

TEXNİKA ELMLƏRİ TECHICAL SCIENCES

DOI: <https://doi.org/10.36719/2789-6919/53/131-136>

Rafiq İbrahimov

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
texnika üzrə fəlsəfə doktoru
<https://orcid.org/0000-0002-1093-6369>
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Nəzrin Səmədzadə

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
magistrant
<https://orcid.org/0009-0004-2429-758X>
nzrnsemedzade@gmail.com

Üfüqi quyuların qazılması zamanı azimutun ölçülməsi cihazlarının tədqiqi

Xülasə

Məqalədə göstərilir ki, üfüqi quyular üçün maqnitometrə əsaslanan qazıma zamanı ölçmə (MWD) sistemi üçoxlu akselerometrlərdən və maqnitometrlərdən istifadə etməklə qazma prosesi zamanı quyudibində inhirafetdirici qurğusunun azimutunu müəyyən edir. Geomaqnit qurğusunun azimutlamaq üçün qazıma məhlulunun istifadəsi zamanı güclü maqnit müdaxiləsinə həssasdır və buna görə də giroskoplu maqnitometrə əsaslanan MWD sistemindən istifadə etdikdə nəzərdə tutulmuş azimutun qiymətləndirilməsi üçün fırlanma norması məhdudlaşdırıcı filtrləmə (RNCF) metodu təklif olunmuşdur.

Məqalədə göstərilmişdir ki, birincisi, çıxışı maqnitometr üçlüyünün tərəfindən müşahidə edilən yeni bir maqnitli dinamik sistemi istənilən geomaqnit vektorunun Koriolis tənliyi əsasında hazırlanması məqsəduyğun sayılmışdır. İkincisi, qısamüddətli qazıma prosesi zamanı müdaxilə olunmayan geomaqnit vektorun normasının sabit kimi yaxınlaşdırıla biləcəyini nəzərə alaraq, Kalman filtrinə normanın məhdudlaşdırılması proseduru daxil edilmişdir. Giroskop içəridə yerləşən bir giroskopdur və girokopik effektdə görə oxu həmişə ilkin istiqamətə paraleldir, buna görə də faktiki istiqamət ilkin istiqamətdən sapma ilə hesablanı bilər. Mobil telefondakı giroskop əslində içərisində ultra kiçik bir giroskop olan çox mürəkkəb bir çipdir. Akselerometr mobil telefonun qəbul etdiyi sürətlənmənin böyüklüyünü və istiqamətini aşkar etmək üçün istifadə olunur. Mobil telefon hərəkətsiz olduqda, o yalnız cazibə qüvvəsinin sürətlənməsinə məruz qalır.

Açar sözlər: qazıma aləti, qazıma zamanı ölçmə, azimut, qazıma məhlulu, geomaqnit sahə

Rafiq İbrahimov

Azerbaijan State Oil and Industry University
PhD in Technical
<https://orcid.org/0000-0002-1093-6369>
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Nazrin Samadzadeh

Azerbaijan State Oil and Industry University
magistrant
<https://orcid.org/0009-0004-2429-758X>
nzrnsemedzade@gmail.com

Study of Azimuth Measurement Devices During Horizontal Well Drilling

Abstract

The article shows that the magnetometer-based measurement while drilling (MWD) system for horizontal wells determines the azimuth of the perturbation device at the bottom of the well during the drilling process using three-axis accelerometers and magnetometers. The geomagnetic device is sensitive to strong magnetic interference when using drilling fluid for azimuthing, and therefore, the rotation rate limiting filtering (RNCF) method is proposed to estimate the intended azimuth when using the gyroscope magnetometer-based MWD system.

The article shows that, first, it is considered appropriate to develop a new magnetic dynamic system whose output is observed by the magnetometer trio based on the Coriolis equation of any geomagnetic vector. Second, considering that the norm of the geomagnetic vector without interference during the short-term drilling process can be approximated as a constant, a norm limiting procedure is included in the Kalman filter.

