

МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ
СТАНДАРТИЗАЦИИ**

**РАСЧЕТ КАТОДНОЙ И ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ
ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

РДС 39-01-016-78

Москва

РАЙОНУЛАН И ИШЛАН Илгичи-асолашуватиларини ва
хорошларини институт "ИЛРОИШНИНГА"

Зам. директори ва илгичи рабате Номуров А.А.

Зам. директори олошуватиларини Саидовлар Р.Г.

Хушайилларини ва Трайлар Н.С.

Номуровларини: Гамовлар Н.М., Вахид Н.М.

ИЛРОИШНИНГА ИЛГИЧЛИКНИ Талабларини ушларини

Илгичларини илгичлиги ушларини

Зам. илгичларини ушларини: Бароновлар Н.М.

Илгичларини илгичлиги ушларини: Илгичларини

Илгичларини Н.М.

ОШЛАНГА "Талабларини илгичлиги" Зам. илгичларини

Илгичларини Илгичларини Н.М.

Илгичларини илгичлиги "Илгичларини"

Илгичларини директор Саидовлар А.Г.

ИЛГИЧЛИКНИ Илгичларини илгичлиги ушларини

Илгичларини Илгичларини Н.М. Илгичларини

ИЛГИЧЛИКНИ Илгичларини илгичлиги ушларини

от Илгичларини Илгичларини

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ СТАНДАРТИЗАЦИИ

РАСЧЕТ КАТОДНОЙ И ПРОТЕКТОРНОЙ
ЗАЩИТЫ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

РД
Впервые

Приказом Министерства нефтяной промышленности
от 15.06.78 № 300 срок действия утановлен 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

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. 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.

1.2. 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 образований, при расчете электрохимической защиты проектируемых трубопроводов следует принимать следующие значения 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 включенной опытной катодной станции или по величинам, приведенным в таблице I Приложения.

При расчете электрохимической защиты трубопроводов, находящихся в эксплуатации более 5 лет, величины переходного сопротивления следует определять только по данным включенной опытной катодной станции.

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, в разделе 3 настоящего РД.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

D — 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

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

Для проектируемых трубопроводов

$$U_{\text{макс}} = -1,1 \text{ В}$$

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

$$U_{\text{макс}} = -1,2 \text{ В}$$

Для изолированных трубопроводов, находящихся в эксплуатации более 5 лет,

$$U_{\text{макс}} = -1,3 \text{ В}$$

Для неизолированных трубопроводов, находящихся в эксплуатации,

$$U_{\text{макс}} = -1,5 \text{ В}$$

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

$$U_{\text{мин}} = -0,85 \text{ В}$$

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 величин 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 — смещения потенциалов, В;
 x_1, x_2, \dots, 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

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

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

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

где α — постоянная расчета, $|I|/m$

K_1 - константа

$$K_1 = \frac{R_n}{R_{\text{пол}}}$$

3.2.2. Постоянную расчета α , характеризующую участок трубопровода в пределах каждого плеча запитки, 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 $l_{\text{аб}}$, удельного электросопротивления среды ρ , переходного сопротивления трубопровода $R_n^{\text{ст}}$, продольного сопротивления трубопровода R_o , глубины погружения B 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 :

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

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

3.2.7. Сопротивление растекания анодных заземлений, состоящих из большого числа близко расположенных вертикальных анодов из углового железа или труб, определяется по формуле

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

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

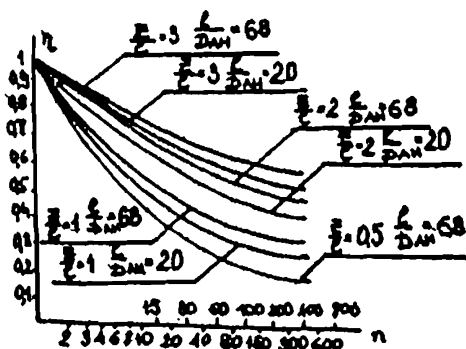


Рис.3.1. Зависимость коэффициента использования η от числа электродов n при заданных длине электрода l , диаметре или диагонали поперечного размера $D_{ан}$ и расстоянии между электродами Z

