

Smanjivanje djelovanja korozije na čelike za naftne bušotine (N-80) pomoću željeznog glukonata i sintetičkog magnetita u simuliranom okolišu sumporovodika

M.K. Amosa, I.A. Mohammed, S.A. Yaro, A.O. Arinkoola i O.O. Ogunleye

ORIGINALNI ZNANSTVENI ČLANAK

Izabrani, ekološki prihvatljivi spojevi željeza (sintetički magnetit i željezni glukonat), ispitani su kao usporivači djelovanja korozije čelika za naftne bušotine (N-80) pri koncentraciji sulfida od 50 mg/l, pH vrijednosti od 5,5 do 11,5, u uvjetima visoke temperature i visokog tlaka, i to (HTHP) metodom gubitka težine. Temperature tijekom ispitivanja bile su 66 °C (150 °F), 135 °C (275 °F) i 177 °C (350 °F), uz tlak od 20,7 MPa (3 000 psi), 34,5 MPa (5 000 psi) i 41,4 MPa (6 000 psi). Otkriveno je da je kompleks željeza bolji usporivač korozije od sintetičkog magnetita. Dokazana je učinkovitost usporavanja (IE) do 99,2% uz primjenu udvostručene doze pročištača (tj. kada je omjer sulfida i pročištača bio 1:2), neovisno o drugim čimbenicima, kao što su pH, temperatura i tlak. Postignuta je optimalna učinkovitost usporavanja (IE) sintetičkog magnetita do 75,1% samo u slučaju kada je omjer sulfida i pročištača bio 1:4, pri najnižoj vrijednosti pH u eksperimentu (pH 5,5), što nije poželjno za bušaču isplaku. Povećanjem pH smanjuje se učinkovitost usporavanja magnetita i najniža je pri vrijednosti alkalnog pH od 11,5.

Cljučne riječi: smanjivanje djelovanja korozije, bušača isplaka, prihvatljivo za okoliš, željezni glukonat, čelik za naftne bušotine, sulfidi, sintetički magnetit

1. Uvod

Plin sumporovodik, H₂S, često se pojavljuje u prirodi, i to ispod zemljine površine, u područjima ispod kojih se ne odvija oksidacija minerala.¹³ Korozija bušačkih cijevi, tehničkih zaštitnih kolona i druge opreme je ozbiljan problem koji zahtijeva nadzor. Industrija je tijekom povijesti bila zainteresirana za funkcionalne metode reguliranja korozije za vrijeme bušenja. Često su te metode, iako učinkovite, bile razvijene kako bi zaštitile određene dijelove izložene opreme, te su ostale dijelove vjerojatno ostavile nezaštićenima. Takav je primjer bušača cijev prevučena plastikom kao unutarnjim zaštitnim slojem. Te prevlake su djelotvorne tamo gdje su propisno nanosene i ako ostaju povezane. Zaštitne plastične prevlake prekrivaju jednu od problematičnih točaka, no vanjska površina bušače cijevi i unutrašnja površina zaštitne cijevi ostaju izložene korozivnim kvarovima. Drugi primjeri specifične zaštite protiv korozije su zabrtvljeni dijelovi ležaja bušačega dlijeta i različite legure za zaštitnu cijev ili opremu za kontrolu tlaka. Specifična zaštita različitih dijelova je potrebna, no važna je i cjelokupna zaštita. Obrada isplake radi borbe protiv korozije pruža najbolji zajednički medij za cjelokupnu kontrolu.

Problemi povezani sa stvaranjem sumporovodika dobro su poznati: toksičnost, korozija, višak krutih tvari, problemi s emulzijom i površinskom opremom te, naravno, nužnost uklanjanja H₂S prije prodaje. Više milijuna dolara troši se svake godine na detekciju i ublažavanje gubitka težine i ostalih vrsta korozije na opremi industrije nafte i plina. Iako je dostupno mnoštvo

literature koja opisuje smanjivanje sadržaja sumporovodika u plinu i u sustavu isplake, čini se da većina tih tehnika i okružja nema širu primjenu pri radovima na naftnim poljima, osobito kada se u obzir uzme HSE (zdravlje, sigurnost i okoliš). Iako metode poput aeracije, bakterija, kemijskih pročištača metalnih soli, slojeva oksida i oksidatora koji se koriste u drugim industrijama kao što su geotermalna, industrija celuloze i papira i industrija otpadnih voda, imaju neku primjenu u proizvodnji nafte, čini se da je većina njih neprimjenjiva zbog cijene i kompatibilnosti.

