ӘӨЖ 628.16
МРНТИ 52.47.97
DOI 10.56525/YBJE2400

МАҢҒЫСТАУ КЕН ОРНЫ ЖАҒДАЙЫНДА КОРРОЗИЯ ТЕЖЕГІШТЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ

Тілегенова С., Акккенжеева А.Ш., Аяпбергенов Е.О., Туркменбаева М.Б.
Есенов университеті, Ақтау, Қазақстан
e-mail: sayazhan.tilegenova@yu.edu.kz, anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz,
yerbolat.ayapbergenov@yu.edu.kz, maira.turkmenbayeva@yu.edu.kz

Андатпа. Мақалада Маңғыстау кен орны жағдайында коррозия тежегіштерінің тиімділігін кешенді зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеудің мақсаты – коррозия тежегіштерінің физика-химиялық қасиеттерін, кәсіпшілік сулармен үйлесімділігін және металл бетін коррозиядан қорғау қабілетін бағалау. Зерттеулер ҚР СТ 2586-2014 және МЕМСТ 9.506-87 талаптарына сәйкес жүргізілді. Зерттеу барысында коррозия тежегіштерінің физикаөхимиялық қасиеттері анықталды. Реагенттердің кен орнының альбсеноман, қабатты (ағындыҚ және теңіз суларымен 10–90 г/л концентрациялар аралығындағы үйлесімділігі бағаланды. Коррозиядан қорғау тиімділігі гравиметриялық әдіспен бастапқы және қатаңдатылған жағдайларда зерттелді. Сонымен қатар коррозия тежегіштерінің базалық деэмульгатормен технологиялық үйлесімділігі және мұнайды деэмульсациялау үдерісіне әсері анықталды. Қатаңдатылған жағдайларда, яғни 40 ºС температурада, 0,4 МПа қысымда және қышқылды (агрессивті) газдардың қатысында №4 және №5 тежегіштері 40 мг/л концентрацияда 92 % металл бетін қорғау дәрежесіне қол жеткізді. №4 үлгісі 30 мг/л концентрацияда да 90 % тиімділік көрсетті. Коррозия тежегіштерін базалық деэмульгатормен бірге қолдану мұнайды сусыздандыру тиімділігіне теріс әсер етпеді. Алынған нәтижелер №4 және №5 реагенттерін Маңғыстау кен орны жағдайларында одан әрі тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар үшін болашақ коррозия тежегіштері ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: коррозия тежегіші; кен орын; кәсіпшілік су; коррозиядан қорғау дәрежесі; гравиметриялық әдіс; үйлесімділік; деэмульгатор.

Кіріспе

Коррозиялық үдерістер мұнай кәсіпшілігі жабдықтарының сенімділігі мен пайдалану мерзімін шектейтін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Бұл мәселе әсіресе өнімнің жоғары сулануы, газ құрамында еріген қышқыл газдардың болуы, қабат және айдалатын сулардың жоғарғы минералдылығы, сондай-ақ микробиологиялық үдерістердің дамуымен сипатталатын кен орындары үшін өзекті. Мұнай-газ өндіру жүйелерінде коррозиялық әсерге мұнай кәсіпшілігі сорғы-компрессорлық құбырлары, пайдалану колонналары, мұнай жинау құбырлары, сепараторлар, резервуарлар, сорғы жабдықтары және мұнайды өндіру, дайындау және тасымалдау жүйесінің басқа да элементтері ұшырайды [1–4].

