

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт *горного дела и строительства*
Кафедра «Геотехнологии и строительство подземных сооружений»

Утверждено на заседании кафедры
«Геотехнологии и строительство
подземных сооружений»
«24» января 2023 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой


_____ Н.М. Качурин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Защита от коррозии газонефтепроводов и газонефтехранилищ»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
21.03.01 Нефтегазовое дело

с направленностью (профилем)
Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти,
газа и продуктов переработки

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 210301-01-23

Тула 2023 год

Разработчик методических указаний

Сарычев В.И., проф., д-р техн. наук, доц.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. Катодная защита подземных металлических сооружений	4
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. Протекторная защита магистральных трубопроводов	22
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. Протекторная защита днища стальных резервуаров от почвенной коррозии	28
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. Расчет основных параметров электродренажной защиты	34
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	39

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. Катодная защита подземных металлических сооружений

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков расчета параметров катодной защиты от коррозии объектов транспорта и хранения углеводородов.

Задачи работы заключаются в ознакомлении с принципом действия и схемой катодной защиты трубопроводов от коррозии, в изучении характера воздействия коррозионных процессов на состояние трубопровода, в расчете параметров катодной защиты, таких как: мощность и общее число станций катодной защиты, расчетная длина защищаемого участка трубопроводоказателей тока, число электродов, сопротивление дренажной линии, экономические показатели.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Принцип действия катодной защиты

При контакте металла с грунтами, относящимися к электролитическим средам, происходит коррозионный процесс, сопровождаемый образованием электрического тока, и устанавливается определенный электродный потенциал. Величину электродного потенциала трубопровода можно определить по разности потенциалов между двумя электродами: трубопроводом и неполяризуемым медно-сульфатным элементом. Таким образом, значение потенциала трубопровода представляет собой разность его электродного потенциала и потенциала электрода сравнения по отношению к грунту. На поверхности трубопровода протекают электродные процессы определенного направления и стационарные по характеру изменения во времени.

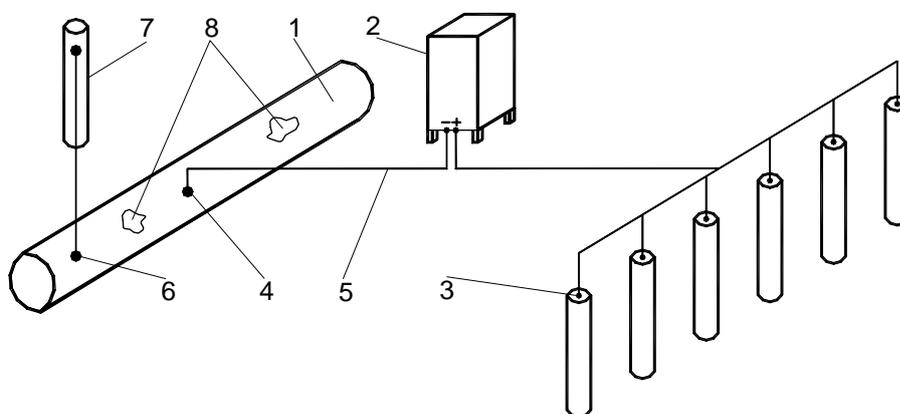
Стационарный потенциал принято называть естественным потенциалом, подразумевая при этом отсутствие на трубопроводе блуждающих и других наведенных токов.

Взаимодействие корродирующего металла с электролитом разделяется на два процесса: анодный и катодный, которые проходят одновременно на различных участках поверхности раздела металла и электролита.

При защите от коррозии используют территориальное разделение анодного и катодного процессов. К трубопроводу подключают источник тока с дополнительным электродом-заземлителем, с помощью которого накладывают на трубопровод внешний постоянный ток. В этом случае анодный процесс происходит на дополнительном электроде-заземлителе.

Катодная поляризация подземных трубопроводов осуществляется с помощью наложения электрического поля от внешнего источника постоянного тока. Отрицательный полюс источника постоянного тока подключается к защищаемой конструкции, при этом трубопровод является катодом по отношению к грунту, искусственно созданный анод-заземлитель - к положительному полюсу.

Принципиальная схема катодной защиты показана на рис. 1. При катодной защите отрицательный полюс источника тока 2 подключен к трубопроводу 1, а положительный - к искусственно созданному аноду-заземлителю 3. При включении источника тока от его полюса через анодное заземление поступает в грунт и через поврежденные участки изоляции 6 на трубу. Далее через точку дренажа 4 по соединительному проводу 5 ток возвращается снова к минусу источника питания. При этом на оголенных участках трубопровода начинается процесс катодной поляризации.



**Рисунок 1 – Принципиальная схема катодной защиты трубопровода:
1 - трубопровод; 2 - внешний источник постоянного тока;
3 - анодное заземление; 4 - точка дренажа; 5 - дренажный кабель;
6 - контакт катодного вывода; 7 - катодный вывод; 8 - повреждения
изоляции трубопровода**

Поскольку напряжение внешнего тока, приложенного между электродом-заземлителем и трубопроводом, значительно превышает разность потенциалов между электродами коррозионных макропар

трубопровода, стационарный потенциал анодного заземления не играет определяющей роли.

С включением электрохимической защиты ($\varphi_{0a, \text{доп}}$) нарушается распределение токов коррозионных макропар, сближаются значения разности потенциалов «труба – земля» катодных участков ($\varphi_{0к}$) с разностью потенциалов анодных участков (φ_{0a}), обеспечиваются условия для поляризации.

Катодная защита регулируется путем поддержания необходимого защитного потенциала. Если наложением внешнего тока трубопровод поляризован до равновесного потенциала ($\varphi_{0к} = \varphi_{0a}$) растворения металла (рис. 2, а), то анодный ток прекращается и коррозия приостанавливается. Дальнейшее повышение защитного тока нецелесообразно. При более положительных значениях потенциала наступает явление неполной защиты (рис. 2, б). Оно может возникнуть при катодной защите трубопровода, находящегося в зоне сильного влияния блуждающих токов или при использовании протекторов, не имеющих достаточно отрицательного электродного потенциала (цинковые протекторы).

Критериями защиты металла от коррозии являются защитная плотность тока и защитный потенциал.

Катодная поляризация неизолированной металлической конструкции до величины защитного потенциала требует значительных токов. Наиболее вероятные величины плотностей токов, необходимых для поляризации стали в различных средах до минимального защитного потенциала (-0,85 В) по отношению к медно-сульфатному электроду сравнения, приведены в табл. 1

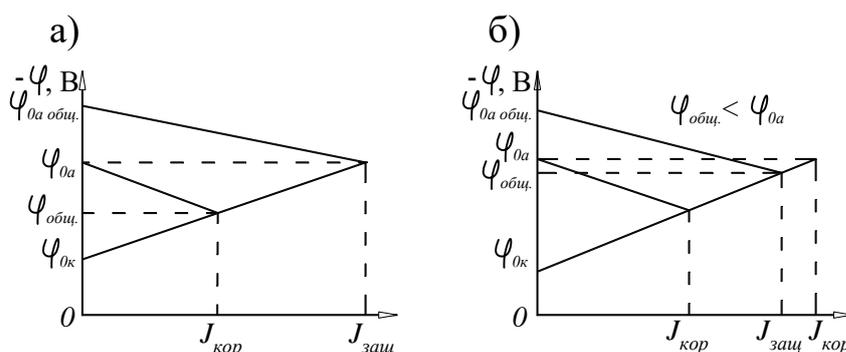


Рисунок 2 – Коррозионная диаграмма для случая полной поляризации (а) и неполной поляризации (б)

Обычно катодная защита используется совместно с изоляционными покрытиями, нанесенными на наружную поверхность трубопровода. Поверхностное покрытие уменьшает необходимый ток на несколько порядков. Так, для катодной защиты стали с хорошим покрытием в почве требуется всего 0,01 ... 0,2 мА/м².

Защитная плотность тока для изолированных магистральных трубопроводов не может стать надежным критерием защиты вследствие неизвестного распределения поврежденной изоляции трубопровода, определяющую фактическую площадь контакта металла с грунтом. Даже для неизолированной трубы (патрон на подземном переходе через железные и шоссейные дороги) защитная плотность тока определяется по геометрическим размерам сооружения и является фиктивной, так как остается неизвестной доля поверхности патрона, покрытая постоянно присутствующими пассивными защитными слоями (окалиной и др.) и не участвующая в процессе деполяризации. Поэтому защитная плотность тока как критерий защиты применяется при некоторых лабораторных исследованиях, выполняемых на образцах металла.

Таблица 1 - Плотность тока, необходимая для катодной защиты неизолированной стальной поверхности в различных средах

Среда (почва)	Плотность тока, необходимая для катодной защиты, mA/m^2
Стерильная нейтральная	4,3-16,1
Хорошо аэрируемая нейтральная	21,5-32,3
Сухая, хорошо аэрируемая	5,4-16,1
Влажная	16,9-64,6
Высокоокислая	53,8-161,4
Поддерживающая активность сульфатовосстанавливающих бактерий	451,9

В качестве критерия защищенности по ГОСТ Р 51164-98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии» принят защитный потенциал (табл. 2).

Таблица 2 - Минимальные защитные потенциалы

Условия прокладки и эксплуатации трубопровода	Минимальный защитный потенциал относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения, В	
	поляриза- ционный	с омической составляющей
Грунты с предельным электрическим сопротивлением не менее 10 Ом·м или содержанием водорастворимых солей не более 1 г на 1 кг грунта или при температуре транспортируемого продукта не более 293 К (20°C)	- 0,85	- 0,90
Грунты с предельным электрическим сопротивлением менее 10 Ом·м или содержанием водорастворимых солей более 1	- 0,95	- 1,05

г на 1 кг грунта, или опасном влиянии блуждающих токов промышленной частоты (50 Гц) и постоянных токов, или при возможной микробиологической коррозии, или при температуре транспортируемого продукта более 293 К (20°C)		
--	--	--

Примечания:

1. Для трубопроводов, температура транспортируемого продукта которых не более 278 К (5°C), минимальный поляризационный защитный потенциал равен минус 0,80 В относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения.

2. Минимальный защитный потенциал с омической составляющей при температуре транспортируемого продукта от 323 К (50°C) до 343 К (70°C) - минус 1,10 В, от 343 К (70°C) до 373 К (100°C) - минус 1,15 В.

3. Для грунтов с высоким удельным сопротивлением (более 100 Ом · м) значения минимального потенциала с омической составляющей должны быть определены экспериментально или расчетным путем в соответствии с НД.