U ovom radu predstaviti ćemo moguće rješenje problema, koje uključuje laboratorijsko testiranje pročištača te učinke kontrole korozije novoga pročištača H₂S za bušače radove, i to simulacijom stvarnih uvjeta rada bušačeg postrojenja. Radi boljšega razumijevanja problema, ukratko će biti razmotrene vrste mehanizama korozije prouzrokovane sumporovodikom. Ukratko će biti opisan i komercijalni pročištač H₂S.

2. Teorija

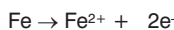
2.1 Korozija uzrokovana sumporovodikom

Budući da se pri korozivnim procesima javljaju elektrokemijske reakcije, važno je razmotriti na koji način sumporovodik sudjeluje u reakciji koja rezultira korozijom.

Korozija željeza u prisustvu sumporovodika i vode ovisi o raspadanju molekula sumporovodika. Željezo na anodi oksidira u željezovito stanje, a sumporovodik

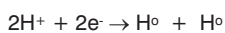
prolazi dvije faze disocijacije na katodi. Tung i suradnici predlažu sljedeću reakciju ravnoteže:

na anodi:

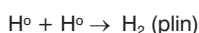


a na katodi se stvara vodik koji ulazi u čelik ili stvara vodik i nestaje u obliku mjehurića:

ako je prisutan H_2S :



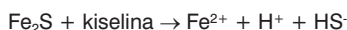
ako nema H_2S :



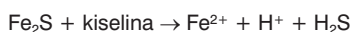
Vodik adsorbicijom ulazi u čelik uz granicu vode i čelika, a zatim se apsorbira u čelik kao vodik. Količina unosa vodika ovisi o brzini korozije površine čelika i o koncentraciji aniona poput HS^- , koji smanjuju tendenciju stvaranja vodika (prikazano u drugoj jednadžbi) i potiče vodik (H^0) da uđe u čelik.

Koncentracija kiseline, u pravilu povezane s pH, utječe na veličinu oštećenja korozijom.

Kada je $\text{pH} > 4$



Kada je $\text{pH} < 4$



To zatim dovodi do navodičenja čelika ili do razvoja vodika.¹³

2.2 Pročistači sumporovodika

Postoji nekoliko pročistača sumporovodika koji se koriste u industriji nafte. Koji je tip pročistača potrebno primijeniti na određenom polju ovisi i o pH te o obliku sumporovodika prisutnog u otopini. Ovisno o pH,

Tablica 1. Sastav zasićene isplake na bazi slane vode	
Komponente	Koncentracija
natrijev klorit	228,2 kg/m ³ (80 lb/bbl)
kalijev hidroksid (KOH)	0,3 kg/m ³ na pH 12 (1,5 lb/bbl na pH 12)
natrijev karbonat	0,3 kg/m ³ (0,11 lb/bbl)
API Bentonit	57,1 kg/m ³ (20 lb/bbl)
polianionski celulozni polimer	9,0 kg/m ³ (1,7 lb/bbl)
preželatinizirani kukuruzni škrob	5,7 kg/m ³ (2,0 lb/bbl)
krom lignosulfonat	11,4 kg/m ³ (4,0 lb/bbl)
otpjenjivač na bazi alkohola	5,7 kg/m ³ (2,0 lb/bbl)
natrijev bisulfat	3,4 kg/m ³ (1,2 lb/bbl)
API barit – barij sulfat relativne gustoće 4,2	42,8 kg/m ³ (15 lb/bbl)
ksantan guma	2,4 kg/m ³ (0,85 lb/bbl)

