ӘОЖ 73.29.27
ҒТАХР 81.33.31
DOI: 10.54859/kjogi108843
Қабылданды: 26.03.2025.
Мақұлданды: 27.11.2025.
Жарияланды: 31.12.2025.

Түпнұсқа зерттеу

Мұнай құбырларының қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз ету мақсатында катодтық (электрохимиялық) қорғау станцияларын есептеу

Ж.С. Сарқұлова[1,2], Г.А. Исенгалиева[2], Ж.Ж. Шилмағамбетова[2], Р.Ж. Оразбекова[2]
[1]Пенсильвания мемлекеттік университеті, Пенсильвания штаты, АҚШ
[2]Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ
Негіздеу. Коррозия – мұнай құбырларының сенімділігі мен ұзақ қызмет ету мерзімін төмендететін басты себептердің бірі. Қолданыстағы антикоррозиялық әдістердің ішінде катодтық (электрохимиялық) қорғау мұнай құбырларының қызмет ету мерзімін ұлғайтудың және апат қаупін азайтудың ең тиімді тәсілі болып табылады.
Мақсаты. Зерттеудің мақсаты – мұнай құбырларын электрохимиялық қорғауды қамтамасыз ету үшін катодтық қорғау станцияларының параметрлерін есептеу және талдау, сондай-ақ олардың тиімділігі мен сенімділігін арттыру.
Материалдар мен әдістер. Зерттеу барысында РД 153-39.4-039-99 нормативтік құжаты және электрохимиялық қорғау жүйелерін жобалау бойынша әдістемелік ұсынымдар пайдаланылды. Есептеулер Л.И. Быков және әріптестерінің (2006 ж.) типтік формулалары негізінде жүргізілді. Құбырдың ұзындығы, диаметрі және топырақтың меншікті электр кедергісі ескеріліп, «құбыр–топырақ» жүйесіндегі ток пен потенциалдың таралуы анықталды.
Нәтижелері. Катодтық станцияның оңтайлы параметрлері – ток жүктемесі, анодтар саны, жерге қосу кедергісі мен қуат көзі анықталды. Бұл параметрлер қорғаныс потенциалын тұрақтандырып, жүйенің сенімді жұмысын қамтамасыз ететіні дәлелденді.
Қорытынды. Дұрыс есептелген катодтық қорғау жүйесі мұнай құбырларының коррозиялық тозуын төмендетіп, олардың қауіпсіздігі мен ұзақ мерзімділігін арттыруға мүмкіндік береді.
Негізгі сөздер: *мұнай құбырлары, катодтық қорғау, электрохимиялық қорғау, ток мөлшері, қорғау жүйесі.*

Дәйексөз ііру үшін:
Сарқұлова Ж.С.,Исенгалиева Г.А., Шилмағамбетова Ж.Ж., Оразбекова Р.Ж. Мұнай құбырларының қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз ету мақсатында катодтық (электрохимиялық) қорғау станцияларын есептеу // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2025. 7 том, №4. 38–46 б. DOI: 10.54859/kjogi108843.

© Сарқұлова Ж.С., Исенгалиева Г.А., Шилмағамбетова Ж.Ж., Оразбекова Р.Ж., 2025
Лицензиясы CC BY-NC-ND 4.0

UDC 73.29.27
CSCSTI 81.33.31
DOI: 10.54859/kjogi108843
Received: 26.03.2025.
Accepted: 27.11.2025.
Published: 31.12.2025.

Original article

Calculation of Cathodic (Electrochemical) Protection Stations to Ensure Corrosion Protection and Operational Reliability of Oil Pipelines

Zhadyrassyn S. Sarkulova[1,2], Gulya A. Issengaliyeva[2], Zhadra Zh. Shilmagambetova[2], Riza Zh. Orazbekova[2]
[1]The Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA
[2]Zhubanov University, Aktobe, Kazakhstan

ABSTRACT
Background: Corrosion is among the primary factors that diminish the reliability and service life of oil pipelines. Among the existing corrosion-mitigation techniques, cathodic (electrochemical) protection is widely regarded as the most effective method, enabling a substantial extension of pipeline longevity and a significant reduction in operational risks.
Aim: The aim of this study is to calculate and analyze the key parameters of cathodic protection stations to ensure effective electrochemical protection of oil pipelines, enhance the reliability of their operation, and prevent corrosion-related degradation.
Materials and methods: The study relied on the regulatory document RD 153-39.4-039-99 and methodological guidelines for the design of electrochemical protection systems. Calculations were performed using the established formulas proposed by Bykov et al. (2006), incorporating soil resistivity as well as the length and geometric parameters of the pipeline. Additionally, the analysis examined how potentials, currents, and resistances are distributed within the pipeline–soil system.
Results: The study identified the optimal design parameters for cathodic protection stations, including current load, the required number of anodes, grounding resistance, and power supply capacity. The findings demonstrate that properly selecting these parameters helps maintain a stable protection potential and significantly enhances the operational lifetime of the pipeline.
Conclusion: Implementing cathodic protection based on accurately calculated design parameters enhances the operational safety of oil pipelines, mitigates corrosion-related risks, and reduces the overall maintenance costs.
Keywords: *oil pipelines; cathodic protection; electrochemical protection; current magnitude; protection system.*

To cite this article:
Sarkulova ZS, Issengaliyeva GA, Shilmagambetova ZZ, Orazbekova R. Calculation of Cathodic (Electrochemical) Protection Stations to Ensure Corrosion Protection and Operational Reliability of Oil Pipelines. *Kazakhstan journal for oil & gas industry.* 2025;7(4):38–46. DOI: 10.54859/kjogi108843.