Смещение разности потенциалов «труба-земля» в отрицательную сторону относительно минимально защитного, с точки зрения защиты от коррозии, бесполезно и вызывает повышение расхода тока. Однако, такое смещение разности потенциалов необходимо в местах подключений станций катодной защиты (СКЗ) к трубопроводу, чтобы обеспечить минимальную защитную разность потенциалов на участках трубопровода, удаленных от СКЗ. Как только разность потенциалов «труба-земля» достигнет величин, отрицательнее - 1,10 В, на трубопроводе (катоде) катодный процесс будет протекать с интенсивным выделением водорода, что может нарушить прилипаемость изоляции трубопровода. Поэтому для изолированных трубопроводов максимально допустимая разность поляризационных потенциалов принята равной - 1,10 В (табл. 3).

Таблица 3 - Максимальные защитные потенциалы

Условия прокладки и эксплуатации трубопровода	Максимальный защитный потенциал относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения, В	
	поляризационный	с омической составляющей
При прокладке трубопровода с температурой транспортируемого продукта выше 333 К (60°C) в грунтах с удельным электрическим сопротивлением менее 10 Ом·м или при подводной прокладке трубопровода с температурой транспортируемого продукта выше 333 К (60°C)	- 1,10	- 1,50
При других условиях прокладки трубопроводов:		

- с битумной изоляцией	- 1,15	- 2,50
- с полимерной изоляцией	- 1,15	- 3,50

Примечания:

1. Для трубопроводов из упрочненных сталей с пределом прочности 0,6 МПа (6 кг/см²) и более не допускаются поляризационные потенциалы более отрицательные, чем минус 1,10 В.

2. В грунтах с высоким удельным сопротивлением (более 100 Ом·м) допускаются более отрицательные потенциалы с омической составляющей, установленные экспериментально или расчетным путем в соответствии с НД.

Наблюдениями установлено, что в определенных условиях изолирующее покрытие сохраняет прилипаемость к трубе и при более отрицательных разностях потенциалов. Это относится, прежде всего, к участкам, уложенным в хорошо аэрируемых грунтах с добросовестно выполненным покрытием. На участках трубопровода, где при строительстве изоляция выполнена небрежно со слабой прилипаемостью, наблюдается отрыв ее от трубы в условиях перезащиты.

Проведены исследования почвенных условий, в которых эксплуатируются трубопроводы, в частности, влияние влажности грунтов и давления их на покрытие. Изучено поведение таких новых видов изоляционных материалов, как полимерные материалы и стеклоэмали в условиях катодной поляризации. Экспериментальными исследованиями установлена принципиальная возможность применения на подземных стальных трубопроводах катодной защиты с повышенным против нормы защитным потенциалом в тех случаях, когда трубопровод не находится в постоянном контакте с грунтовыми водами. Положительные результаты получены при повышении защитного потенциала в точке дренажа катодных станций при битумной изоляции до -2,5 В, при полимерной пленочной и силикатных эмалях – до -3,5 В. Такое повышение защитного потенциала обеспечивает увеличение экономической эффективности катодной защиты магистральных трубопроводов за счет сокращения числа катодных станций в 3-4 раза.

Для неизолированных стальных труб, не имеющих сближений и пересечений с другими металлическими сооружениями, смещение разности потенциалов в отрицательную сторону не ограничивается.

Потенциал подземного трубопровода со временем становится более отрицательным или более положительным. Это зависит от конкретных условий. На магистральном трубопроводе непрерывно развиваются два процесса:

1. Разрушение изолирующего покрытия и включение в коррозионный процесс все новых активных электрохимических участников стального трубопровода. При этом стационарный потенциал смещается в отрицательную сторону. В том же направлении действует увеличение влажности и естественное уплотнение грунта в траншее.

2. Образование продуктов коррозии и их отложения на металлической поверхности снижают ее электрохимическую активность и смещают стационарный потенциал в положительную сторону. Этому способствует также высыхание грунта и дренирование грунтовых вод с трассы трубопровода.

В зависимости от того, какой из этих процессов является доминирующим в условиях данного трубопровода, и будет определяться характер сдвига потенциала.

3.2. Расчет катодной защиты

Мощность СКЗ определяется как:

$$P = I_{др} \cdot \Delta\phi, \quad (1)$$

где $I_{др}$ – ток СКЗ в точке дренажа, а; $\Delta\phi$ - напряжение на зажимах источника постоянного тока, В.

Общее число СКЗ:

$$N = L_{общ} / L, \quad (2)$$

где $L_{общ}$ – общая длина трубопровода, км; L – расчетная длина защищаемого участка трубопровода, км.

Расчетную длину защищаемого участка трубопровода можно определить по формуле:

$$L = \frac{2}{\alpha} \ln \left[\frac{E_{max}}{\kappa_6 E_{min} (1 + \Theta)} \right]. \quad (3)$$

Вышеприведенные потенциалы связаны между собой выражением:

$$E_{min(max)} = E_{защ.min(max)} - E_{ест}. \quad (4)$$

Величины потенциалов при защите подземных металлических сооружений от коррозии измеряют по отношению к медно-сульфатному электроду сравнения (МЭС).

Многочисленными сравнениями установлено, что величина естественного потенциала подземных металлических сооружений колеблется в интервале от -0,23 до -0,72 В, причем практический диапазон изменения $E_{ест}$ составляет от -0,45 до -0,60 В. Поэтому, если не имеется точных данных о величине естественного потенциала стали в данном грунте, принято считать $E_{ест} = -0,55$ В (по МЭС).

Отсюда, пользуясь формулой (4), легко получить предельные значения наложенного потенциала для стального изолированного трубопровода:

$$E_{max} = -1,1 - (-0,55) = -0,55 \text{ В}, \quad E_{min} = -0,85 - (-0,55) = -0,30 \text{ В},$$

где κ_6 - коэффициент, учитывающий влияние смежной СКЗ

$$\kappa_{\alpha} = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{E_{min}}{E_{max}}\right)^2 (1 + \Theta)}}, \quad (5)$$

где α - постоянная распространения тока вдоль трубопровода

$$\alpha = \sqrt{\frac{R_T}{R_{uz}(\tau_{nc})}}, \quad (6)$$

где R_T – продольное сопротивление трубопровода вычисляют по формуле

$$R_T = \frac{\rho_T}{\pi \delta (D - \delta)}, \quad (7)$$

где ρ_T – удельное электросопротивление трубной стали, $\rho_T \approx 0,245$ Ом·мм²/м; D , δ - наружный диаметр трубопровода и толщина стенки; R_{uz} – сопротивление единицы длины изоляции

$$R_{uz} = \frac{R_{II}}{\pi D}, \quad (8)$$

где $R_{uz}(\tau_{nc})$ – сопротивление изоляционного покрытия.

Θ - коэффициент работы анодного заземления определяется по формуле:

$$\Theta = \frac{\rho_{\Gamma}}{2\pi z \gamma}, \quad (9)$$

где ρ_{Γ} – удельное электросопротивление грунта

$$\rho_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n \rho_{ri} \frac{L_i}{L}, \quad (10)$$

где ρ_{ri} - удельное электросопротивление грунта на участке длиной L_i ; $\frac{L_i}{L}$ - доля участка длиной L_i в общей протяженности трубопровода L .

Рассмотрим принципиальную электрическую схему катодной защиты (рис. 3). Как следует из этой схемы, для наиболее простого случая катодной защиты общее сопротивление цепи можно представить как ряд последовательно соединенных отдельных сопротивлений: R_1 и R_5 - сопротивления соединительных проводов; R_2 - сопротивление растеканию тока с анодного заземления в окружающую почву; R_3 - сопротивление почвы между анодным заземлением и защищаемым сооружением; R_4 - общее сопротивление тока на пути «почва - металл защищаемого сооружения - точка дренажа».

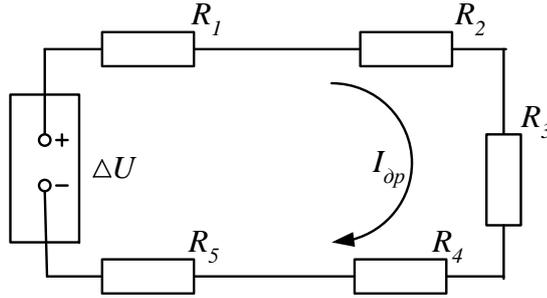


Рисунок 3 – Электрическая схема катодной защиты для расчета мощности СКЗ

Если пренебречь относительно малой величиной сопротивления КЗ (из-за большого сечения почвенного проводника), то общее сопротивление цепи катодной защиты

$$R_{к.з.} = R_a + R_{np} + R_k, \quad (11)$$

где $R_a = R_2$ сопротивление растеканию тока с анодного заземления; $R_{np} = R_1 + R_5$ - сопротивление соединительных проводов; $R_k = R_4$ - сопротивление собственно защиты.

Таким образом,

$$\Delta\phi = I_{др} R_{к.з.} = \Delta\phi_a + \Delta\phi_{np} + \Delta\phi_k, \quad (12)$$

где $\Delta\phi_a = I_{др} R_a$; $\Delta\phi_{np} = I_{др} R_{np}$; $\Delta\phi_k = I_{др} R_k = |\phi_{max}^{нал} - \phi_{min}^{нал}|$.

Силу тока в точке дренажа определяют по формуле:

$$I_{др} = \frac{\phi_{max}^{нал}}{Z_{ex} \left[1 + 2 \exp(-\alpha \cdot L) + \frac{\rho_r}{2\pi y} \right]}, \quad (13)$$

где Z_{ex} – входное сопротивление трубопровода, Ом;

$$Z_{ex} = \frac{1}{2} \sqrt{R_m \cdot R_{из}}, \quad (14)$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м; y – расстояние от трубопровода до анодного заземления, м, $y = 50 \dots 500$ м;

Сопротивление растеканию тока одиночного вертикального электрода в коксовой засыпке (при $l_a \ll 4h$; $d_a \ll 2l_a$)

$$R_1 = \frac{\rho_r}{2\pi l_a} \left[\ln \frac{2l_a}{d_a} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h + l_a}{4h - l_a} + \frac{\rho}{\rho} \ln \frac{d_a}{d} \right], \quad (15)$$

где d , d_a , l_a – соответственно диаметр электрода, диаметр и длина засыпки (табл. 4); h – расстояние от поверхности земли до середины электрода; ρ_a – удельное сопротивление засыпки Ом·м; $\rho_a = 0,2$ Ом·м.

