ОӘК 662.756:665.3; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2026-3.05
https://orcid.org/0000-0003-4284-9048
https://orcid.org/0000-0001-9591-0071
https://orcid.org/0000-0003-2236-0333

ЗАМАНАУИ БҰРҒЫЛАУ ЕРІТІНДІЛЕРІ ЖӘНЕ БҰРҒЫЛАУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

К.А. ИХСАНОВ,
техника ғылымдарының кандидаты,
Ikhsanov_k@mail.ru

Б.Ф. САБИРОВ,
PhD,
sabirov_b_f@mail.ru

Г.Е. КАЛЕШЕВА,
аға оқытушы,
kalesheva-gulmira_29_69@mail.ru

БАТЫС ҚАЗАҚСТАН ИННОВАЦИЯЛЫҚ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
Қазақстан Республикасы, 090001, Орал қ., Ықсанов к., 44/1

Мақалада күрделі геологиялық-техникалық жағдайларда мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау кезінде қолданылатын заманауи бұрғылау ерітінділеріне шолу және аналитикалық бағалау жүргізілген. Бұрғылау ерітінділерінің негізгі функциялары, олардың бұрғылау тиімділігіне, ұңғыма қабырғаларының тұрақтылығына және технологиялық қиындықтардың алдын алуға әсері қарастырылған. Су негізіндегі бұрғылау ерітінділерінің, полимерлік жүйелердің, ингибирлеуші ерітінділердің және наноқоспалары бар ерітінділердің заманауи құрамдарына талдау жасалған.

Графен, нанографит және нановөлшемді кремний диоксиді сияқты наноматериалдардың бұрғылау ерітінділерінің сүзгілік, реологиялық және майлау қасиеттеріне әсерін зерттеуге ерекше назар аударылған.

Ғылыми жарияланымдарды салыстырмалы талдау негізінде наноқоспаларды қолдану сүзінді көлемін азайтуға, үйкеліс коэффициентін төмендетуге, бұрғылау ерітіндісінің тұрақтылығын арттыруға және бұрғылау жабдықтарының тозуын азайтуға мүмкіндік беретіні анықталды.

Сонымен қатар жұмыста гидравликалық модельдеу, автоматтандырылған бақылау және бұрғылау ерітінділерінің параметрлерін нақты уақыт режимінде интеллектуалды басқару технологиялары қарастырылған. Цифрлық технологиялар мен жасанды интеллект жүйелерін енгізу бұрғылау жұмыстарының тиімділігін арттыруға, апаттық жағдайлардың ықтималдығын төмендетуге және пайдалану шығындарын қысқартуға мүмкіндік беретіні көрсетілген.

Жүргізілген шолу инновациялық бұрғылау ерітінділері мен интеллектуалды басқару жүйелерін қолданудың мұнай және газ ұңғымаларын салу кезінде сенімділікті, қауіпсіздікті және экономикалық тиімділікті арттырудағы болашағы зор екенін дәлелдейді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: *бұрғылау ерітіндісі, ұңғыма бұрғылау, наноқоспалар, реология, гидравлика, цифрландыру, мұнай-газ саласы.*

СОВРЕМЕННЫЕ БУРОВЫЕ РАСТВОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ

К.А. ИХСАНОВ, кандидат технических наук, *Ikhsanov_k@mail.ru*
Б.Ф. САБИРОВ, PhD доктор, *sabirov_b_f@mail.ru*
Г.Е. КАЛЕШЕВА, старший преподаватель, *kalesheva-gulmira_29_69@mail.ru*

ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ИННОВАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Республика Казахстан, 090001, г. Уральск, ул. Ихсанова 44/1

В статье представлен обзор и аналитическая оценка современных буровых растворов, используемых при бурении нефтяных и газовых скважин в сложных геолого-технических условиях. Рассмотрены основные функции буровых растворов, их влияние на эффективность бурения, устойчивость стенок скважины и предупреждение технологических осложнений. Выполнен анализ современных составов буровых растворов на водной основе, полимерных систем, ингибирующих растворов и растворов с нанодобавками.

Особое внимание уделено исследованию влияния наноматериалов, включая графен, нанографит и наноразмерный диоксид кремния, на фильтрационные, реологические и смазывающие свойства буровых растворов. На основе сравнительного анализа научных публикаций установлено, что применение нанодобавок способствует снижению водоотдачи, уменьшению коэффициента трения, повышению устойчивости бурового раствора и снижению износа бурильного оборудования.

В работе также рассмотрены современные технологии гидравлического моделирования, автоматизированного контроля и интеллектуального управления параметрами буровых растворов в режиме реального времени. Показано, что внедрение цифровых технологий и систем искусственного интеллекта позволяет повысить эффективность буровых работ, сократить вероятность аварийных ситуаций и снизить эксплуатационные затраты.