Tablica 2. Kemijski sastav uzorka čelika N80									
Element	Fe	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
Wt. %	97,237	0,44	1,74	0,019	0,014	0,24	0,12	0,02	0,20

sumporovodik može biti prisutan u jednom od triju oblika: molarni H_2S pri niskim pH vrijednostima, ionski sumporovodik (HS^-) i sulfid (S^{2-}) pri visokim pH vrijednostima. Svaka od ovih triju vrsta je stabilna duž određenih pH vrijednosti, a njihov odnos opisan je sljedećom jednadžbom:



Između uobičajenih pročistača koji se koriste u isplakama, najbolje usuglašen pročistač s HSE je magnetit, ali nedostatak mu je mala brzine reakcije u isplakama s visokim pH i brža reakcija u isplakama s malim vrijednostima pH. To nije poželjno za isplake, pa je uobičajeno da pH isplake ne smije biti ispod 9,5. Vrijednost pH održava se između 10 i 11,5, što služi kao prvo zaštitno sredstvo u slučaju da se H_2S nalazi na dnu bušotine.⁷ Komercijalni spojevi koji sadrže cink (ZCCs) pokazali su se učinkovitima, ali remete reologiju i tijekom odlaganja krhotina probušeni stijena izazivaju probleme u okolišu.¹² Izvještaji o spojevima koji sadrže klor, npr. natrijev hipoklorit (CCCs), i organske sastojke, npr. etilendiamintetra octenu kiselinu – EDTA, pokazuju da je njihova reakcija sa sumporovodikom prekompleksna da bi se mogla predvidjeti. Usto, ti reaktanti i produkti njihove reakcije nameću nerješive probleme koji se tiču zdravlja, sigurnosti i okoliša.¹¹

3. Eksperimentalni postupci

3.1. Materijali i instrumenti

Komercijalno dostupni željezni glukonat i magnetit primijenjeni su kao pročistači. Korištena isplaka na bazi vode je zasićena isplaka na bazi slane vode (sastav isplake prikazan je u tablici 1). Korištene su kuglice reagenata analarne gradacije (visoke kemijske čistoće) kalijevog hidroksida, HCl i natrijevog sulfida.

Korišteni su sljedeći instrumenti: pH metar, (model OMEGA PHH-3X), vaga za precizno vaganje (model GD-503) i autoklav korozije (model CORTEST 12.45). Čelik za naftne bušotine N-80, uzorci dimenzije 50 x 12 x 2 mm, čiji je sastav prikazan u tablici 2, korišteni su za ispitivanja korozije metodom gubitka težine.

3.2 Postupak

Pri određenim vrijednostima koncentracije sumporovodika, a zbog djelovanja sulfida i povećanja količine sulfida u isplaci, povećava se pucanje i elektrokemijska korozija bušačkih alata.^{13,4} Uzorak čelika za naftne bušotine (N-80) – specifikacija 50 x 12 x 2 mm – čiji je sastav prikazan u tablici 2, korišteni su u testovima korozije uz primjenu metode gubitka težine. Težina svakoga uzorka određena je prije testa gubitka težine. Test je proveden u malom, visokotemperaturnom autoklavu, otpornom na koroziju (CORTEST Model 12.45), koji je sadržavao isplaku sa 50 mg/l natrijevog sulfida.