© 2025 Sarkulova Zh.S., Issengaliyeva G.A, Shilmagambetova Zh.Zh., Orazbekova R.Zh.
License CC BY-NC-ND 4.0

УДК 73.29.27
МРНТИ 81.33.31

DOI: 10.54859/kjogi108843

Получена: 26.03.2025.
Одобрена: 27.11.2025.
Опубликована: 31.12.2025.

Оригинальное исследование

Расчёт станций катодной (электрохимической) защиты для обеспечения антикоррозионной безопасности и надёжности нефтепроводов

Ж.С. Саркулова[1,2], Г.А. Исенгалиева[2], Ж.Ж. Шильмагамбетова[2], Р.Ж. Оразбекова[2]
[1]Пенсильванский государственный университет, штат Пенсильвания, США
[2]Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Коррозия является одной из основных причин снижения надёжности и долговечности нефтепроводов. Среди известных методов антикоррозионной защиты катодная (электрохимическая) защита признана наиболее эффективной, позволяющей существенно продлить срок службы магистральных трубопроводов и минимизировать эксплуатационные риски.

Цель. Целью настоящей работы является расчёт и анализ параметров катодных станций для обеспечения электрохимической защиты нефтепроводов, повышение надёжности их эксплуатации и предотвращение коррозионных повреждений.

Материалы и методы. В исследовании использованы нормативные документы РД 153-39.4-039-99 и методические рекомендации по проектированию систем электрохимической защиты. Расчёты выполнены по типовым формулам из пособия Л.И. Быкова и др., с учётом удельного сопротивления грунта, протяжённости и геометрии трубопровода. Проведён анализ распределения потенциалов, токов и сопротивлений в системе «труба – грунт».

Результаты. Определены оптимальные параметры катодных станций: ток нагрузки, количество анодов, сопротивление заземления и мощность источника питания. Показано, что корректный выбор этих параметров обеспечивает стабильный потенциал защиты и повышает ресурс трубопровода.

Заключение. Применение катодной защиты с учётом расчётных параметров повышает эксплуатационную безопасность нефтепроводов, снижает коррозионные риски и экономические затраты на техническое обслуживание.

Ключевые слова: *нефтепроводы, катодная защита, электрохимическая защита, величина тока, система защиты.*

Как цитировать:
Саркулова Ж.С., Исенгалиева Г.А., Шильмагамбетова Ж.Ж., Оразбекова Р.Ж. Расчёт станций катодной (электрохимической) защиты для обеспечения антикоррозионной безопасности и надёжности нефтепроводов // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2025. Том 7, №4. С. 38–46. DOI: 10.54859/kjogi108843.

© Саркулова Ж.С., Исенгалиева Г.А., Шильмагамбетова Ж.Ж., Оразбекова Р.Ж., 2025

Лицензия CC BY-NC-ND 4.0

Кіріспе

Магистральдық құбырларды катодтық қорғауды есептеу РД 153-39.4-039-991 құжатына «Магистральдық құбырлар мен өндірістік нысандардың электрохимиялық қорғанысын жобалау жөніндегі нұсқаулық» және қолданыстағы жобалау нормаларына2 сәйкес жүргізілді [1]. Өндірістік нысандарға мұнай айдау станциялары мен оларға тиесілі технологиялық алаңдар жатады. Есептеу әдістемесі Л.И. Быков, және б., еңбегіндегі «Газ-мұнай құбырларын салу және жөндеу кезіндегі типтік есептеулер» құралында ұсынылған тәсілдер негізінде орындалды. Бұл әдістің маңыздылығы РД 153-39.4-039-99 және РД 91.020.00-КТН-149-063 нормативтік құжаттарымен анықталады.

Магистральдық мұнай құбырлары – Қазақстан Республикасының энергетикалық инфрақұрылымының маңызды бөлігі болып табылады. Бұл зерттеуде Батыс Қазақстан аймағы арқылы өтетін диаметрі 820 мм, қабырғасының қалыңдығы 9 мм және жалпы ұзындығы шамамен 1000 км болатын магистральдық мұнай құбырының учаскелері қарастырылды. Зерттеудің басты мақсаты – әртүрлі меншікті электр кедергісі бар топырақ жағдайларында катодтық (электрохимиялық) қорғау станцияларының оңтайлы есептеу параметрлерін анықтау және құбырдың ұзақ мерзімді сенімділігін қамтамасыз ету болып табылады [1–3].

1-кестеде магистральдық құбыр желісінің ұзындығының әртүрлі бөліктері өтетін топырақтардың меншікті электр кедергісі көрсетілген. Бұл деректер катодтық қорғау станцияларын есептеу кезінде негізгі бастапқы параметр ретінде алынды.

1-кесте. Құбыр ұзындығының үлесі мен меншікті электр кедергісінің мәндері
Table 1. Proportion of pipeline length and specific electrical resistance values

№	1	2	3	4	5	6
Құбыр ұзындығының үлесі, l/L	**0,3**	**0,2**	**0,1**	**0,2**	**0,1**	**0,1**
Меншікті электр кедергісі, Ом·м	20	30	40	50	160	180

Дренаж желісі ретінде атмосфералық алюминий сымы бар ағаш тіректерге бекітілген темірбетон приставкалар қолданылады. «Құбыр – топырақ» жүйесінің бастапқы өтпелі кедергісі 9000 Ом·м² шамасында. Қорғаныс жабынының тозу қарқыны – жылына 0,125. Анодты жерге қосу тікелей топыраққа орнатылған, ұзындығы 1,4 м, диаметрі 0,03 м және салмағы 10 кг болатын электродтардан тұрады [2].