Keywords: *drilling tool, measurement during drilling, azimuth, drilling fluid, geomagnetic field*

Giriş

Horizontal qazma son zamanlar tərəqqi yolunda irəliləyir. Bu səbəbdən göstərilən metod müəyyən qədər xülasə tarixlə bağlıdır. Yeraltı resursların öyrənilməsi eyni zamanda mədənçilik fəaliyyətində meylli sondajdan keçmiş dövrün son yarısında tətbiq olunmuşdur, amma həmin dövrdə meylli sondaj alətləri əsasən əlçatan yaradılmışdır. Meyilli sondajın neft-qaz sektorunda müasir qazıma metodu şəklində yaranması həmçinin metodun tərəqqi tarixi quyu meyil bucağı ilə istiqamət bucağını hesablayan texnikanın kəşfidən birbaşa asılıdır. Müəyyən edilmiş avadanlıqlar isə müasir dövrün nəticəsidir.

Azərbaycanın neftli-qazlı sahələrində meylli və horizontal qazmada əsas aralıqlarda şaquli bucağını nizamlamaq məqsədilə qazıma kəmərinin aşağı hissəsinin inhirafedicilərindən istifadə olunur. İnhirafetdiricinin ölçüləri və quyudan təyin edilmiş uzaqlıq qazıma zamanı onu əymək məqsədilə verilmiş tapşırıqlardan asılı olaraq məlum üsullar vasitəsilə hesablanıb seçilir. Məlumdur ki, üfüqi istiqamətləndirilmiş quyuların qazılmasında tətbiq edilən profillərin hamısında şaquli hissə vardır. Şaquli hissənin uzunluğu üfüqi quyuların dərinliyindən və şaquldan üfüqi istiqamətdə aralanmasının uzunluğundan asılıdır (Basargin, 2012). Şübhəsiz ki, üfüqi hissənin səmərəli rejmində qazılması ümumiyyətlə quyunun texniki iqtisadi göstəricilərinə müsbət təsir mövzunun aktuallığından xəbər verir.

Tədqiqat

Bəzi neft yataqlarını (sənaye müəssisələrinin, dəmir yolu xətlərinin və yaxud yaşayış məntəqələrinin altında yerləşən) sadə vertikal quyu üzərindən idarə etmək mümkün deyildir. Hidromorfik torpaqların dibində yerləşən neft qatları üçün vertikal qazma isə strukturca çətin və yüksək xərcli məxsusi bünövrə quraşdırılmalıdır. Bu şəraitdə neft-qaz ehtiyatlarını çıxarılması məqsədilə onlara istiqamətli qazma əhəmiyyətli dərəcədə faydalıdır. Problemləri həll etmək üçün bu məqalə giroskopla dəstəklənən maqnitometrə əsaslanan ölçmə MWD sisteminə əsaslanan azimutun qiymətləndirilməsi üçün yeni fırlanma norması məhdudlaşdırıcı filtrləmə metodunu inkişaf etdirmək məqsədi daşıyır (Baxşəliyev, İbrahimov, Şirəli, Rzadə, 2000; Suchkov, 2006).

Məsələnin həll üsulları:

Quyudibi Naviqasiya Peyk Sisteminin xidmət quruluşları ilə əlaqədar olaraq, quyuların qazılması prosesi zamanı qazma kəmərinin aşağı hissəsinin istiqamətləndirilməsinin qiymətləndirməsi vasitəsilə qazıma baltasını idarə etmək üçün əsasən maqnitometr əsaslı ölçmə sistemlərindən (MWD) istifadə edilir.

Qazma kəmərinin aşağı hissəsi çərçivəsindəki üçölçülü coğrafi sahə vektorlarının proyeksiyalarını ölçmək üçün akselerometr/magnitometr qurğularından istifadə etməklə, maqnitometrə

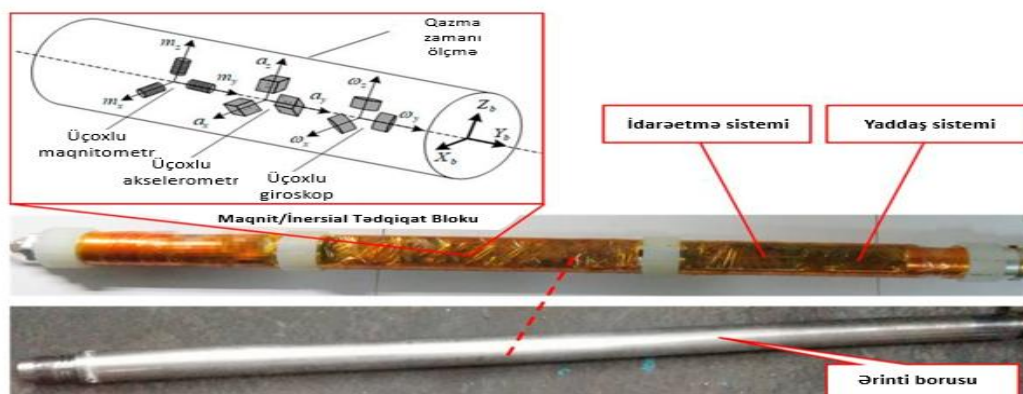
əsaslanan MWD sistemi, sapma xətasından çəkinərək, qazıma kəmərinin istiqamətləndirilməsini müstəqil olaraq təmin edir. Bu sistem qazıma alətini yüksək dəqiqliklə inhirafetdiriciliyinin təmin edir, çünki akselerometr üçlüyündə yaranmanın meyil/alət əvvəlki bucağından asılı komponentləri, yəni yerin cazibə qüvvəsi xarici müdaxiləsi üçün güclü dözümlüyə malikdir.