Проведенный обзор подтверждает перспективность применения инновационных буровых растворов и интеллектуальных систем управления для повышения надежности, безопасности и экономической эффективности строительства нефтяных и газовых скважин. Особое значение имеет дальнейшее развитие нанотехнологий и адаптивных систем контроля свойств буровых растворов, обеспечивающих стабильность технологических процессов в условиях высоких температур, давлений и осложненных геологических разрезов.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке современных технологий бурения и совершенствовании составов буровых растворов для сложных условий эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *буровой раствор, бурение скважин, нанодобавки, реология, гидравлика, цифровизация, нефтегазовая отрасль.*

MODERN DRILLING FLUIDS AND TECHNOLOGIES FOR DRILLING EFFICIENCY IMPROVEMENT

K.A. IKHSANOV, Candidate of Technical Sciences, *Ikhsanov_k@mail.ru*
B.F. SABIROV, PhD, *sabirov_b_f@mail.ru*
G.E. KALESHEVA, Senior lecturer, *kalesheva-gulmira_29_69@mail.ru*

WEST KAZAKHSTAN INNOVATIVE – TECHNOLOGICAL UNIVERSITY
Republic of Kazakhstan, 090001, Uralsk, Ikhsanova str., 44/1

This review article presents a comparative analysis of modern drilling fluids used in oil and gas well drilling under complex geological and technical conditions. The study examines the main functions of drilling fluids and evaluates their impact on drilling efficiency, wellbore stability, and the prevention of operational complications. Modern water-based drilling fluids, polymer systems, inhibitive fluids, and nanomaterial-enhanced drilling fluids are analyzed.

Special attention is given to the effects of nanomaterials, including graphene, nanographite, and nanosized silicon dioxide, on the filtration, rheological, and lubricating properties of drilling fluids. A comparative analysis of recent scientific publications demonstrates that the incorporation of nanomaterials can significantly reduce fluid loss, decrease the friction coefficient, improve drilling fluid stability, and minimize drilling equipment wear.

The review also addresses recent advances in hydraulic modeling, automated monitoring, and intelligent real-time control of drilling fluid parameters. The analysis indicates that the integration of digital technologies and artificial intelligence systems can enhance drilling performance, reduce the risk of operational accidents, and lower operating costs.

The findings confirm the significant potential of innovative drilling fluids, nanomaterial-based additives, and intelligent control technologies for improving the reliability, safety, and economic efficiency of oil and gas well construction. Particular importance is attached to the further development of nanotechnologies and adaptive systems for monitoring drilling fluid properties, which ensure the stability of technological processes under conditions of high temperatures, high pressures, and complex geological formations.

The obtained results may be applied in the development of advanced drilling technologies and the optimization of drilling fluid formulations for operation under challenging conditions.

***KEYWORDS:** drilling fluid, well drilling, nanomaterials, rheology, hydraulics, digitalization, oil and gas industry.*

Кіріспе. Мұнай-газ өнеркәсібі әлемдік экономика мен энергетика секторында стратегиялық маңызды орын алады. Мұнай және газ кен орындарын игерудің негізгі – ұңғымаларды бұрғылау болып табылады, ал оның тиімділігі көмірсутектерді өндіру көлеміне, кәсіпорындардың экономикалық көрсеткіштеріне және өндірістік процестердің қауіпсіздігіне тікелей әсер етеді. Қазіргі уақытта күрделі геологиялық-техникалық жағдайдағы кен орындарын игеруге деген қажеттілікке байланысты терең, көлденең және көлбеу бағытталған ұңғымаларды бұрғылауға қатысты сұраныс тұрақты түрде артып келеді [1,2]. Бұл бұрғылау технологияларын жетілдіруге қатысты жоғары тиімді бұрғылау ерітінділерін әзірлеуді талап етеді [3].

Мәселенің өзектілігі ұңғымалар құрылысын салудың күрделі жағдайында бұрғылау ерітінділерінің сапасы мен пайдалану сипаттамаларына қойылатын талаптардың артуымен анықталады [4,5]. Заманауи ұңғымаларды бұрғылау қабаттың жоғары температурсы мен аномальды жоғары қабат қысымының, тұрақсыз сазды жыныстардың, көпжылдық тоң қабаттарының және ерітіндінің жұтылу аймақтарының болуымен сипатталады. Бұрғылау үдерісінде туындайтын қиындықтар бұрғылау құралдарының ұсталып қалуына, ұңғыма қабырғаларының опырылуына, ерітінді циркуляциясының жоғалуына, бұрғылаудың механикалық жылдамдығының төмендеуіне және экономикалық шығындардың артуына әкеледі. Осыған байланысты бұрғылау ерітінділерінің тиімділігін арттырудың жаңа тәсілдерін іздеу және олардың технологиялық параметрлерін оңтайландыру ерекше маңызға ие болып отыр.

Бұрғылау ерітінділері мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау процесінің маңызды элементтерінің бірі болып табылады, әрі бірқатар технологиялық функцияларды атқарады: ұңғыма түбін бұрғыланған жыныстардан тазарту, шламды жер бетіне шығару, бұрғылау құралдарын салқындату және майлау, ұңғыма қабырғаларының тұрақтылығын сақтау және қабат қысымын реттеу. Сонымен қатар бұрғылау ерітіндісі гидравликалық энергияны беруге қатысады, қабат флюидтерінің ұңғымаға енуін болдырмайды және бұрғылау кезіндегі апаттылықты төмендетуге ықпал етеді. Аталған функциялардың тиімді орындалуы бұрғылау ерітіндісінің реологиялық, фильтрациялық, гидродинамикалық және майлау қасиеттерімен анықталады.

Қазіргі уақытта бұрғылау ерітінділерін модификациялау үшін инновациялық химиялық реагенттерді, полимерлік жүйелерді және наноматериалдарды қолдануға ерекше назар аударылуда. Нанографит, графен және наноөлшемді кремний диоксиді сияқты нанокоспаларды пайдалану ерітінділердің фильтрациялық және реологиялық сипаттамаларын жақсартуға, үйкеліс коэффициентін төмендетуге, ұңғыма оқпанының тұрақтылығын арттыруға және бұрғылау жабдықтарының тозуын азайтуға мүмкіндік береді [6,7,8].