Таблица 4 - Техническая характеристика комплектных анодных

заземлителей

Тип	Материал электрода	Размеры, мм				Масса, кг		Эл. хим. эквивалент кг/А·год
		электрод		общие		электр.	общая	
		диаметр	длина	диаметр	длина			
АК-1	сталь	50	1400	185	1420	21	60	1,0
АК-3	железобетон.	40	1400	185	1420	12	53	0,12
АК-1 Г		68	1400	225	1700	41	90	0,12
АК-2Г		40	1400	150	1700	12	60	0,12
ЗЖК-12-КА		30	1400	185	1425	80	40	0,12
ЗЖК-41п- КА		68	1400	240	1700	41	100	0,12
АКЦ	сталь	50	1700	150	-	26	-	1,0

Оптимальное число электродов анодного заземления:

$$n = J_{\text{оп}} \sqrt{\frac{R_1 \cdot C_3 \cdot \eta_u \cdot \tau}{1000(\varepsilon + \sigma) \cdot C_a \cdot \eta \cdot \eta_6}}, \quad (16)$$

где C_3 – стоимость электроэнергии, руб/кВт; η_u – коэффициент использования электрода; $\eta_u = 0,95$; τ – время работы СКЗ в году; $(\varepsilon + \sigma)$ – норма амортизированных отчислений; C_a – стоимость установки одного электрода, руб.; η – КПД катодной установки; $\eta = 0,7$; η_6 – коэффициент экранирования электродов при выбранном расстоянии между ними (табл. 5).

Сопротивление растеканию тока с анодного заземления:

$$R_{\text{ан}} = \frac{R_1}{n \cdot \eta_6}. \quad (17)$$

Оптимальная плотность тока в дренажной линии:

$$j_{\text{опт}} = 31,6 \sqrt{\frac{(\varepsilon + \sigma) \cdot C_1 \cdot \eta}{C_3 \cdot \rho_{\text{np}} \cdot \tau}}, \quad \text{А/м}^2 \quad (18)$$

где ρ_{np} – удельное сопротивление металла проводов, принимаемое $\rho_{\text{np}} = 0,029 \text{ м} \cdot \text{м}^2/\text{м}$; C_1 – стоимость прокладки дренажной линии.

Оптимальное сечение дренажного провода:

$$S_{\text{np}} = I_{\text{оп}} / j_{\text{опт}}. \quad (19)$$

Сопротивление дренажной линии:

$$l_{\text{np}} = (y + 10). \quad (20)$$

Проводник стали:

$$R_{\text{np}} = \rho_{\text{np}} \frac{l_{\text{np}}}{S_{\text{np}}}, \quad (21)$$

где ρ_{np} – удельное сопротивление металла проводов, принимаемое $\rho_{\text{np}} = 0,029 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $S_{\text{np}} = 16 \text{ мм}^2$; l_{np} – длина проводника.

Таблица 5 - Коэффициент экранирования вертикальных трубчатых заземлителей, размещенных в ряд ($\eta_в$)

Число труб	Отношение расстояния между трубами к длине трубы		
	$\frac{a}{l}=1$	$\frac{a}{l}=2$	$\frac{a}{l}=3$
2	0,84 - 0,87	0,9 - 0,92	0,93 - 0,95
3	0,76 - 0,8	0,85 - 0,88	0,9 - 0,92
5	0,67 - 0,72	0,79 - 0,83	0,85 - 0,88
10	0,56 - 0,62	0,72 - 0,77	0,79 - 0,83
15	0,51 - 0,56	0,66 - 0,73	0,76 - 0,80
20	0,41 - 0,5	0,65 - 0,7	0,74 - 0,79
50	0,38 - 0,43	0,56 - 0,63	0,68 - 0,74

Среднее значение потребляемой мощности СКЗ $\rho = I_{др} \cdot \Delta\phi$.

В зависимости от величины $\Delta\phi$ подбирается соответствующая марка СКЗ.

На основании закона Фарадея срок анодного заземления (в годах), установленного в грунт, определяется по формуле

$$T = \frac{G \cdot \eta_u}{q \cdot J_{др}}, \quad (22)$$

где G – общий вес рабочих электродов заземления, кг; η_u – коэффициент использования электродов; ($\eta_u = 0,95$); q – электрохимический эквивалент материала электродов, кг/А год.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить оптимальные параметры катодной защиты магистрального трубопровода диаметром 820 мм, длиной 1200 км, имеющего толщину стенки, равную 9 мм. Трубопровод прокладывается по местности, участки которой имеют следующие значения удельного электросопротивления грунта:

Доля длины трубопровода, L_i/L	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3
Удельное электросопротивление, Ом·м	170	180	70	40	20	10

Дренажная линия – воздушная с подвеской алюминиевого провода на деревянных столбах с железобетонными приставками. Начальное переходное сопротивление «трубопровод – грунт» равно 9000 Ом·м². Средняя стоимость электроэнергии – 0,02 руб/кВт·ч (цены 1980г.), показатель скорости старения покрытия – 0,125 1/год. Анодное заземление выполнено из электродов

длиной 1,4 м, диаметром 0,03 м, массой 10 кг, устанавливаемых непосредственно в грунт. Стоимость одного электрода – 20 руб, электрохимический эквивалент материала электродов – 0,2 кг/(А·год).

Решение.

1. Среднее значение удельного электросопротивления грунта вдоль трассы трубопровода по формуле (3.204)

$$\rho_{г.ср} = 170 \cdot 0,1 + 180 \cdot 0,1 + 70 \cdot 0,2 + 40 \cdot 0,1 + 20 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,3 = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

2. Продольное сопротивление единицы длины трубопровода:

$$R = \frac{0,245 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,009(0,82 - 0,009)} = 10,68 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

3. Сопротивление единицы длины изоляции к концу нормативного срока службы СКЗ:

$$R_{из}(\tau_{из}) = \frac{9000}{\pi \cdot 0,82} \cdot e^{-0,125 \cdot 9,5} = 1066,0 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

4. То же в среднем за нормативный срок службы СКЗ:

$$R_{из.ср} = \frac{9000}{\pi \cdot 0,82 \cdot 0,125 \cdot 9,5} (1 - e^{-0,125 \cdot 9,5}) = 2045,8 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

5. Среднее значение входного сопротивления трубопровода за нормативный срок эксплуатации катодных установок:

$$Z_{ср} = 0,5 \sqrt{10,68 \cdot 2045,8} = 73,9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

6. То же к концу нормативного срока эксплуатации:

$$Z_{к} = 0,5 \sqrt{10,68 \cdot 10^{-6} \cdot 1066,0} = 53,9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

7. Постоянная распределения токов и потенциалов вдоль трубопровода к концу нормативного срока эксплуатации катодных установок:

$$\alpha = \sqrt{\frac{10,68 \cdot 10^{-6}}{1066,0}} = 1 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{м}}$$

8. Задаем удаление анодного заземления от трубопровода $Y=350$ м и определяем параметр Θ :

$$\Theta = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 53,3 \cdot 10^{-3} \cdot 350} = 0,512$$

9. Коэффициент взаимного влияния СКЗ:

$$K_{в} = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{0,3}{0,55}\right)^2 \cdot (1 + 0,512)}} = 0,574$$

10. Протяженность зоны защиты трубопровода одной СКЗ к концу нормативного срока эксплуатации:

$$l_{скз} = \frac{2}{1 \cdot 10^{-4}} \ln \left[\frac{0,55}{0,574 \cdot 0,3(1 + 0,512)} \right] = 14957 \text{ м}$$

11. Среднее значение силы тока нагрузки СКЗ:

$$I_{др} = \frac{0,55}{73,9 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 2 \exp(1 \cdot 10^{-4} \cdot 14957) + 0,512]} = 3,80 \text{ А}$$

12. Примем, что глубина заложения середины электродов анодного заземления h равна 2,2 м, а расстояние между ними равно 7 м. Тогда сопротивление растеканию с одиночного вертикального электрода:

$$R_{1в} = \frac{0,16 \cdot 60}{1,4} \left(\ln \frac{2 \cdot 1,4}{0,03} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,2 + 1,4}{4 \cdot 2,2 - 1,4} \right) = 32,2 \text{ Ом}$$

13. Примем число электродов анодного заземления $n=5$ и вычислим коэффициенты A_i и B_i . Расчет коэффициентов представим таблицей:

i	1	2	3	4
A_i	0,63	0,31	0,21	0,16
B_i	0,1	0,06	0,033	0,025

14. Сопротивление растеканию с центрального электрода заземления:

$$R_{ц} = 32,2 + \frac{60}{\pi \cdot 1,4} \left\{ \ln \left[\left(0,1 + \sqrt{1 + 0,1^2} \right) \sqrt{\frac{0,63 + 0,1 + \sqrt{1 + (0,63 + 0,1)^2}}{0,63 - 0,1 + \sqrt{1 + (0,63 - 0,1)^2}}} \right] + \right. \\ \left. \ln \left[\left(0,05 + \sqrt{1 + 0,05^2} \right) \sqrt{\frac{0,31 + 0,05 + \sqrt{1 + (0,31 + 0,05)^2}}{0,31 - 0,05 + \sqrt{1 + (0,31 - 0,05)^2}}} \right] \right\} = 36 \text{ Ом}$$

15. Сопротивление растеканию с крайнего электрода анодного заземления:

$$R_{к} = 32,2 + \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 1,4} \left\{ \ln \left[\left(0,1 + \sqrt{1 + 0,1^2} \right) \sqrt{\frac{0,63 + 0,1 + \sqrt{1 + (0,63 + 0,1)^2}}{0,63 - 0,1 + \sqrt{1 + (0,63 - 0,1)^2}}} \right] + \right. \\ \ln \left[\left(0,033 + \sqrt{1 + 0,033^2} \right) \sqrt{\frac{0,21 + 0,033 + \sqrt{1 + (0,21 + 0,033)^2}}{0,21 - 0,033 + \sqrt{1 + (0,21 - 0,033)^2}}} \right] + \ln \left[\left(0,025 + \right. \right. \\ \left. \left. \sqrt{1 + 0,025^2} \right) \sqrt{\frac{0,16 + 0,025 + \sqrt{1 + (0,16 + 0,025)^2}}{0,16 - 0,025 + \sqrt{1 + (0,16 - 0,025)^2}}} \right] \right\} = 34,9 \text{ Ом}$$

16. Коэффициент экранирования электродов анодного заземления:

$$\eta_з = \frac{2 \cdot 32,2}{36 + 34,9} = 0,91$$

17. Оптимальное число электродов анодного заземления:

$$n'_з = 4,13 \cdot \sqrt{\frac{8,76 \cdot 32,2 \cdot 0,02}{20 \cdot 0,95 \cdot 0,7 \cdot 0,91 \cdot (0,15 + 0,148)}} = 5,16$$

т.е. принятое и расчетное число электродов совпадают.

