



TEGning DEGRADATSIYASI, IFLOSLANISHI VA DIAGNOSTIKASI

Xamrokulova Gulnoza Odiljon qizi
Iqtisodiyot va pedagogika universiteti

Annotatsiya. Maqolada tabiiy gazni absorbsion quritish qurilmalarida aylanadigan trietilenglikolning (TEG) termik va oksidlanish degradatsiyasi, texnologik ifloslanishi hamda holatini diagnostika qilishning ilmiy-uslubiy asoslari tizimlashtirilgan. Harorat, kislorod kirishi, issiq yuzalardagi lokal qizish va uzoq turish vaqti ta'sirida TEG tarkibida chumoli, sirka va glikol kislotalari, aldegidlar, mono- va dietilenglikol hamda yuqori molekulyar mahsulotlar hosil bo'lishi ko'rsatilgan. Xom gazdan keladigan mineral tuzlar, korroziya mahsulotlari, qum, kondensat, kompressor moyi va sirt-faol texnologik reagentlar alohida ifloslantiruvchi sinflar sifatida baholangan. Reprezentativ namuna olish, Karl Fisher usulida suv, kislotalilik/pH, xlorid, temir, qattiq qoldiq, glikol tarkibi, uglevodorodlar va ko'pik barqarorligini birgalikda tahlil qilishga asoslangan ko'p mezonli diagnostika algoritmi taklif etilgan. Nazorat chegaralarini universal sonlar bilan emas, toza TEG va barqaror ish rejimida shakllantirilgan bazaviy median hamda median absolyut og'ish orqali belgilash tavsiya qilingan. Namoyishiy ma'lumotlarda TEG holat indeksi ifloslanish kuchayishini gaz namligi spetsifikatsiyasi buzilishidan oldin aniqlashga xizmat qilishi ko'rsatilgan. Natijalar sanoat namunalari bilan validatsiya qilinishi lozim bo'lgan metodik yechim sifatida taqdim etiladi.

Kalit so'zlar: trietilenglikol, TEG, termik degradatsiya, oksidlanish, ifloslanish, diagnostika, Karl Fisher, ion xromatografiyasi, korroziya, ko'piklanish, tabiiy gazni quritish.



KIRISH

Trietilenglikol suvga yuqori moyilligi, nisbatan past uchuvchanligi va qayta regeneratsiya qilinishi sababli tabiiy gazni quritishning eng keng tarqalgan suyuq absorbentlaridan biridir. Biroq sanoat konturida u ideal yopiq aylanma modda emas: absorberda xom gaz bilan, flesh-idishda ajraluvchi uglevodorodlar bilan, filtrlarda qattiq faza bilan, reboilerda esa yuqori harorat va gaz fazasi bilan doimiy kontakt qiladi. Shu sababli TEGning kimyoviy tarkibi, suv yutish qobiliyati, qovushoqligi, sirt xossalari va korroziy faolligi vaqt bo'yicha o'zgaradi [1–3].

Degradatsiya — TEG molekulalarining kimyoviy o'zgarishi; ifloslanish esa tashqi oqimlardan kelgan yoki korroziya natijasida hosil bo'lgan begona komponentlarning to'planishidir. Amaliyotda bu ikki jarayon bir-birini kuchaytiradi. Masalan, kislorod ta'sirida hosil bo'lgan organik kislotalar korroziyani tezlashtiradi, eritmaga tushgan temir ionlari esa oksidlanish reaksiyalarida katalitik rol o'ynashi mumkin. Tuz va mayda zarrachalar issiqlik almashinuvi yuzalarida qatlam hosil qilib, lokal haroratni oshiradi; sirt-faol aralashmalar ko'pikni barqarorlashtirib, glikolning gaz bilan olib ketilishini kuchaytiradi [1, 3].

TEG sifati yomonlashganda dastlabki belgi har doim ham quritilgan gaz namligining darhol ortishi bo'lmaydi. Absorber differensial bosimi, filtr bosimlar farqi, reboiler issiqlik sarfi, ko'piklanish, glikol rangining qorayishi, flesh-idishdagi fazalar ajralishining sekinlashishi yoki tizimga qo'shimcha TEG berish chastotasi avvalroq o'zgarishi mumkin. Demak, diagnostika mahsulot sifati, texnologik parametrlar va laboratoriya markerlarini yagona trendda birlashtirishi kerak.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Høisæter va hammualliflarning 2024-yildagi laboratoriya tadqiqotida TEG oksidlanishi harorat hamda kislorod miqdori oshishi bilan tezlashishi, dominant aniqlangan mahsulotlar qatorida chumoli kislotalari, MEG va DEG bo'lishi ko'rsatilgan; sirka va glikol kislotalari, aldegidlar, suv, karbonat angidrid va yirik poliglikollar ham qayd etilgan [1]. Shu mualliflarning analitik usullar bo'yicha ishida kislota mahsulotlari uchun ion xromatografiyasi, umumiy kislotalilik uchun titrlash



va tarkibiy identifikatsiya uchun xromatografik usullarni uyg'unlashtirish zarurligi asoslangan [2].