3.2.8. При расчете сопротивления вертикального анодного заземлителя, расположенного в трехфазной 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:

$$\frac{1}{R'} \approx \frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2}, \quad \frac{1}{0_m}, \quad (9)$$

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

$$\frac{U_A - U_{\text{корр}}}{J_0}, \text{ Ом},$$

где U_A - потенциал коррозии металла анодного заземления, В по МСО
 Для ферросилида $U_A = +0,3 \text{ В}$
 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:

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

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 растеканию, оказывается меньше величины Θ , выбор анодного заземлителя следует осуществлять по сроку его службы с увеличением массы отдельных электродов или их количества.

3.2.12. Входное сопротивление заземляемого трубопровода определяют по формуле

$$\frac{1}{R_{TP}} = \frac{1}{R_{P1}} + \frac{1}{R_{P2}}, \quad \Omega, \quad (11)$$

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_{Pi} определяют по формуле

$$R_{Pi} = \frac{\alpha R_{ni}}{\pi D}, \quad \Omega, \quad (12)$$

где R_{ni} - переходное сопротивление трубопровода на соответствующем участке, $\Omega \cdot \text{м}^2$

3.2.14. Ток катодной станции определяют по формуле

$$I_0 = I_{P1} + I_{P2}, \quad \text{А}, \quad (13)$$

где I_{P1} и I_{P2} - токи защиты каждого плеча катодной станции, А.

3.2.15. Ток I_{Pi} , рассчитываемый, 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

$$L_3 = \frac{\alpha_c \Sigma}{\alpha + \alpha_c}, \quad \text{м}, \quad (14)$$

где α_c - постоянная расчета для смежного плеча соседней станции, $\text{I}/\text{м}$

$$I_{pi} = \frac{k_1(0,85 + U_{корр})}{2B} \cdot e^{\alpha L_2}, \text{ А}, \quad (15)$$

где $B = \frac{\alpha R_n}{\pi d}$

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

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

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

$$U_{кв} = I_0(R_a + R_T + R + R_{тр}) + (U_A + U_{корр} + 0,5), \text{ В}, \quad (17)$$

где $R_{тр}$ - входное сопротивление трубопровода, Ом;
 R_a - сопротивление анодной линии, Ом;
 R_T - 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

$$P_{уст} = \frac{U_n I_n \cdot 10^3}{\eta_8}, \text{ кВА}, \quad (18)$$

где U_n - номинальное напряжение катодной станции, В;
 I_n - номинальный ток катодной станции, А;
 η_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 $U_{отс}$ в точке отсоса по формуле

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

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_n 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

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

где $R_{гн}$ - сопротивление растеканию групповой протекторной установки, Ом;

$R_{он}$ - 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

$$R_{тр} = \frac{\alpha R_n}{2\pi\omega} \left[\frac{1 + e^{-\alpha l_n}}{1 - e^{-\alpha l_n}} \right], \text{ Ом}, \quad (21)$$

где l_n - средневзвешенное значение расстояний между соседними протекторами l_i по обе стороны от точки подключения протектора

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

R_n - значение переходного сопротивления трубопровода, Ом·м²;

α - постоянная расчета, 1/м;

ω - диаметр трубопровода, м.

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

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

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

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

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

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

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

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

$U_{кр} = -1,50$ В по МСЭ для протекторного сплава Мн16вч.

4.10. Ток групповой протекторной установки

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

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

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

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

где α - постоянная расчета, I/м;

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

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

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

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

$$U_{отс} = -\alpha \frac{J_n R_n}{2\pi a}, \text{ В},$$

где J_{Π} - ток одиночного протектора или групповой протекторной установки, А.