18. Сопротивление растеканию тока с анодного заземления:

$$R_a = \frac{32,2}{5 \cdot 0,91} = 7,08 \text{ Ом}$$

19. Оптимальное сечение дренажного провода:

$$S_{пр} = 2,95 \cdot 3,8 \cdot \sqrt{\frac{0,029 \cdot 0,02}{0,01 \cdot 0,7 \cdot (0,15 + 0,148)}} = 5,91 \text{ мм}^2$$

По табл. 6 [1] выбираем большее сечение серийно выпускаемых проводов, которое равно $S_{пр} = 16 \text{ мм}^2$ (провод А-16).

Таблица 6 – Характеристика проводов линии электропередачи

Марка проводов	Число и диаметр проводов, мм	Фактическое сечение, мм ²
<i>Медные провода</i>		
М-4	1×2,2	3,80
М-6	1×2,7	5,72
М-10	1×3,5	9,60
М-16	1×1,7	15,09
М-25	7×2,1	24,25
М-35	7×2,5	34,36
М-50	7×3,0	49,48
М-60	12×2,5	59,00
М-70	19×2,12	67,00
<i>Алюминиевые провода</i>		
А-16	7×1,70	15,89
А-25	7×2,10	24,25
А-35	7×2,50	34,36
А-50	7×3,00	49,48
А-70	7×3,54	68,90
А-95	7×4,15	94,90
А-120	19×2,80	117,00
<i>Стальные одножильные провода</i>		
Ж-4	1×4	12,5
Ж-5	1×5	19,6
Ж-6	1×6	28,3
<i>Стальные многожильные провода</i>		
ПС-25	5×2,5	24,6
ПС-35	7×2,6	37,2
ПС-50	12×2,3	49,5
ПС-70	19×2,3	78,8
ПС-95	37×1,8	94,0

20. Сопротивление дренажной линии:

$$R_{\text{др}} = 0,029 \frac{350}{9,6} = 1,06 \text{ Ом}$$

21. Среднее значение напряжения на выходных контактах СКЗ:

$$\Delta E_{\text{ср}} = (0,55 - 0,3) + 3,8(1,06 + 7,08) = 31,2 \text{ В}$$

22. Средняя величина мощности, потребляемой СКЗ:

$$P_{\text{скз}} = 3,8 \cdot 31,2 = 118,6 \text{ Вт}$$

23. В соответствии с найденными значениями $I_{\text{др.ср}}$, $\Delta E_{\text{ср}}$ и $P_{\text{скз}}$ по табл. 3.50 выбираем тип катодной станции – КСТ (КСК)-500 с параметрами: мощность – 0,5 кВт; напряжение на контактах – 10, 50 В; ток – 10 А; стоимость – 122 руб.

24. Выполняем расчет экономических показателей катодной защиты при принятом удалении анодного заземления от трубопровода:

стоимость одного заземления –

$$K_a = 20 \cdot 5 = 100 \text{ руб.}$$

стоимость опор воздушной линии –

$$K_{\text{оп}} = 2 \cdot 85 + 25 \left(\frac{350}{50} - 1 \right) = 320 \text{ руб.}$$

стоимость провода воздушной линии –

$$K_{\text{пр}} = (0,01 \cdot 9,6 + 1,3) \cdot 350 = 488,6 \text{ руб.}$$

капитальные затраты на одну СКЗ –

$$K_z = 100 + 320 + 488,6 + 122 = 1030,6 \text{ руб.}$$

стоимость электроэнергии, потребляемой одной СКЗ –

$$\mathcal{E}_л = 0,02 \cdot \frac{118,6}{1000} \cdot 8760 = 20,8 \frac{\text{руб}}{\text{год.}}$$

удельные приведенные затраты на катодную защиту –

$$\frac{\Pi}{l_{\text{СКЗ}}} = \frac{20,8 + 1030,6 \cdot (0,15 + 0,148)}{14,957} = 21,9 \frac{\text{руб}}{\text{год.}}$$

25. Задавая другие значения удаления анодного заземления от трубопровода, аналогично вычисляем удельные приведенные затраты на катодную защиту и для них. Результаты расчетов представим в табл. 7.

26. По результатам расчета строим график в координатах « $\Pi/l_{\text{СКЗ}}-Y$ » (рис. 4). Откуда видно, что оптимальным удалением анодного заземления является $Y=350$ м.

Таблица 7 – Результаты расчетов по определению оптимального удаления анодного заземления от трубопровода

Показатели	Их размерность	Величина показателей при удалении, м					
		200	250	300	350	400	450
K_a	-	0,592	0,587	0,580	0,574	0,568	0,566
$l_{\text{СКЗ}}$	м	9150	11050	13106	14957	17201	19806
$I_{\text{др}}$	А	3,05	3,43	3,71	3,80	4,39	4,85
$\Delta E_{\text{ср}}$	В	26,8	28,6	29,5	31,2	33,4	37,5
$P_{\text{СКЗ}}$	Вт	85,3	89,7	104,3	118,6	126,3	154,9
$K_{\text{оп}}$	руб	245	270	295	320	345	370
$K_{\text{пр}}$	руб	279,0	349,0	418,8	488,6	558,4	632,1
K_z	руб	994,2	1080,0	1213,8	1030,6	1413,4	1832,1
$\mathcal{E}_л$	руб/год	15,0	17,7	18,3	20,8	22,1	27,1
$\Pi/l_{\text{СКЗ}}$	руб/(год·км)	34,0	30,5	29,0	21,9	25,8	28,9

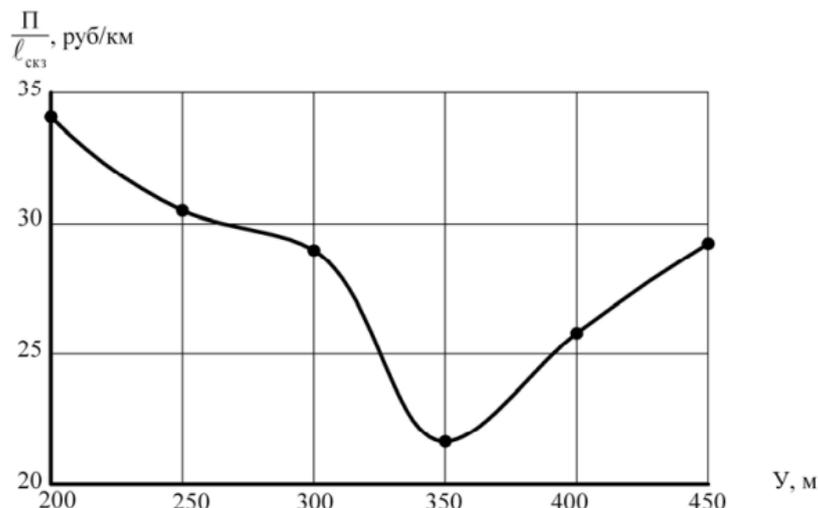


Рисунок 4 – Зависимость удельных приведенных затрат $П/ℓ_{скз}$ от удаления анодного заземления от трубопровода $У$

27. Для варианта, когда удельные приведенные затраты на катодную защиту минимальны, т.е. $У=350$ м, определяем необходимое число СКЗ для защиты всего трубопровода:

$$N_{скз} = \frac{1200 \cdot 10^3}{14957} \cong 80$$

28. Срок службы анодного заземления, установленного в грунт:

$$\tau_a = \frac{10 \cdot 0,95 \cdot 5}{3,80 \cdot 0,2} = 62,5 \text{ лет}$$

Поскольку срок службы анодного заземления превышает 10 лет, то, следовательно, катодная защита трубопровода обеспечена. В противном случае необходимо было бы увеличить число электродов анодного заземления.

Задача № 2. Рассчитать входное сопротивление и постоянную распределения токов потенциалов вдоль системы параллельно уложенных трубопроводов, имеющих одинаковое состояние изоляционного покрытия ($R_n=1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$) и следующие диаметр и толщину стенки.

1-й трубопровод: $D_1 = 1020$ мм; $\delta_1 = 10$ мм;

2-й трубопровод: $D_2 = 720$ мм; $\delta_2 = 9$ мм;

3-й трубопровод: $D_3 = 530$ мм; $\delta_3 = 8$ мм.

Трубопроводы уложены в грунт со средним удельным электросопротивлением $\rho_{г.ср} = 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ на расстоянии $B = 10$ м друг от друга.

Решение.

1. Находим продольное сопротивление единицы длины трубопроводов:

$$R_{T1} = \frac{0,245}{\pi \cdot 10(1020 - 10)} = 7,73 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

Аналогично находим:

$$R_{T2} = 12,2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}; R_{T3} = 18,7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}.$$

2. Эквивалентное продольное сопротивление 1-го и 2-го трубопроводов:

$$R_{T_{\Sigma 1-2}} = \frac{7,73 \cdot 10^{-6} \cdot 12,7 \cdot 10^{-6}}{7,73 \cdot 10^{-6} + 12,7 \cdot 10^{-6}} = 4,73 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}.$$

3. Эквивалентное продольное сопротивление всех трех трубопроводов:

$$R_{T_{\Sigma 1-2-3}} = \frac{4,73 \cdot 10^{-6} \cdot 18,7 \cdot 10^{-6}}{4,73 \cdot 10^{-6} + 18,7 \cdot 10^{-6}} = 3,78 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}.$$

4. Сопротивление единицы длины изоляции для каждого трубопровода:

$$R_{\text{из1}} = \frac{R_n}{\pi \cdot D_n} = \frac{1000}{\pi \cdot 1,02} = 312,2 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Аналогично находим $R_{\text{из2}} = 442,3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $R_{\text{из3}} = 602,0 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

5. Постоянная распределения токов потенциалов для каждого трубопровода:

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{9,63 \cdot 10^{-6}}{313}} = 1,75 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{м}}.$$

Аналогично находим $\alpha_2 = 1,98 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{м}}$; $\alpha_3 = 2,45 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{м}}$.