Бұрғылау ерітінділері саласында көптеген зерттеулер жүргізілгеніне қарамастан, қазіргі заманғы құрамдарды кешенді бағалау, наноматериалдардың ерітінділердің технологиялық қасиеттеріне әсерін талдау және бұрғылау тиімділігін арттыру әдістерін салыстырмалы зерттеу мәселелері әлі де өзекті болып қалып отыр және қосымша зерттеулерді қажет етеді.

Осыған байланысты заманауи бұрғылау ерітінділерін талдау, нанокоспалар мен химиялық реагенттердің бұрғылау ерітінділерінің технологиялық сипаттамаларына әсерін зерттеу, сондай-ақ күрделі геологиялық-техникалық жағдайларда мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау процестерінің тиімділігін арттырудың заманауи тәсілдерін жинақтау басты мақсат болып табылады [9,10].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Осы зерттеу жұмысында бұрғылау ерітінділерін, олардың технологиялық қасиеттерін және мұнай мен газ ұңғымаларын бұрғылау процестерінің тиімділігін арттыру әдістерін зерттеуге арналған ғылыми жарияланымдар, оқу құралдары және заманауи зерттеу материалдарына шолу-талдамалық сараптама жасалды. Әдебиет көздеріне талдау бұрғылау ерітінділерінің реологиялық, фильтрациялық, гидродинамикалық және майлау сипаттамаларын зерттеу, сондай-ақ бұрғылау процесінде наноматериалдар мен заманауи цифрлық технологияларды қолдану бағыттары бойынша жүргізілді.

Зерттеу материалдары ретінде күрделі геологиялық-техникалық жағдайларда ұңғымаларды бұрғылау, бұрғылау ерітінділерінің инновациялық құрамдарын әзірлеу, гидравликалық модельдеу және циркуляциялық жүйелер параметрлерін оңтайландыру мәселелеріне арналған жарияланымдар пайдаланылды. Бұрғылау ерітінділерінің пайдалану қасиеттерін жақсарту мақсатында нанокоспаларды, полимерлік реагенттерді және ингибирлеуші компоненттерді қолдануға арналған зерттеулерге ерекше назар аударылды.

Зерттеу барысында келесідей бағыттар бойынша материалдар сарапталды:

мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылаудың заманауи технологиялары;

бұрғылау ерітінділерінің құрамы мен жіктелуі;

тығыздық пен реологиялық қасиеттерді реттеу әдістері;

наноматериалдардың фильтрациялық және майлау сипаттамаларына әсері;

циркуляциялық жүйелердің гидродинамикалық параметрлері;

бұрғылау ерітінділерін цифрлық модельдеу және автоматтандырылған бақылау технологиялары.

Зерттеудің әдіснамалық негізі ретінде әдеби деректерді салыстырмалы және талдамалық талдау әдістері қолданылып, су негізіндегі бұрғылау ерітінділерін, полимерлік жүйелерді және наноқоспалары бар ерітінділерді зерттеуге арналған әртүрлі авторлардың ғылыми жұмыстарының нәтижелері салыстырылды. Талдау барысында тығыздық, пластикалық тұтқырлық, статикалық және динамикалық ығысу кернеуі, үйкеліс коэффициенті, су беру көрсеткіші және әртүрлі температуралық әрі геологиялық жағдайлардағы бұрғылау ерітінділерінің тұрақтылығы ескерілді [11,12,13].

Материалдарды жүйелеу үшін ғылыми жинақтау, салыстырмалы талдау және қарастырылған жарияланымдарда ұсынылған эксперименттік нәтижелерді интерпретациялау әдістері пайдаланылды. Ұңғыма оқпанының тұрақтылығына әсері, асқынуларды азайтуы және бұрғылаудың механикалық жылдамдығын арттыруы тұрғысынан әртүрлі бұрғылау ерітінділері мен реагенттердің тиімділігі бағаланды. Сонымен қатар бұрғылау ерітінділерінің параметрлерін автоматтандырылған мониторингтеу және нақты уақыт режиміндегі гидравликалық модельдеу технологияларының заманауи тәсілдері талданды.

Мақалада ғылыми дереккөздерде ұсынылған эксперименттік зерттеулердің жинақталған нәтижелерін пайдалана отырып, олардың негізінде наноқоспалар мен химиялық реагенттер енгізілген кездегі бұрғылау ерітінділерінің технологиялық параметрлерінің өзгеруін сипаттайтын салыстырмалы графиктер мен диаграммалар құрастырылды. Алынған мәліметтер бұрғылау ерітінділерін қолдану көрсеткіштерінің қазіргі заманғы үрдістерге кешенді талдау жүргізуге және бұрғылау жұмыстарының тиімділігін арттыруда неғұрлым перспективалы бағыттарды анықтауға мүмкіндік береді.

Осы шолу-талдамалық зерттеудің ғылыми жаңалығы заманауи бұрғылау ерітінділерінің технологиялық қасиеттеріне әсер ететін негізгі факторларды кешенді түрде жүйелеуде және оларды салыстырмалы талдау негізінде бағалауда болып табылады. Авторлар алғаш рет соңғы жылдардағы ғылыми жарияланымдарды біріктіріп, наноқоспалар, полимерлік реагенттер және ингибирлеуші жүйелердің бұрғылау ерітінділерінің фильтрациялық, реологиялық және майлау қасиеттеріне әсерін кешенді түрде салыстырды[14,15].