4.12. Для проверки выполнения ограничения, установленного пунктом 3.2.21., максимальное выжатие потенциала закрываемого трубопровода в отсосе 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 эмиссия 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 1

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 |
| 1 | Цинконаполненная грунтовка | Свободное погружение | 400 | 300 | 150 |
| | Битумно-резиновая мастика | | | | |
| | Обертка лакампированной резиной | | | | |
| 2 | Цинконаполненная грунтовка | Свободное погружение | 600 | 400 | 200 |
| | Битумно-резиновая мастика | С трубоукладочной баран | 500 | 300 | 150 |
| | Обертка брезолом или стеклохолстом | | | | |
| | Железобетонная оболочка | | | | |

РД 36-01-01-71 стр.14

Таблица 2

Значения констант a_1, a_2, a_3

| Расстояние между трубопро- водом и анод- ным заземлением l мин, м | a_1 | a_2 | a_3 |
|---|----------|---------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5,0 и менее | 0,2240 | 0,3513 | 0,8211 |
| 7,5 | 0,1537 | 0,2599 | 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 | 0,5688 |
| 150 | 0,009491 | 0,03861 | 0,5413 |
| 200 | 0,007264 | 0,03194 | 0,5225 |
| 300 | 0,004983 | 0,02454 | 0,4972 |
| 400 | 0,003814 | 0,02036 | 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 | 0,001796 | 0,01202 | 0,4346 |
| 1000 | 0,001627 | 0,01122 | 0,4290 |

Таблица 3

Значения констант $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$

| Удельное сопротивление воды, $\rho, \text{Ом}$ | β_1 | β_2 | β_3 | β_4 | β_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, $R_n, \text{Ом} \cdot \text{м}^{-1}$ | 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 | -0,1962 | 0,4712 |
| 260 | 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

Значения констант d_1, d_2, d_3, d_4, d_5

| Продольное сопротивле- ние трубо- провода, $R_0 = R_0' \cdot 10^{-4} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$ | $d_1 = d_1' \cdot 10^{-2}$ | $d_2 = d_2' \cdot 10^{-4}$ | $d_3 = d_3' \cdot 10^{-8}$ | $d_4 = d_4' \cdot 10^{-2}$ | $d_5 = d_5' \cdot 10^{-2}$ |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| R_0' | 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 | 1,5585 | 4,1146 |
| 30,0 | 0,5477 | 3,3189 | 16,432 | 1,8215 | 5,0661 |
| 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 констант

°1, °2, °3, °4, °5

| Глубина погружения трубопровода, Н, м | °1 | °2 | °3 | °4 | °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 | 0,0000 | 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, $D, \text{мм}$ | q_1 | q_2 | q_3 | q_4 | q_5 |
|--|--------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 194 | 2,1933 | 0,6695 | 37,904 | 0,05577 | 0,3184 |
| 219 | 2,1059 | 0,6836 | 31,381 | 0,05589 | 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 | 0,09553 | 0,3936 |
| 325 | 1,8438 | 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 | 0,1265 | 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

$$R_0 = R'_0 \cdot 10^{-6}, \text{ Ом/м}$$

| Диаметр трубо- провода, мм | Значения R'_0 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 |

РД 34-01-01/6-78 стр.20

Таблица 9

Рекомендуемые величины минимальных расстояний от трубопровода до анодных заземлений

| Переходное сопротивление трубопровода, Ом·м ² | Удаленное электро-сопротивление грунта, Ом·м | Минимальные расстояния L, мм, м для трубопроводов диаметром, мм | | |
|--|--|---|-----|-----|
| | | 194 | 428 | 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

| Металлы анода | Удельные выходы по току, кг/А·год | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| | морская вода | гипс |
| 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 |
| Ферросилид | 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 металлов относительно
медносульфатного электрода сравнения, В

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

Ф.П.Л. 1,5 Тираж 500.

Типография ХОЗУ Миннефтепрома. Зак. 1962