6. Взаимное сопротивление между 1-м и 2-м трубопроводами:

$$R_{\text{вз}} = \frac{20}{\pi} \ln \frac{1}{10 \sqrt{1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 1,98 \cdot 10^{-4}}} = 51,4 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

7. Эквивалентное сопротивление изоляционного покрытия на единице длины 1-го и 2-го трубопроводов:

$$R_{\text{из1-2}} = \frac{312,2 \cdot 442,3 - 51,4^2}{312,2 + 442,3 - 2 \cdot 51,4} = 207,8 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

8. Постоянная распределения токов и потенциалов трубопровода, эквивалентного 1-му и 2-му трубопровода:

$$\alpha_{\Sigma 1-2} = \sqrt{\frac{4,73 \cdot 10^{-6}}{207,8}} = 1,51 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{м}}.$$

9. Взаимное сопротивление между эквивалентным трубопроводом (заменяющим 1-й и 2-й) и третьим трубопроводом:

$$R_{\text{вз1-2-3}} = \frac{20}{\pi} \ln \frac{1}{10 \sqrt{1,51 \cdot 10^{-4} \cdot 2,45 \cdot 10^{-4}}} = 39,8 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

10. Эквивалентное сопротивление изоляционных покрытий на единице длины всех трех трубопроводов:

$$R_{\text{из1-2-3}} = \frac{207,8 \cdot 602 - 39,8^2}{207,8 + 602 - 2 \cdot 39,8} = 169,2 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

11. Постоянная распределения токов и потенциалов (общая для системы трубопроводов):

$$\alpha_{э_{1-2-3}} = \sqrt{\frac{3,78 \cdot 10^{-6}}{169,7}} = 1,50 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{м}}.$$

12. Входное сопротивление системы нефтепроводов:

$$Z_{э_{1-2-3}} = 0,5 \sqrt{3,78 \cdot 10^{-6} \cdot 169,2} = 1,27 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}.$$

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Определить мощность и число СКЗ магистрального трубопровода диаметром D мм, с толщиной стенки δ мм, протяженностью км. Трубопровод проложен на местности с удельным электросопротивлением $\rho_{гр}$ Ом·м. Анодное заземление проектируется выполнить из вертикальных упакованных электродов марки:....., дренажную линию - воздушной с подвеской из алюминиевого провода или уложенного в траншею (см. вариант – табл. 8).

Начальное переходное сопротивление «трубопровод-грунт» R_{nn} , Ом·м².
Средняя стоимость электроэнергии $C_{э}$, руб/кВт·час.

Таблица 8 - Исходные данные к задаче

Вар.	D , мм	δ , мм	$Z_{общ}$, км	$\rho_{гр}$, Ом·м	Марка электрод а	Тип дренажно й линии	R_{nn} , Ом·м ²	$C_{э}$, руб/кВт· час
1	720	10	800	10	АК-1	воздушн.	10^4	0,007
2	820	10	900	20	АК-3	...	9000	0,01
3	1020	10	1000	30	АК-1	...	8000	0,02
4	1220	11	1200	40	АК-3	...	7000	0,03
5	720	9	1300	10	ЗЖК- 12КА	...	6000	0,04
6	820	11	1400	5	5000	0,01
7	1020	11	1500	10	АКЦ	АСБ-1 в траншее	10^4	0,02
8	1220	12	1600	15	АК-1	...	9000	0,03
9	720	8	1700	20	АК-3	...	8000	0,04
10	820	9	1800	25	АК-1	...	7000	0,007
11	1020	9	2000	30	АК-3	...	6000	0,01
12	530	6	1000	5	ЗЖК- 12КА	...	5000	0,02
13	820	9	900	6	...	воздушн.	10^4	0,03
14	1220	13	800	7	АКЦ	...	9000	0,04

15	530	5	1220	8	АК-1	...	8000	0,007
16	720	7	1100	9	АК-3	...	7000	0,01
17	820	7	1300	10	ЗЖК-12КА	...	6000	0,02
18	530	7	1400	15	АК-1	АСБ-1 в траншее	5000	0,03
19	1020	12	1500	20	АК-3	...	10^4	0,04
20	1020	15	1600	25	ЗЖК-12КА	...	4000	0,02

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. Протекторная защита магистральных трубопроводов

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков расчета параметров протекторной защиты трубопроводов от коррозии.

Задачи работы заключаются в изучении процесса и схемы протекторной защиты подземного трубопровода, технической характеристики комплексных протекторов, в расчете длины защищаемого участка трубопровода, срока службы и силы тока в цепи протекторной установки.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

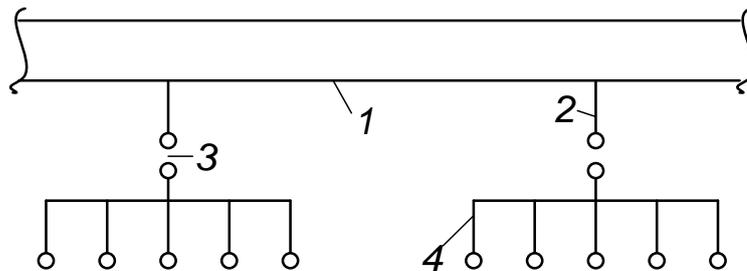
- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Протекторная защита (рисунок) основана на использовании принципа гальванических пар. Если к стальному подземному сооружению подключить протектор из более электроотрицательного металла, чем сталь, то будет

образована гальваническая пара, в которой защищаемое сооружение будет катодом, а протектор - анодом. Протекторную защиту называют катодной защитой гальваническими анодами.

Вследствие разности потенциалов протектор - металлическое сооружение в цепи протекторной установки возникает электрический ток, который, притекая на защищаемый объект, создает на нем потенциал более отрицательный, чем до подключения протекторной установки.



**Рисунок 1 – Схема протекторной защиты подземного трубопровода:
1 - трубопровод, 2 - соединительные провода,
3 - контрольно-измерительная колонка, 4 - протекторная установка**

При защитной разности потенциалов металлическое сооружение - земля - 0,85 В по МЭС (медно-сульфатный электрод сравнения) на сооружении практически прекращаются коррозионные процессы. Протектор же под действием стекающих с него токов растворяется.

Применение протекторов в проектах электрохимической защиты магистральных трубопроводов допускается только в групповых установках и грунтах с удельным электрическим сопротивлением не более 50 Ом·м.

Расчет протекторной защиты трубопроводов сводится к определению длины защищаемого участка трубопровода L и срока службы протекторов T .

Длину зоны действия защиты на изолированном трубопроводе можно определить с достаточной для инженерных расчетов точностью по следующей формуле:

$$L = \frac{R_{из}}{R} \left(\frac{\phi_n}{\phi_{мин}^{защ}} - 1 \right), \quad (1)$$

где $R_{из}$ – сопротивления изоляции трубопровода на единице длины, Ом·м; R_n – сопротивление растеканию тока с протектора, Ом; ϕ_n – потенциал протектора до подключения его к трубопроводу, В; для магниевых протекторов $\phi_n = -1,6$ В по МЭС; $\phi_{мин}^{защ}$ - минимальный защитный потенциал.

Сопротивление растеканию тока групповой протекторной установки при $h \gg l_a/4$ и $l_a \gg d_a/2$ определяется по формуле

$$R_n = \frac{0.366 \cdot \rho_r}{l_a \cdot N \cdot \rho_e} \left[\ln \frac{2l_a}{d_a} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h + l_a}{4h - l_a} + \frac{\rho}{\rho} \ln \frac{d_a}{d} \right], \quad (2)$$

где ρ_{ep} – удельное сопротивление грунта, окружающего протектор Ом·м; ρ_a – удельное сопротивление активатора, Ом·м; $0,2 \text{ Ом}\cdot\text{м} \geq \rho_a$; d_a, l_a – соответственно диаметр и высота столба активатора, окружающего протектор; d_n – диаметр протектора; h – глубина установки протектора от поверхности земли до середины протектора; N – число протекторов в грунте; η_e – коэффициент, учитывающий взаимное экранирование вертикальных протекторов в группе.

При защите трубопровода одиночными протекторами $N = 1$ и $\eta_e = 1$.

Срок службы протекторной установки вычисляется по формуле

$$T = \frac{G \cdot \eta_u \cdot \eta_n}{q \cdot J_n}, \quad (3)$$

где G – вес протекторной установки, кг.; q – теоретический электрохимический эквивалент материала протектора, кг/а год; J_n – сила тока в цепи протекторной установки, а; η_u – коэффициент использования протектора ($\eta_u = 0,95$); η_n – КПД протектора (определяется в зависимости от анодной плотности тока).

Анодная плотность тока определяется по формуле

$$\gamma_a = \frac{J_n}{N(\pi \cdot d_n \cdot l_n + 2 \cdot 0,785 \cdot d_n^2)}, \text{ мА/дм}^2 \quad (4)$$

Здесь размеры тока протектора d_n и l_n подставляются в дм.

Сила тока в цепи протекторной установки при подключении ее к трубопроводу определяется зависимостью:

$$J_n = \frac{\phi_{\min}^{\text{защ}} - \phi_{\text{ест}}}{R_n} \left(1 - \frac{\phi_{\min}^{\text{защ}}}{\phi_n} \right). \quad (5)$$

Техническая характеристика протекторов, применяемых для защиты сооружения от коррозии, приведена в табл. 7.

Таблица 1 - Техническая характеристика комплексных протекторов ПМ-У

Тип протектора	Размеры, мм				Масса, кг	
	электрода		общие		электрода	общий
	высота	условный диаметр	высота	диаметр		
ПМ-5У	500	95	580	165	5	16
ПМ-10У	600	100	700	200	10	30
ПМ-20У	610	150	710	270	20	60

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить протяженность защитной зоны и срок службы одной протекторной установки, состоящей из пяти вертикальных установленных протекторов марки ПМ5У. Глубина установки протекторов

$h=2$ м, расстояние между ними в группе $a=5$ м. Другие данные, необходимые для расчета, следующие: $r_{Г.ср}=20$ Ом·м; $R_{из.ср}=500$ Ом·м; $\rho_a = 0,2$ Ом·м.

Решение.

1. Для протекторов марки ПМ5У по табл. 1 находим $l_n = 0,5$ м; $d_n = 0,095$ м; $l_a = 0,58$ м; $d_a = 0,165$ м; $G_n = 5$ кг.

2. Вычисляем сопротивление растеканию одиночного протектора:

$$R_{n1} = \frac{20}{2 \cdot \pi \cdot 0,58} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 0,58}{0,165} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 - 0,58}{4 \cdot 2 + 0,58} + \frac{0,2}{20} \ln \frac{0,165}{0,095} \right) = 10,34 \text{ Ом}.$$

3. По графику (рис. 2) для заданного количества протекторов и отношения $a/l_n=10$ находим величину коэффициента экранирования $\eta_{эп} = 0,82$.

