

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

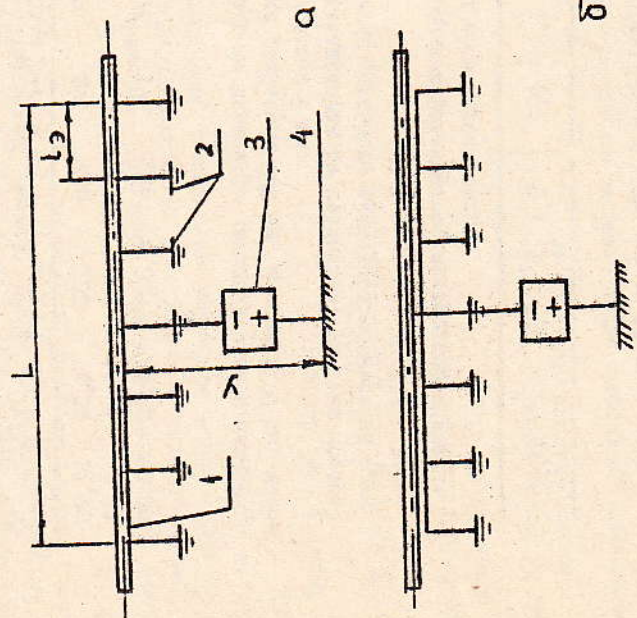
УФИМСКИЙ НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ

В. Ф. НОВОСЕЛОВ, А. А. КОРШАК,
В. Н. ДИМИТРОВ

ТИПОВЫЕ РАСЧЕТЫ
ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ
И НЕФТЕБАЗ

1.4. Методы увеличения зоны защиты катодных установок

В условиях, когда электроснабжение установок катодной защиты на трассе трубопровода затруднено, необходимо использовать все возможности для увеличения зоны защиты СКЗ. Это можно достичь, повышая наложенную разность потенциалов в точке дренажа. Однако максимальная величина наложенной разности потенциалов регламентирована. Поэтому в практике катодной защиты нашли применение катодные установки с противопотенциалом и с экранными заземлениями. Целесообразность их использования в каждом конкретном случае обосновывается технико-экономическим расчетом.



с Рис.7. Схема катодной защиты с экранными заземлениями:
 А - экраны подключены к трубопроводу; Б - экраны по ключу к минусу катодной станции.
 1- трубопровод; 2- экранные заземления; 3- катодная станция; 4- анодное заземление

1.4.1. Катодные установки с экранными заземлениями

Экранные заземления подключаются либо непосредственно к минусу катодной станции, либо к трубопроводу (рис. 7).

При подключении экранных заземлений в районе участка, где имеется превышение наложенной разности потенциалов сверх допустимой, поступление тока анодного заземления в трубопровод ограничивается, и тем самым снижается потенциал трубопровода на этом участке.

Экранные заземления можно располагать по обе стороны от трубопровода, а выполнить их рекомендуется в виде горизонтальных электродов.

Наложённая разность потенциалов в точке дренажа E'_{max} , необходимая для обеспечения защиты вышенной протяженности L , определяется по формуле

$$E'_{max} = \frac{0,5 E_{min} \frac{\alpha L'}{2}}{1 + \frac{1}{1-K} \left[\frac{2Y}{L'} e^{\frac{\alpha L'}{2}} - \frac{K}{\Theta} - 1 \right]} \quad (65)$$

где K - коэффициент, равный отношению суммарного тока экранов I_3 к току катодной установки $I_{кр}$ (ориентировочно $K = 0,05 \pm 0,25$).

Для определения длины участка, на котором необходимо устанавливать экранные заземления, пользуются формулой

$$L_3 = \frac{2}{\alpha} \ln \left[\frac{1-2K}{\frac{E_{max}}{E_{min}} (1-K+\Theta) - \frac{2\rho_r Y}{\sqrt{L_3^2 + 4Y^2}}} \right] \quad (66)$$

Расстановку экранных заземлений рекомендуется выполнять в соответствии с рекомендациями табл. II.