Liang va hammualliflar TEG ko'piklanishiga suvda eruvchan tuzlar, mayda qattiq zarrachalar va sirt-faol kimyoviy qo'shimchalar sezilarli ta'sir ko'rsatishini tajribada ko'rsatgan [3]. TEG quritish jarayoni bo'yicha sharhlar va modellashtirish ishlari esa regeneratsiya tozaligi, sirkulyatsiya sarfi, kontakt harorati va apparat gidravlikasi bir-biriga bog'liq ekanini tasdiqlaydi [12–16]. ASTM usullari suv, kislotalilik, glikol aralashmalari, aldegid va xloridni standartlashtirilgan usulda aniqlash uchun metodik tayanch beradi [4–10].

TADQIQOT MAQSADI, OBYEKTI VA YANGILIGI

Maqolaning maqsadi aylanma TEGning degradatsiyasi va ifloslanishini ajratib diagnostika qilish, ularning o'zaro ta'sirini tushuntirish va korxona laboratoriyasi uchun bosqichma-bosqich nazorat dasturini ishlab chiqishdir. Tadqiqot obyekti — absorber, flesh-idish, filtrlash va regeneratsiya konturida aylanadigan lean va rich TEG. Predmet — kimyoviy degradatsiya mahsulotlari, tashqi ifloslantiruvchilar, jarayon simptomlari hamda ularni aniqlash metodlari.

1-jadval. Tadqiqot muammosi va metodik yechim

Element	Mazmuni	Amaliy natija
Muammo	Degradatsiya va tashqi ifloslanish markerlarining aralash talqini	Noto'g'ri reagent yoki samarasiz filtrlash xavfini kamaytirish
Yondashuv	Namuna–laboratoriya–jarayon trendini birlashtirish	Ildiz sababga asoslangan qaror
Yangilik	Robust bazaviy profil va ko'p mezonli TEG holat indeksi	Ertta ogohlantirish va taqqoslanadigan monitoring
Chegara	Namoyishiy indeks sanoat validatsiyasini almashtirmaydi	Korxona sharoitida moslashtirish talabi



TEG DEGRADATSIYASINING FIZIK-KIMYOVIY MEXANIZMLARI

Termik degradatsiya TEGning yuqori haroratda uzoq turishi yoki reboiler devori yaqinidagi lokal qizish natijasida sodir bo'ladi. Bulk suyuqlik harorati boshqarilgan bo'lsa ham, issiqlik uzatish yuzasidagi koks, tuz yoki korroziya qatlami metall-suyuqlik chegarasida ancha yuqori harorat hosil qilishi mumkin. Molekulaning efir va uglerod-uglerod bog'lari bo'yicha parchalanishi past molekulyar glikollar, uchuvchan karbonil birikmalar va suv hosil bo'lishi bilan kechadi; parallel kondensatsiya reaksiyalari esa tetra- va undan yuqori poliglikollar ulushini oshirishi mumkin [1, 3].

Oksidlanish degradatsiyasi tizimga havo kirishi, vakuum/stripping gazidagi kislorod, ta'mirlashdan keyingi yetarli inertlashtirmaslik yoki ochiq saqlash idishlari bilan bog'liq. Høisæter va hammualliflar TEGning oksidlanishi 70 °C dan yuqorida sezilarli kuchayishini va mexanizm harorat hamda kislorod konsentratsiyasiga qarab o'zgarishini qayd etgan [1]. Jarayon zanjirli radikal reaksiyalar bilan tushuntiriladi: gidroperoksidlar va karbonil oraliq mahsulotlar organik kislotalarga aylanadi. Chumoli, sirka va glikol kislotalari umumiy kislotalilikni oshiradi; formaldegid va atsetaldegid esa karbonil markerlari sifatida qaraladi.

