

**МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ  
СТАНДАРТИЗАЦИИ**

**РАСЧЕТ КАТОДНОЙ И ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ  
ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**РДС 39-01-016-78**

**Москва**

**РАСНАБУДАН И НЕФТЬ** Научно-исследовательским и  
кредитным институтом "ГЕПРОСЕРВИС"

Зам. директора по научной работе Новбура А.А.

Зам. старшего инженера Садиков Р.Г.

Кураторы: Зам. Тархан Н.С.

Коллеги: Гусевский А.М., Ветер К.И.

**ИРИОТОВИНИ К УТИНОКЕДИНО** Украинскими учреждениями

Министерства нефти промышленности

Зам. начальника Украины: Карольский В.Д.

Начальник науки: Степановский В.И.

Куратор: В.И.

**СОБЕЛСКИ** Украинскими учреждениями  
Украинской Федерации: Куратор: С.Т.

Кураторы: Украинскими учреждениями "Киевград"

Украинский директор: Собелский А.К.

**УТИНОКЕДИНО** Украинскими учреждениями

Украинскими учреждениями: Министр: К.И. Ветер

**ИРИОТОВИНИ К УТИНОКЕДИНО** Украинскими учреждениями

от Д.В. 78-В-300.

## РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ СТАНДАРТИЗАЦИИ

РАСЧЕТ КАТОДНОЙ И ПРОТЕКТОРНОЙ  
ЗАЩИТЫ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

РД  
Впервые

Представом Министерства нефтяной промышленности  
от 15.06.78 № 300 срок действия у тавовлен 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 во внимание переходных

сопротивлений "труба - вода" по таблице I Приложения.

1.3. 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.

1.4. 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.

1.5. 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;
- $\delta$  - толщина стенки трубопровода, мм;
- $H$  - глубина погружения трубопровода, м
- $\rho$  - удельное электрическое сопротивление морской воды, Ом·м ;
- $\Sigma$  - 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, определяем величину переходного сопротивления трубопровода  $R_n$ , производим на основании данных опытной катодной станции по формуле

$$R_n = - \frac{\pi D}{k J_0} \left[ (U_0 + U_1)(X_1 - X_0) + (U_1 + U_2)(X_2 - X_1) + \dots \right. \\ \left. \dots + (U_{n-1} + U_n)(X_n - X_{n-1}), \text{ Ом} \cdot \text{м}^2 \right] \quad (1)$$

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 поляризованного сопротивления  $R_{пол}$  определяют по формулам (1) и (2), в которых смещения потенциалов  $U_0, U_1, \dots$  и т.д. заменяют разностями смещенных 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  $\alpha$  — постоянная расчета, |I/м

$K_1$  - константа

$$K_1 = \frac{R_n}{R_{\text{пол}}}$$

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

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

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

$$\alpha_2 = - \frac{0,000054}{D} + b_4 c_4 d_4 e_4 q_4 + b_5 c_5 d_5 e_5 q_5 \quad (6)$$

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  $\rho$ , переходного сопротивления трубопровода  $R_n^{\text{ср}}$ , продольного сопротивления трубопровода  $R_o$ , глубины погружения  $B$  и диаметра трубопровода  $D$ . (таблицы 2-7).

3.2.3. Величина продольного сопротивления  $R_o$  приведены в табл.8.

3.2.4. Анодные заземления могут выполняться в виде многоэлектродных систем, глубоких 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 :

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

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  $\eta$  - коэффициент использования заземления /см. рис.3.1./

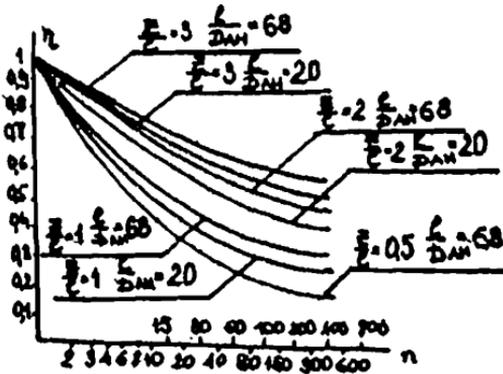


Рис.3.1. Зависимость коэффициента использования  $\eta$  от числа электродов  $n$  при заданных длине электрода  $l$ , диаметре или диагонали поперечного размера  $D_{ан}$  и расстоянии между электродами  $Z$

3.2.8. При расчете сопротивления вертикального анодного заземлителя, расположенного в трехфазной среде (воздух-морская вода-донный грунт), может предвидаться 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 отдельно 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 ферроспида, должны быть увеличены на величину

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

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

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

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

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 величин  $\Theta$ , выбор анодного заземлителя следует осуществлять по сроку его службы с увеличением массы отдельных электродов или их количества.

3.2.12. Входное сопротивление заземляемого трубопровода определяется по формуле

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

где  $R_{P1}$  и  $R_{P2}$  - входные сопротивления участков трубопровода по обе стороны от точки отсоса установки катодной защиты.