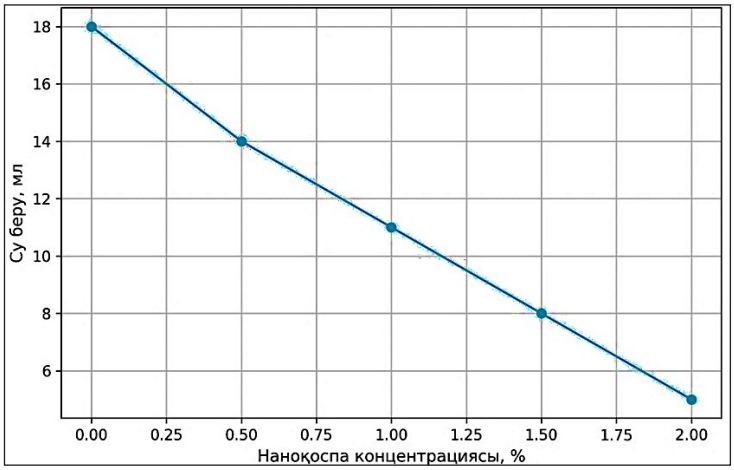
Авторлық үлес ғылыми әдебиеттерді жинақтау, оларды тақырыптық бағыттар бойынша жүйелеу, бұрғылау ерітінділерінің негізгі технологиялық көрсеткіштерін салыстырмалы бағалау және әртүрлі зерттеулердің нәтижелерін жалпылау арқылы жүзеге асырылды. Сонымен қатар жарияланған эксперименттік деректер негізінде салыстырмалы кестелер мен графиктер құрастырылып, бұрғылау ерітінділерінің қасиеттерінің өзгеру заңдылықтары талданды.

Нәтижелер және талқылау

Зерттеу мәліметтерін талдау және заманауи бұрғылау ерітінділерін салыстырмалы бағалау негізінде полимерлік жүйелерді, ингибирлеуші реагенттер мен на-

ноқоспаларды қолдану бұрғылау ерітінділерінің технологиялық параметрлерін айтарлықтай жақсартатыны анықталды. Ең маңызды өзгерістер су беру көрсеткіші, пластикалық тұтқырлық, үйкеліс коэффициенті және ұңғыма оқпанының тұрақтылығы бойынша байқалады.

Фильтрациялық қасиеттерді талдау. Әдеби деректерді салыстырмалы талдау наноқоспалар концентрациясының артуы фильтрат көлемінің төмендеуіне ықпал ететінін көрсетті. Су беру көрсеткішінің ең төмен мәндері қоспалар концентрациясы 1,5-2,0 % болған кезде байқалады, бұл неғұрлым тығыз фильтрациялық қабықшаның түзілуімен түсіндіріледі [16,17,18]. Бұрғылау ерітіндісінің су беру көрсеткішіне наноқоспалардың әсері *1-суретте* көрсетілген.



Сурет 1 – **Бұрғылау ерітіндісінің су шығынын азайту**
Ескерту – Авторлар [1, 2, 14–16] әдебиеттерін талдау негізінде құрастырған

1-суреттен көрініп тұрғандай, наноқоспалар концентрациясының артуы бұрғылау ерітіндісінің су беру көрсеткішінің біртіндеп төмендеуіне әкеледі. Фильтрат көлемінің ең айқын төмендеуі наноқоспалар концентрациясы 1,5-2,0 % болған жағдайда байқалады, бұл неғұрлым тығыз және тұрақты фильтрациялық қабықшаның түзілуімен түсіндіріледі. Мұндай жағдай фильтраттың қабатқа енуін азайтып, ұңғыма қабырғаларының тұрақтылығын арттыруға ықпал етеді. Наноқоспалардың бұрғылау ерітіндісінің су беру көрсеткіштеріне әсер ету нәтижелері *1-кестеде* келтірілген.

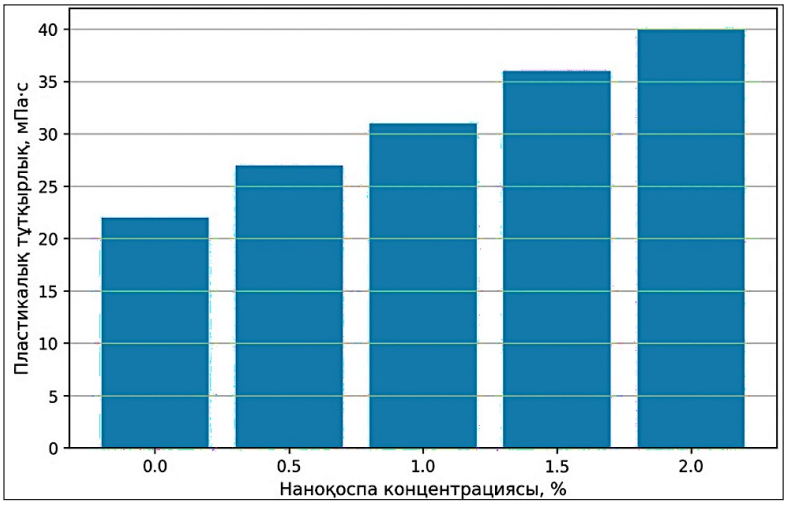
Кесте 1 – **Наноқоспалардың бұрғылау ерітіндісінің су беру көрсеткіштеріне әсері**

Қоспа концентрациясы, %	Су беру, мл	Базалық ерітіндімен салыстырғандағы төмендеу, %
0.0	18	0.0
0.5	14	22.2
1.0	11	38.9
1.5	8	55.6
2.0	5	72.2

Дереккөз: авторлар [1, 2, 14–16] әдебиеттеріндегі мәліметтерді өңдеу және салыстырмалы талдау негізінде құрастырған.