Təəssüf ki, qazma avadanlığından (məsələn, metal materiallar, qazıma mayesindeki maqnitli tullantıları) və təsadüfi yerləşən filiz yataqları və digər quyuya düşmüş metal qırıntılarının mənbələrindən yaranan maqnit müdaxiləsi maqnitometr üçlüyünün oxunuşlarının istənilən azimutdan asılı hissəsini, yəni geomaqnit vektoru asanlıqla gizlədə bilər ki, bu da geomaqnit azimutunun ciddi təhrif olunmasına və hətta məqsəd nöqtəsinə çatmaq üçün qazıma işlərinin uğursuz olmasına səbəb ola bilər. Buna görə, azimutun dəqiqliyini artırmaq üçün maqnetometr üçlüyünə maqnit oxunuşları qabaqcadan səmərəli şəkildə əvvəlcədən emal edilməlidir (Khu, Van, 2019). Bildiyimiz kimi qazıma avadanlığında metal hissələr əksəriyyət təşkil edir. Buna görə də maqnit müdaxiləsini zəiflətmək üçün maqnetometr əsaslı MWD sistemi adətən bahalı, qeyri-maqnit qazıma alətində yerləşdirilir. Bu, qazıma aləti metal materiallarından qaynaqlanan maqnit müdaxiləsini effektiv şəkildə aradan qaldırır, lakin qeyri-maqnit qazıma avadanlığından istifadə etdikdə quyunun maya dəyərinin qiyməti artır.

Maqnit müdaxiləsinin proqram təminatı ilə aradan qaldırılması, metal materiallardan qaynaqlanan maqnit müdaxiləsini ləğv etmək üçün alternativ yanaşma təqdim edir və bu həmin materialların riyazi modellərinin xarakteristikası ilə əldə edilir. Qazıma mayesinde maqnit qalıqlarına görə maqnit müdaxiləsini azaltmaq üçün qazıma mayesindən metal tozları çıxarmaq üçün güclü maqnitlər və axın yönləndiricilərini birləşdirərək dərinlik maqnitlərinin təkmilləşdirilməsi işi aparılır. Təsadüfi maqnit müdaxiləsi nəticəsində azimutun mənfi təsirlərini aradan qaldırmaq üçün maqnit və cazibə göstəricilərinin inteqrasiyasını nəzərdə tutan yeni geomaqnit azimut həllini tədqiq etmişdir. İki sabit vektorun skalyar hasilinin istənilən koordinat sistemində sabit olacağını nəzərə alsaq, səhvsiz akselerometr üçlüyünə ilkin şərti əsasında Skalyar emal cipi -əsaslı maqnitometr xətasının hesablanması üsulu ilə skalyar məhsul sabiti təklif edilmişdir. Yuxarıda göstərilən proqram korreksiyası üsulları maqnitometrə əsaslanan MWD sisteminin güclü maqnit müdaxiləsinə zəif toxunulmazlığı səbəbindən daha az şiddətli maqnit müdaxiləsi ilə yaxşı işləməsi məsləhət bilinir (Suchkov, 2006).