Kislotalanish TEGni bevosita 'sarflab yuborish' bilan cheklanmaydi. pH yoki shartli pHning pasayishi uglerodli po'lat korroziyasini tezlashtirib, eritmadagi temir va qattiq korroziya mahsulotlarini ko'paytiradi. Temir ionlari oksidlanish reaksiyalarini katalizlashi mumkinligi sababli degradatsiya-korroziya musbat teskari aloqa halqasi hosil bo'ladi. Bunda faqat neytrallovchi reagent kiritish kislota manbasini bartaraf etmaydi va ortiqcha tuz yuklamasini keltirib chiqarishi mumkin.

Termik va oksidlanish yo'llarini ajratish uchun yagona marker yetarli emas. Reboiler temperaturasi va issiq yuza holati bilan birga TEG tarkibidagi MEG/DEG va og'ir poliglikollar, kislotalar, aldegidlar, rang/UV yutilishi, suv va metall konsentratsiyalari tahlil qilinadi. Masalan, kislotalilik va formiatning oshishi oksidlanish ehtimolini kuchaytiradi; og'ir poliglikollar va qovushoqlik o'sishi esa



uzoq termik ta'sir yoki kondensatsiya mahsulotlariga ishora qilishi mumkin. Biroq tarkibiy xulosa GC, IC, FTIR yoki GC–MS bilan tasdiqlanishi lozim [2, 6–9].

2-jadval. TEG degradatsiyasi mexanizmlari va diagnostik belgilar

Mexanizm	Asosiy sharoit	Kutiladigan marker	Texnologik oqibat
Termik parchalanish	Lokal qizish, yuqori harorat, uzoq turish	MEG/DEG, uchuvchan karbonillar, rang o'zgarishi	Absorbent yo'qotilishi, hid, issiqlik yukining ortishi
Oksidlanish	Kislorod kirishi + harorat	Formiat, atsetat, glikolat, aldegid, CO ₂	Kislotalanish va korroziya
Kondensatsiya /polimerlanish	Uzoq termik tarix, katalitik aralashmalar	Og'ir poliglikollar, qovushoqlik va qoldiqning ortishi	Massa uzatish va filtrlanishning yomonlashuvi
Katalitik tezlashish	Fe/Cu ionlari, tuzlar va issiq sirt	Metallar + kislotalar bir vaqtda ortadi	Degradatsiya–korroziya teskari aloqasi

DEGRADATSIYA KINETIKASINI TALQIN QILISH

Degradatsiya tezligini soddalashtirilgan Arrenius ifodasi bilan ko'rsatish mumkin: $k = A \cdot \exp(-E_a/RT)$. Formula haroratning kichik ortishi tezlik konstantasini nolinear oshirishini tushuntiradi, lekin real TEG konturida kislorod massauzatishi, suv miqdori, katalitik metallar va turish vaqti ham ta'sir qiladi. Shu sababli laboratoriya 'tezashtirilgan qaritish' natijasini sanoatga bevosita vaqt shkalasi bilan ko'chirish mumkin emas; u materiallar va ish rejimlarini qiyoslash uchun xizmat qiladi.

TEGNING TEXNOLOGIK IFLOSLANISHI

Tashqi ifloslanishning birlamchi manbai absorberga kirayotgan gazdir. Kirish separatori yoki koaleser samarasi yetarli bo'lmasa, mineralizatsiyalangan qatlam suvi, qum, zang, temir sulfidi, kondensat va kompressor moyi TEGga o'tadi.



Amine qurilmasidan carry-over bo'lsa, MDEA yoki unga qo'shilgan korroziya ingibitorlari ham glikol konturiga kirishi mumkin. Quduqni ishlov berish kimyoviyolari, metanol va sirt-faol moddalar epizodik, ammo kuchli ta'sirli ifloslantiruvchilardir [3, 13].

Suvda eruvchan tuzlar regeneratsiyada suv bug'langani sari TEGda to'planadi. Xlorid va boshqa ionlar elektr o'tkazuvchanlikni oshirishi, korroziyani tezlashtirishi, reboiler yuzasida cho'kma hosil qilishi va qattiq kristallar orqali ko'pik plyonkasini barqarorlashtirishi mumkin. Mexanik filtr erigan tuzni ushlamaydi; shu bois xlorid yoki umumiy ion yuklamasi oshganda faqat filtr elementini almashtirish muammoni hal qilmaydi. Ildiz sabab odatda xom gazdan suyuqlik carry-overi, issiqlik yuzasida bug'lanish orqali konsentratsiyalanish yoki iflos TEGni nazoratsiz qo'shish bilan bog'liq bo'ladi.