3.2.13. Входные сопротивления  $R_{Pi}$  определяются по формуле

$$R_{Pi} = \frac{\alpha R_{Ni}}{\pi D}, \quad \text{Ом}, \quad (12)$$

где  $R_{Ni}$  - переходное сопротивление трубопровода на соответствующем участке, Ом·м<sup>2</sup>

3.2.14. Ток катодной станции определяется по формуле

$$J_0 = J_{P1} + J_{P2}, \quad \text{А}, \quad (13)$$

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

3.2.15. Ток  $J_{Pi}$ , 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

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

где  $\alpha_c$  - постоянная расчета для смежного плеча соседней станции, I/м

$$I_{P_i} = \frac{K_4(0,85 + U_{\text{корр}})}{2B} \cdot e^{\alpha \phi_{\text{к}}}, \text{ А}, \quad (15)$$

где  $B = \frac{\alpha R_{\Pi}}{\pi d}$

3.2.16. Ток  $I'_{P_i}$ , определяемый, исходя из максимального полупри-  
вального потенциала, находят по формуле

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

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

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

где  $R_{\text{тр}}$  - входное сопротивление трубопровода, Ом;  
 $R_{\text{а}}$  - сопротивление анодной линии, Ом;  
 $R_{\text{т}}$  - сопротивление отсасывающей линии, Ом;  
 $R$  - сопротивление растеканию заземителя, Ом;  
 $U_{\text{а}}$  - потенциал коррозии металла анодного заземителя, В;  
 $U_{\text{корр}}$  - потенциал коррозии металла трубопровода, В.

Ориентировочные значения величин  $U_{\text{а}}$  и  $U_{\text{корр}}$  приводятся  
в таблице 12.

3.2.18. Мощность катодной станции определяют, исходя из выбран-  
ных защитных токов и расчетных напряжений.

В тех случаях, когда номинальное напряжение станции  
оказывается меньше расчетного, допускается последовательное вклю-  
чение цепей выпрямленного тока двух катодных станций. В тех  
случаях, когда расчетный защитный ток оказывается большим, чем  
номинальный ток катодной станции, допускается параллельное соеди-  
нение цепей выпрямленного тока катодных установок. При этом необ-  
ходимо принимать меры против перегрузки источника тока при отклю-  
чении одной из параллельно включенных станций.

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

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

где  $U_n$  - номинальное напряжение катодной станции, В;  
 $J_n$  - номинальный ток катодной станции, А;  
 $\eta_g$  - 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  $\alpha$ ;
- 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  $\alpha$  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

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

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

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

$n$  - число протекторов в одной установке;

$\eta$  - коэффициент использования /рис.3.1./.

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

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

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·м<sup>2</sup>;

$\alpha$  - постоянная расчета, 1/м;

$d$  - 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

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

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

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

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

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

$U_{пр} = -1,50$  В по МСЭ для протекторного сплава Мн16бч.

4.10. Ток групповой протекторной установки

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

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

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

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

где  $\alpha$  - постоянная расчета, 1/м;

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

$U_{мин}$  - 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.

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

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

4.12. Для проверки выполнения ограничения, установленного пунктом 3.2.21., максимальное 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 определяется 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 определяется по формуле

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

где  $n$  - количество протекторов в группе.

Таблица 1

Примерные значения величины переходного сопротивления "труба-земля"

№ п/п	Структура защитного покрытия	Способ прокладки трубопровода	Исходные величины переходного сопротивления, Ом·м <sup>2</sup>	Переходное сопротивление, Ом·м <sup>2</sup> , 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 барья	500	300	150
	Обертка брзолом или стеклохолстом				
	Железобетонная оболочка				

Таблица 2

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

Расстояние между трубопро- водом и анод- ным заземлением $l$ мин, м	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
1	2	3	4
5,0 и менее	0,2240	0,3513	0,8211
7,5	0,1537	0,2599	0,7615
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	0,009191	0,03861	0,5413
200	0,007264	0,03194	0,5225
300	0,004983	0,02464	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, $\rho, \text{Ом}$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$
0,50	0,7297	1,0364	0,9571	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, $R_0 = R_0' \cdot 10^{-4} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$	$d_1 = d_1' \cdot 10^{-2}$	$d_2 = d_2' \cdot 10^{-4}$	$d_3 = d_3' \cdot 10^{-6}$	$d_4 = d_4' \cdot 10^{-2}$	$d_5 = d_5' \cdot 10^{-3}$
$R_0'$	$d_1'$	$d_2'$	$d_3'$	$d_4'$	$d_5'$
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	1,5686	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	0,2557	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	0,6696	37,904	0,06677	0,3184
219	2,1069	0,6636	31,381	0,06689	0,3379
245	2,0278	0,6969	26,348	0,07564	0,3569
273	1,9652	0,7100	22,260	0,08640	0,3766
299	1,8963	0,7212	19,318	0,09663	0,3936
325	1,8438	0,7316	16,966	0,10771	0,4101
351	1,7966	0,7414	15,048	0,1177	0,4269
377	1,7539	0,7505	13,482	0,1266	0,4410
426	1,6832	0,7665	11,129	0,1493	0,4683
477	1,6203	0,7815	9,3609	0,1716	0,4960
529	1,5648	0,7965	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 трубопровода, 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 34-01-01/8-41 Стр.20

Таблица 9

Рекомендуемые величины минимальных расстояний от трубопровода до анодных заземлений

Переходное сопротивление трубопровода, Ом·м <sup>2</sup>	Удаленное электро-сопротивление среды, Ом·м	Минимальные расстояния $\delta$ мм, 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
Ферросилид	0,14 - 0,66	0,12 - 0,48
Магниеые 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	Грунт 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
Магниеые 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