Құбыр жолы бойындағы топырақтың меншікті электр кедергісінің орташа мәні (1):

$$\rho_{\text{т.орт}} = 20 \cdot 0{,}3 + 30 \cdot 0{,}^{2+}40 \cdot 0{,}1 + 50 \cdot 0{,}^{2+}160 \cdot 0{,}1 + 180 \cdot 0{,}1 = 60 \text{ Ом·м} \quad (1)$$

Құбырдың ұзындық бірлігінің бойлық кедергісі (2):

$$R = \frac{0{,}245 \cdot 10^{-6}}{3{,}14 \cdot 0{,}009 \cdot (0{,}82 - 0{,}009)} = 10{,}67 \cdot 10^{-6} \text{ Ом/м} \quad (2)$$

Оқшаулау ұзындығының бірлігінің кедергісі катодтық қорғау станциясының (ККС) нормативтік қызмет мерзімінің соңында (4):

$$R_{\text{оқш}}(\tau_{\text{оқш}}) = \frac{9000}{3{,}14 \cdot 0{,}82} \cdot e^{-0{,}125 \cdot 9{,}5} = 10660 \text{ Ом/м} \quad (3)$$

Оқшаулау ұзындығының бірлігінің кедергісі ККС нормативтік қызмет ету мерзімі үшін орташа есеппен (4):

$$R_{\text{оқш.орт}} = \frac{9000}{3{,}14 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}125 \cdot 9{,}5} \cdot (1 - e^{-0{,}125 \cdot 9{,}5}) = 2045{,}8 \text{ Ом/м} \quad (4)$$

Құбырдың кіріс кедергісінің орташа мәні және катодты қондырғыларды пайдаланудың нормативтік мерзімі (5):

$$Z_{\text{орт}} = 0{,}5 \cdot \sqrt{10{,}67 \cdot 10^{-6} \cdot 2045{,}8} = 73{,}8 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (5)$$

Сол сияқты нормативтік пайдалану мерзімінің соңына қарай (6):

$$Z_{\text{с}} = 0{,}5 \cdot \sqrt{10{,}67 \cdot 10^{-6} \cdot 1066{,}0} = 53{,}9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (6)$$

Катодты қондырғыларды пайдаланудың нормативтік мерзімінің соңына қарай құбыр бойымен токтар мен потенциалдарды бөлу тұрақты (7):

$$\alpha = \sqrt{\frac{10{,}67 \cdot 10^{-6}}{1066{,}0} = 1 \cdot 10^{-4}} \text{ 1/м} \quad (7)$$

Құбырдан анодты жерге төсеу жоюды (удаление) орнатамыз у = 350 м және параметрді анықтаймыз (8):

$$\Theta = \frac{60}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 53{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot 350} = 0{,}512 \quad (8)$$

ККС өзара әсер ету коэффициенті (9):

$$K_{\text{в}} = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - (\frac{0{,}3}{0{,}55})^2 \cdot (1 + 0{,}512)}} = 0{,}574 \quad (9)$$

Пайдаланудың нормативтік мерзімінің соңына қарай бір ККС құбырын қорғау аймағының ұзақтығы (10):

$$l_{\text{ККС}} = \frac{2}{1 \cdot 10^{-4}} \cdot \ln\left[\frac{0{,}55}{0{,}574 \cdot 0{,}3(1 = 0{,}512)}\right] = 13255 \text{ м} \quad (10)$$

Жүктеме тогының ККС орташа мәні (11):

[1] РД 153-39.4-039-99 «Нормы проектирования электрохимической защиты магистральных трубопроводов и площадок МН»
[2] ГОСТ 9.602-2016 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии» (с поправкой)
[3] РД 91.020.00-КТН-149-06 «Нормы проектирования электрохимической защиты магистральных трубопроводов и сооружений НПС»

$$I_{\text{др}} = \frac{0{,}55}{73{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 2\exp(1 \cdot 10^{-4} \cdot 14957) = 0{,}512]} = 3{,}80\ A \quad (11)$$

Анодты жерге тұйықтау электродтарының ортасын төсеу тереңдігі h 2,2 м, ал олардың арасындағы қашықтық 7 м құрайды.

Содан кейін бір тік электродтан ағып кетуге төзімділік (12):

$$R_{1\text{в}} = \frac{0{,}16 \cdot 60}{1{,}4} \cdot \left(\ln\frac{2 \cdot 1{,}4}{0{,}03} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \cdot 2{,}^{2+}1{,}4}{4 \cdot 2{,}2 - 1{,}4}\right) = 32{,}2\ \text{Ом} \quad (12)$$

n = 5 анодты жерге қосу электрондарының санын қабылдаймыз және A_i мен B_i есептейді. Коэффициенттерді есептеу 1-кестеде келтірілген [4].