1-кесте мәліметтерін талдау, наноқоспаларды қолдану базалық ерітіндімен салыстырғанда су беру көрсеткішін 72,2 %-ға дейін төмендететінін көрсетеді. Сонымен қатар, бұрғылау ерітінділерінің фильтрациялық қасиеттерін жақсарту және ұңғымаларды бұрғылау кезіндегі қиыншылықтардың қаупін азайту үшін наноматериалдарды қолданудың тиімділігі едәуір жоғары екендігін көрсетеді.

Бұрғылау ерітіндісінің реологиялық сипаттамалары. Бұрғылау ерітіндісінің пластикалық тұтқырлығының артуы бұрғыланған тау жыныстарын жоғарыға тасымалдауды жақсартып, ұңғыма қабырғаларының тұрақтылығын арттыруға ықпал етеді. Ең тұрақты реологиялық көрсеткіштер нанографит пен кремний диоксиді қосылған ерітінділерде байқалатындығы анықталды. Наноқоспалар концентрациясының пластикалық тұтқырлыққа әсері *2-суретте* берілген.



Сурет 2 – **Пластикалық тұтқырлықтың өзгеруі**
Ескерту – Авторлар [1, 2, 10, 11] деректері негізінде құрастырған

2-суретке сәйкес, наноқоспалар концентрациясының артуы бұрғылау ерітіндісінің пластикалық тұтқырлығының жоғарылауымен қатар жүреді. Тұтқырлықтың артуы бұрғыланған жыныстарды тасымалдауды жақсартып, ұңғыма түбін тазарту тиімділігін арттыруға ықпал етеді. Ең тұрақты көрсеткіштер нанографит пен кремний диоксиді қосылған ерітінділерде байқалады. Әртүрлі бұрғылау ерітінділерінің реологиялық және майлау қасиеттерін салыстыру нәтижелері *2-кестеде* көрсетілген.

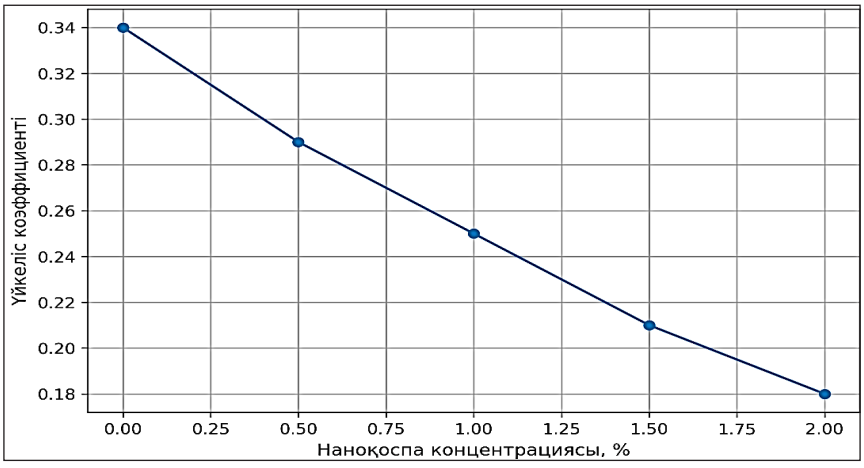
Кесте 2 – **Бұрғылау ерітінділерінің реологиялық және майлау қасиеттерін салыстырмалы талдау**

Ерітінді түрі	Тығыздық, г/см³	Пластикалық тұтқырлық	Үйкеліс коэффициенті
Базалық	1.10	22	0.34
Полимерлі	1.12	27	0.29
SiO_2-мен	1.13	31	0.25
Графенмен	1.14	36	0.21
Нанографитпен	1.15	40	0.18

Дереккөз: авторлар [1, 2, 10, 11, 17] ғылыми жарияланымдарының нәтижелерін жинақтау негізінде құрастырған.

2-кестеде келтірілген нәтижелер наноқоспалары бар ерітінділердің базалық ерітіндімен салыстырғанда жоғары реологиялық сипаттамаларға және төмен үйкеліс коэффициентіне ие екенін көрсетеді. Ұңғыманы бұрғылауға қатысты ең тиімді көрсеткіштер графен мен нанографит қосылған ерітінділерде байқалды, бұл оларды күрделі бұрғылау жағдайларында қолдануға мүмкіндік береді.

Майлау қасиеттері және үйкелісті төмендету. Бұрғылау ертінділерінде көміртекті наноматериалдарды қолдану үйкеліс коэффициентінің айтарлықтай төмендеуіне септігін тигізеді. Аталған материалдарды қолдану, бұрғылау құралдарының тозуын азайтуға, бұрғылау бағанының кептеліп қалу қаупін төмендетуге және көлденең немесе көлбеу бағытталған ұңғымаларды бұрғылау тиімділігін арттыруға ықпал етеді [19, 20]. Наноқоспалардың бұрғылау ертіндісінің майлау қасиеттеріне әсері *3-суретте* көрсетілген.