Uglevodorod kondensati va moy TEGning sirt tarangligini, fazalar ajralishini va aktiv ko'mir filtrining yuklanishini o'zgartiradi. Aromatik komponentlar TEGda erib, regenerator gaziga o'tishi mumkin; bu glikol sifati bilan birga emissiya va sanoat xavfsizligi masalasidir [15, 18]. Rangning qorayishi uglevodorod, oksidlanish mahsuloti, temir sulfidi yoki ularning aralashmasidan kelishi mumkin. Demak, rang ko'rsatkich sifatida foydali, ammo sababni mustaqil aniqlovchi test emas.

Kimyoviy qo'shimchalar alohida e'tibor talab qiladi. Antifoamning vazifasi mavjud ko'pikni buzish bo'lsa-da, noto'g'ri tur yoki ortiqcha doza sirt faol aralashmalar balansini o'zgartirishi, ko'mir filtrini tez to'yintirishi va keyingi laboratoriya testlarini chalkashtirishi mumkin. Shuning uchun qo'shimcha faqat moslik sinovi, nazoratli doza va ko'pik testidan keyin qo'llanadi; u qattiq zarracha, tuz, uglevodorod carry-overi yoki oksidlanish manbasini yashirish vositasi bo'lmasligi kerak [3].



3-jadval. TEG ifloslantiruvchilarining manba–belgi–chora xaritasi

Ifloslantiruvchi sinf	Manba	Birlamchi diagnostik belgi	Asosiy chora
Erigan tuzlar	Qatlam suvi, amine yoki yuvish suvi carry-overi	Xlorid/anion, o'tkazuvchanlik, kul qoldig'i	Suyuqlik ajratishni yaxshilash; reclaimer/bleed
Qattiq zarracha	Qum, zang, FeS, cho'kma, filtr bypassi	Filtr qoldig'i, Fe, turbidity, ΔP	Separator va mexanik filtr; korroziya manbasi
Uglevodorod/moy	Kondensat, kompressor moyi, og'ir uglevodorod	GC, ekstrakt, faza ajralishi, hid	Flesh, koaleser, aktiv ko'mir
Texnologik reagent	MDEA, ingibitor, metanol, antifoam	GC/LC yoki FTIR "imzo", ko'pik va sirt tarangligi	Manba nazorati va moslik sinovi
Degradatsiya mahsuloti	TEGning termik/oksidlanish o'zgarishi	Organik kislota, aldegid, MEG/DEG, rang	O ₂ va harorat manbasini bartaraf etish
Ortiqcha suv	Regeneratsiya yetishmasligi, sizib kirish	Karl Fisher, zichlik/refraktiv indeks	Reboiler/stripping va issiqlik balansini tekshirish

LABORATORIYA DIAGNOSTIKASI: RUTIN VA TASDIQLOVCHI USULLAR

Rutin dastur tez, takrorlanuvchan va trendga yaroqli testlardan boshlanadi. Karl Fisher titrlashi lean TEGdagi suvni bevosita aniqlaydi; zichlik yoki refraktiv indeks esa tezkor skrining bo'lishi mumkin, ammo uglevodorod, tuz va og'ir glikollar mavjudligida selektiv emas [4, 5]. Kislotalilikni suvli pH bilan almashtirib



bo'lmaydi: konsentrlangan glikol past suv faolligiga ega matritsa bo'lgani sababli o'lchangan qiymat 'shartli pH' sifatida metod, suyultirish va elektrod bilan birga qayd etilishi kerak. Miqdoriy kislota yuklamasi uchun suvsiz muhitdagi potensiyometrik titrlash afzal [7].

Ion xromatografiyasi formiat, atsetat, glikolat va xlorid kabi anionlarni ajratadi; bu oksidlanish mahsulotini mineral carry-overdan farqlashga yordam beradi [2, 9]. GC yoki GC-MS TEG, MEG, DEG, og'ir glikollar va ekstraksiya/namuna tayyorlashga qarab uglevodorodlarni aniqlaydi [6]. Aldegidlar spektrofotometrik derivatizatsiya yoki xromatografik usul bilan aniqlanishi mumkin [8]. ICP-OES/ICP-MS yoki AAS temir, mis va boshqa metallarning erigan hamda umumiy miqdorini beradi; natija filtrlashdan oldin yoki keyin olinganiga qarab talqin qilinadi.