Необходимое число экранных заземлений

$$N_3 = 1 + \frac{L_3}{\Delta L_3} \quad (67)$$

Таблица 11
Рекомендуемые расстояния между экранами Δl_3 и между экранами к трубопроводам Y_3 в зависимости от диаметра трубопровода

Диаметр, мм	377	529	720	820	1020	1220	1420
Δl_3 , м	16	21	28	32	40	46	55
Y_3 , м	4,5	6	8	9	11	13	15

Эффективность работы катодных установок с экранными заземлениями существенно зависит от сопротивления растеканию с экранных заземлений. При чрезмерном увеличении сопротивления цепи экрана не достигается нужного снижения разности потенциалов "труба-грунт", чрезмерное уменьшение сопротивления приводит к повышенному расходу электроэнергии, а иногда и к уменьшению длины защитной зоны.

Необходимая величина сопротивления цепи "экран-трубопровод" определяется по формуле

$$R_{\text{тр}} = \frac{2\pi l_3 (E'_{\text{max}} - E_{\text{max}} k_2 l_3 \rho_r)}{Y} \left[\frac{l_3 E'_{\text{max}}}{Y} + \frac{2 l_3 (E'_{\text{max}} - E_{\text{max}})}{\Delta l_3} \right] \quad (58)$$

Зная величину $R_{\text{тр}}$, проектирует обеспечивающую его конструкцию экранного заземления с учетом сопротивления одиночного электрода, его размеров и эффекта экранирования.

Сила тока катодной установки с экранными заземлениями определяется по формуле

$$I_{\text{пр}} = \frac{E'_{\text{max}}}{2(1-K+D)} \quad (59)$$

Суммарная сила тока экранных заземлений определяется по выражению

$$I_3 = \frac{1}{R_{\text{тр}}} \left[E_{\text{max}} (n_3 - 1) + n_3 E'_{\text{max}} - \frac{\Delta l_3 (E'_{\text{max}} - E_{\text{max}}) (n_3 - 1)}{2 l_3} \right] \quad (60)$$

Зная величину $I_{\text{пр}}$ и I_3 , уточняют значение коэффициента $K = \frac{I_3}{I_{\text{пр}}}$. Если расхождение ранее принятого и расчетного значений K превышает 20%, то расчет параметров катодной установки с экранными заземлениями необходимо повторить, задав вторую величину коэффициента K .

ПРИМЕР 15

При работе СКЗ, обслуживающей трубопровод диаметром $D = 377$ мм с входным сопротивлением $Z = 0,08$ Ом и постоянной распределения $\alpha = 1,86 \cdot 10^{-4}$ 1/м, обеспечивается зона защиты длиной 12,1 км. По местным условиям необходимо обеспечить защиту участка трубопровода длиной $l = 15$ км. Определить параметры катодной установки с экранными заземлениями, если $R_{\text{тр}} = 20$ Ом*м, $Y = 500$ м, $E_{\text{max}} = 0,55$ В, $E_{\text{min}} = 0,3$ В.

РЕШЕНИЕ

1. Находим $\theta = \frac{20}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,08 \cdot 500} = 0,08$.

2. Полагая $K = 0,25$, по формуле (55) находим

$$E'_{\text{max}} = \frac{0,5 \cdot 0,3 \exp \left(\frac{1,86 \cdot 10^{-4} \cdot 15 \cdot 10^3}{2} \right)}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{0,08} \left[\frac{2 \cdot 500}{15 \cdot 10^3} \exp \left(\frac{1,86 \cdot 10^{-4} \cdot 15 \cdot 10^3}{2} \right) - \frac{0,025}{0,08} - 1 \right]}} = 0,96 \text{ В.}$$

3. Сила тока катодной установки по формуле (59)

$$I_{\text{пр}} = \frac{0,96}{0,08(1 - 0,25 + 0,08)} = 14,46 \text{ А.}$$

4. По табл. 12 находим удаление экрана от трубопровода и расстояние между экранными заземлениями

$$Y = 4,5 \text{ м}; \Delta l_3 = 16 \text{ м.}$$

5. Протяженность участка трубопровода, на котором необходимо установить экранные заземления, определяется из уравнения (56) методом последовательных приближений.