Сурет 3 – **Наноқоспалардың майлау қасиеттеріне әсері**
Ескерту – Авторлар [8, 17, 18] әдебиеттеріндегі нәтижелерді жалпылау негізінде құрастырған

3-суреттен көрініп тұрғандай, бұрғылау ертіндісі құрамында наноқоспалар мөлшерінің артуы, оның үйкеліс коэффициентінің төмендеуіне ықпал етеді. Үйкелістің азаюы бұрғылау құралдарының тозуын төмендетіп, бұрғылау құбырының кептеліп қалу ықтималдығын азайтады және көлденең немесе көлбеу бағытталған ұңғымаларды бұрғылау тиімділігін арттырады.

Наноқоспалардың әсер етуінің технологиялық сұлбасы. Зерттелген материалдарды талдау наноқоспаларды енгізу бұрғылау ерітіндісінің технологиялық сипаттамаларын кешенді түрде жақсартуға ықпал ететінін көрсетеді. Наноқоспалардың бұрғылау ерітіндісінің қасиеттеріне әсер етуінің технологиялық сұлбасы *4-суретте* берілген.

Сурет 4 – **Наноқоспалардың бұрғылау ерітіндісінің қасиеттеріне әсер етуінің технологиялық сұлбасы**
Ескерту – Авторлар әдеби деректерді жүйелеу негізінде әзірлеген

4-суреттегі технологиялық сұлба наноқоспалардың бұрғылау ерітіндісінің қасиеттеріне әсер ету реттілігін көрсетеді. Наноматериалдарды енгізу фильтрациялық, реологиялық және майлау сипаттамаларын кешенді түрде жақсартып, ұңғыма тұрақтылығы мен бұрғылау жұмыстарының тиімділігіне оң әсер етеді.

Көрсеткіштердің жақсаруы, бұрғылаудың механикалық жылдамдығын арттыруға, апаттылықты төмендетуге және пайдалану шығындарын азайтуға ықпал етеді [21,22].

Қорытынды

Ғылыми зерттеулерге жүргізілген шолу және заманауи ғылыми жарияланымдарға жасалған салыстырмалы талдау бұрғылау ерітінділерінің мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау процестерінің тиімділігін, қауіпсіздігін және экономикалық тиімділігін анықтайтын негізгі факторлардың бірі екенін көрсетті. Бұрғылау тереңдігінің артуы, геологиялық-техникалық жағдайлардың күрделенуі және көлденең бұрғылау көлемдерінің өсуімен сипатталатын қазіргі заманғы ұңғыма құрылысы жағдайлары бұрғылау ерітінділерінің технологиялық сипаттамаларына жоғары талаптар қояды.

Зерттеу нәтижелерін талдау негізінде төмендегідей қорытындылар жасауға болады:

– наноқоспаларды қолдану ерітінділердің реологиялық, фильтрациялық және майлау сипаттамаларын жақсартады;

– ингибирлеуші және полимерлік жүйелерді пайдалану бұрғылаудың күрделі геологиялық жағдайларында ұңғыма оқпанының тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді;

– заманауи бұрғылау ерітінділері ұңғымадағы апаттылықты едәуір төмендетіп, ұңғымалар құрылысына кететін уақыт шығындарын қысқартады.

Ұңғымаларды бұрғылау технологияларын жетілдірудің перспективалы бағыты, наноматериалдарды (графен, нанографит, наноөлшемді кремний диоксиді және көміртекті наноқұрылымдарды) одан әрі зерттеу және өндіріске енгізу болып табылады. Болашақта наноқоспаларды қолдану бұрғылау процесі кезінде өзгеріп отыратын геологиялық-техникалық жағдайларға бейімделе алатын, қасиеттері реттелетін интеллектуалды бұрғылау ерітінділерін жасауға мүмкіндік береді.

Осылайша, бұрғылау ерітінділерінің құрамын жетілдіру, нанотехнологияларды қолдану және интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу қазіргі жағдайда мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылаудың тиімділігі мен қауіпсіздігін арттырудың маңызды бағыттары болып табылады.

ӘДЕБИЕТ

1. Абусал Юсеф А.Ю., Четвертнева И.А., Исмаков Р.А., Яхин А.Р., Логинова М.Е. Влияние нанодобавок на технологические параметры бурового раствора для бурения и реконструкции скважин // Нанотехнологии в строительстве. – 2024. – Т. 16. – № 6. – С. 576–586. – DOI: 10.15828/2075-8545-2024-16-6-576-586.[Abusal Yusef A.Yu., Chetvertneva I.A., Ismakov R.A., Yakhin A.R., Loginova M.E. Vliyanie nanodobavok na tekhnologicheskie parametry burovogo rastvora dlya bureniya i rekonstruktsii skvazhin // Nanotekhnologii v stroitel'stve. – 2024. – Vol. 16. – No. 6. – P. 576–586. – DOI: 10.15828/2075-8545-2024-16-6-576-586.]

2. Давуди Ш., Еремян Г.А., Степико А.В., Рукавишников В.С., Минаев К.М. Сравнительный анализ физических свойств и экономической эффективности буровых растворов с нанодобавками // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 6. – С. 130–141. – DOI: 10.18799/24131830/2021/6/3210.[Davudi Sh., Eremyan G.A., Stepiko A.V., Rukavishnikov V.S., Minaev K.M. Sravnitel'nyi analiz fizicheskikh svoistv i ekonomicheskoi effektivnosti burovykh rastvorov s nanodobavkami // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2021. – Vol. 332. – No. 6. – P. 130–141. – DOI: 10.18799/24131830/2021/6/3210.]