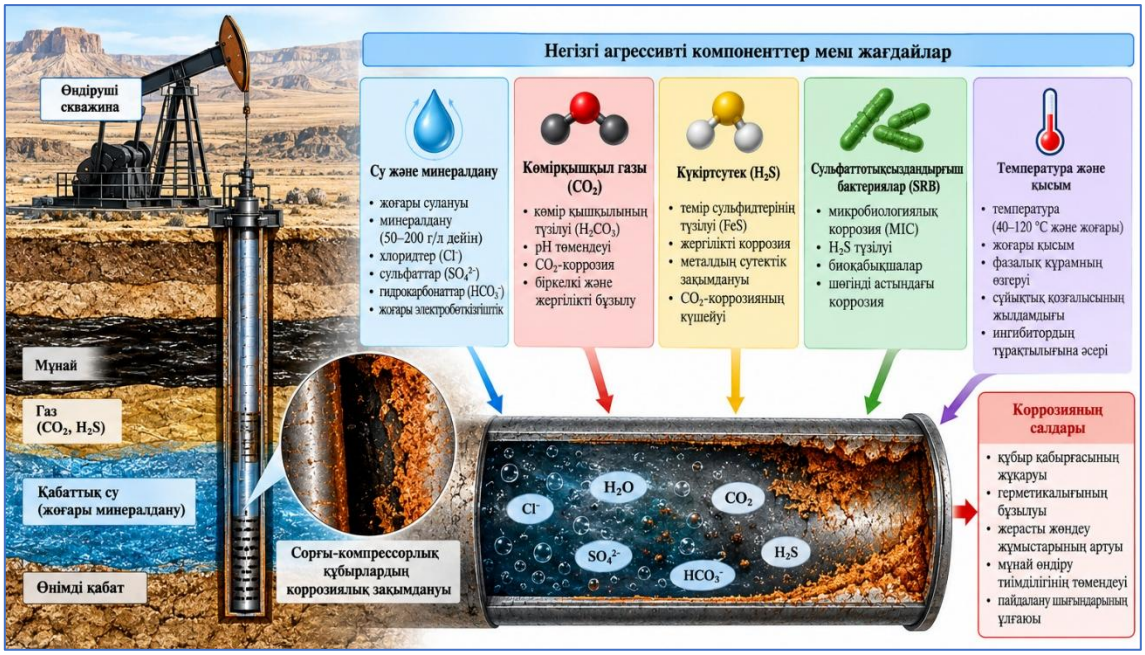
Маңғыстау облысының кен орындары үшін коррозия мәселесі ерекше маңызға ие. Өзен кен орнында жүргізілген зерттеулер [5, 6] жерасты жабдықтарының коррозиялық бұзылуының негізгі факторлары өндірілетін өнімнің құрамында жоғарғы су мөлшері мен H_2S және CO_2 қышқыл газдарының болуы көрсетті. Бұл ретте коррозиялық зақымданулар сорғы-компрессорлық құбырлардың саңылаусыздығының бұзылуына, жерасты жөндеу жұмыстары санының артуына және мұнай өндіру тиімділігінің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Өзен кен орны жағдайында химиялық реагенттерді зерттеу коррозия тежегіштерін коррозиялық ортаның құрамына, реагенттің мұнаймен және сумен үйлесімділігін, сондай-ақ коррозияның нақты жылдамдығын ескере отырып, жеке таңдаудың қажеттілігін көрсетті [7].

Су қатысында көміртекті болат электрохимиялық жүйе ретінде әрекет етеді, мұнда металл бетінің анодты және катодты учаскелері жергілікті коррозиялық элементтер түзеді. Анодты учаскелерде темірдің еру үдерісі жүреді:

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$$

Катодты үдеріс ортаның құрамына байланысты сутегі иондарының, судың немесе еріген оттегінің тотықсыздануымен байланысты болуы мүмкін. Су фаза құрамында еріген CO_2 болғанда көмір қышқылы түзіледі, ал бұл pH мәнінің төмендеуіне және металдың электрохимиялық еру үдерісінің қарқындануына ықпал етеді. Ал су құрамында H_2S газы болғанда темір сульфидтері түзіледі де, сонымен қатар жергілікті коррозия мен металдың сутектік зақымдануына қолайлы жағдайлар қалыптасады.

Осылайша, коррозияның қарқындылығы жекелеген агрессивті компоненттердің мөлшерімен ғана емес, олардың бірлескен әсерімен де анықталады. Температура, қысым, сұйықтық қозғалысының жылдамдығы, өнім құрамында су мөлшері, минералдылық, хлоридтер мен гидрокарбонаттардың мөлшері, CO_2 және H_2S газдарының парциалды қысымдары, механикалық қоспалар мен тұз шөгінділерінің болуы маңызды рөл атқарады [1, 2].



Сурет 1 – Мұнай кәсіпшілігінде ортаның коррозиялық агрессивтілігін анықтайтын негізгі факторлар

Маңғыстау кен орындары үшін қосымша факторлар ретінде қабат қысымын ұстаудың әртүрлі жүйелерін қолдануды атап өтуге болады. Ағынды және теңіз суларын пайдалану өндірілетін өнімнің гидрохимиялық құрамын өзгертіп, микробиологиялық үдерістердің қалыптасуына жағдай жасауы мүмкін. Өзен кен орны бойынша теңіз суын пайдаланудың ілеспе газ құрамында күкіртті сутегі мөлшерінің жоғарылауымен байланысы туралы деректер [8] жарияланған, ал сульфидогенезді тоқтату үшін бактерицидтер мен коррозия ингибиторлары қолданылады.

Мұнай кәсіпшілігі жабдықтарын қорғау әдістеріне коррозияға төзімді материалдарды таңдау, қорғаныш жабындарын қолдану, еріген оттегіні жою, агрессивті компоненттерді бейтараптандыру, бактерицидтерді пайдалану және химиялық тежегіштер жатады. Қолданыстағы жабдықтар үшін тежегішті қорғау технологиялық тұрғыдан қолайлы әдістердің бірі болып табылады, себебі ол қолданыстағы жүйені елеулі қайта құрусыз коррозия жылдамдығын төмендетуге мүмкіндік береді [1, 3, 4].

Қазіргі уақытта мұнай-газ саласында қолданылатын коррозия тежегіштері негізінен органикалық беттік-белсенді қосылыстар болып табылады. Кеңінен қолданылатын

тежегіштерге имидазолиндер, амидтер, аминдер, төртіншілік аммоний қосылыстары, фосфорорганикалық қосылыстар және олардың композициялары жатады. Мұнай өндіру жүйелеріндегі көміртекті болаттарды қорғау үшін металл бетіне адсорбцияланып, гидрофобты қорғаныш қабатын түзуге қабілетті қабықша түзуші ингибиторларға ерекше көңіл бөлінеді [1, 3, 9].