Принимаем $l_3 = 1600$ м по формуле (56):

$$l_3 = \frac{2}{1,86 \cdot 10^{-4}} \ln \frac{1 - 2 \cdot 0,25}{0,55(1 - 0,25 + 0,08) - \frac{2 \cdot 20 \cdot 500}{1600^2 + 4 \cdot 500^2}} = 1780 \text{ м.}$$

Принимаем $l_3 = 1500$ м. Тогда

$$L_3 = \frac{2}{1,86 \cdot 10^{-4}} \ln \frac{1 - 2 \cdot 0,25}{0,55(1 - 0,25 + 0,08) - \frac{2 \cdot 20 \cdot 500}{\sqrt{4500^2 + 4 \cdot 500^2}}} = 1560 \text{ м.}$$

Поскольку расчетная величина L_3 практически равна заданной, в дальнейшем будем считать $L_3 = 1560 \text{ м.}$

6. Число экраных заземлений по формуле (57)

$$n_3 = 1 + \frac{1560}{16} = 97.$$

7. Необходимая величина сопротивления цепи экранного заземления по формуле (58)

$$R_{чз} = \frac{20}{2 \cdot 3,14 \cdot 1560 \cdot (0,96 - 0,55 - 0,25 \cdot 0,08 \cdot 14,4)} \cdot \left[\frac{4560 \cdot 0,96}{4,5} + \frac{2 \cdot 1560 \cdot 1,51}{16} \cdot \left(0,577 + \ln \frac{97-1}{2} + \frac{1}{97-1} \right) - 2(97-1)(0,96 - 0,55) \right] = 29,3 \text{ Ом.}$$

8. Суммарная сила тока экранных заземлителей по формуле

$$I_3 = \frac{1}{29,3} \left[0,55(97-1) + 97 \cdot 0,96 - \frac{16(0,96 - 0,55)(97^2 - 1)}{2 \cdot 1560} \right] = 4,25 \text{ А.} \quad (57)$$

9. Расчетная величина коэффициента K составляет

$$K = \frac{4,25}{14,4} = 0,295.$$

10. Расхождение расчетной и принятой в расчете величин

$$\text{составляет } \frac{0,295 - 0,25}{0,25} \cdot 100 = 18\% < 20\%.$$

Потому повторный расчет производить не следует. Остальные параметры установки определяются как и для обычной СКЗ.

1.4.2. Катодная установка с противопотенциалом

В отличие от обычной СКЗ катодная установка с противопотенциалом содержит дополнительные катодные заземления с автономным источником постоянного тока (рис. 8).

Эффект применения катодных заземлений такой же, как экран-

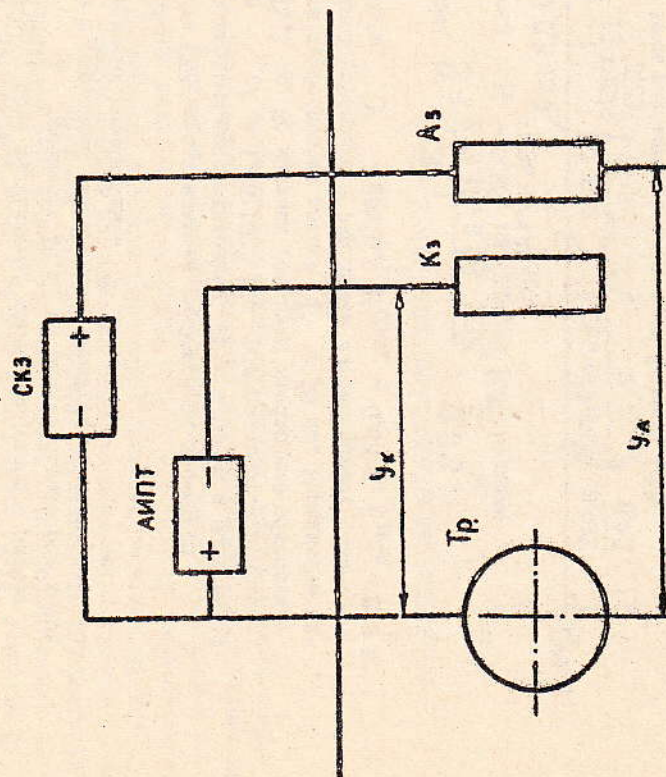


Рис. 8. Схема катодной установки с противопотенциалом:

Тр - трубопровод;

Кз - катодное заземление;

Аз - анодное заземление;

АМПТ - автономный источник

постоянного тока;

СКЗ - станция катодной

защиты

нах заземлений. Их устанавливают в районе точки дренажа на расстоянии 20-40 м от трубопровода с любой стороны. При этом минимальное количество источника тока подключается к катодному заземлению, плюс - к трубопроводу.