Üfüqi quyuların qazılmasında güclü maqnit müdaxiləsinə müqavimət göstərməkdə maqnitometr əsaslı MWD sistemlərinə kömək etmək üçün müxtəlif sensor mənbələrə əsaslanan və maqnit müdaxiləsi olmayan çox azimutlu birləşmə üsullarından istifadə göstərir ki, yüksək dəqiqlikdə azimut ölçməsinə nail olmaq üçün geomaqnit azimutu və qazıma trayektoriyasının proqnozlaşdırılmasından əldə edilən azimutu birləşdirmək üçün Kalman filtrindən istifadə etmək məsləhətdir (Dzhoshi, Tien, 2013). Geomaqnit azimut məhlulunu və tək giroskopdan hesablanmış azimutu birləşdirmək üçün qeyri-xətti Kalman filtrindən istifadə edərək dördüncü formada istiqamətləndirilməni qeyri-xətti modelinə gətirib çıxarır.

Şəkil 1. Giroskopla dəstəklənən maqnitometrə əsaslanan MWD sistemi



Buna görə də əvvəlcədən geomaqnit vektorunun çıxarılması ideyasını tədqiq etmək, ondan əvvəl çıxarılan geomaqnit məlumatı girooskop üçlüyündən əldə edilən azimutla möhkəm bir şəkildə birləşdirmək lazımdır. Geomaqnit vektorunun kəsmə tezliyinə əsaslanan xəta modelini qurmaq və azimut üçoxlu giroskopların və maqnitometrərlərin birləşməsindən istifadə etmək əlverişlidir.

Bu tədqiqatlar yüksək dəqiqlikli azimut ölçməsinə nail olmaq üçün maqnit müdaxiləsi olmayan yardımçı azimut mənbələrini maqnitometr əsaslı MWD sisteminə daxil etmək məqsədi daşıyır.

Bununla belə, həm trayektoriya proqnozuna əsaslanan azimut, həm də girooskop üçlüyü ilə inteqrala əsaslanan azimut, rekursiv strategiyaya görə zamanla yığılan xətlər pozulur. Məhdudlaşdırıcı filtrləmə metodu qazıma kəmərinin girooskop üçlüyünün bucaq sürətinin ölçülməsinə əsaslanaraq, maqnitometr triadasının geomaqnit ölçülərini və Koriolis tənliyi ilə yayılan geomaqnit vəziyyətini birləşdirmək üçün istifadə edir.

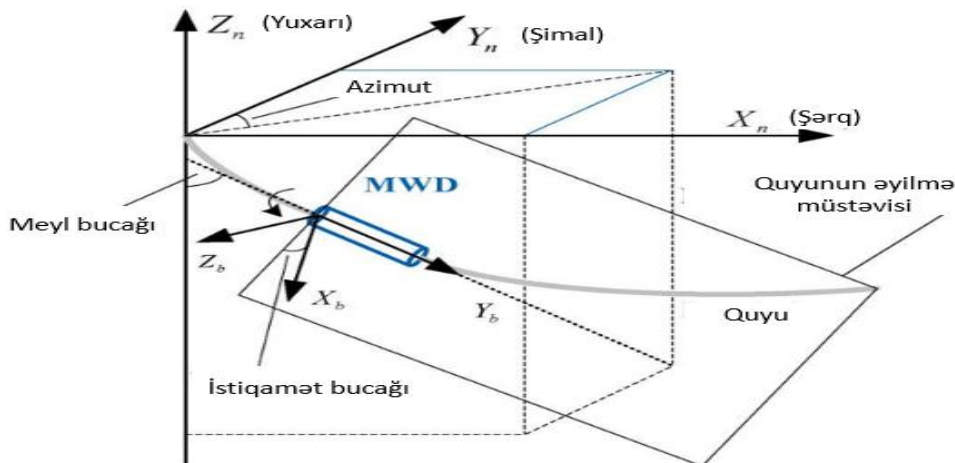
Məqalədə göstərilir ki, giroskopla dəstəklənən maqnitometrə əsaslanan MWD sistemi üç hissədən: idarəetmə sistemi, yaddaş sistemi və şəkil 1-də göstəriləyi kimi maqnit/inertial ölçmə qurğusundan ibarətdir.

Maqnit/ətalət ölçmə qurğusu anizotrop maqnitrezistiv üçoxlu maqnitometrləri, mikromexaniki üçoxlu akselerometrləri və mikromexaniki üçoxlu giroskopları özündə birləşdirir. Bunlar müvafiq olaraq yerin maqnit sahəsinin vektorunu, yerin cazibə sahəsinin vektorunu və qazıma kəmərinin aşağı hissəsinin (QKAH) koordinat çərçivəsində (b-çərçivə) bucaq sürət vektorunu ölçmək üçün üç qarşılıqlı ortoqonal istiqamətdə titan ərintisi borusuna quraşdırılmışdır.

