19	-0,1380	0,3399
500	0,3766	23,338	-840,66	-0,1235	0,3059
600	0,3701	23,337	-980,68	-0,1127	0,2807
700	0,3648	23,337	-1117,1	-0,1043	0,2610
800	0,3602	23,336	-1250,5	-0,09761	0,2451
900	0,3562	23,336	-1381,4	-0,09203	0,2319
1000	0,3527	23,335	-1510,0	-0,08731	0,2206

Таблица 5

Значение констант d_1, d_2, d_3, d_4, d_5

Продольное сопротивле- ние трубо- проводов, $R_o = R_o' \cdot 10^{-6} \frac{\text{дм}}{\text{м}}$	$d_1 = d_1' \cdot 10^{-2}$	$d_2 = d_2' \cdot 10^{-4}$	$d_3 = d_3' \cdot 10^{-6}$	$d_4 = d_4' \cdot 10^{-2}$	$d_5 = d_5' \cdot 10^{-2}$
R_o'	d_1'	d_2'	d_3'	d_4'	d_5'
5,0	0,2236	0,8365	1,1180	0,9144	2,0355
10,0	0,3162	1,4256	3,1623	1,1937	2,8940
15,0	0,3873	1,9474	5,8095	1,3952	3,5555
20,0	0,4472	2,4297	8,9443	1,5886	4,1146
30,0	0,5477	3,3189	16,432	1,8215	6,0661
40,0	0,6324	4,1410	25,298	2,0346	5,8501
50,0	0,7160	4,9200	32,500	2,1500	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	61,500	2,6400	9,1600
90,0	1,0620	8,0800	70,500	2,8000	10,000-
100,0	1,1500	8,8800	79,750	2,9600	10,820
110,0	1,2340	9,3600	88,750	3,1200	11,620

Таблица 6

Значения коэффициентов
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$

Глубина погружения трубопровода, H, м	α_1	α_2	α_3	α_4	α_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	2,3500	2,2000	3,2500	0,0300	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
I	2	3	4	5	6
194	2,1933	0,6695	37,904	0,05577	0,3184
219	2,1059	0,5836	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	1,8863	0,7212	19,318	0,09563	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	13,482	0,1286	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
520	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	10,0	10,5	11,0	11,5
194	103	82,6	75,3	69,2	64,0	59,6	55,8	52,4	-	-	-	-	-	-	-
219	90,7	73,2	66,5	61,1	56,5	52,6	49,2	46,2	-	-	-	-	-	-	-
245	80,9	65,0	59,2	54,4	50,3	46,8	43,8	41,1	-	-	-	-	-	-	-
273	72,5	58,2	53,0	48,7	45,0	41,9	39,2	36,8	-	-	-	-	-	-	-
299	66,1	53,1	48,3	44,4	41,0	38,2	35,7	33,5	-	-	-	-	-	-	-
325	60,8	48,8	44,4	40,8	37,7	35,1	32,8	30,8	-	-	-	-	-	-	-
377	52,3	41,9	38,2	35,1	32,4	30,1	28,2	26,4	24,9	-	-	-	-	-	-
426	46,2	37,1	33,7	31,0	28,6	26,6	24,9	23,3	22,0	20,8	-	-	-	-	-
530	-	29,7	27,1	24,8	22,9	21,3	19,9	18,7	17,6	16,6	-	-	-	-	-
720	-	-	-	-	16,8	15,6	14,6	13,7	12,9	12,2	11,6	11,0	10,5	10,0	-
820	-	-	-	-	-	-	12,8	12,0	11,3	10,7	10,1	9,63	9,18	8,77	8,39

Таблица 9

Рекомендуемые величины минимальных расстояний от трубопровода до анодных заземлений

Переходное сопротивление трубопровода, Ом·м ²	Удаленное электросопротивление земли, Ом·м	Минимальные расстояния l , 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	200
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 - 10	9 - 10
Чугун	9 - 10	9 - 10
Алюминий и его сплавы	3 - 3,5	3 - 3,5
Хромоникелевая отто- женная сталь	8 - 10	0,45 - 0,6
Феросилид	0,14 - 0,66	0,12 - 0,48
Магниевые сплавы	6,2 - 8	6 - 7
Цинковые сплавы	12 - 13	11 - 12

Таблица I2

Потенциалы коррозии различных материалов относительно
мединосульфатного электрода сравнения, В

Материалы	Морская вода $\rho = 0,5 \text{ Ом}$	Грунт влажности 15%	
		$\rho = 5 + 50 \text{ Ом}$	$\rho = 5 + 50 \text{ Ом}$
Феросилид	+ 0,3	+ 0,20	
Сталь	- 0,7	- 0,45	
Чугун	- 0,68	- 0,45	
Алюминий	- 0,7	- 0,70	
Алюминиевые сплавы	- 0,7 - I,1	- 0,7 - I,1	
Хромоникелевая холоднокатанная сталь	-	- 0,20	
Магниевые сплавы	- I,45 - I,55	- I,65	
Цинковые сплавы	- 0,9 - I,1	0,9 - I,15	

Ф.П.Л.1,5 Тираж 500.

Типография ХОЗУ Миннефтепрома. Зак. 1962