Распределение наложенной разности потенциалов вдоль трубопровода при работе СКЗ с противопотенциалом описывается выражением

$$E(x) = a \cdot e^{-bx} + \frac{b}{\sqrt{x^2 + y^2}} - \frac{c}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (61)$$

где a, b, c - коэффициенты, равные:

$$a = E_{\max a} \left(\frac{1}{\theta_a} - \frac{1}{\theta_k} \right) + \frac{E_{\min}}{\theta_k};$$

$$b = y E_{\max a} \cdot \frac{\theta}{\theta_a};$$

$$c = y \frac{\theta}{\theta_k} (E_{\max a} - E_{\min}); \quad (62)$$

$E_{\max}$ - величина наложенной разности потенциалов в точке дренажа, при которой обеспечивается защита участка трубопровода длиной l' .

$$E_{\max a} = E_{\min} \frac{\theta_k e^{\frac{bl'}{2}} - 1}{\theta_k e^{\frac{bl'}{2}} - 1}, \quad (63)$$

где θ_a, θ_k - коэффициенты, равные:

$$\theta_a = 1 + \theta; \quad \theta_k = 1 + \frac{y}{x} \theta; \quad (64)$$

y_k - угловое значение заземления от трубопровода.

Кривая распределения суммарной разности наложенных потенциалов "трубопровод-труба" вдоль трубопровода имеет явно выраженный максимум вблизи точки дренажа. Этот максимум не должен превышать значение $E_{\max}$ регламентированное ГОСТом 9-015-74. Выпуклое условие $E(x) \leq E_{\max}$ добивается варьированием величин y_k .

Расстояние x от точки дренажа до сечения, в котором суммарная наложенная разность потенциалов достигает максимума, определяется методом последовательных приближений из уравнения

$$\alpha = f(x).$$

$$f(x) = \frac{1}{x} \ln \frac{a \cdot a}{x [c(x^2 + y^2)^{-1.5} - b(x^2 + y^2)^{-1.5}]} \quad (65)$$

Сила тока катодной установки вычисляется по зависимости

$$I_{\text{пр } a} = \frac{E_{\max a}}{Z(1 + \theta_a)} \quad (66)$$

Напряжение на контактах СКЗ

$$\Delta E_a = I_{\text{пр } a} (R_{\text{пр}} + R_a) + |E_{\max a} - E_a(l')|, \quad (67)$$

где $E_a(l')$ - наложенная разность потенциалов на расстоянии l' от точки дренажа, где подвешивается потенциал $E_{\max a}$ в случае, когда противопотенциал не создается.

Противопотенциал, создаваемый в точке дренажа автономным источником постоянного тока, вычисляется по формуле

$$E_{\min k} = \frac{E_{\max a} - E_{\min}}{\theta_k} e^{-\frac{bl'}{2}} \quad (68)$$

Сила тока автономного источника

$$I_{\text{пр } k} = \frac{E_{\max a} - E_{\min}}{Z(1 + \theta_k)} \quad (69)$$

Напряжение на его контактах

$$\Delta E_k = I_{\text{пр } k} (R_{\text{пр } k} + R_k) + |E_{\min k} - E_k(l')|, \quad (70)$$

где $R_{\text{пр } k}, R_k$ - сопротивления соответственно проводов катодной установки и растекания тока с катодного заземления

$E_k(l')$ - наложенная разность потенциалов, которую создавал автономный источник постоянного тока на расстоянии l' , если бы был включен только он.

Зная величины $I_{\text{пр } a}, I_{\text{пр } k}, \Delta E_a, \Delta E_k$ по формуле (42) можно вычислить мощность, необходимую для питания СКЗ и автономного источника постоянного тока.