U testu korištene pH vrijednosti iznosile su 5,5, 7,5, 9,5 i 11,5. Uzorak čelika za naftne bušotine (čelik N-80, dimenzija 50 x 12 x 2 mm) obrađen je prema API specifikacijama (API RP-13 B-1) i uronjen u isplaku.8 Testovi gubitka težine pri visokim temperaturama izvedeni su uz primjenu standardnoga korozivnog autoklava. Taj uređaj može primiti 12 boca od 226,796 g (12 boca po 8 unci) u okvir od ugljičnog čelika te se ocjenjuje pri 68,9 MPa (10 000 psi) te 200 °C (393 °F). Korozijski uzorci bili su obješeni na staklenim kukama u bocama od 226,796 g (8 unci), koje sadrže zasićenu isplaku na bazi prirodne slane vode. Boce su stavljene u okvir i spuštene u autoklav. Autoklav je zatvoren i zagrijavan na temperaturu ispitivanja od 12,22 °C/min (10 °F/min) dok temperatura nije dostigla željenih 66 °C (150 °F), 135 °C (275 °F) ili 177 °C (350 °F), odvojeno za svako stanje. Kada se temperatura stabilizirala, posuda je podvrgnuta tlaku od 20,7 MPa (3 000 psi) na 66 °C (150 °F), 34,5 MPa (5 000 psi) na 135 °C (275 °F) te 41,4 MPa (6 000 psi) za temperaturu od 177 °C (350 °F), a testni okvir je mućkan sa 60 okr/min. Testiranje je trajalo četiri sata pri svakoj temperaturi i tlaku, nakon čega je autoklav hlađen sa 14,44 °C/min (6 °F/min) do sobne temperature, nakon čega su uzorci izvađeni.

Učinjen je niz testova bez primjene pročištača koji bi služio kao kontrola.

U kontrolnim testovima, korišten je uzorak N-80 kako bi se izmjerila korozivnost ispitivane isplake koncentracije 50 mg/l sulfida pri različitim uvjetima temperature i tlaka, ali bez dodatnih pročištača. Kontrolni test proveden je za tri kategorije. Svaka je grupa testirana pri različitim vrijednostima pH: 5,5, 7,5, 9,5 i 11,5. Prva kategorija testirana je na 66 °C (150 °F) i 20,7 MPa (3 000 psi), druga na 135 °C (275 °F) i 34,5 MPa (5 000 psi), a treća na 177 °C (350 °F) i 41,4 MPa (6 000 psi). To je učinjeno kako bi se saznala razina korozivnosti isplake kontaminirane sulfidom bez dodavanja pročištača na različitim vrijednostima pH. Nakon toga dodana je ista količina pročištača (50 mg/l) kako bi se smanjile vrijednosti korozije dobivene u kontrolnim testovima.

Test smanjivanja djelovanja korozije nije ograničen na omjer 1:1 koncentracije pročištača i sulfida (tj. 50 mg/l pročištača prema 50 mg/l sulfida). Tijekom testova uspoređivanja djelovanja procesa korozije korišteni su i omjeri pročištača i sulfida u omjeru 2:1, 3:1 i 4:1.

Nakon četiri sata testiranja uzorci su uklonjeni iz autoklava te analizirani na sljedeće načine prema API specifikacijama. Uzorci su sastrugani čekinjastom četkom kako bi se odstranili produkti korozije, zatim su produkti korozije detaljno proučeni te ispitani u otopini arsenske kiseline.

Obavljen je test prisutnosti sumporovodika, a nakon toga su uzorci očišćeni u acetonu, osušeni te ponovo izvagani kako bi se dobila brzina korozije. Brzine korozije (mm/god.) izračunate su za svaki gubitak težine, a pritom je korišten odnos prikazan u navedenoj jednadžbi:³

$$CPR = \frac{87,6 W}{\rho A t}$$

pritom je:

CPR	= brzina prodiranja korozije (mm/god.)
W	= gubitak težine nakon testa (g)
ρ	= gustoća uzorka (g/cm ³)
t	= vrijeme izloženosti (sati)
A	= površina izloženosti (cm ²)

Na slici 1 prikazan je proces smanjivanja djelovanja korozije.

4. Rezultati i diskusija

4.1 Kontrolni testovi

Na slikama 2 i 3 prikazani su rezultati kontrole.