Qazıma mühitinin sərt tələblərinə uyğun olaraq, son namizədlər və yuxarıda göstərilən maqnit və inertial sensorların əsas ölçü parametrləri verilmişdir (Lyut, Aziz, 2010; Pecht, Mintchev, n.d.).

Coğrafi koordinat sistemi, QKAH -nın istiqamətləndirilməsi (Eyler bucaqları ilə təsvir edilmiş, o cümlədən meyilliyi (θ), alət istiqamətindəki bucağı (γ) və azimut (ψ)) göstərmək üçün istinad çərçivəsi (n-çərçivəsi) kimi seçilir, burada X_n , Y_n və Z_n oxları müvafiq olaraq topoqrafik şimal, şərq və yuxarı istiqamətlərlə düzülür.

Bunlar şəkil 2-də göstərilmişdir.

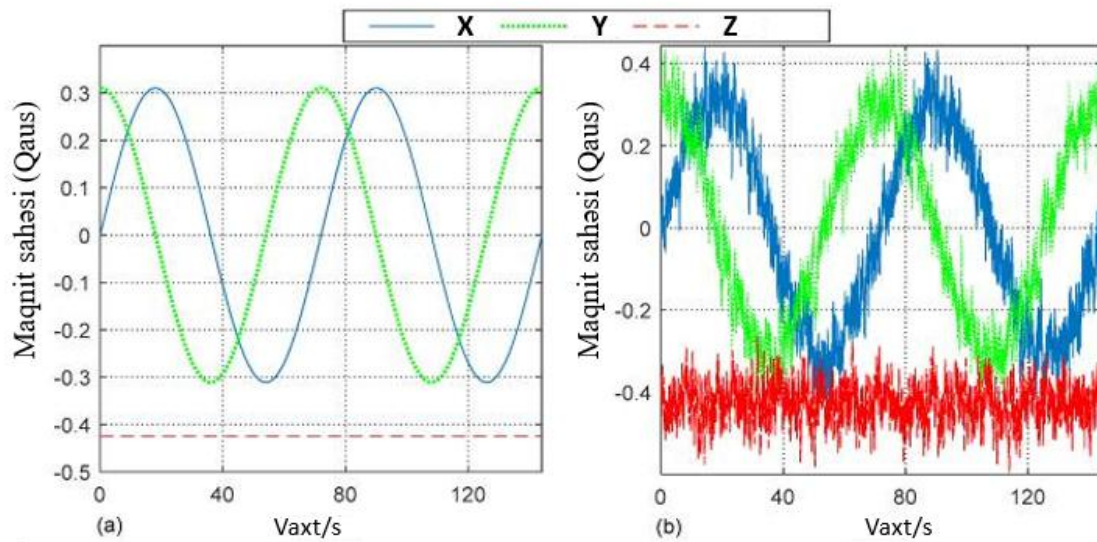


Şəkil 2. Coğrafi çərçivədə oriyentasiyanın tərifləri

Yaranan azimut hərəkət trayektoriyasının parametrləri aşağıdakı kimidir: birincisi, geomaqnit sahəsinin gücü 0,5257 Qauss, maqnit meyli 4,93° (W), mailliyi 53,77°-dir. İkincisi, təsadüfi maqnit pozuntusu $k_1=0.9$ və $k_2=0.02$ ilə (Khu, Van, 2019) birinci dərəcəli GM prosesi kimi modelləşdirilmişdir. Üçüncüsü, nəzəri üçoxlu bucaq sürəti (0;0;10°), orijinal azimut 355,07° və nümunə götürmə nöqtəsi N 50 Hz ilə 7200-dir.

Üfüqi quyunun qazılması üçün simulyasiya təcrübələri (şəkil 3) aparılmışdır. Birincisi, göstəriləyi kimi nəzəri və xam məlumatlar yaradılır. İkincisi, xam maqnit məlumatları MWD-də geniş istifadə olunan tipik geomaqnit filtri ilə təklif olunur. Üçüncüsü, filtrləmə performansını qiymətləndirmək üçün bu maqnit məlumatlarının xətası, norma və azimut hesablanır.