2-кесте. A_i және B_i коэффициенттерін есептеу
Table 2. Calculation of coefficients A_i and B_i

Көрсеткіш	1	2	3	4
A_i	0,61	0,31	0,21	0,16
B_i	0,01	0,06	0,033	0,025

Орталық жерге тұйықтау электродынан ағып кетуге төзімділік (13):

$$R_{\text{ц}} = 32{,}2 \cdot \frac{60}{3{,}14 \cdot 1{,}4} \cdot \left\{\ln\left[\left(0{,}1 + \sqrt{1 + 0{,}1^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{0{,}63 + 0{,}01 + \sqrt{1 + (0{,}63 + 0{,}01)^2}}{0{,}63 - 0{,}01 + \sqrt{1 + (0{,}63 - 0{,}01)^2}}}\right] + \ln\left[\left(0{,}05 + \sqrt{1 + 0{,}05^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{0{,}31 + 0{,}05 + \sqrt{1 + (0{,}31 + 0{,}05)^2}}{0{,}31 - 0{,}05 + \sqrt{1 + (0{,}31 - 0{,}05)^2}}}\right]\right\} = 36\ \text{Ом} \quad (13)$$

Анодты жерге тұйықтаудың экстремалды электродынан ағып кетуге төзімділік (14):

$$R_{\text{ц}} = 32{,}2 \cdot \frac{60}{3{,}14 \cdot 1{,}4} \cdot \left\{\ln\left[\left(0{,}1 + \sqrt{1 + 0{,}01^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{0{,}61 + 0{,}1 + \sqrt{1 + (0{,}63 + 0{,}1)^2}}{0{,}63 - 0{,}1 + \sqrt{1 + (0{,}63 - 0{,}1)^2}}}\right] + \ln\left[\left(0{,}03 + \sqrt{1 + 0{,}03^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{0{,}21 + 0{,}033 + \sqrt{1 + (0{,}21 + 0{,}033)^2}}{0{,}21 - 0{,}033 + \sqrt{1 + (0{,}21 - 0{,}033)^2}}}\right] + \ln\left[\left(0{,}025 + \sqrt{1 + 0{,}025^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{0{,}16 + 0{,}025 + \sqrt{1 + (0{,}16 + 0{,}025)^2}}{0{,}16 - 0{,}025 + \sqrt{1 + (0{,}16 - 0{,}025)^2}}}\right]\right\} = 34{,}9\ \text{Ом} \quad (14)$$

Анодты жерге қосу электродтарының экрандық коэффициенті (15):

$$\eta_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 32{,}2}{36 + 34{,}9} = 0{,}91 \quad (15)$$

Анодты жерге қосу электродтарының оңтайлы саны (16):

$$\eta_{\text{э}}^{/} = 4{,}13 \cdot \sqrt{\frac{8{,}76 \cdot 32{,}2 \cdot 0{,}02}{20 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}91 \cdot (0{,}15 + 0{,}148)}} = 5{,}16 \quad (16)$$

яғни электродтардың қабылданған және есептелген саны сәйкес келеді.

Анодты жерге тұйықталудан токтың таралуына төзімділік (17):

$$R_{\alpha} = \frac{32{,}2}{5 \cdot 0{,}91} 7{,}08\ \text{Ом} \quad (17)$$

Дренаж сымының оңтайлы қимасы (18):

$$S_{\text{пр}} = 2{,}95 \cdot 3{,}8 \cdot \sqrt{\frac{0{,}029 \cdot 0{,}02}{0{,}01 \cdot 0{,}7 \cdot (0{,}15 + 0{,}148)}} = 5{,}91\ \text{мм}^2 \quad (18)$$

Кесте – 2 бойынша сериялы түрде шығарылатын сымдардың үлкен қимасы таңдалды, ол (А-16 сымы).

Дренаж желісінің кедергісін анықтайық (19):

$$R_{\text{пр}} = 0{,}029 \cdot \frac{350}{9{,}6} = 1{,}05\ \text{Ом} \quad (19)$$

Шығыс контактілеріндегі кернеудің орташа мәнін ККС анықтаймыз (20):

$$\Delta E_{\text{ср}} = (0{,}55 - 0{,}3) + 3{,}8 \cdot (1{,}06 + 7{,}08) = 31{,}1\ \text{В} \quad (20)$$

ККС тұтынатын қуаттың орташа шамасы (21):

$$P_{\text{СКЗ}} = 3{,}8 \cdot 31{,}2 = 118{,}5\ \text{Вт} \quad (21)$$

және мәндеріне сүйене отырып, стандарты типтік комплектілі катодтық станцияны (КСК) таңдаңыз. Ең қолайлы – КСК – 500 (қуаты 0,5 кВт, кернеуі 10, 50 В, қуаты – 10 А).

Бүкіл құбырды қорғау үшін қажетті ККС санын анықтаймыз (22):

$$N_{\text{скз}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{13255} = 75{,}44 \approx 75\ \text{дана} \quad (22)$$

DOI: 10.54859/kjogi108843

Жерге орнатылған анодты жерге қосудың қызмет ету мерзімі (23):

$$\tau_{\text{а}} = \frac{10 \cdot 0{,}91 \cdot 5}{3{,}80 \cdot 0{,}2} = 59{,}9 \text{ жыл} \quad (23)$$

Нәтижелер

Анодты жерге қосу жүйесінің қызмет ету мерзімі 10 жылдан асатын болғандықтан, құбырдың катодтық қорғанысы тұрақты түрде қамтамасыз етіледі. Егер бұл талап орындалмаса, анодтық жерге қосу электродтарының санын арттыру қажет болады.

Жүргізілген есептеулер нәтижесінде:

катодтық қорғау станциясы есептік параметрлерге сәйкес таңдалды – КСК-500 (қуаты 0,5 кВт, кернеуі 10–50 В, күші 10 А);

құбырды тиімді қорғау үшін қажетті катодтық қорғау станцияларының саны 75 бірлікті құрады.