Қабықша түзуші ингибиторлардың көпшілігінің әсер ету механизмі құрамында азот, оттегі немесе күкірт атомдары бар молекуланың полярлы бөлігі мен полярсыз көмірсутекті фрагментінің болуымен байланысты. Полярлы бөлік адсорбция және координациялық әрекеттесу арқылы металл бетімен байланысады, ал көмірсутекті бөлік металл бетінің сулы фазамен жанасуына кедергі келтіретін гидрофобты тосқауыл түзеді [3, 9].

Имидазолиндер ерекше орын алады. Олардың молекулалық құрылымында екі азот атомы бар гетероциклді сақина және ұзын көмірсутекті фрагмент болады. Мұндай құрылым болат бетіне адсорбциялану қабілеті мен гидрофобты қорғаныш қабықша түзу қасиетінің үйлесуін қамтамасыз етеді. Имидазолиндерді қолдануға арналған заманауи шолу бастапқы қосылыстың құрылымын модификациялау арқылы оның ерігіштігін, адсорбциялық қабілетін, қабықшаның тұрақтылығын және ингибирлеу тиімділігін өзгертуге болатынын көрсетеді [9].

Авторлар [10] жұмыста CO_2-мен қаныққан модельді қабат суда тиофен-имидазолин туындылары зерттелген. Авторлар көмірсутекті тізбектің ұзындығы қорғаныш қасиеттеріне елеулі әсер ететінін көрсетті. Гидрофобты фрагменттің ұлғаюы неғұрлым тығыз қорғаныш қабатының түзілуіне және коррозиялық-белсенді бөлшектердің болат бетіне диффузиясының шектелуіне ықпал етеді. Зерттелген қосылыстар үшін ингибирлеу тиімділігі гравиметриялық және электрохимиялық әдістермен анықталған.

Көмірқышқылды коррозия жағдайында көміртекті болат үшін имидазолинді ингибиторды зерттеу нәтижелері [11] жарияланды. Гравиметриялық әдісті, EIS, потенциодинамикалық поляризацияны және LPR кешенді қолдану қорғаныш қабықшасының түзілетінін және тежеудің аралас сипатын растады. Бұл ретте молекулалардың болат бетіне адсорбциялануы Ленгмюр моделімен сипатталды.

Қазіргі таңда тежегіштердің тиімділігін бағалау металл үлгілерінің массалық жоғалуын анықтаумен ғана шектелмейді. Қорғаныш механизмін тереңірек түсіну үшін электрохимиялық импеданстық спектроскопия (EIS), сызықтық поляризациялық резистометрия (LPR), потенциодинамикалық поляризация, сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM), энергия-дисперсиялық талдау (EDS/EDX), жанасу бұрышын өлшеу және адсорбцияны математикалық модельдеу әдістері қолданылады [10–13].

Гравиметриялық әдіс үлгінің массасының өзгеруі бойынша коррозияның орташа жылдамдығын тікелей анықтауға мүмкіндік береді. Оның артықшылығы – қарапайымдылығы және ортаның ұзақ уақыттық әсерін модельдеу мүмкіндігі. Алайда қорғаныш қабықшасының түзілу динамикасын бағалау үшін электрохимиялық әдістерді қосымша қолдану орынды.

EIS әдісі зарядтың тасымалдану кедергісін және қос электрлік қабаттың сыйымдылығын бағалауға мүмкіндік береді. Тұрақты қорғаныш қабықшасы түзілген кезде, әдетте, зарядтың тасымалдану кедергісінің жоғарылауы байқалады, бұл коррозиялық процестің жылдамдығының төмендеуіне сәйкес келеді. Мысалы [12], құрамында еріген CO_2 бар қабат суда көміртекті болатқа арналған жаңа имидазолин туындысын зерттеу барысында 250 мг/л концентрацияда тежегіш тиімділігі 98,5 % жеткен. Авторлар жоғары қорғаныш әсерін құрамына күкірт және азот бар фрагменттерді енгізу нәтижесінде адсорбциялық орталықтар санының артуымен байланыстырады.

Қорғаныш әсерінің уақыт бойынша тұрақтылығын зерттеу де маңызды болып табылады. Қазірде имидазолин туындыларының біріне жүргізілген зерттеуде 60 °C температурада тежеу тиімділігі 2 сағаттан кейінгі 98, 4 %-дан 72 сағаттан кейін 99,6 %-ға дейін жоғарылаған. Бұл тұрақты адсорбциялық қабықшаның біртіндеп қалыптасатынын көрсетеді [13].

Тежегіштердің суда, мұнайда ерігіштігі және оның металл–су фаза шекарасында таралу қабілеті ерекше маңызды параметр болып табылады. Мұнай кәсіпшілігі жүйелерінде белсенді

заттың қорғалатын металл бетіне жеткізілуін қамтамасыз ету және сонымен қатар оның мұнаймен немесе сумен бірге әкетілуін барынша азайту қажет. Өзен кен орнында жүргізілген зерттеулер жарияланған нәтижелері мұндай тәсілдің өзектілігін растайды. Авторлар [7] жұмыста отандық және шетел тежегіштердің тиімділігін, үйлесімділігін және ортаның коррозиялық белсенділігі ескеріле отырып салыстырмалы зерттеулер жүргізілген. Бұл химиялық реагентті зертханалық жағдайда таңдау тек әмбебап модельді ерітінділерге емес, нақты кәсіпшілік жағдайларға бағытталуы қажеттігін көрсетеді.