3. Третьяк А.Я., Чумаков А.А., Кривошеев К.В. Буровой раствор для бурения многолетнемерзлых горных пород // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2024. – Т. 335. – № 9. – С. 24–30. – DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4761.[Tret'yak A.Ya., Chumakov A.A., Krivosheev K.V. Burovoi rastvor dlya bureniya mnogoletnemerzlykh gornykh porod // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2024. – Vol. 335. – No. 9. – P. 24–30. – DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4761.]

4. Ахундов Ф.А. Разработка метода определения гидродинамической характеристики бурового раствора в процессе бурения скважины // Yessenov Science Journal. – 2024. – Т. 46. – № 1. – С. 82–88. – DOI: 10.56525/NJNB5348.[Akhundov F.A. Razrabotka metoda opredeleniya gidrodinamicheskoi kharakteristiki burovogo rastvora v protsesse bureniya skvazhiny // Yessenov Science Journal. – 2024. – Vol. 46. – No. 1. – P. 82–88. – DOI: 10.56525/NJNB5348.]

5. Мирзаев Э.С. Технологии бурения нефтяных и газовых скважин и современные направления их развития // Экономика и социум. – 2024. – № 1(140). – С. 1–6.[Mirzaev E.S. Tekhnologii bureniya neftyanykh i gazovykh skvazhin i sovremennye napravleniya ikh razvitiya // Ekonomika i sotsium. – 2024. – No. 1(140). – P. 1–6.]

6. Маулетбекова Б.К., Карманов Т.Д., Калиев Б.З., Жаутиков Б.А. Состав бурового раствора при бурении технологических скважин в неустойчивых глинистых породах и влияние его на дальнейшее использование // Нефть и газ. – 2023. – № 3(135). – С. 92–101. – DOI: 10.37878/2708-0080/2023-3.08.[Mauletbekova B.K., Karmanov T.D., Kaliev B.Z., Zhautikov B.A. Sostav burovogo rastvora pri burenii tekhnologicheskikh skvazhin v neustoichivykh glinistykh porodakh i vliyanie ego na dal'neishee ispol'zovanie // Neft' i gaz. – 2023. – No. 3(135). – P. 92–101. – DOI: 10.37878/2708-0080/2023-3.08.]

7. Третьяк А.Я., Кривошеев К.В. Буровые растворы для бурения скважин в сложных геологических условиях // Булатовские чтения: сборник статей. – Краснодар, 2024. – С. 321–325.[Tret'yak A.Ya., Krivosheev K.V. Burovye rastvory dlya bureniya skvazhin v slozhnykh geologicheskikh usloviyakh // Bulatovskie chteniya: sbornik statei. – Krasnodar, 2024. – P. 321–325.]

8. Гражданкин А.С., Янишевский Е.А. Буровой раствор для строительства скважин в сложных геологических условиях // Вестник науки. – 2024. – № 11(92). – Т. 2. – С. 1221–1227.[Grazhdankin A.S., Yanishevskii E.A. Burovoi rastvor dlya stroitel'stva skvazhin v slozhnykh geologicheskikh usloviyakh // Vestnik nauki. – 2024. – No. 11(92). – Vol. 2. – P. 1221–1227.]

9. Меринов И.А., Шиян С.И. Обоснование выбора бурового раствора на основании геолого-технических данных бурения наклонно-направленной скважины на Чаяндинском нефтегазоконденсатном месторождении // Булатовские чтения: сборник статей. – Краснодар, 2020. – С. 214–220.[Merinov I.A., Shiyan S.I. Obosnovanie vybora burovogo rastvora na osnovanii geologo-tekhnicheskikh dannykh bureniya naklonno-napravlennoi skvazhiny na Chayandinskom neftegazokondensatnom mestorozhdenii // Bulatovskie chteniya: sbornik statei. – Krasnodar, 2020. – P. 214–220.]