Мұнай-газ өндіру объектілерін коррозиялық үдерістерге байланысты қауіпті нысандар қатарына жатқызуға болады. Қабат өнімдерінің физика-химиялық қасиеттері, яғни мұнай, газ және су олардың коррозиялық белсенділігіне тікелей әсер етеді, әсіресе судың құрамы мен қасиеттері маңызды рөл атқарады. Дегенмен, ұңғыма өнімдерінің агрессивтілігі бірқатар ішкі және сыртқы факторларға тәуелді. Бұл факторларға кен орнындағы мұнай, газ және судың қалыптасу шарттары, кен орнын игеру және пайдалану әдістері, сондай-ақ өндіру, өңдеу және тасымалдау технологиялары жатады.

Мұнай кәсіпшілігінің жабдықтары – бұл мұнай-газ өнеркәсібінің үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз ететін агрегаттар мен жүйелер кешені. Олар негізінен ұңғымаларды бұрғылау, игеру және жөндеуге арналған жабдықтардан, сондай-ақ шикізатты жинау, өңдеу, сақтау және тасымалдауға арналған құралдардан тұрады.

Коррозиялық факторлардың әсеріне байланысты мұнай кәсіпшілігінің жабдықтарын келесі топтарға бөлуге болады:

• бұрғылау жабдықтары – негізінен колонналық құбырлар, цементтеу құрылғылары, шығарындыларға қарсы жабдықтар, сорапты-компрессорлық құбырлар, бұрғылау станоктарының металл конструкциялары, автоматтандырылған басқару жүйелері, фонтан арматуралары, фланецтер, клапандар және басқа да элементтер;

• қабат қысымын ұстау жүйесі – бұған су алу учаскелері, су жеткізу магистральдары, қабатқа айдалатын суды дайындау және тазарту нысандары, жоғары қысымды бұталы сорғы станциялары, су айдау ұңғымаларына апаратын су тарату жүйелері кіреді.

• мұнай мен газды жинау және тасымалдау жүйелері – бұл кен орны аумағындағы қабат сұйықтықтарын жинауға және тасымалдауға арналған жабдықтар кешені.

• мұнай мен газды дайындау жабдықтары – бұл әртүрлі технологиялық қондырғылар, соның ішінде сепараторлар, тұзсыздандыру және сусыздандыру жүйелері, адсорберлер, жылытқыштар, пештер, жылу алмастырғыштар, газ компрессорлық станциялар, деэмульгаторлар және газсыздандырғыштар.

• мұнай мен газды сақтау жабдықтары – бұл мұнай өнімдері мен газды сақтау үшін қолданылатын резервуарлар мен контейнерлер. Мұнай, қара және ашық түсті мұнай өнімдері, майлар мен конденсатты сақтау үшін әртүрлі көлемдегі ыдыстар пайдаланылады.

Мұнай кәсіпшілігі жабдықтары көбінесе коррозиялық әсерлерге ұшырайды, себебі олардың жұмыс ортасында судың болуы коррозиялық процестердің қарқындылығын арттырады. Қазіргі уақытта кен орындарының көп бөлігі игерудің кеш сатысында, бұл мұнайды суланудың белгілі бір дәрежесімен сипаттайды. Сондықтан мұнай-газ жабдықтарының жұмыс ортасында әрдайым дерлік су болады, кез-келген агрегаттық жағдайда сенімділігі мен жұмыс кезеңі төмендейтін мұнай-газ жабдықтарына коррозиялық әсер етеді.

Суспензия бөлшектері, балдырлардың органикалық қалдықтары және қабатта айдалатын суда болуы мүмкін темір қосылыстары көбінесе өнімді қабаттың кеуекті арналарын бітеп тастайды, айдау ұңғымаларының қабылдау қабілетін және мұнай шығынын азайтады.

Әдетте, қабат жағдайындағы су мұнай мен газбен бірге болады. Орналасқан жеріне байланысты жер асты сулары ішкі және сыртқы контурлар бойынша кен орнын қолдайтын шеткі қабаттарға бөлінеді; су-мұнай жапсары (СМЖ) және газ-мұнай жапсары (ГМЖ) түзетін бүкіл аумақта кен орнын қолдайтын плантациялар; жоғарғы және төменгі сулар таза сулы қабаттармен шектеседі және мұнай қабатының үстінде немесе астында орналасады; тау жыныстарының минералды бөлшектерін қаптайтын қалдық немесе байланысқан сулар түрінде кездеседі.

Қабат суларының химиялық құрамы әр түрлі (еріген минералды тұздардың концентрациясы, мұнай мен газдың әртүрлі компоненттері және т.б.), оған тау жыныстарының, мұнай мен газдың геологиялық жасы мен физика-химиялық құрамы сияқты факторлар әсер етеді. Сонымен қатар, кен орны дамыған сайын қабат суларының құрамы мен қасиеттері өзгереді (температура өзгереді, қабаттағы қысым төмендейді, фазалық байланыстардың ығысуы орын алады) [4, 5].

Қабат сулары басым анионға байланысты хлоридті, сульфатты және бикарбонатты, катионнан натрий, кальций және магнитті болып бөлінеді. Мұнай-газ кен орындарының суларының арасында көбінесе хлорид-кальций сулары мен натрий гидрокарбонаты кездеседі.

Хлорид-кальций сулары Ca^{2+}, Na^{+}, Mg^{2+} және Cl^{-}, және өте көп емес $(CO_3)^{2-}$, $(HCO_3)^{-}$, иондарының өте көп болуымен сипатталады жоғары минералдану және тығыздығы кең ауқымда өзге-

реді және 1,2 г/см³ жетуі мүмкін. Кейбір кен орындарында оларда темір иондарының көп мөлшері бар (300 мг/л дейін).