Slike 2 i 3 upućuju na to da brzina korozivnog procesa čelika za naftne bušotine ovisi o koncentraciji sulfida i pH vrijednosti medija. Također, temperatura utječe na brzinu korozivnog procesa. Najveća brzina bila je 0,518 mm/god. na 66 °C (150 °F), 1,452 mm/god. na 135 °C (275 °F) i 1,887 mm/god. na 177 °C (350 °F), sve uz najnižu pH vrijednost od 5,5. Uz najviše (alkalijske) vrijednosti pH od 11,5, najveća brzina korozivnog procesa bila je 0,101 mm/god. na 66 EC (150 °F), 0,282 mm/god. na 135 °C (275 °F) i 0,367 mm/god. na 177 °C (350 °F). Sve to može se vidjeti u kontrolnim testovima. Također, spomenuti testovi potvrđuju da je i rast temperature čimbenik koji uzrokuje povećanje brzine procesa korozije.

Vizualne opservacije korodiranih uzoraka, u slučaju kada nema usporivača, jasno pokazuju crne točke na površini. Na uzorcima su se stvorili crni produkti korozije, što upućuje na prisustvo sumporovodika. Kada su crni produkti korozije ispitani u otopini arsenatne kiseline, dobiven je svijetložuti talog, što potvrđuje da je produkt korozije željezni sulfid. Točkasta korozija javlja se u obliku dubokih i velikih točaka (pločice 1 i 2). Možemo reći da je točkasta korozija odgovorna za velike brzine korozije uzoraka u slučaju kada nije bilo usporivača.

Korozivnost čelika uzrokovana sumporovodikom u velikoj mjeri zavisi od pH medija. Uobičajeno je da u slučaju niske vrijednosti pH brzina procesa raste brže, što se vidi iz kontrolnog testa. Garrett i suradnici⁵ objavili su da u mediju s niskim pH sumporovodik postoji u molekularnoj formi (H₂S). Prema tome, i koncentracija sumporovodika u plinskoj fazi povisuje i ubrzava brzinu procesa korozije. Međutim, pri visokim vrijednostima pH, gubitak težine zbog korozije bio je nizak u usporedbi s gubitkom težine pri niskim vrijednostima pH. Niža vrijednost pH, veća kiselost medija, povećava brzine korozije, a veća vrijednost pH, u koje je alkaličnost medija veća, smanjuje koroziju.

Učinkovitost željeznog glukonata smanjuje brzinu procesa korozije dobivenu kontrolnim testovima, što se može vidjeti na slici 3. Na slikama je prikazano ispitivanje pri kojem je odnos količine sulfida i pročištača bio 1:1. To znači da je na slici 3, gdje je kao korozivni medij korištena koncentracija sulfida od 50 mg/l, korišteno 50 mg/l željeznog glukonata za čišćenje sulfida i uspoređivanje brzine korozije. Na slici se vidi da je na 66 °C (150 °F) i uz vrijednost pH od 5,5, brzina korozije smanjena sa 0,518 mm/god. na 0,156 mm/god. pomoću željeznog glukonata, dok je magnetit (sl. 2)

smanjio brzinu korozije na samo 0,304 mm/god. Uz alkalni pH od 11,5 na istoj temperaturi (66 °C - 150 °F), željezni glukonat (sl. 3) je smanjio brzinu korozije od 0,101 mm/god. na 0,011 mm/god., ali je magnetit (sl. 2) uspio smanjiti brzinu korozije na samo 0,080 mm/god. Iz slika 2 i 3 možemo zapaziti da je željezni glukonat, uz različite uvjete pH i temperature, mogao znatno ublažiti koroziju čelika za naftne bušotine jer su brzine korozivnih procesa bile znatno smanjene.

4.2 Testovi usporavanja procesa korozije

Na slikama 4-6 prikazani su rezultati ispitivanja učinkovitosti usporavanja procesa korozije za dva pročištača.

Na slikama 4-6 uspoređena su djelovanja dvaju pročištača pri različitim uvjetima temperature i tlaka. Uvjeti ispitivanja bili su sljedeći: 66 °C (150 °F) i 20,7 MPa (3 000 psi), 135 °C (275 °F) i 34,5 MPa (5 000 psi), 177 °C (350 °F) i 41,4 MPa (6 000 psi), uz različite vrijednosti pH i koncentracije pročištača. Ispitivanja su provedena na obama pročištačima kako bi se usporedila njihova učinkovitost na usporavanje procesa korozije.