Осылайша, ғылыми әдебиеттерді талдау минералданған сулар, CO_2 және H_2S қатысында көміртекті болат бетіне тиімді адсорбциялануға қабілетті қабықша түзуші органикалық тежегіштерді әзірлеу және сынау болашақ бағыт болып табылатынын көрсетеді. Нақты композицияның тиімділігі химиялық құрылымға, концентрацияға, температураға, судың құрамына және экспозиция уақытына елеулі дәрежеде тәуелді [9–14].

Материалдар мен зерттеу әдістері. Коррозия тежегіштерін (КТ) зертханалық сынаудың кешенді зерттеулері бірнеше кезеңді қамтиды. Коррозия тежегішінің физика-химиялық қасиеттері ҚР СТ 2586-2014 стандартына сәйкес анықталды [15].

КТ-дің үйлесімділігі кәсіпшілік суларды әртүрлі концентрацияда тежегіштермен (10, 30, 50, 70 және 90 г/л) араластыру арқылы анықталды. Тәжірибелерді жүргізу үшін зерттелетін кен орнының кәсіпшілік суларының үлгілері пайдаланылды. Зерттеу алдында су үлгілері сүзу арқылы мұнайдан және механикалық қоспалардан алдын ала тазартылды. Қоспалар мұқият араластырылып, бөлме температурасында 3 сағат бойы ұсталды. Салыстыру үлгісі ретінде тежегіш қосылмаған минералданған су пайдаланылды. КИ-дің минералданған сумен үйлесімділігі немесе үйлесімсіздігі туралы қорытынды визуалды бағалау нәтижелері бойынша жасалды. Реагенттің қабаттық сумен үйлесімсіздігі жағдайында ерітінді лайланады, сонымен қатар тұтқыр гель түзілуі немесе қалқыма күйдегі коллоидтық үлпектердің пайда болуы байқалады. Мұндай жағдайда, сондай-ақ реагент жеке фаза түрінде бөлінген кезде, сынақ нәтижесі теріс деп бағаланды. Тежегіш жүйе кен орнының мұнай кәсіпшілігі суларымен толық үйлесімді болуы, қабаттарға бөлінбеуі және тұнба түзілуіне жол бермеуі тиіс.

Коррозия тежегіштерінің тиімділігін зертханалық зерттеу МЕМСТ 9.506-87 стандартына сәйкес гравиметриялық әдіспен жүргізілді [16].

Зерттеу нәтижелері. Металдардың коррозиясы – олардың сыртқы ортамен химиялық немесе электрохимиялық әрекеттесуі нәтижесінде өздігінен бұзылу үдерісі. Бұл үдеріс гетерогенді сипатқа ие, металл мен агрессивті ортаның фазалар шекарасында жүреді және күрделі механизммен сипатталады. Көп жағдайда металдардың коррозиясы біркелкі жүрмейді, нәтижесінде олардың механикалық беріктігі төмендеп, физика-механикалық қасиеттері өзгереді. Мұнай кәсіпшілігі объектілерінің сулы орталарында жоғарғы коррозиялық белсенділіктің негізгі факторы ерітінді құрамында көмірқышқыл газы, оттегі, күкіртті сутегі, механикалық қоспалар және микроорганизмдер сынды коррозиялық-белсенді компоненттердің болуы болып табылады. Бұл факторлар кен орындарындағы жерасты және жерүсті жабдықтарының коррозиялық бұзылуының негізгі қауіп факторлары болып саналады. Сонымен қатар температура, қысым, сұйықтық қозғалысының жылдамдығы, ағын құрылымы және құбырлардағы металл бетінің күйі сияқты технологиялық параметрлер коррозия үдерісіне елеулі әсер етеді.

Мұнай эмульсиясы өзінің бастапқы күйінде құрамында су фазасы түрінде бөлініп шыққанға дейін агрессивті қасиеттерге ие болмайды. Қазіргі уақытта Маңғыстау кен орындарындағы ұңғымалардың басым бөлігі өндірілетін флюидтердің жоғары суланuымен сипатталады, бұл коррозиялық процестердің дамуына қолайлы жағдай қалыптастырады.