Гидрокарбонат-натрий сулары Na^+ және Cl^- иондарының құрамымен сипатталады және Ca^{2+} иондарының шамалы мөлшері, минералдануы біршама төмен және олардың тығыздығы сирек 1,07 г/см³-тен асады.

Жер асты суларының химиялық құрамы туралы ақпарат мұнай-газ кен орындарын іздеу мен барлаудың гидрогеохимиялық әдістері үшін қажет.

Жер асты суларында этан, бутан, пропанмен қаныққан бензол, нафтен қышқылдары, фенолдар мен газдардың болуы қабаттың мұнай-газының тікелей көрсеткіштері болып табылады. Қабаттың мұнай-газының жанама көрсеткіштеріне жоғары минералдану, йодтың, бордың, аммоний ионының, бромның жоғары мөлшері, CaCl немесе натрий гидрокарбонатының болуы; биохимиялық шыққан азотпен қанықтылықтың жоғарылауы; сульфат иондарының төмен мөлшері немесе оның толық болмауы; көмірқышқыл газы мен гелийдің жоғары мөлшері; сондай-ақ жоғары радиоактивтілік жатады. Органикалық көміртектің болуы қалпына келтіру жағдайларының дамуына әкеледі. Сульфаттарды қалпына келтіру процесіне мұнайда кездесетін сульфатты қалпына келтіретін бактериялар (СҚКБ) де ықпал етеді. Бактериялар салу үшін сульфат иондарын пайдаланады, ал көмірсутектер оларға тамақ көзі ретінде қызмет етеді [4, 5].

Нәтижелерді талдау

Табиғи сулардың химиялық құрамын бес негізгі топқа бөлуге болады [6, 7]:

1. Негізгі иондар: табиғи суларда Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} катиондары және HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^- аниондары басым. Бұдан бөлек, құрамында аз мөлшерде $(CO_3)^{2-}$, $(HSiO_3)^-$, K^+, Fe^{2+} иондары кездеседі. Кальций (Ca^{2+}) мен магний (Mg^{2+}) иондары гидрокарбонаттармен бірге әктас, карбонат, гипс, доломит және алюмосиликат жыныстарының еруі нәтижесінде суға түседі.

2. Натрий (Na^+), калий (K^+) және хлорид (Cl^-) иондары негізінен хлоридті тұздардың ерітіндіге айналуынан пайда болады. Сондай-ақ, жанартаулық атқылау кезінде хлорид иондары көптеп бөлініп, атмосфералық жауын-шашынмен бірге су қоймаларына түсуі мүмкін. Сульфат иондары (SO_4^{2-}) гипс жыныстарының еруі, сульфидтер мен органикалық күкірт қосылыстарының тотығуы нәтижесінде түзіледі;

3. Суда еріген газдар: табиғи суларда азот (N_2), оттегі (O_2), көмірқышқыл газы (CO_2), сутегі (H_2), күкіртсутек (H_2S), сондай-ақ инертті газдар – гелий (He), аргон (Ar) кездеседі. Көмірсутек газдары (метан, этан, пропан) көбінесе мұнай-газ кен орындарының маңында байқалады. Жер асты суларында бұл газдар көбінесе молекулалық ерітінділер түрінде болады. Газдардың қанығу деңгейі (см³/л) олардың концентрациясын көрсетеді. Мысалы, азот, оттегі және көмірқышқыл газы жер бетіне жақын аймақтарда көп кездессе, күкіртсутек пен көмірсутек газдары топырақтың терең қабаттарында жоғары концентрацияда болады;

4. Биогендік заттар: тірі организмдердің өмірлік белсенділігіне қажетті және олардың метаболизм процестері барысында түзілетін қосылыстарға азот, фосфор, темір және кремнийдің органикалық және бейорганикалық қосылыстары жатады. Азот органикалық қосылыстары ақуыздар мен олардың ыдырау өнімдері түрінде кездеседі. Аммонификация үдерісі кезінде ақуыздардың ыдырауы нәтижесінде NH_4^+ иондары түзіледі. Сондай-ақ, суда бейорганикалық аммоний иондары кездесуі мүмкін, олар гумустық заттар, көмірсутектер және күкіртті сутекпен әрекеттесу арқылы нитраттар мен нитриттердің тотықсыздануы барысында пайда болады. Өнеркәсіптік шығарындылардың әсерінен атмосфералық жауын-шашынмен бірге табиғи суларға сульфат иондарының айтарлықтай мөлшері түседі;

5. Органикалық қосылыстар: табиғи суларда тірі организмдердің тіршілік әрекетінің нәтижесінде пайда болатын немесе әртүрлі органикалық қалдықтардың ыдырауынан түзілетін гуминдік қосылыстар кездеседі. Су құрамындағы гумустық заттарға лигнин-ақуыз кешендері, көмірсулар мен майлар жатады. Бұл заттар суда шынайы ерітінділер, коллоидтар немесе суспензиялар түрінде болады. Олардың концентрациясы әдетте төмен, бірақ кейбір жағдайларда 50 мг/л және одан да жоғары мәндерге жетуі мүмкін. Әсіресе, батпақты жерлердегі суларда, мұнай-газ кен орындарының қабаттық суларында және өндірістік ағынды суларда органикалық қосылыстардың концентрациясы жоғары болуы мүмкін;