ПРИМЕР 16

Для условий примера 15 определить параметры катодной установки с противопотенциалом.

РЕШЕНИЕ

1. Назначаем $Y_K = 25$ м.

2. Определяем коэффициенты θ_A и θ_K по формуле (64):

$$\theta_A = 1 + 0,08 = 1,08;$$

$$\theta_K = 1 + \frac{500}{25} \cdot 0,08 = 2,6.$$

3. Коэффициент, учитывающий влияние смещенной СКЗ по формуле (29),

$$K_B = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{0,3}{0,55}\right)^2 \cdot (1 + 0,08)}} = 0,55.$$

4. Наложенная разность потенциалов в точке дренажа для заданной участка трубопровода длиной 15 м по формуле (70)

$$E_{\max A} = 0,3 \frac{2,6 \cdot e}{2,6} \frac{1,08 \cdot 0,55}{1 - 1} = 0,84 \text{ В.}$$

5. Наложенная разность потенциалов автономного источника питания в точке дренажа по формуле (68)

$$E_{\min K} = \frac{0,84 - 0,3}{2,6} \cdot e \frac{-1,86 \cdot 10^{-4} \cdot 15 \cdot 10^3}{2} = 0,051 \text{ В.}$$

6. Коэффициенты, входящие в уравнение (61), по формуле (62)

$$Q = 0,84 \cdot \left(\frac{1}{1,08} - \frac{1}{2,6}\right) + \frac{0,3}{2,6} = 0,57;$$

$$B = 500 \cdot 0,84 \cdot \frac{0,08}{1,08} = 31,11;$$

$$C = 500 \cdot \frac{0,08}{2,6} \cdot (0,84 - 0,3) = 8,31.$$

7. Задавая $X = 200$ м, вычисляем величину правой части уравнения (61):

$$f(x) = 200 \ln \frac{0,57 - 1,86 \cdot 10^{-4}}{0,31 \cdot (200^2 + 2,5^2)^{1,5} + 31,11(200 + 500)^{-1,5}} = 2,24$$

Данный расчет повторяем еще для нескольких величин. Результаты расчетов представим таблицей.

X, м	200	210	220	230	240
------	-----	-----	-----	-----	-----

Правая

часть $-2,2 \cdot 10^{-3}$ $-1,4 \cdot 10^{-3}$ $-0,8 \cdot 10^{-3}$ $-0,2 \cdot 10^{-3}$ $0,3 \cdot 10^{-3}$

По результатам расчета строим график зависимости $f(x)$ от X и определяем абсциссу точки пересечения этой кривой с прямой $f(x) = \alpha = 1,86 \cdot 10^{-4}$ (рис. 9). Ей соответствует сечение $X = 237,5$ м от точки дренажа.

8. Максимальная величина суммарно: наложенной разности потенциалов "трубопровод-грунт" при $X = 237,5$ м по формуле (61) составит

$$E(x)_{x=237,5} = 0,57e \frac{-1,86 \cdot 10^{-4} \cdot 237,5}{\sqrt{500^2 + 237,5^2}} + \frac{31,11}{\sqrt{500^2 + 237,5^2}} = 0,57 \text{ В.}$$

Вычисленное значение несколько превосходит максимально допустимое значение $E_{\max} = 0,55$ В. Поэтому удаление катодного заземления необходимо увеличить.

Принимаем $Y_K = 30$ м и расчет производим вновь.

1. $\theta_A = 1 + 0,08 = 1,08.$

2. $\theta_K = 1 + \frac{500}{30} \cdot 0,08 = 2,33.$

3. $K_B = 0,55.$

4. $E_{\max A} = 0,3 \frac{2,33 \cdot e}{1,08 \cdot 0,55} \frac{1,86 \cdot 10^{-4} \cdot 15 \cdot 10^3}{2} = 0,86 \text{ В.}$

5. $E_{\min K} = \frac{0,86 - 0,3}{2,33} \cdot e \frac{1,86 \cdot 10^{-4} \cdot 15 \cdot 10^3}{2} = 0,06 \text{ В.}$

6. $Q = 0,86 \cdot \left(\frac{1}{1,08} - \frac{1}{2,33}\right) + \frac{0,3}{2,33} = 0,56;$

$$B = 500 \cdot 0,86 \cdot \frac{0,08}{1,08} = 31,85;$$

$$C = 500 \cdot \frac{0,08}{2,33} \cdot (0,86 - 0,3) = 9,61.$$

7.