Зерттелетін реагенттердің физика-химиялық қасиеттерін сынау нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Коррозия тежегіштерінің негізгі физика-химиялық сипаттамалары

Үлгілер	Физика-химиялық көрсеткіштері				
	сыртқы түрі	ν (20 °C), мм^2/с	$T_{қату}$, °C	$W_{белс.зат}$, %	ρ (20 °C), кг/м^3
№1	біртекті мөлдір қоңыр түсті сұйықтық	3,9	минус 45	19,6	946
№2	біртекті мөлдір қоңыр түсті сұйықтық	3,5	минус 45	13,4	927
№3	біртекті мөлдір емес қою қоңыр түсті сұйықтық	1372,2	минус 7	99,8	1041
№4	біртекті мөлдір емес қою қоңыр түсті сұйықтық	8,1	минус 45	25,7	930
№5	біртекті мөлдір емес қою қоңыр түсті сұйықтық	6,8	минус 45	25,5	931
№6	біртекті мөлдір қою қоңыр түсті сұйықтық	7,1	минус 45	16,6	957
№7	біртекті мөлдір қою қоңыр түсті сұйықтық	7,4	минус 45	24,4	930

Зерттелген реагенттердің тығыздығы 927...1041 кг/м^3 аралығында болатын біртекті мөлдір немесе мөлдір емес сұйықтықтар түрінде ұсынылған және төмен температураларға төзімді. Алайда №3 үлгісі минус 7 °C температурада қатады және кинематикалық тұтқырлығының өте жоғары мәнімен сипатталады. Осыған байланысты №3 үлгісі әрі қарайғы сынақтар жүргізілмеді.

Коррозия тежегіштерінің зерттелетін кен орнының кәсіпшілік суларымен үйлесімділігін анықтау реагенттердің осы сулардың физика-химиялық параметрлерімен өзара әрекеттесуін бағалауды қамтыды. Зерттеу нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Зерттелетін кен орнының кәсіпшілік суларымен КТ үлгілерінің үйлесімділігі

Үлгілер	Кен орын суларының түрлері	Мөлшері, г/л				
		10	30	50	70	90
№1	альбсеноман	П	П	П	П	П
	қабат/ағын	П	П	П	П	П
	теңіз	П	П	П	П	П
№2	альбсеноман	П	П	П	П	П
	қабат/ағын	П	П	П	П	П
	теңіз	П	П	П	П	П
№4	альбсеноман	П	П	П	П	П
	қабат/ағын	П	П	П	П	П
	теңіз	П	П	П	П	П
№5	альбсеноман	П	П	П	П	П
	қабат/ағын	П	П	П	П	П
	теңіз	П	П	П	П	П
№6	альбсеноман	П	П	П	П	П
	қабат/ағын	П	П	П	П	П
	теңіз	П	П	П	П	П
№7	альбсеноман	П	П	П	П	П
	қабат/ағын	П	П	П	П	П
	теңіз	П	П	П	П	П

Ескерту:
П – ерітінді мөлдір күйінде қалады;
ПП – қабаттарға бөліну белгілерінің пайда болуы;
ОР – реагенттің жеке фаза түрінде бөлінуі;
ВО – тұнбаның түзілуі.

Зерттеу нәтижелері бойынша барлық сыналған КТ зерттелетін кен орнының теңіз, альбсеноман және ағынды суларымен толық үйлесімді екені анықталды. Реагенттерді сумен араластырғанда ерітінділердің лайлануы, қабаттарға бөлінуі, тұнба немесе гель түзілуі

байқалмады. Бұл нәтижелер зерттелген тежегіштердің минералды кәсіпшілік сулар жағдайында физикалық және реагент–су жүйесінде фазалық тұрақтылықты сақтайтынын көрсетеді. Тежегіштердің 10–90 г/л кең концентрация аралығында үйлесімділігін көрсетуі оларды әрі қарай коррозиялық тиімділік бойынша салыстырмалы зерттеуге мүмкіндік береді.

Айта кету керек, зертханалық сынақтар салыстырмалы және жеделдетілген сипатқа ие. Алынған нәтижелерді нақты кәсіпшілік жағдайларындағы жабдықтың қызмет ету мерзімімен тікелей байланыстыруға болмайды, өйткені жекелеген ұңғымалардағы штангалар конструкциясы мен пайдалану жағдайларына көптеген қосымша факторлар әсер етеді.

Зерттелетін коррозия тежегіштердің металды қорғау қабілеттілігін бағалау бойынша зертханалық зерттеулер бөлме температурасында, қышқыл газдар қосылмаған U-тәрізді ұяшықты қондырғыда гравиметриялық әдіспен жүргізілді. Нәтижелер 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3 – U-тәрізді ұяшықтағы коррозия тежегіштерінің метал бетін қорғауын зерттеу нәтижелері

Үлгі атауы	**Металл бетін қорғау дәрежесі, %**	
	30 мг/л	**40 мг/л**
№1	86	89
№2	84	89
№4	90	92
№5	88	91
№6	88	91
№7	85	86

Бірдей жағдайларда жүргізілген коррозия тежегіштерінің салыстырмалы зертханалық сынақтарының нәтижелері бойынша №1, №2 және №7 реагенттерінің коррозиядан қорғау дәрежесі 90 % төмен көрсетті, сондықтан олар әрі қарайғы қатаң сынақтарға жіберілмеді. №4, №5 және №6 үлгілері 90 % жоғары металл бетін қорғау тиімділігін көрсетіп, қатаңдатылған жағдайларда қосымша зерттеулер жүргізілді. Алынған нәтижелер ингибитор концентрациясының жоғарылауы жалпы алғанда қорғау деңгейінің артуына ықпал ететінін көрсетті. Ең жоғары бастапқы көрсеткіш №4 үлгісінде байқалып, оның тиімділігі 30 мг/л концентрацияда 90 % құраса, ал 40 мг/л мөлшерінде 92 % құрады. Бұл үлгінің салыстырмалы түрде төмен дозада жоғары қорғауды қамтамасыз ету мүмкіндігін көрсетеді.