6. Микроэлементтер: табиғи суларда концентрациясы 1 мг/л-ден төмен болатын еріген заттар. Олар иондық, молекулалық, коллоидтық бөлшектер немесе суспензия түрінде кездесіп, органикалық және бейорганикалық кешендердің құрамына кіреді. Геологтар мен геофизиктер үшін табиғи сулардағы I^-, Br^-, F^-, B, Li, Sr, Ba сияқты элементтердің, сондай-ақ радиоактивті және кен түзуші минералдардың болуы ерекше маңызға ие. Галоген иондарының (йод және бром) концентрациясы табиғи суларда жүзден он мг/л-ге дейін өзгеруі мүмкін, бірақ мұнай кен орындарының қабаттық суларында олардың мөлшері айтарлықтай жоғары болады.Әдеби дереккөздерді талдау нәтижесінде металл жабдықтардың бетінде дамитын мұнайды алу және дайындау процестеріндегі асқынулардың негізгі түрлері анықталды (3-кесте).

DOI: 10.54859/kjogi108843

3-кесте Мұнай мен газды алу және дайындау процестеріндегі асқынулардың таралуы
Table 3. Distribution of complications in oil and gas extraction and processing processes

Жабдықтың түрі	Асқынулардың түрлері				
	коррозия	тұз шөгінділері	биозақымдану және биобақылау	эмульсиятүзіліс	электростатикалық зарядтың жинақталуы
Мұнай өндіруге арналған жабдық	+	+	+	+	-
Қабаттық қысымды ұстап тұру жүйелері	+	+	+	-	-
Мұнай жинау жүйелері	+	+	+	+	+
Мұнай дайындауға арналған жабдық	+	+	+	+	-
Мұнай сақтауға арналған жабдық	+	+	+	-	+
Мұнай-газ өңдеу және мұнай-газ химиясына арналған жабдық	+	+	+	-	-

3-салыстырмалы кестеде мұнай кәсіпшіліктерінің әртүрлі кезеңдерінде және әртүрлі жабдықтарында биоинфекцияның көріну мүмкіндігі айқын көрсетілген. Осыған байланысты биологиялық коррозия процесін зерттеу тәсілін әзірлеу қажеттілігі туындайды. Бітіру біліктілік жұмысының негізгі бағыты мен мақсаты – биоинфекцияны анықтау және бақылау үшін қолданылатын технологияларды талдау.

Қорытынды

Мұнай құбырларының қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз ету үшін катодтық қорғау (электрохимиялық қорғау) жүйесін дұрыс есептеу және тиімді қолдану аса маңызды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, бұл әдісті қолдану құбырлардың қызмет ету мерзімін айтарлықтай ұзартуға, сондай-ақ жөндеу мен техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Катодтық қорғаныс жүйесінің тиімділігі оны дұрыс жобалау мен орнатуға, ток көздерін оңтайлы таңдауға, электродтық потенциалды дәл реттеуге және жүйенің тұрақты бақылауын қамтамасыз етуге тікелей байланысты. Сонымен қатар, жаңа технологияларды енгізу мен диагностика әдістерін жетілдіру мұнай құбырларының коррозиялық тозуын төмендетуге және олардың ұзақ мерзімді жұмысын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Осылайша, катодтық қорғау жүйесін дұрыс ұйымдастыру мұнай және газ тасымалдау инфрақұрылымының қауіпсіздігін арттырып, қоршаған ортаға кері әсерін азайтуға көмектеседі [7–11]. Бұл әдісті кешенді түрде қолдану мұнай құбырларының сенімділігі мен ұзақ мерзімділігін қамтамасыз етудің тиімді шешімі болып табылады

ҚОСЫМША

Қаржыландыру көзі. Зерттеу жұмысы жеке бастамамен, оқытушылардың өз қаражаты есебінен жүргізілді.

Мүдделер қайшылығы. Авторлар осы мақаланы жариялауға байланысты айқын және ықтимал мүдделер қайшылығының жоқтығын жариялайды.