М	200	210	220	230	240	250	260
χ	$-3,05 \cdot 10^{-3}$	$-2,3 \cdot 10^{-3}$	$-1,66 \cdot 10^{-3}$	$-1,07 \cdot 10^{-3}$	$-0,53 \cdot 10^{-3}$	$0,43 \cdot 10^{-3}$	

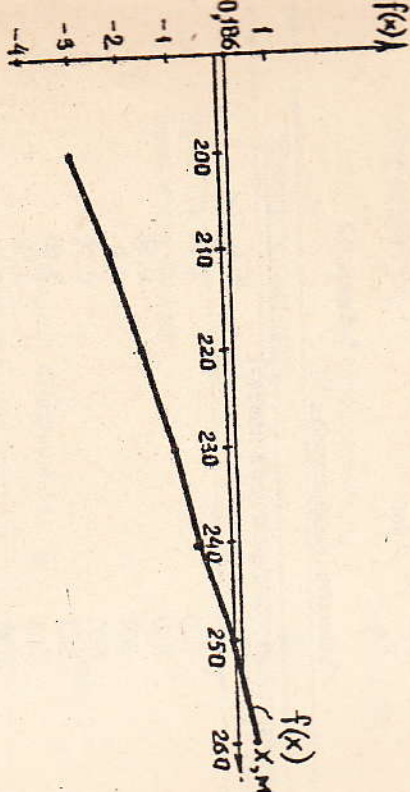


Рис. 9

$$B. E(x)_{x=251,5} = 0,56 \cdot e^{-1,86 \cdot 10^{-4} \cdot 251,5} + \frac{31,85}{\sqrt{500^2 + 251,5^2}} - \frac{9,61}{\sqrt{30^2 + 251,5^2}} = 0,5538$$

$$9. \text{ Сила тока СЭС } \left| \frac{\partial p_a}{\partial a} = \frac{0,86}{0,08 \cdot (1+0,08)} = 9,96 \text{ А.} \right.$$

$$10. \text{ Сила тока автономного источника для создания противо-} \\ \text{потенциала } \left| \frac{\partial p_k}{\partial k} = \frac{0,86 - 0,3}{0,08 \cdot (1+2,33)} = 3,01 \text{ А.} \right.$$

1.5. Совместная катодная защита подземных металлических сооружений

1.5.1. Параллельно уложенные трубопроводы

В случае параллельной укладки нескольких трубопроводов на небольшом расстоянии друг от друга целесообразно осуществлять их совместную защиту, т.е. защиту всех параллельно уложенных трубопроводов на данном участке одной СЭС.

При совместной защите параллельно уложенных трубопроводов их условно заменяют одним трубопроводом с эквивалентными параметрами, что позволяет выполнять все расчеты по формулам п.п. 1.2-1.3.

Эквивалентные параметры вычисляются по следующим зависимостям:

$$\text{продольное сопротивление} \\ R_{T3} = \frac{\prod_{i=1}^n R_{Ti}}{\sum_{i=1}^n R_{Ti}} ; \quad (71)$$

сопротивление изоляционного покрытия на единицу длины трубопровода

$$R_{и3} = \frac{\prod_{i=1}^n R_{и3i} - R_{в1-2}^2}{\sum_{i=1}^n R_{и3i} - 2 \cdot R_{в1-2}} ; \quad (72)$$

постоянная распределения тока и потенциала

$$\alpha_3 = \sqrt{\frac{R_{T3}}{R_{и3}}} , \quad (73)$$

где R_{Ti} , $R_{и3i}$ - продольное сопротивление изоляционного покрытия i -го трубопровода;

$R_{в1}$ - взаимное сопротивление между двумя рассматриваемыми трубопроводами,

$$R_{вi} = \frac{\rho_r \ln \frac{1}{b \sqrt{\pi} \alpha_i}}{\pi} ; \quad (74)$$

α_i - постоянная распределения i -го трубопровода;

b - расстояние между трубопроводами.