Зерттеудің келесі кезеңінде коррозия тежегіштердің тиімділігі анағұрлым қатаң жағдайларда бағаланды. Мұнда ортаның температурасы 40 ºС, қысымы 0,4 МПа, CO_2 және H_2S қышқыл газдарының мөлшері сәйкесінше 160 мг/л және 50 мг/л құрайды. Сынақ ұзақтығы 24 сағатты құрады. Механикалық қоспалар мен мұнай өнімдерінің коррозия үдерісіне әсерін болдырмау мақсатында агрессивті орта ретінде зерттелетін кен орнының құрамына сәйкес дайындалған модельді су пайдаланылды.

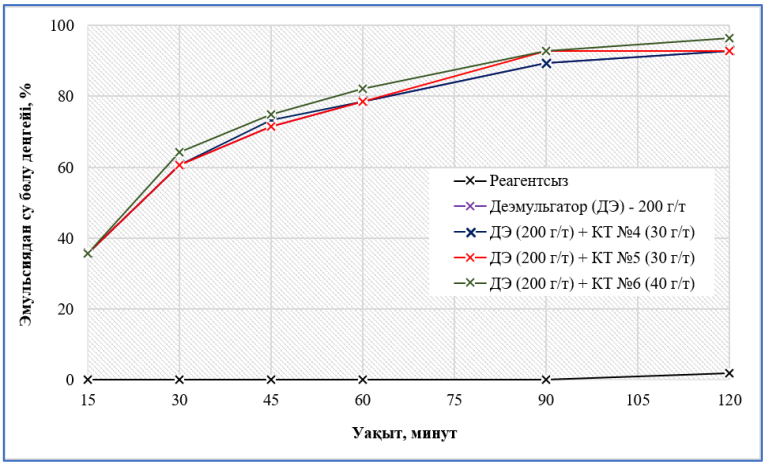
Кесте 4 – Коррозия тежегіштерінің тиімділігін бағалау зерттеу нәтижелері

Үлгі атауы	**Металл бетін қорғау дәрежесі, %**	
	30 мг/л	**40 мг/л**
№4	90	92
№5	90	92
№6	89	90

Қатаңдатылған жағдайларда жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша 90 % жоғарғы қорғау деңгейі №4 үлгісі үшін 30 мг/л меншікті шығын барысында, ал №5 және №6 үлгілері үшін 40 мг/л концентрацияда алынды. Барлық зерттелген реагенттер зерттелетін кен орнының жағдайларында коррозиядан жеткілікті жоғары қорғаныш әсерін көрсетті. Реагент

мөлшерін одан әрі жоғарлату экономикалық тиімсіз. Қатаң жағдайларға ауысқан кезде №4 үлгісінің қорғау дәрежесі 30 мг/л концентрацияда 90 % сақтап, 40 мг/л барысында 92 % дейін жоғарылады. Бұл оның қышқыл газдар мен жоғарғы температурада тұрақты қорғаныш әсерін қамтамасыз ету қабілетін көрсетеді. №5 үлгісі де ұқсас нәтижелер көрсетті, ал №6 үлгісінің тиімділігі 40 мг/л мөлшерде 90 % жетті. Осы нәтижелер бойынша №4 және №5 үлгілерін әрі қарай технологиялық тұрғыдан болашақ реагенттер ретінде қарастыруға болады.

Әртүрлі типтегі химиялық реагенттерді, соның ішінде коррозия тежегіштерін, «ұңғыма–мұнай дайындау» жүйесіне енгізу кезінде жинау, тасымалдау және мұнай дайындау технологиялық үдерістерінің бұзылу тәуекелдерін болдырмау үшін олардың базалық деэмульгатордың жұмысына әсерін бағалау қажет. Кәсіпшілікте қолданылатын әртүрлі мақсаттағы химиялық реагенттер базалық деэмульгатордың деэмульсациялау тиімділігін төмендетпеуі тиіс. Зерттелетін кен орнында мұнай дайындау үшін базалық деэмульгатор пайдаланылды. Зерттеудің осы кезеңіндегі негізгі міндеттердің бірі – коррозия тежегіштері қатысында 60 ºС температурада 2 сағат бойы жүргізілетін мұнай-су эмульсиясын термохимиялық деэмульсациялаудың стандартты әдісі бойынша деэмульгатор реагентінің деэмульгирлеу қабілетін анықтау болды. Зерттеулер «Bottle Test» әдісіне ұқсас түрде жүргізілді, айырмашылығы – дайындалған эмульсияға деэмульгатормен қатар белгілі бір концентрацияда таңдалған коррозия тежегіштері енгізілді. Химиялық реагенттердің үйлесімділігі зерттелетін кен орнының мұнай-су эмульсиясында бағаланды, оның құрамындағы байланысқан судың мөлшері 56 % құрады. Зерттеу нәтижелері 2-суретте келтірілген.