10. Сейдалиев А.А., Жайлиев А.О., Гусманова А.Г., Ратов Б.Т., Табылганов М.Т., Куттыбаев А.Е. Подбор буровых растворов и регулирование их плотности // Нефть и газ. – 2025. – № 1(145). – С. 115–128. – DOI: 10.37878/2708-0080/2025-1.06.[Seidaliev A.A., Zhailiev A.O., Gusmanova A.G., Ratov B.T., Tabylganov M.T., Kuttybaev A.E. Podbor burovykh rastvorov i regulirovanie ikh plotnosti // Neft' i gaz. – 2025. – No. 1(145). – P. 115–128. – DOI: 10.37878/2708-0080/2025-1.06.]
11. Бабаян Э.В. Буровая гидравлика: учебное пособие. – Москва: Инфра-Инженерия, 2018. – 156 с.[Babayan E.V. Burovaya gidravlika: uchebnoe posobie. – Moscow: Infra-Inzheneriya, 2018. – 156 p.]
12. Omomo K.O., Esiri A.E., Olisakwe H.C. Hydraulic modeling and real-time optimization of drilling fluids: A future perspective // Global Journal of Research in Engineering and Technology. – 2024. – Vol. 2. – No. 2. – P. 30–38. – DOI: 10.58175/gjret.2024.2.2.0030.[Omomo K.O., Esiri A.E., Olisakwe H.C. Hydraulic modeling and real-time optimization of drilling fluids: A future perspective // Global Journal of Research in Engineering and Technology. – 2024. – Vol. 2. – No. 2. – P. 30–38. – DOI: 10.58175/gjret.2024.2.2.0030.]
13. Karamani E., Gropa O., Zema R. Understanding the Role of Drilling Fluids: A Functional Overview for Well Engineers // International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology. – 2025. – Vol. 14. – Issue 7. – P. 17065–17090. – DOI: 10.15680/IJIRSET.2025.1407001.[Karamani E., Gropa O., Zema R. Understanding the Role of Drilling Fluids: A Functional Overview for Well Engineers // International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology. – 2025. – Vol. 14. – Issue 7. – P. 17065–17090. – DOI: 10.15680/IJIRSET.2025.1407001.]
14. Offenbacher M., Toomes R. Operating as a System // AES Drilling Fluids Magazine. – 2024. – January/February. – P. 2–4.[Offenbacher M., Toomes R. Operating as a System // AES Drilling Fluids Magazine. – 2024. – January/February. – P. 2–4.]
15. Mohamed S., Salehi S., Ahmed R. Hydraulic modeling and drilling fluid optimization in complex wells // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2021. – Vol. 196. – P. 107–118. – DOI: 10.1016/j.petrol.2020.107991.[Mohamed S., Salehi S., Ahmed R. Hydraulic modeling and drilling fluid optimization in complex wells // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2021. – Vol. 196. – P. 107–118. – DOI: 10.1016/j.petrol.2020.107991.]
16. Njuguna P., Mwangi J., Kariuki D. Modern drilling fluids and wellbore stability challenges // Petroleum Engineering Journal. – 2022. – Vol. 18. – No. 4. – P. 55–67.[Njuguna P., Mwangi J., Kariuki D. Modern drilling fluids and wellbore stability challenges // Petroleum Engineering Journal. – 2022. – Vol. 18. – No. 4. – P. 55–67.]
17. Amanullah M., Al-Arfaj M. Advances in drilling fluid technology for wellbore stability // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2019. – Vol. 176. – P. 506–520. – DOI: 10.1016/j.petrol.2019.02.009.[Amanullah M., Al-Arfaj M. Advances in drilling fluid technology for wellbore stability // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2019. – Vol. 176. – P. 506–520. – DOI: 10.1016/j.petrol.2019.02.009.]
18. Al-Yami A., Schubert J. Real-time monitoring and prediction of stuck pipe events // SPE Journal. – 2021. – Vol. 26. – No. 4. – P. 1985–1998. – DOI: 10.2118/204104-PA.[Al-Yami A., Schubert J. Real-time monitoring and prediction of stuck pipe events // SPE Journal. – 2021. – Vol. 26. – No. 4. – P. 1985–1998. – DOI: 10.2118/204104-PA.]
19. Samal Akhmetzhan, Bauyrzhan Bilashev, Kairbek Ikhsanov, Gulmira Kalesheva, Ainash Mukambetkaliyeva. Human Optimization of Drill Winch Brake Cooling System for Improved Working Process Parameter // Engineered Science. 2023, 23, 881. Engineered Science Publisher LLC 2023. DOI: https://dx.doi.org/10.30919/es8d881[Akhmetzhan S., Bilashev B., Ikhsanov K., Kalesheva G., Mukambetkaliyeva A. Human Optimization of Drill Winch

Brake Cooling System for Improved Working Process Parameter // Engineered Science. – 2023. – Vol. 23. – Article 881. – DOI: 10.30919/es8d881]

20. Ихсанов К.А., Джанбаев О.У., Гусманова Е.Ю. Выбор и обоснование плотности промывочной жидкости при бурении нефтегазовых скважин // V Молодежный Форум университетов стран ШОС–2020 НИУ «Бел.ГУ», Сборник докладов. Белгород, Россия 17 ноября 2020 г. -С. 86-88.[Ikhsanov K.A., Dzhanbaev O.U., Gusmanova E.Yu. Vybor i obosnovanie plotnosti promyvochnoy zhidkosti pri burenii neftegazovykh skvazhin // V Molodezhnyy Forum universitetov stran ShOS–2020 NIU «BelGU»: Sbornik dokladov. – Belgorod, Russia, 17 noyabrya 2020 g. – P. 86–88.]
21. Ихсанов К.А., Исследование рабочих параметров и совершенствование технических средств, влияющие на повышение эффективности процесса бурения // Монография. – Уральск: ЗКИТУ, 2020. -С. 100. ISBN 978-601-7392-96-3.[Ikhsanov K.A. Issledovanie rabochikh parametrov i sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv, vliyayushchie na povyshenie effektivnosti protsessa bureniya: Monografiya. – Uralsk: ZKITU, 2020. – 100 p. – ISBN 978-601-7392-96-3]
22. Билашев Б.А., Ихсанов К.А. Разработка новых методов, технологий и технических средств для нефтегазовой отрасли. // Монография. –Уральск. ЗКИТУ, 2020. – С.93. ISBN 978-601-7392-97-0[Bilashev B.A., Ikhsanov K.A. Razrabotka novykh metodov, tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv dlya neftegazovoy otrasli: Monografiya. – Uralsk: ZKITU, 2020. – 93 p. – ISBN 978-601-7392-97-0.]