4. Находим сопротивление растеканию тока с протекторной установки:

$$R_n = \frac{10,34}{5 \cdot 0,82} = 2,52 \text{ Ом}.$$

5. Определяем протяженность защитной зоны протекторной установки:

$$L_n = \frac{500}{2,52} \cdot \left(\frac{1,6}{0,85} - 1 \right) = 175 \text{ м}.$$

6. Сила тока протекторной установки:

$$I_n = \frac{0,3}{2,52} \cdot \left(1 - \frac{0,85}{1,6} \right) = 0,056 \text{ А}.$$

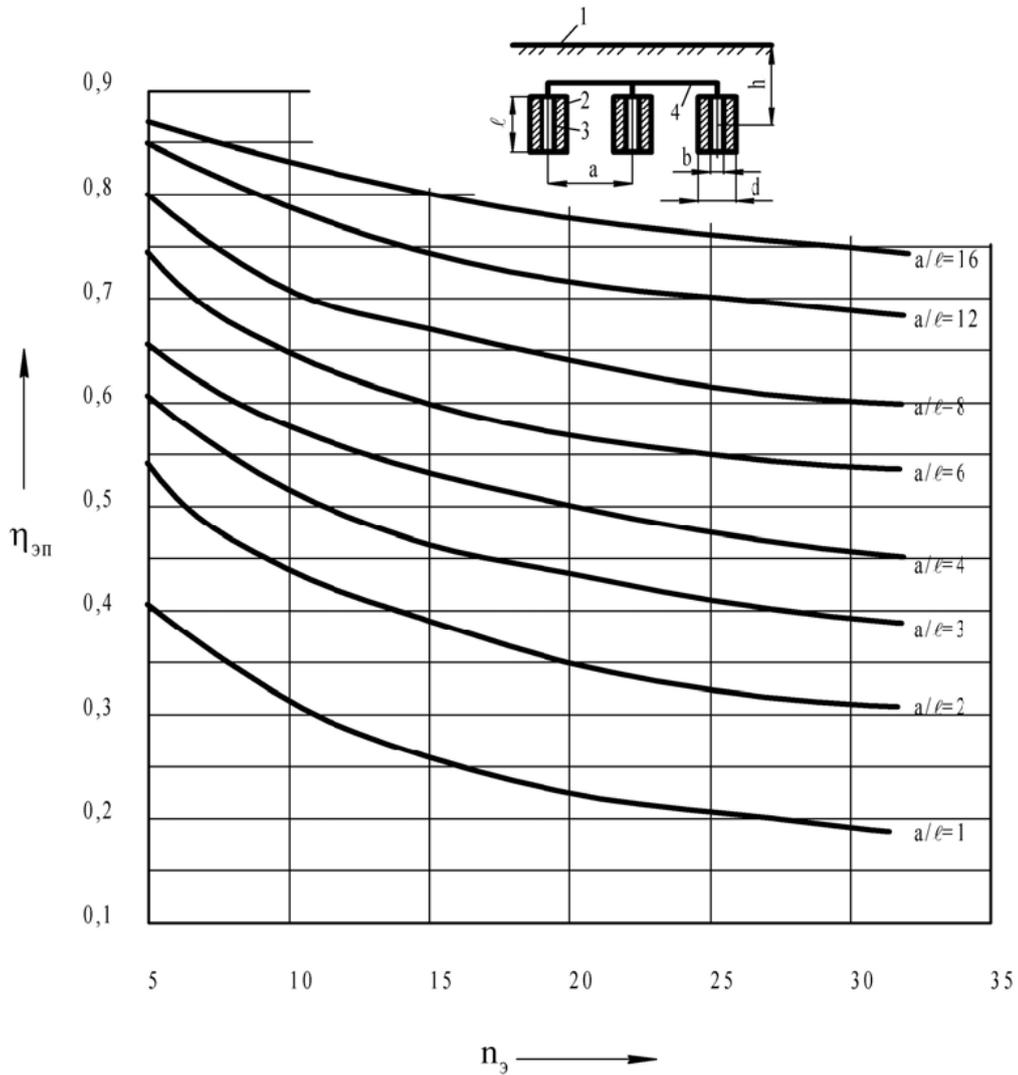


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента экранирования вертикальных протекторов типа ПМ-10У от их числа при различных отношениях a/l :

*1 – поверхность земли; 2 – активатор; 3 – протектор;
4 – соединительный провод*

7. Анодная плотность тока:

$$j_a = \frac{10 \cdot 0,056}{5 \cdot 0,095 \cdot (\pi \cdot 0,5 + 1,57 \cdot 0,095)} = 0,686 \frac{\text{мА}}{\text{дм}^2}.$$

8. По графику (рис. 3) находим КПД протекторной установки $\eta_n = 0,32$

9. Срок службы протекторной установки:

$$\tau_{\text{ну}} = \frac{5 \cdot 5 \cdot 0,95 \cdot 0,32}{0,056 \cdot 3,95} = 34,4 \text{ года}.$$

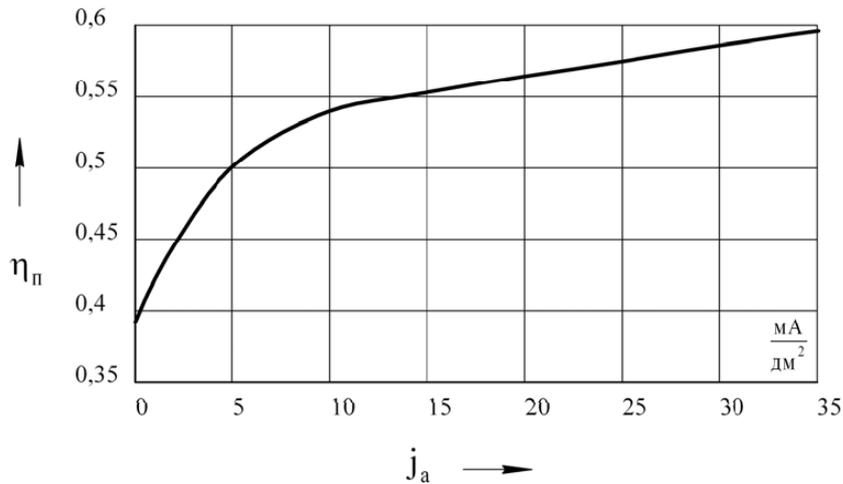


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента полезного действия протектора от анодной плотности

Задача № 2. Определить, какое количество магниевых протекторов марки ПМ10У потребуется для обеспечения защиты участка трубопровода длиной 1000м, если известно, что $R_{из,ср} = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\rho_{Гср} = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Решение.

1. Сопротивление растеканию с одиночного протектора:

$$R_{n1} = 0,18 + 0,47 \cdot 10 = 4,88 \text{ Ом}.$$

2. Токоотдача одного магниевго протектора:

$$I_{n1} = \frac{0,6}{4,88} = 0,123 \text{ А}.$$

3. Необходимая величина защитного тока:

$$I = 125 \cdot 10000 \cdot \frac{0,3}{1000} = 3,75 \text{ А}.$$

4. Требуемое количество протекторов:

$$N_n = 1,75 \cdot \frac{3,75}{0,123} = 53,4 \text{ шт}.$$

5. Округляем полученное число протекторов до ближайшего большего целого числа, получаем $N_n = 54$ шт.

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Требуется определить протяженность защитной зоны протекторной установки и срок службы протекторов, подключенных к магистральному трубопроводу диаметром D мм, уложенному в грунт с удельным сопротивлением $\rho_{зр}$ Ом·м (табл. 2). Трубопровод имеет изоляционное покрытие с переходным сопротивлением $R_{пн}$ Ом·м².

Протекторы установлены на глубине $h = 2$ м, на расстоянии $a = 5$ м друг от друга в группе.

Таблица 2 - Исходные данные к задаче

Вар.	D , мм	$\rho_{гр}$, Ом·м	$R_{ин}$, Ом·м ²	N , штук число протек- торов	B , м, расстояние от протектора до трубы	Марка протектора
1	530	50	$5 \cdot 10^3$	3	10	ПМ-5У
2	630	40	$6 \cdot 10^3$	4	9	ПМ-5У
3	720	30	$7 \cdot 10^3$	3	8	ПМ-10У
4	820	20	$8 \cdot 10^3$	4	7	ПМ-10У
5	920	10	$9 \cdot 10^3$	5	6	ПМ-20У
6	1020	15	$10 \cdot 10^3$	4	7	ПМ-20У
7	1220	20	$9 \cdot 10^3$	5	8	ПМ-10У
8	1420	30	$8 \cdot 10^3$	6	9	ПМ-20У
9	530	40	$7 \cdot 10^3$	5	10	ПМ-5У
10	630	50	$5 \cdot 10^3$	3	6	ПМ-10У

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. Протекторная защита днища стальных резервуаров от почвенной коррозии

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков расчета параметров протекторной защиты стальных резервуаров от коррозии.

Задачи работы заключаются в изучении процесса и схемы протекторной защиты стальных резервуаров одиночными и групповыми протекторами, технико-экономических показателей резервуаров со стационарной крышей, коэффициентов экранирования вертикальных электродов, а также в расчете параметров протекторной защиты как одиночными протекторами, так и с помощью групповых установок.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Расчет защиты одиночными протекторами

Стальные резервуары могут быть защищены как одиночными, так и групповыми протекторами (рис. 1).

Одиночные протекторы применяются для резервуаров, площадь днищ которых не превышает 200 м² (резервуары типа РВС-2000 включительно). При большей площади днища применяют групповые протекторные установки. При расчете протекторной защиты днищ РВС основной задачей является определение числа протекторов и срока их службы. В основу расчета положено достижение плотности тока в цепи «протектор-резервуар» защитной величины (табл. 1).

При использовании табл. 1 нужно руководствоваться тем, что большему значению переходного сопротивления соответствует меньшее значение защитной плотности тока.

Переходное сопротивление изоляции определяется по формуле:

$$R_0 = R_{p-2} \cdot F, \quad (1)$$

где R_{p-2} – переходное сопротивление «резервуар-грунт», Ом; F – площадь днища резервуара, м².

$$R_{p-2} = \frac{3 \cdot \rho_r}{D(D+b)}, \quad (2)$$

где D – диаметр резервуара, м; b – расстояние между протектором и резервуаром, м; ($b = 6 \div 10$ м).