Qattiq modda uchun ma'lum g'ovakli filtr orqali gravimetrik tahlil, mikroskopiya va zaruratda SEM-EDS qo'llanadi. Filtr qoldig'ida Fe-S ustunligi sour-gaz korroziya mahsulotiga, Ca/Mg/Cl yoki silikatlar esa qatlam suvi va qum carry-overiga ishora qilishi mumkin. FTIR yangi organik funksional guruhlarini tez qiyoslash uchun qulay, biroq TEG va suvning keng yutilish polosalari sababli past konsentratsiyali komponentlarni mustaqil miqdoriy aniqlashda cheklangan. UV-Vis/rang o'zgarishni sezgir qayd etadi, ammo sababga nisbatan nospetsifik [2, 8, 10].

5-jadval. TEG diagnostikasining analitik usullari

Ko'rsatkich	Usul	Diagnostik ma'no	Cheklov/QA talabi
Suv	Karl Fisher: ASTM E203/E1064	Regeneratsiya tozaligi va suv yuklamasi	Germetik namuna; reaktiv blank va standart
Kislotalilik	ASTM E2679 suvsiz muhitdagi titrlash; shartli pH	Organik kislota yuklamasi, korroziya xavfi	pH usuli va suyultirish doimiy bo'lsin



Ko'rsatkich	Usul	Diagnostic ma'no	Cheklov/QA talabi
Glikol/uglev odorod	GC-FID yoki GC-MS; ASTM E2409 yo'nalishi	MEG/DEG, og'ir glikol, kondensat va moy	Kalibratsiya va matritsa effekti
Anionlar	Ion xromatografiyasi; ASTM E2469	Formiat/atsetat/glikolat va xloridni ajratish	Suyultirish, kolonna va ion balansini tekshirish
Aldegid/kar bonil	ASTM E2313 yoki HPLC/GC	Oksidlanishning erta markeri	Uchuvchanlik va namuna saqlash
Metallar	ICP-OES/ICP-MS/AAS; Fe fotometriyasi	Korroziya va katalitik metall yuklamasi	Erigan va umumiy metalni farqlash
Qattiq modda	Filtr-gravimetriya, mikroskopiya, SEM-EDS	Filtr yuklanishi, FeS/zang/tuz/qum	Filtr g'ovagi va namuna hajmi qayd etilsin
Ko'pik/sirt xossasi	Standartlashtirilgan aeratsiya, balandlik va so'nish vaqti	Sirt-faol aralashma va mayda zarracha ta'siri	Harorat, gaz sarfi va geometriya qat'iy bir xil

SIFATNI TA'MINLASH

Har bir seriyada blank, nazorat namunasi, kamida bitta dublikat va zarur hollarda matritsaga qo'shilgan standart bo'lishi kerak. Natija faqat aniqlash chegarasi bilan emas, qaytaruvchanlik, tiklanish foizi va kalibratsiya barqarorligi bilan birga qabul qilinadi. Laboratoriyalararo taqqoslash va 'toza TEG + ma'lum ifloslantiruvchi' nazorat materiallari trendning uzoq muddatli izchilligini oshiradi.



JARAYON PARAMETRLARI BO'YICHA DIAGNOSTIKA

Laboratoriya natijasi jarayon kontekstisiz noto'g'ri talqin qilinishi mumkin. Chiqish gaz namligining ortishi faqat TEG degradatsiyasidan emas, lean TEG haroratining yuqoriligi, sirkulyatsiya sarfining yetishmasligi, absorber ichki qurilmasi nosozligi, gaz yuklamasi yoki analizator xatosidan ham keladi. Shuning uchun minimal trend to'plamiga nam va quruq gaz namligi/shudring nuqtasi, gaz va TEG sarfi, absorber bosimi va differensial bosimi, lean/rich TEG harorati, reboiler harorati va issiqlik sarfi, flesh bosimi, filtr ΔP hamda TEG qo'shimcha berish miqdori kiritiladi [12–16].

Ko'piklanishning jarayon belgisi absorber yoki regenerator differensial bosimining tebranishi, sath signalining beqarorligi, glikol carry-overi va chiqish namligining pulsatsiyasidir. Ko'pik testining yomonlashuvi, qattiq modda, tuz va sirt-faol reagent trendi bilan bir vaqtda kuzatilsa, ifloslanish gipotezasi kuchayadi. Aksincha, laboratoriya ko'pik testi normal bo'lib, ΔP faqat yuqori gaz sarfida oshsa, gidravlik flooding yoki ichki qurilma muammosi ehtimoli yuqoriroq.