Slike pokazuju da učinci usporavanja korozije ovise o koncentraciji pročištača i pH (ili korozivnosti) medija. Za medij čija je koncentracija sulfida 50 mg/l, učinkovitost usporavanja željeznog glukonata dosegla je najmanje 70% uz kiseli pH od 5,5 a učinkovitost uz alkalni pH od 11,5 dosegla je najmanje 89%. Usporavanje djelovanja doseglo je gotovo 100% kada je udvostručena doza, tj. kada je odnos koncentracije usporivača prema sulfidu bio 2:1, i to pri svim uvjetima pH, što se može vidjeti na slikama. To potvrđuje rast učinkovitosti s porastom koncentracije pH i koncentracije pročištača. Isto tako, učinkovitost željeznog glukonata kao usporivača je malo porasla dizanjem temperature i tlaka, sa 135 °C (275 °F) na 177 °C (350 °F) i (34,5 MPa (5 000 psi) na 41,4 MPa/6 000 psi).

Unakrsnim ispitivanjem mikrografova uzoraka nakon podvrgavanja testovima korozije u prisutnosti željeznog glukonata, otkriveno je da su sa uzoraka nestale ljuske crnoga željeznog sulfida, točkasta korozija bila je znatno smanjena, a znatno je povećan gubitak težine uzoraka (pločice 5, 6, 7 i 8).

U slučaju primjene magnetita, djelovanje pročištača bilo je bolje uz niže pH vrijednosti, tj. što je pH medija niži, veća je učinkovitost usporavanja pročištača (vidi pločice 3 i 4). Na slikama je vidljivo da se najbolje djelovanje pročištača javlja uz najnižu pH vrijednost od 5,5. Primjerice, učinkovitost od 69% postignuta je uz pH od 5,5, a samo 38,5% pri alkalnom pH od 11,5, i to samo kada je primijenjen odnos koncentracije pročištača prema koncentraciji sulfida u omjeru 4:1. Iz slika se može vidjeti da povišena temperatura i tlak pomažu pri povećanju brzine reakcije pročištača sa sulfidom.

Na temperaturi od 135 °C (275 °F) i uz tlak od 5 000 psi magnetit postiže učinkovitost od 74,1% uz pH 5,5 a samo 45% uz alkalni pH od 11,5, također pri odnosu koncentracije pročištača prema sulfidu od 4:1. Uz temperaturu od 177 °C (350 °F) i tlak od 41,4 MPa (6 000 psi) i kiseli pH od 5,5, učinkovitost je 75,1%, a samo 47,2% uz alkalni pH od 11,5, i to samo kada je

primijenjen odnos koncentracije pročištača i koncentracije sulfida od 4:1.

Iz literature je poznato da se reakcija magnetita sa sulfidom ubrzava na nižim pH vrijednostima,¹² ali to nije poželjno svojstvo za pročištače sulfida. Nadalje, povećanje pH smanjuje učinkovitost magnetita kao usporivača, što je suprotno onome što je zapaženo u slučaju željeznog glukonata. Prije spomenute, visoke učinkovitosti primijećene su samo u slučaju kada je odnos koncentracije magnetita prema koncentraciji sulfida bio 4:1, za razliku od slučaja željeznog glukonata, čija je učinkovitost dosegla gotovo 100% u slučaju kada je primijenjen odnos koncentracije pročištača i koncentracije sulfida od 2:1. Postoji indikacija da se rast učinkovitosti održava onoliko koliko se povećava količina magnetita. Obično to nije poželjno jer, prema Alvinu i Rayu i suradnicima¹², magnetit se u isplaci može zamijeniti baritom, a to povećava težinu isplake. Dodavanje većih količina magnetita može poremetiti reologiju tijekom podizanja nafte na površinu i suspenziju isplake prilikom čišćenja kanala bušotine, što postaje problem. Na temelju analiza mikrografa korodiranih uzoraka u koje je dodan magnetit, produkti korozije su se još stvarali na uzorku s rupicama ispod naslaga, a to je jasno upućivalo na neuspjeh učinkovite kontrole korozije. Gubitak težine i brzine korozije i dalje su bili veliki. Na pločicama 3 i 4 mogu se opaziti znatni učinci točkaste korozije kada je korišten magnetit, čak i uz odnos koncentracija magnetita prema sulfidu od 4:1.