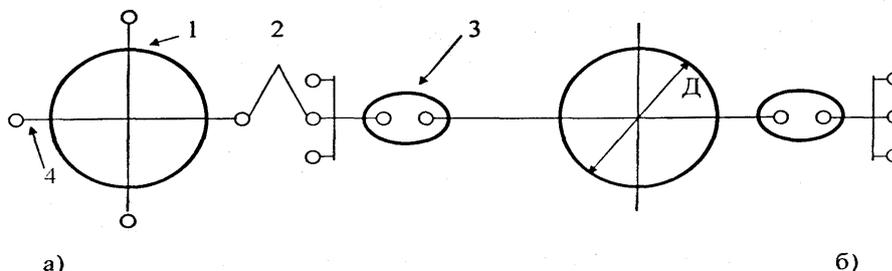


Рисунок 1 – Схемы протекторной защиты:
а - одиночными протекторами; б - групповыми сосредоточенными протекторами; 1 – резервуар; 2 – протекторы; 3 - контрольно-измерительные колонки; 4 - дренажный провод

Таблица 1 - Защитная плотность тока для изолированного стального сооружения (в mA/m^2)

Переходное сопротивление изоляции, Ом·м ²	Удельное электросопротивление грунта, Ом·м		
	10	20	50
более 10000	менее 1	менее 0,4	менее 0,2
1000 - 10000	1 - 2	0,4 - 1	0,2 - 0,5
100 - 1000	2 - 5	1 - 2	0,5 - 1
10 - 100	5 - 15	2 - 5	1 - 2
менее 10	более 15	более 5	более 2

Сила тока, требующаяся для защиты днища резервуара:

$$J_p = j \cdot F. \quad (3)$$

Число протекторов N , которое необходимо для защиты днища, равно отношению силы тока J_{np} , требуемой для защиты всего днища, к силе тока одного протектора:

$$N = J_p / J_n. \quad (4)$$

Сила тока протектора определяется из выражения:

$$J_n = \frac{\phi_n - \phi_{ест}}{R_{p-2} + R_n + R_{np}}, \quad (5)$$

где R_n – сопротивление растеканию тока с протектора, Ом; R_{np} – сопротивление соединительного провода, Ом; $\phi_n, \phi_{ест}$ – абсолютные значения потенциалов, В.

Возможность защиты резервуаров магниевыми протекторами определяется неравенством

$$J_p \cdot R_{p-2} < \phi_n - \phi_{ect} = 1B. \quad (6)$$

При выполнении этого неравенства протекторная защита резервуара может быть осуществлена.

3.2. Расчет протекторной защиты с помощью групповых установок

При расчете групповой протекторной установки, кроме параметров, определяемых для одиночного протектора, вычисляют также переходное сопротивление групповой протекторной установки, силу тока группы, расстояние между групповой протекторной установкой и резервуаром.

Число протекторов в группе определяется методом последовательного приближения. Сначала рассчитывается приближенное число, которое затем уточняется:

$$N_n = \frac{J_r}{0,6 \cdot J_n}, \quad (7)$$

где J_r – сила тока, которую необходимо получить от групповой протекторной установки, А; J_n – сила тока одиночного протектора, А.

При защите днища резервуара одной протекторной установкой $J_r = J_n$. В общем случае

$$J_r = J_p/n,$$

где J_p – требуемая сила тока защитного тока, А; n – число групповых протекторных установок.

Сопротивление растеканию силы тока групповой протекторной установки R_{n2} равно:

$$R_{n2} = \frac{R_n}{N_n \cdot \eta_g}, \quad (8)$$

где η_g – коэффициент экранирования.

Сила тока групповой протекторной установки определяется зависимостью:

$$J_r = \frac{\phi_n - \phi_{ect}}{R_{n2} + R_{p2} + R_{np}}. \quad (9)$$

Число протекторов в группе N_n :

$$N_k = \frac{J}{J_r} \cdot N_n. \quad (10)$$

Если уточненное число протекторов в группе N_k отличается от первоначального определенного N_n более чем на 10 %, то расчет J_r и R_{n2} корректируется в соответствии с величиной.

При расчете защиты изолированных битумным покрытием днищ резервуаров групповыми установками важно определить расстояние между протекторами и днищем у для того, чтобы на участках днища, близко расположенных к протекторам, не возникло высоких отрицательных

потенциалов, которые могут вызвать отслаивание изоляции вследствие разряда ионов водорода:

$$y \geq \frac{J_r \cdot \rho_r}{2\pi(\phi_{max}^{нал} - J_r \cdot R_{p2})} \quad (11)$$

Таблица 2 - Техничко-экономические показатели резервуаров со стационарной крышей

Номинальный объем, м ³	Полезная вместимость, м ³	Максимальная высота разлива, м	Высота стенки резервуара, м	Диаметр, м	Общая масса металлоконструкций, т	Расход стали на 1 м ³ объема, кг	Сметная стоимость, тыс. руб.	Типовой проект
100	99,7	5,68	6,96	4,73	5,44	51,8	5,51	704 – 1 - 49
200	206	5,68	5,96	6,63	7,94	38,5	6,69	704 – 1 - 50
300	336	7,0	7,45	7,58	10,58	31,5	7,60	704 – 1 - 51
400	426	7,0	7,45	8,53	12,36	29,0	8,25	704 – 1 - 52
700	764	10,0	10,43	8,94	17,75	23,2	10,05	704 – 1 - 53
1000	960	11,29	11,92	10,48	26,50	23,4	12,68	704 – 1 - 66
2000	2042	11,35	11,92	15,18	48,56	2,5	19,07	704 – 1 - 55
3000	3200	11,35	11,92	18,98	67,10	19,9	24,95	704 – 1 - 56
5000	4975	14,37	14,90	20,92	104,55	19,4	36,78	704 – 1 - 67
10000	11000	17,25	17,90	28,50	211,01	17,6	73,38	704 – 1 - 68
15000	15830	17,23	17,90	34,20	297,04	17,2	104,98	704 – 1 - 69
20000	21540	17,23	17,90	39,90	398,70	17,1	140,08	704 – 1 - 70
30000	28100	17,23	17,90	45,60	521,30	16,6	184,88	704 – 1 - 71

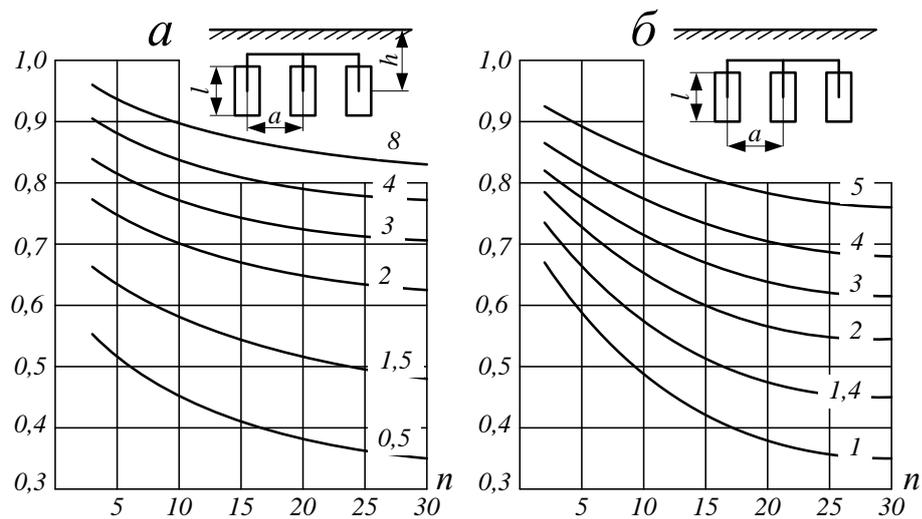


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента экранирования вертикальных электродов от их числа при различных отношениях:

а – без засыпки; б – в коксовой засыпке

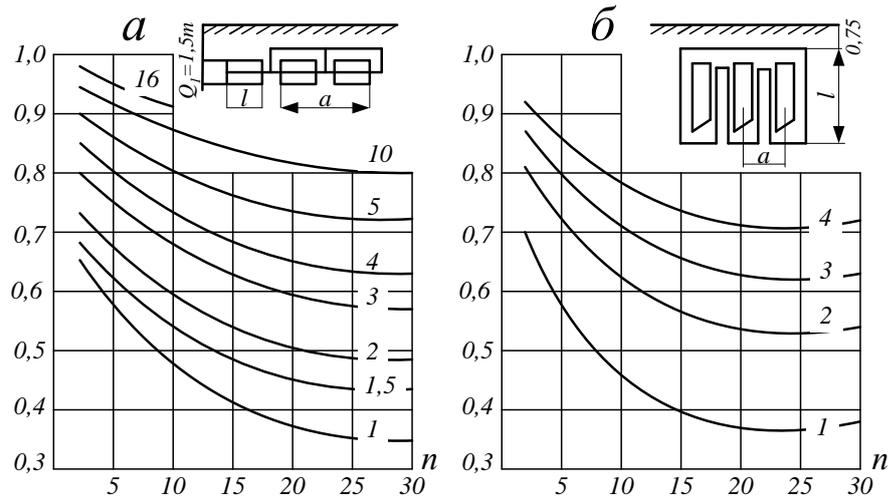


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента экранирования стальных электродов от их числа при различных отношениях:
а – горизонтальные электроды без засыпки;
б – вертикальные электроды из уголка в коксовой засыпке

4. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Требуется определить срок службы и число протекторов типа ПМ для защиты днища резервуара РВС, установленного на площадке с увлажненным песком $\rho_{гр}$ Ом·м. Расстояние от резервуара до протектора в м (табл. 3).

Таблица 3 – Исходные данные к задаче

Вар.	Тип протектора	$\rho_{гр}$, Ом·м	Тип резервуара, м ³	Расстояние от резервуара до протектора, м
1	ПМ-5У	30	РВС-100	5
2	ПМ-5У	30	РВС-200	6
3	ПМ-5У	25	РВС-300	7
4	ПМ-10У	20	РВС-400	8
5	ПМ-10У	15	РВС-700	9
6	ПМ-10У	10	РВС-1000	10
7	ПМ-20У	5	РВС-2000	9
8	ПМ-20У	5	РВС-1000	8
9	ПМ-5У	10	РВС-700	7
10	ПМ-10У	15	РВС-2000	6

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. Расчет основных параметров электродренажной защиты

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков расчета параметров электродренажной защиты магистральных трубопроводов от коррозии.

Задачи работы заключаются в изучении процесса электродренажной защиты трубопроводов и схем электродренажных установок для борьбы с блуждающими токами, в ознакомлении с характеристиками электродренажных устройств, а также в расчете основных параметров электродренажной защиты магистральных трубопроводов.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Значительную опасность для магистральных трубопроводов представляют блуждающие токи электрифицированных железных дорог, которые в случае отсутствия защиты трубопровода вызывают интенсивное коррозионное разрушение в анодных зонах. Наиболее эффективным способом защиты от блуждающих токов является электродренажная защита, основной принцип которой в устранении анодных зон путем отвода (дренажа) блуждающих токов от них в рельсовую часть цепи электротяги, имеющей отрицательный или знакопеременный потенциал.

Существует дренажная защита нескольких типов (рис. 1)

прямая, допускающая прохождение блуждающих токов в двух направлениях;

поляризованная, обеспечивающая прохождение блуждающих только в одном направлении: из трубопровода в рельс при знакопеременной разности потенциалов труба-рельс; рекомендуется при значениях потенциала «рельс-земля» в пределах от (-5) В и выше по МЭС в точке подключения;

усиленная автоматическая, включающая поляризованную электродренажную защиту и станцию катодной защиты, рекомендуется при значениях потенциала «рельс-земля» в пределах от (-5) В по МЭС и менее в точке подключения.