Korroziya uchun erigan va umumiy Fe trendi, filtr qoldig'i tarkibi, kupon/proba natijasi va shartli pH/kislotalilik birgalikda baholanadi. Temirning bir martalik yuqori qiymati namuna liniyasidagi zangdan kelishi mumkin; lean va rich nuqtalarda ketma-ket, takroriy o'sish esa kontur manbasini ko'rsatadi. Xlorid o'sishi bilan Fe o'sishi parallel bo'lsa, mineral suv carry-overi yoki tuz konsentratsiyalanishi ehtimoli oshadi. Kislotalar oshib, xlorid o'zgarmasa, oksidlanish yo'li ustuvor bo'lishi mumkin [1, 2, 9].

6-jadval. TEG tizimidagi simptom–sabab–test matritsasi

Kuzatilgan simptom	Ehtimoliy sabablar	Ajratuvchi test/trend	Birinchi xavfsiz harakat
Chiqish gaz namligi ortdi	Lean TEG suvi; sarf/harorat; absorber gidravlikasi	KF + sarf/T/ ΔP + analizator verifikatsiyasi	Rejim va analizatorni



Kuzatilgan simptom	Ehtimoliy sabablar	Ajratuvchi test/trend	Birinchi xavfsiz harakat
			tekshirish; keyin TEG sababi
Absorber ΔP tebranadi	Ko'pik, flooding, ichki qurilma, qattiq modda	Ko'pik testi + gaz yuklamasi + filtr qoldig'i	Yuklamani xavfsiz barqarorlashtirish va namuna olish
TEG tez qorayadi	Oksidlanish, FeS/zang, moy/kondensat	IC kislota + Fe/S + GC/ekstrakt + UV-Vis	Kislorod va carry-over manbasini izlash
Filtr ΔP tez ortadi	Korroziya, tuz cho'kmasi, qum, polimer mahsulot	Qoldiq massasi va SEM-EDS/FTIR	Bypassni tekshirish; qoldiqni identifikatsiya qilish
Reboiler duty ortdi	Fouling, ortiqcha suv, og'ir glikol, sirkulyatsiya yuqori	Issiqlik balans + KF + qovushoqlik + sirt inspeksiyasi	Sarf va issiqlik balansini audit qilish
Glikol yo'qotilishi ortdi	Ko'pik/carry-over, regenerator harorati, sizish	Ko'pik + sath/ ΔP + vent va mass-balans	Yo'qotish nuqtasini lokallashtirish

TEG HOLATINING INTEGRALLASHGAN DIAGNOSTIK INDEKSI

Turli birlikdagi ko'rsatkichlarni bitta trendga birlashtirish uchun bazaviy profil zarur. Profil yangi yoki laboratoriyada tasdiqlangan toza TEG konturining



barqaror ish davrida shakllantiriladi. Har bir ko'rsatkich uchun median m_i va median absolyut og'ish MAD_i olinadi. Robust standart og'ish quyidagicha hisoblanadi:

$$z_i = |x_i - m_i| / (1,4826 \cdot MAD_i + \varepsilon). \quad (1)$$

Bu yerda x_i — joriy natija; ε — MAD juda kichik bo'lganda nolga bo'linishni oldini oluvchi kichik son. Yuqori qiymat yomon bo'lgan ko'rsatkichlar uchun og'ish bir tomonlama, shartli pH kabi optimal diapazonga ega ko'rsatkichlar uchun ikki tomonlama olinadi. Normallashtirilgan xavf balli $s_i = \min(z_i/3; 1)$ ko'rinishida 0–1 oralig'iga keltiriladi. TEG holat indeksi (THI) esa:

$$THI = 100 \cdot \sum(w_i \cdot s_i), \quad \sum w_i = 1. \quad (2)$$

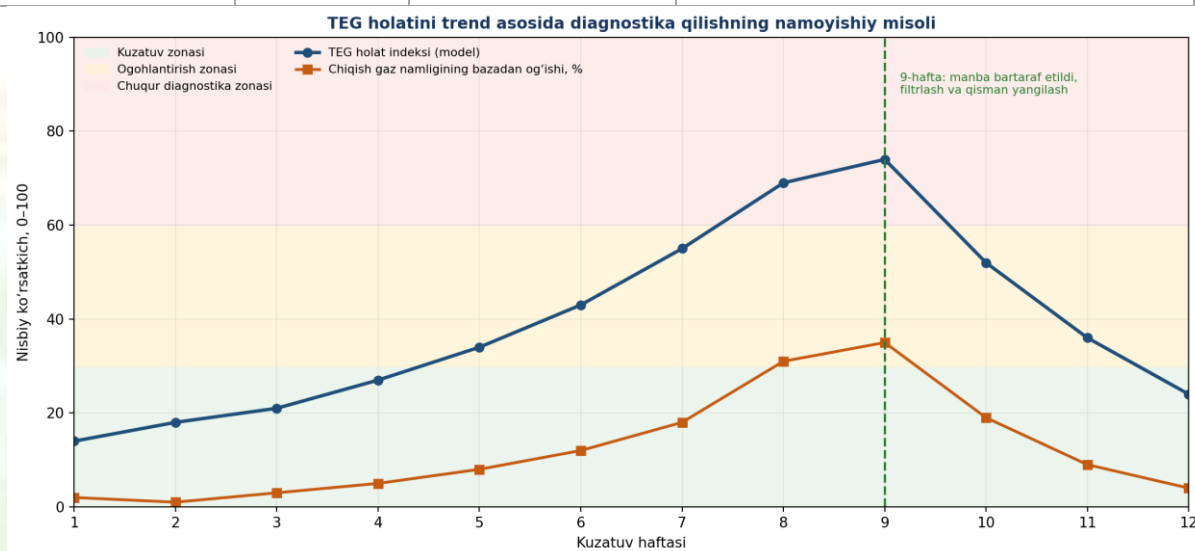
Indeksning vazifasi TEGni avtomatik 'yaroqli/yaroqsiz' deb hukm qilish emas, balki qaysi markerlar umumiy og'ishni shakllantirayotganini ko'rsatishdir. Og'irliklar korxona xavfi va tahlil ishonchliligiga ko'ra tasdiqlanadi. Quyidagi variant metodik misol bo'lib, universal normativ hisoblanmaydi.

7-jadval. Namoyishiy TEG holat indeksi komponentlari

Komponent	Og'irlik w_i	Yo'nalish	Diagnostik asos
Lean TEGdagi suv	0,20	Yuqori — yomon	Regeneratsiya va absorbsiya harakatlantiruvchi kuchi
Kislotalilik/pH og'ishi	0,20	Bazadan og'ish	Oksidlanish va korroziya xavfi
Umumiy temir	0,15	Yuqori — yomon	Korroziya va katalitik metall
Xlorid/anion yuklamasi	0,10	Yuqori — yomon	Mineral carry-over va tuz konsentratsiyasi
Qattiq qoldiq	0,15	Yuqori — yomon	Filtr, fouling va ko'pik barqarorligi



Komponent	Og'irlik W_i	Yo'nalish	Diagnostik asos
Uglevodorod/organik aralashma	0,10	Yuqori yomon	Kondensat, moy yoki reagent carry-overi
Ko'pik so'nish vaqti	0,10	Yuqori yomon	Sirt-faol aralashma va zarrachata'siri



2-rasm. TEG holat indeksi va gaz namligi trendining namoyishiy modeli

Izoh: barcha qiymatlar sintetik; zonalar korxona uchun alohida kalibrlanadi.

Model trendida THI 4–8-haftalarda gaz namligi og'ishidan tezroq o'sadi, chunki suv, kislotalilik, Fe va qattiq modda signallari jamlanadi. 9-haftadagi separator/filtrlash choralari va qisman TEG yangilanishidan keyin indeks pasayadi. Bunday dinamika tuzatish samarasini verifikatsiya qiladi, ammo real qaror uchun har bir komponent hissasi va absolyut laboratoriya natijasi alohida ko'riladi.

MUHOKAMA VA CHEKLOVLAR

Taklif etilgan yondashuvning ustunligi — degradatsiya, tashqi ifloslanish va apparat nosozligini bitta diagnostik tizimda ajratishidir. Uning cheklovi esa universal alarm qiymatlari yo'qligi va ko'plab usullarning matritsaga sezgirligidir. TEG tarkibi, gazdagi H_2S/CO_2 , reagentlar va uskunaning materiali o'zgarsa, bazaviy profil ham yangilanadi. Sintetik THI trendi metodni ko'rsatadi, lekin sanoat statistikasi,



laboratoriya noaniqligi va iqtisodiy oqibatlar bilan validatsiya qilinmaguncha avtomatik shutdown yoki TEG almashtirish qaroriga asos bo'la olmaydi.

XULOSA

1. TEG degradatsiyasi termik va oksidlanish yo'llari orqali kechadi; organik kislotalar, aldegidlar, MEG/DEG va yuqori poliglikollar uning asosiy kimyoviy markerlaridir.

2. Kislorod, harorat, lokal qizish, katalitik metallar va turish vaqti o'zaro ta'sirlashadi; bulk reboiler harorati yagona xavfsizlik ko'rsatkichi bo'la olmaydi.