Сурет 2 – Зерттелетін кен орнының базалық деэмульгаторы қатысында зерттелген коррозия тежегіштерінің мұнайды деэмульсациялау үдерісіне әсерін зерттеу нәтижелері

Алынған нәтижелерден бастапқы мұнай-су эмульсиясына деэмульгатор мен таңдалған химиялық реагенттерді (КТ) бірге енгізу мұнайды дайындау, яғни сусыздандыру үдерісіне кері әсер етпейтінің көрсетті. Химиялық реагенттерді бірге қолданған кезде бөлінген су лайланбайды, фазалар арасында анық шекара қалыптасады. Аралық қабаттың түзілуі және пробирка қабырғаларына жабысу байқалмады. Осылайша, зерттелген химиялық реагенттердің (КТ) үлгілері базалық деэмульгатормен үйлесімді және оның деэмульсациялау қабілетін төмендетпейді.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулер негізінде коррозия тежегіштерінің физика-химиялық қасиеттері, зерттелетін кен орнының кәсіпшілік суларымен үйлесімділігі және көміртекті болатты коррозиядан қорғау тиімділігі кешенді түрде бағаланды.

Температурасы 40 ºС, қысымы 0,4 МПа және қышқылды газдардың қатысында қатаң жағдайларда №4 және №5 тежегіштері 40 мг/л мөлшерде 92 % металл бетін қорғау дәрежесін көрсетті. №4 үлгісі 30 мг/л концентрацияның өзінде 90 % тиімділікке қол жеткізді. №6 үлгісінің қорғау дәрежесі 30 мг/л және 40 мг/л концентрацияларда тиісінше 89 % және 90 % болды. Алынған нәтижелер №4 және №5 үлгілерінің зерттелген жағдайларда жоғары тежегіш

тиімділігін көрсететінін айғақтайды. Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері №4 және №5 коррозия тежегіштерінің зерттелетін кен орны жағдайларында әрі қарай тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтарға болашақ реагенттер ретінде қарастыруға болатындығын көрсетті.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. Popoola L.T., Grema A.S., Latinwo G.K., Gutti B., Balogun A.S. Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation. Int J Ind Chem. 2013. 4. 35. https://doi.org/10.1186/2228-5547-4-35

2. Mubarak G., Verma C., Barsoum I., Alfantazi A., Rhee K. Internal corrosion in oil and gas wells during casings and tubing: Challenges and opportunities of corrosion inhibitors. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2023. 150. 105027. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.105027

3. Askari M., Aliofkhazraei M., Jafari R., Hamghalam P., Hajizadeh A. Downhole corrosion inhibitors for oil and gas production – a review. Applied Surface Science Advances. 2021. 6. 100128. https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2021.100128

4. Solovyeva V.A., Almuhammadi K.H., Badeghaish W.O.. Current downhole corrosion control solutions and trends in the oil and gas industry: A Review. Materials (Basel). 2023. 16(5). 1795. doi: 10.3390/ma16051795

5. Хасанов Д.Х., Сихаев М.А. Применение коррозионностойких насосно-компрессорных труб на проблемных добывающих скважинах месторождения Узень//Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. –2020. –№4 (5). –С.: 63–69. https://doi.org/10.54859/kjogi95595

6. Puzikova D., Khussurova G., Leontyeva X. Review of organic corrosion inhibitors: application with respect to the main functional group. J. Saudi Chem. Soc. 2025. 29. 20. https://doi.org/10.1007/s44442-025-00021-1

7. Таженбаева У.Ж., Аяпбергенов Е.О., Елигбаева Г.Ж. Исследование химических реагентов для борьбы с коррозией в условиях месторождения Узень//Химический журнал Казахстана. – 2021. –№1(73). –С.: 185–195.

8. Биджиева С.Х., Нурсеитов Н.К., Калмуханова Т.Б., Утепов М.С. Повышение эффективности применения бактерицида при использовании морской воды в системе поддержания пластового давления//Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. –2023. –№4 (5). –С.: 48–59. DOI: https://doi.org/10.54859/kjogi108660

9. Nipaporn S., Korakot S. Corrosion inhibition by imidazoline and imidazoline derivatives: a review. Corrosion Reviews. 2023. 3(41). 237–262. https://doi.org/10.1515/corrrev-2022-0092

10. Jia S., Xiong L., Du S., Shen L., Yu Y., Li J., Wu Z. Thiophene-imidazoline derivatives with varying chain lengths modified by organic acids as corrosion inhibitors for carbon steel in the CO_2-saturated oilfield produced water. RSC Adv. 2025. 15(38). 31632–31650. https://doi.org/10.1039/d5ra04201a

11. Yotapan N., Sriplai N., Ruengsangtongkul S., Sombatmankhong K. Imidazoline as a volatile corrosion inhibitor for mitigation of top- and bottom-of-the-line CO_2 corrosion in carbon steel pipelines. Langmuir. 2024. 40(23). 11888–11902. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.3c03827