Авторлардың қосқан үлесі. Барлық авторлар өздерінің авторлық үлесін ICMJE халықаралық критерийлеріне сәйкестігін растайды (барлық авторлар зерттеу тұжырымдамасын әзірлеуге, зерттеуді жүргізуге және мақаланы дайындауға елеулі үлес қосты, мақаланың соңғы нұсқасын оқып, жариялауға дейін мақұлдады). Негізгі үлес төмендегідей бөлінді: Сарқұлова Ж.С. – зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, катодтық қорғау жүйесінің есептеу әдістемесін қалыптастыру және алынған нәтижелерді ғылыми тұрғыда талдау; Исенғалиева Г.А. – әдеби шолу жүргізу, бастапқы мәліметтерді жинау және жүйелеу; Шилмағамбетова Ж.Ж. – есептеу және тәжірибелік нәтижелерді өңдеу, салыстырмалы талдау жүргізу; Оразбекова Р.Ж. – катодтық қорғау станцияларының есептеу жұмыстарына қатысу, бастапқы деректерді дайындау және аналитикалық материалдарды рәсімдеу.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This research was carried out independently by the authors, without external financial support.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (each author made a significant contribution to the study conception, research implementation, and manuscript preparation, read and approved the final version before publication). The main contributions are distributed as follows: Zhadyrassyn S. Sarkulova – development of the research concept, formulation of the cathodic protection system calculation methodology, and scientific analysis of the obtained results; Gulya A. Issengaliyeva – conducting the literature review and collecting and systematizing the primary data; Zhadra Zh. Shilmagambetova – processing the computational and experimental results and performing comparative analysis; Riza Zh. Orazbekova – contributing to the calculation of cathodic protection stations, preparing the initial data, and formatting the analytical materials.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Рудой В.М., Останин Н.И., Зайков Ю.П.* Проектирование катодной защиты подземных трубопроводов: методические указания. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2005. 112 с.
2. *Быков Л.И., Мустафин Ф.М., Рафиков С.К., и др.* Типовые расчёты при строительстве и ремонте газонефтепроводов. Москва : Недра, 2005. 240 б.
3. *Никулин С.А.* Повышение эффективности предотвращения коррозии нефтегазопроводов на основе оптимального регулирования режимов работы станций катодной защиты: дисс. канд. техн. наук. Уфа, 2015. 150 с. Режим доступа: dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-predotvrashcheniya-korrozii-neftegazoprovodov-na-osnove-optimalnogo. Дата обращения: 12.12.2024.
4. *Мухамеджанов Т.Ш., Абдрахманов М.М.* Мұнай және газ тасымалдау жүйелерінің коррозиялық қорғанысы. Алматы : ҚазҰТЗУ баспасы, 2019. 204 б.
5. *Тихомиров В.В., Лозовский В.А.* Электрохимическая защита металлических сооружений от коррозии. Москва : Энергия, 2016. 176 с.
6. *Назаров А.А., Кузнецов Ю.М.* Электрохимическая коррозия и защита металлов. Москва : Наука, 2015. 320 с.
7. *Peabody A.W.* Peabody's Control of Pipeline Corrosion. Houston : NACE International, 2018. 400 p.
8. *Revie R.W.,* editor. Uhlig's Corrosion Handbook. John Wiley & Sons, 2016. 728 p.
9. *Koch G.* Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies. Elsevier, 2017. 472 p.
10. *Сарқұлова Ж.С., Жубандыкова Ж.У., Шукирова С.С., Турысбекова А.Ж.,* Мұнай-газ өнеркәсібінде жабдықтар мен құбырларды коррозиядан қорғау әдістері // Мұнай және газ. 2023. №6 (138). Б. 171–180.

REFERENCES

1. Rudoy VM, Ostanin NI, Zaikov YP. P*roektirovaniye katodnoy zashchity podzemnykh truboprovodov: metodicheskiye ukazaniya.* Yekaterinburg: UFU; 2005. 112 p. (In Russ).
2. Bykov LI, Mustafin FM, Rafikov SK, et al. *Tipovyye raschyoty pri stroitel'stve I remonte gazonefteprovodov.* Moscow: Nedra; 2005. 240 p. (In Russ).
3. Nikulin SA. *Povysheniye effektivnosti predotvrashcheniya korrozii neftegazoprovodov na osnove optimal'nogo regulirovaniya rezhimov raboty stantsii katodnoy zashchity* [dissertation]. Ufa; 2015. 150 p. Available from: dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-predotvrashcheniya-korrozii-neftegazoprovodov-na-osnove-optimalnogo. (In Russ).
4. Mukhamedzhanov TS, Abdrakhmanov MM. *Munay zhane gas tasymaldau zhuyyelerinin korroziyalyk korgansysy.* Almaty: KNRTU; 2019. 204 p. (In Kazakh).
5. Tikhomirov VV, Lozovskiy VA. *Elektrokhimicheslkaya zashchita metallicheskikh sooruzheniy ot korrozii.* Moscow: Energiya; 2016. 176 p. (In Russ).
6. Nazarov AA, Kuznetsov YM. *Elektrokhimicheslkaya korroziya I zashchita metallov.* Moscow: Nauka; 2015. 320 p. (In Russ).
7. Peabody AW. *Peabody's Control of Pipeline Corrosion.* Houston: NACE International; 2018. 400 p.
8. Revie RW, editor. *Uhlig's Corrosion Handbook.* John Wiley & Sons; 2016. 728 p.
9. Koch G. *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies.* Elsevier; 2017. 472 p.
10. Sarkulova ZS, Zhubandykova ZU, Shukirova SS, Turysbekova AZ. Methods of Corrosion Protection for Equipment and Pipelines in the Oil and Gas Industry. *Oil and Gas.* 2023;6 (138):171–180.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

***Сарқұлова Жадырасын Сейдулақызы**
PhD, доцент
ORCID 0000-0001-8539-1802
e-mail: *zhadi_0691@mail.ru*.
Исенгалиева Гуля Әміржанқызы
техн. ғыл. канд., доцент
ORCID 0000-0001-8742-6378
e-mail: *isengul@mail.ru*.
Шилмағамбетова Жадра Жанқожақызы
пед. ғыл. канд., доцент
ORCID 0009-0008-8780-7160
e-mail: *zhadra_69@mail.ru*.
Оразбекова Риза Жұмақанқызы
техн. ғыл. канд., доцент
ORCID 0009-0007-3970-3706
e-mail: *riza_o@mail.ru*.

AUTHORS' INFO

***Zhadyrassyn S. Sarkulova**
PhD, Associate Professor
ORCID 0000-0001-8539-1802
e-mail: *zhadi_0691@mail.ru*.
Gulya A. Issengaliyeva
Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor
ORCID 0000-0001-8742-6378
e-mail: *isengul@mail.ru*.
Zhadra Zh. Shilmagambetova
Cand. Sc. (Pedagogics), Associate Professor
ORCID 0009-0008-8780-7160
e-mail: *zhadra_69@mail.ru*.
Riza Zh. Orazbekova
Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor
ORCID 0009-0007-3970-3706
e-mail: *riza_o@mail.ru*.

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding Author