Budući da je učinkovitost usporavanja za magnetit bila niža uz alkalni pH u usporedbi s rezultatima kiselih pH, to pokazuje da magnetit nije pogodan pročištač u slučaju kada se koriste isplake s visokim pH. Postoji standard u tehnologiji bušačkih fluida da isplaka ne smije imati pH niži od 9,5, kako bi mogla smanjiti korozija,⁸ a isplake obično imaju vrijednosti pH¹⁰ između 10 i 11. Bez obzira na slučaj, drastičan pad pH na manje od 5 rijetko se javlja kod bušačkih fluida.⁵

5. Zaključci i preporuke

5.1 Zaključci

Iz rezultata ovih istraživanja može se zaključiti sljedeće:

1. Ispitivana brzina korozije čelika N-80 u isplaci kontaminiranoj s H₂S je vrlo velika i može dosegnuti 2,5 mm/god. (100 tisućina inča/god.).
2. Brzina korozije ovisi o koncentraciji sumporovodika, pH medija i temperature okoline.
3. Željezni glukonat može smanjiti koroziju bušaće kolone i isplachnog voda. Njegova učinkovitost usporavanja doseže gotovo 100% kada mu se količina udvostruči i na taj način spriječi točkasta korozija bušaće kolone, vodikova krhkost i sulfidno pucanje zbog naprezanja. Magnetit ima najveću učinkovitost usporavanja (oko 70%) pri najnižem pH, kada odnos magnetita prema sulfidu iznosi 4:1.
4. Željezni glukonat je u prednosti jer je dostupniji i jeftiniji od sintetičnog magnetita.

5.2 Preporuke

Na osnovu provedenih istraživanja, analiza i zaključaka ovog rada, može se preporučiti sljedeće:

1. Navedene informacije trebaju se primijeniti na stvarnim ispitivanjima smanjivanja djelovanja korozije bušaćeg postrojenja.
2. Trebalo bi se provesti više istraživanja na postojećim organskim proizvodima kako bi se odredile njihove stvarne mogućnosti usporavanja djelovanja korozije pod stvarnim uvjetima bušenja kanala bušotine.
3. Treba razmotriti optimizaciju procesa usporavanja djelovanja korozije željeznim glukonatom.

Zahvala

Autori zahvaljuju menadžmentu kompanije MI SWACO, Port-Harcourt u Nigeriji na potpori i pristupu njihovu laboratoriju, što je omogućilo provedbu ove studije. Također, zahvaljujemo menadžmentu Odjela za kemijsko inženjerstvo, Univerziteta Ahmadu Bello, Zaria u Nigeriji, na njihovim oštromnim primjedbama.



Autori:

M.K. Amosa, Department of Chemical Engineering, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria. E-mail: dhakisalafi@live.com; Tel.: +2348052041750, +2348033981797

I.A. Mohammed, Department of Chemical Engineering, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.

S.A. Yaro, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.

A.O. Arinkoola, Department of Chemical Engineering, Ladoko Akintola University of Technology, Ogbomoso, Nigeria.

O.O. Ogunleye, Department of Chemical Engineering, Ladoko Akintola University of Technology, Ogbomoso, Nigeria.

UDK : 622.276/.279 : 622.24.063 : 620.193 : 669.1 : 661.225 : 504

622.276/.279 pridobivanje nafte i plin
622.24.063 rudarstvo, bušotine, fluidi, isplake
620.193 korozija
669.1 čelik
661.225 sulfidi
504 ekologija, zaštita okoliša