12. Rashid K.H., Khadom A.A., Guo L. The inhibition effect of 1, 3-diazole glyoxaline on corrosion of API 5L X52 pipeline steel in oilfield produced water under sweet corrosive conditions. Results in Chemistry. 2024. 7. 101528. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101528

13. Huang G., Chen W., Miao C. et al. A novel high-efficient imidazoline derivative corrosion inhibitor for carbon steel in CO_2-containing oilfield produced water: experimental and theoretical studies. BMC Chemistry. 2025. 19. 234. https://doi.org/10.1186/s13065-025-01457-7

14. Fan B., Zhu H., Li H., Tian H., Yang B. Penetration of imidazoline derivatives through deposited scale for inhibiting the under-deposit corrosion of pipeline steel. Corrosion Science. 2024. 235. 112209. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2024.112209

15. СТ РК 2586-2014. Ингибиторы коррозии для защиты нефтяного и нефтепромыслового оборудования. Технические условия. –Астана: Комитет технического регулирования и метрологии, 2014. –28 с.

16. ГОСТ 9.506-87. Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности. – М.: Издательство стандартов, 1988. –17 с.

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАНГИСТАУ

Тілегенова С., Акккенжеева А.Ш., Аяпбергенов Е.О., Туркменбаева М.Б.
Университет Есенова, Ақтау, Казахстан
e-mail: sayazhan.tilegenova@yu.edu.kz, anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz,
yerbolat.ayapbergenov@yu.edu.kz, maira.turkmenbayeva@yu.edu.kz

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного исследования эффективности ингибиторов коррозии в условиях месторождения Мангистау. Цель исследования заключалась в оценке физико-химических свойств ингибиторов коррозии, их совместимости с промысловыми водами и защитной способности металлической поверхности от коррозии. Исследования проводились в соответствии с требованиями СТ РК 2586-2014 и ГОСТ 9.506-87. В ходе работы определены физико-химические характеристики исследуемых ингибиторов. Проведена оценка совместимости реагентов с альбсеноманской, пластовой и морской водами исследуемого месторождения в диапазоне концентраций 10–90 г/л. Защитная эффективность ингибиторов коррозии исследована гравиметрическим методом в исходных и ужесточенных условиях. Дополнительно оценены технологическая совместимость ингибиторов коррозии с базовым деэмульгатором и их влияние на процесс деэмульсации нефти. В ужесточенных условиях, при температуре 40 ºС, давлении 0,4 МПа и в присутствии агрессивных кислых газов, образцы ингибиторов №4 и №5 при концентрации 40 мг/л обеспечили 92 % степень защиты металлической поверхности от коррозии. Образец №4 также показал эффективность на уровне 90 % при концентрации 30 мг/л. Совместное применение ингибиторов коррозии с базовым деэмульгатором не оказали отрицательного влияния на эффективность обезвоживания нефти. Полученные результаты позволяют рассматривать реагенты №4 и №5 в качестве перспективных ингибиторов коррозии для дальнейших опытно-промышленных испытаний в условиях месторождения Мангистау.

Ключевые слова: ингибитор коррозии; нефтяное месторождение; промысловая вода; степень защиты от коррозии; гравиметрический метод; совместимость; деэмульгатор.

COMPREHENSIVE STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF CORROSION INHIBITORS UNDER MANGYSTAU FIELD CONDITIONS

Tilegenova S., Akkenzheyeva Anar, Ayapbergenov E., Turkmenbayeva M.
Yessenov University, Aktau, Kazakhstan
e-mail: sayazhan.tilegenova@yu.edu.kz, anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz,
yerbolat.ayapbergenov@yu.edu.kz, maira.turkmenbayeva@yu.edu.kz

Abstract. This paper presents the results of a comprehensive study of the effectiveness of corrosion inhibitors under the conditions of the Mangystau field. The study aimed to evaluate the physicochemical properties of corrosion inhibitors, their compatibility with produced water, and their protective performance against corrosion of metal surfaces. The investigations were conducted in accordance with the requirements of ST RK 2586-2014 and GOST 9.506-87. The physicochemical

characteristics of the investigated corrosion inhibitors were determined. The compatibility of the reagents with Alb-Senomanian, formation, and seawater from the studied field was evaluated over a concentration range of 10–90 g/L. The protective effectiveness of the corrosion inhibitors was investigated using the gravimetric method under baseline and intensified conditions. In addition, the technological compatibility of the corrosion inhibitors with the base demulsifier and their effect on the crude oil demulsification process were evaluated. Under intensified conditions, at a temperature of 40 ºC, a pressure of 0.4 MPa, and in the presence of aggressive acid gases, inhibitor samples No. 4 and No. 5 provided a 92 % protection level of the metal surface against corrosion at a concentration of 40 mg/L. Sample No. 4 also demonstrated a protection efficiency of 90 % at a concentration of 30 mg/L. The combined use of the corrosion inhibitors with the base demulsifier did not adversely affect the efficiency of crude oil dehydration. The obtained results indicate that reagents No. 4 and No. 5 can be considered promising corrosion inhibitors for further pilot-scale and field trials under Mangystau field conditions.

Keywords: corrosion inhibitor; oil field; produced water; corrosion protection efficiency; gravimetric method; compatibility; demulsifier.