Характеристики электродренажных установок приведены в табл. 1, 2.

При расчете электродренажной защиты решаются две основные задачи: выбирается место размещения дренажной установки и определяется сечение дренажного кабеля.

Место установки дренажной установки определяется коррозионными изысканиями на местности.

Площадь сечения дренажного кабеля определяется по формуле:

$$S_k = \frac{I_D}{\Delta U_D} \rho_k \cdot L_k; \quad (1)$$

где S_k – площадь сечения дренажного кабеля, мм²; I_D – максимальная сила тока в дренажной цепи, А; ΔU_D – допустимое падение напряжения в дренажной цепи, В; L_k – длина дренажного кабеля, м; ρ_k – удельное сопротивление материала дренажного кабеля Ом·мм²/м.

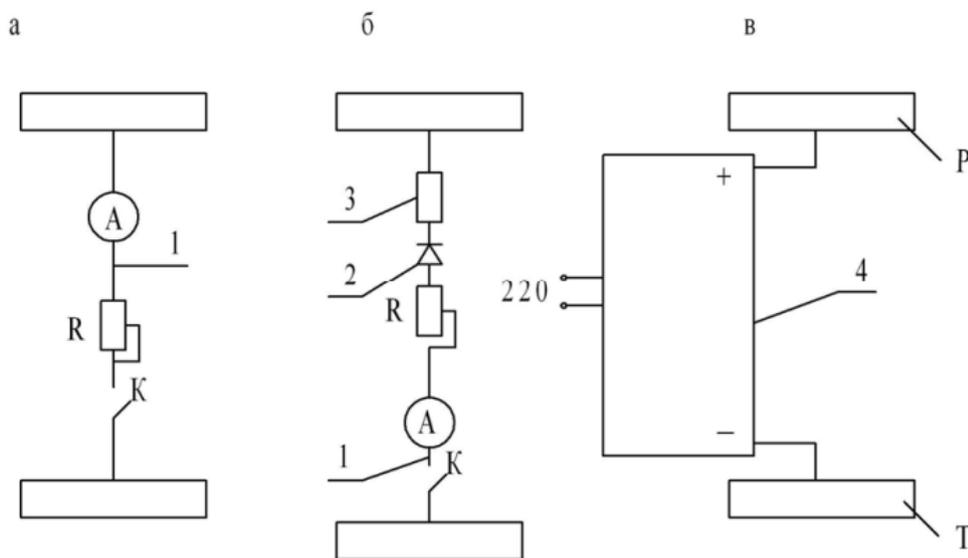


Рисунок 1 – Схемы электродренажных установок, применяемые для борьбы с блуждающими токами:

а – прямой дренаж; б – поляризованный дренаж; в – усиленный дренаж; R – переменное сопротивление; K - выключатель; P - рельс; 1 – дренажные кабели; 2 – полупроводниковый вентиль; 3 – плавкий предохранитель; 4 – усиленная дренажная установка

Максимальную силу тока в дренажной цепи определяют по формуле:

$$I_D = 0,2 \cdot I_{ТП} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5; \quad (2)$$

где $I_{ТП}$ – ток нагрузки тяговой подстанции; K_1 – коэффициент, учитывающий расстояние L_1 до электрофицированной железной дороги

$$K_1 = 1,065 - 0,628 \cdot L_1 + 0,108 \cdot L_1^2; \quad (3)$$

K_2 – коэффициент, учитывающий расстояние L_2 до тяговой подстанции

$$K_2 = 1,084 + 0,85 \cdot L_2 + 0,249 \cdot L_2^2 - 0,0255 \cdot L_2^3; \quad (4)$$

K_3 – коэффициент, учитывающий состояние изоляционного покрытия (табл. 3); K_4 – коэффициент, учитывающий возраст подземного сооружения (табл. 4); K_5 – коэффициент, учитывающий число параллельно уложенных трубопроводов (табл. 5).

Таблица 1 – Техническая характеристика устройств поляризованной электродренажной защиты

Тип электродренажного устройства	Номинальный ток, А	Допустимое обратное напряжение, В	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ПД-3А	500	100	782×380×313	30
ПГД-60	60	150	350×365×255	25
ПГД-200	200	50	550×365×255	25
ПД-50 У1	50		750×458×1100	141
ПД-125 У1	125			180
ПД-200 У1	200		850×508×1500	240
ПД-300 У1	300			270
ПД-600 У1	500		1000×600×1800	320

Таблица 2 – Техническая характеристика усиленных электродренажей

Тип устройства	Номинальная выходная мощность, кВт	Номинальное выходное напряжение, В	Номинальный выходной ток, А	Ток непрерывной работы, А	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
УД	1,8	6/12	125/250			
УД-2400	2,4	3-48	200		1070×570×380	128
САУД-300	1,8	6	300	120	520×900×990	130
САУД-500	3,0	6	500	200	520×900×990	180

Максимальную силу тока в дренажной цепи определяют по формуле:

$$I_D = 0,2 \cdot I_{\text{ТП}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5; \quad (2)$$

где $I_{\text{ТП}}$ – ток нагрузки тяговой подстанции; K_1 – коэффициент, учитывающий расстояние L_1 до электрофицированной железной дороги

$$K_1 = 1,065 - 0,628 \cdot L_1 + 0,108 \cdot L_1^2; \quad (3)$$

K_2 – коэффициент, учитывающий расстояние L_2 до тяговой подстанции

$$K_2 = 1,084 + 0,85 \cdot L_2 + 0,249 \cdot L_2^2 - 0,0255 \cdot L_2^3; \quad (4)$$

K_3 – коэффициент, учитывающий состояние изоляционного покрытия (табл. 3); K_4 – коэффициент, учитывающий возраст подземного сооружения (табл. 4); K_5 – коэффициент, учитывающий число параллельно уложенных трубопроводов (табл. 5).

Допустимое падение напряжения в дренажной цепи при подключении дренажа к минусовой шине тяговой подстанции вычисляется по формуле

$$\Delta U_{\text{д}} = 9,7 + 2,47 \cdot L_3 - 0,353 \cdot L_3^2, \quad (5)$$

где L_3 – расстояние между отсасывающим пунктом и трубопроводом, км.

Если же дренаж подключается через среднюю точку путевых дросселей, то

$$\Delta U_{\text{д}} = -0,8 + 9,8 \cdot L_4 - 4,8 \cdot L_4^2 + 0,8 \cdot L_4^3, \quad (6)$$

где L_4 – расстояние между трубопроводами и железной дорогой, км.

Проверка правильности выбора сечения дренажного кабеля производится по допустимой плотности тока $j_{\text{доп}}$, которая для медного кабеля равна 1 А/мм², а для алюминиевого равна 0,8 А/мм². При этом должно выполняться неравенство:

$$j = \frac{I_{\text{д}}}{S_{\text{к}}} < j_{\text{доп}}; \quad (7)$$

Таблица 3 – Значение коэффициента K_3

Состояние изоляционного покрытия	K_3
Нормальное	1
Усиленное	0,9

Таблица 4 – Значение коэффициента K_4

Возраст трубопровода	K_4
Более пяти лет	1
Через три года	0,9
Через шесть месяцев	0,75

Таблица 5 – Значение коэффициента K_5

Число параллельных трубопроводов	K_5
1	0,8
2	0,9
3	0,95
4 и более	1

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВОЙ ЗАДАЧИ

Задача № 1. Подобрать кабель для электродренажной установки нефтепровода диаметром 820 мм, уложенного в грунт на расстояние 500 м от железнодорожного полотна. Срок службы дренажной установки 8 лет, максимальные токи тяговой подстанции 600 А. Расстояние до нее – 2 км.

Решение.

1. Для сооружения электродренажной линии выбираем алюминиевый кабель с удельным электросопротивлением:

$$\rho_{\text{пр}} = 0,029 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}.$$

2. При подключении дренажа к минусовой шине тяговой подстанции допустимое падение напряжения:

$$\Delta U_{\text{д}} = 9,7 + 2,47 \cdot 0,5 - 0,353 \cdot 0,5^2 = 10,9 \text{ В}.$$

3. Вычисляем величины коэффициентов K_1 и K_2 :

$$K_1 = 1,065 - 0,628 \cdot 0,5 + 0,108 = 0,778.$$

$$K_2 = 1,085 - 0,85 \cdot 2 + 0,249 \cdot 2^2 - 0,0225 \cdot 2^3 = 0,2.$$

4. Согласно условию задачи из табл. 3-5 выбираем значения коэффициентов: $K_3=0,9$; $K_4=1$; $K_5=1$.

5. Определяем максимальную силу тока в дренажной цепи:

$$I_{\text{д}} = 0,2 \cdot 600 \cdot 0,778 \cdot 0,2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 16,8 \text{ А}.$$

6. Определяем необходимое сечение дренажного провода:

$$S_{\text{к}} = \frac{16,8}{10,9} \cdot 0,029 \cdot 500 = 22,2 \text{ мм}^2.$$

7. В табл. 6 (см. практ. работу № 1) выбираем кабель марки А-25, имеющий фактическое сечение $24,25 \text{ мм}^2$.

8. Проверяем правильность подбора кабеля:

$$j = \frac{16,8}{24,75} = 0,41 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} < 0,8 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Так как найденная величина плотности тока меньше допустимой, то выбор кабеля произведен верно.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Быков Л.И., Мустафин Ф.М., Рафиков С.К., Нечваль А.М., Лаврентьев А.Е. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов: Учеб. пособие. Санкт-Петербург: Недра, 2005. 824 с., ил. ISBN 5-94920-038-1.
2. Бахмат Г.В., Васильев Г.Г., Гольянов А.И. и др. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах / Под общ. ред. Земенкова Ю.Д. – М.: Недра, 2004. 544 с.
3. Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов (ВНТП-2-86). Миннефтепром. - М.: 1987.
4. Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных, месторождений (ВНТП 3-85). Миннефтепром. - М.: 1985.
5. ОНТП 51-1-85. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные газопроводы, Часть I. Газопроводы - М.: Мингазпром, 1985.
6. Сарданашвили А.Г., Львова А.И. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа. – 2-е изд., пер. и доп. – М.: Химия, 1980. 256 с.
7. СНиП 2-05.06-85. Магистральные трубопроводы. Госкомитет СССР по делам строительства. - М.:1985.
8. СНиП 2.01.01-82. Климатология. Госкомитет СССР по делам строительства. - М.: 1982.