3. Tashqi ifloslanishning asosiy sinflari mineral tuzlar, korroziya mahsulotlari va qum, uglevodorod kondensati/moy hamda sirt-faol texnologik reagentlardir.

4. Rang, shartli pH yoki ko'pik kabi bitta test sababni aniqlamaydi; kamida ikki mustaqil laboratoriya markeri va bitta jarayon trendi bilan xulosa tasdiqlanishi kerak.

5. Lean va rich TEGni juft namunalash kirish gazidan kelgan ifloslanish bilan regeneratsiya konturida to'plangan mahsulotlarni farqlashning samarali usulidir.

6. Karl Fisher, suvsiz muhitdagi kislotalilik, ion xromatografiyasi, GC/GC-MS, metallar va qattiq qoldiq tahlili birgalikda TEG holatining ishonchli analitik profilini beradi.

7. Nazorat chegaralari universal sonlardan ko'ra toza TEG va barqaror ish rejimidagi bazaviy median/MAD asosida ishlab chiqilishi maqsadga muvofiq.

8. Tuzatuvchi chora absorbentni almashtirishdan oldin ildiz sababni — kislorod kirishi, suyuqlik carry-overi, korroziya, fouling yoki reagent nomosligini — bartaraf etishi kerak.

9. Taklif etilgan THI integrallashgan trendni beradi, biroq har bir korxonada laboratoriya noaniqligi, xavf va iqtisodiy mezonlar bilan kalibrlanishi hamda validatsiya qilinishi shart.



FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Høisæter K.K., Buvik V., Villa Gonzalez S., Vevelstad S.J., Knuutila H.K. Oxidative degradation of triethylene glycol. Chemical Engineering Science. 2024;287:119706. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2024.119706>.
2. Høisæter K.K., Buvik V., Vevelstad S.J., Knuutila H.K. Analytical tools for monitoring glycol degradation. Results in Engineering. 2024;22:102025. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102025>.
3. Liang H., Huang Q., Li X., Wu Q., Yan H., Meng J. Investigation of the Factors and Mechanisms Affecting the Foaming of Triethylene Glycol in Natural Gas Purification. Processes. 2025;13(5):1261. <https://doi.org/10.3390/pr13051261>.
4. ASTM International. ASTM E203-24: Standard Test Method for Water Using Volumetric Karl Fischer Titration. West Conshohocken, 2024.
5. ASTM International. ASTM E1064-24: Standard Test Method for Water in Organic Liquids by Coulometric Karl Fischer Titration. West Conshohocken, 2024.
6. ASTM International. ASTM E2409-20a: Standard Test Method for Glycol Impurities by Gas Chromatography. West Conshohocken, 2020.
7. ASTM International. ASTM E2679-22: Acidity in Mono-, Di-, Tri- and Tetraethylene Glycol by Non-Aqueous Potentiometric Titration. West Conshohocken, 2022.
8. ASTM International. ASTM E2313-22: Aldehydes in Mono-, Di- and Triethylene Glycol Using Spectrophotometry. West Conshohocken, 2022.
9. ASTM International. ASTM E2469-24: Chloride in Mono-, Di- and Triethylene Glycol by Ion Chromatography. West Conshohocken, 2024.
10. ASTM International. ASTM E1615-22: Determination of Trace Quantities of Iron by Visible Spectrophotometry. West Conshohocken, 2022.
11. Dow. Triethylene Glycol (TEG): product information and physical properties. <https://www.dow.com/en-us/pdp.com.triethylene-glycol-teg.86329z.html> (murojaat: 31.08.2026).



12. Chebbi R., Qasim M., Jabbar N.A. Optimization of triethylene glycol dehydration of natural gas. Energy Reports. 2019;5:723–732. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.06.014>.
13. Kong Z.Y., Mahmoud A., Liu S., Sunarso J. Revamping existing glycol technologies in natural gas dehydration to improve the purity and absorption efficiency: available methods and recent developments. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2018;56:486–503. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2018.06.008>.
14. Filep A.-D., Todinca T., Dumitrel G.-A. Triethylene glycol dehydration of natural gas in structured packing towers. Chemical and Biochemical Engineering Quarterly. 2022;36(1):25–38. <https://doi.org/10.15255/CABEQ.2021.1998>.
15. U.S. EPA. Optimize Glycol Circulation. Natural Gas STAR Program. <https://www.epa.gov/natural-gas-star-program/optimize-glycol-circulation> (murojaat: 31.08.2026).