Şəkil 3. Simulyasiya test qurğusunun üçoxlu maqnit məlumatları. (a) Nəzəri məlumatlar və (b) simulyasiyada xam üçoxlu maqnit məlumatları



Faktiki fasiləsiz qazıma prosesində, qazıma alətinin azimutunun düzgünlüyünü dəqiq qiymətləndirmək mümkün olmadıqda, QKAH-nın həqiqi azimutunu əldə etmək üçün istifadə edilə bilən heç bir üsul yoxdur. Bu işdə azimutda kiçik dalğalanma ilə üfüqi istiqamətli qazma prosesi zamanı QKAH-nın azimutunun dayanıqlığından dəqiqliyi qiymətləndirmək üçün istifadə olunur (Yang, Cai, Wang, 2024).

Maqnit və inertial ölçmə qurğusunun seçmə tezliyi 50 Hz, yuxarıda göstərilən dörd üsulla toplanmış maqnit və ətalət məlumatlarından müəyyən edilən off-line azimutun çıxış tezliyi isə 0,5 Hz-dir. Azimut dəqiqliyində performansın artırılmasına baxmayaraq, təklif olunan metodun hələ də təkmilləşdirilir.

Nəticə

1. Təklif olunan RNCF metodunun güclü maqnit müdaxiləsinə qarşı mümkünlüyünü daha da nümayiş etdirmək üçün sınaq üçün real sahə sınaq məlumatları seçilir. Eyni zamanda, təklif olunan RNCF metodundan istifadə edərək üçoxlu maqnit oxunuşlarından əldə edilən azimut tipik geomaqnit məhlulu ilə və KF istifadə edərək üçoxlu maqnit oxunuşları ilə müqayisə edilir.

2. Azimutun dayanıqlığının daha yaxşı müşahidəsi üçün müvafiq azimut qiymətləri onların müvafiq orta qiymətindən çıxarılır.

3. Təklif olunan metod əsasən qazma avadanlığından yaranan tanınmış müdaxilə mənbələrindən və qazma prosesi zamanı yaxınlıqdakı təsadüfi mənbələrdən (məsələn, təsadüfi yerləşən filiz yataqları) maqnit müdaxiləsinə yönəlmişdir.

Nəticədə, gələcək işlərdə qazma prosesinin işindən mümkün maqnit müdaxiləsi, məsələn, fırlanma sürəti nəzərə alınmalıdır ki, bu da azimutun dəqiqlik göstəricilərinin yaxşılaşdırılmasına kömək edə bilər.

Ədəbiyyat

1. Budnikov, V.F. (2008). *Osnovy tekhnologii gorizontal'nykh skvazhin*. Nauka.
2. Basargin, YU.M. (2012). *Stroitel'stvo naklonnykh i gorizontal'nykh skvazhin*. Nauka.
3. Baxşəliyev, Ş., İbrahimov, R., Şirəli, İ., Rzazadə, S. (2000). *Neft və qaz quyularının qazılmasının texnikası*. Elm.
4. Suchkov, B.M. (2006). *Gorizontal'nye skvazhiny*. Nauka.
5. Syui, T., Vehn', D., Sun' S. (n.d.). *Issledovanie metoda izmereniya i korrektsii azimuta s pomoshch'yu akselerometra i magnitometra*. Nauka.
6. Dzhoshi, S., Tien, K. (2013). *Gorizontal'noe burenie i gidrorazryv plasta: primeneniye dlya sekvestratsii CO2*. Nauka.
7. Khu, I., Van, L. (2019). *Modelirovaniye kanala buril'noi trubyy s vysokochastotnoi magnitnoi svyaz'yu na osnove lineinogo modelirovaniya*. Nauka.
8. Li, S., Mavko, G., Mukerdzhi, T. (2011). *Rol' gorizontal'nogo bureniya i gidrorazryva plasta v razrabotke netraditsionnykh resursov*. Obshchestvo inzhenerov-neftyanikov.
9. Lyut, R., Aziz, K. (2010). *Modelirovaniye neftnyanykh plastov*. Obshchestvo inzhenerov-neftyanikov.
10. Pecht, E., Mintchev, M. (n.d.). *Modeling of Observability during breakin-drilling alignment for horizontal directional drilling*. IEEE Trans.
11. Yang, J., Cai, J., Wang, S. (2024). *Online Compensation of Geomagnetic Measurement Errors While Drilling*. IEEE Trans.
12. Zhang, C., Lin, T. (2016). *A long-term performance enhancement method for FOG-based measurement while drilling*. Sensors.

Daxil oldu: 08.09.2025

Qəbul edildi: 10.12.2025