

УДК 665.7.038.64; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2026-2.05>
<https://orcid.org/0009-0008-2130-1597>
<https://orcid.org/0000-0003-1859-5551>
<https://orcid.org/0000-0002-4875-5782>
<https://orcid.org/0000-0003-3323-8245>
<https://orcid.org/0000-0002-1914-398X>

БҰРҒЫЛАУ ЕРІТІНДІСІНІҢ СІҢІРІЛУІН ТӨМЕНДЕТУГЕ АРНАЛҒАН ПОЛИМЕРЛІ КОМПОЗИЦИЯ



Г.Ж. БИМБЕТОВА¹,
техника ғылымдарының
кандидаты, профессор,
gulmirabimbetova@gmail.com



Н.А. БЕСБАЕВА¹,
докторант,
besbaeva.nursulu@mail.ru



Г.М. ЭФЕНДИЕВ²,
техника ғылымдарының
докторы, профессор,
galib_2000@yahoo.com

К.С. НАДИРОВ¹, химия ғылымдарының докторы, профессор, nadirovkazim@mail.ru
Н.Ш. ОТАРБАЕВ¹, PhD, доцент, otarbaevn@mail.ru

¹М. ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТИ
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5

²МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ ИНСТИТУТЫ
Әзербайжан Республикасы, AZ1000, Баку қ., Фикрет Амиров көш., 9

Мақалада полимерлі реагенттерді қолдану арқылы бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуін төмендету механизмдері қарастырылады. Полимерлердің қабатқа физика-химиялық әсеріне, кольматация процестеріне және сұзу қабығының қалыптасуына ерекше назар аударылған. Бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуі циркуляцияның жоғалуына, ұңғыма оқпанының беріктігінің төмендеуіне және бұрғылау шығындарының артуына әкеледі. Сіңірілумен күресудің дәстүрлі әдістері (жеңілдетілген ерітінділерді қолдану, тампонаждық материалдарды енгізу) әрдайым тиімді бола бермейді, әсіресе микрожарықшақты коллекторлар жағдайында. Жүргізілген стендтік сынақтардың нәтижелері полиакрилонитрилмен май қышқылдарының дистилляция гудрондары негізінде алынған модификацияланған бұрғылау ерітіндісінің оның сіңірілуін жалпы түрде төмендетуге және орташа сүзгілеу жылдамдығын оңтайлы мәнге дейін азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Біртекті сызықтық қабат моделін сипаттайтын қондырғы ұсынылды, ол тау жыныстарымен толтырылған, екі ұшында фланецтері орнатылған болат құбырдан тұрады.

Осы қондырғыда МПАН реагентінің концентрациясына байланысты бұрғылау ерітіндісінің сіңірілу шамасының эксперименттік тәуелділіктері алынды.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, МПАН негізіндегі алынған реагент салыстырмалы түрде төмен өзіндік құнымен ерекшеленеді, өйткені ол полиакрилонитрил мен май қышқылдарының вакуумдық дистилляция гудрондары негізінде өндіріледі. Аталған реагент күрделі геологиялық жағдайларда мұнайгаз ұңғымаларын бұрғылау кезінде бұрғылау ерітінділеріне модификациялаушы қоспа ретінде қолдануға ұсынылады.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: бұрғылау; ұңғыма; тау жынысы; сіңіру; мұнай; газ; бұрғылау ерітіндісі; полиакрилонитрил; гудрон; модификация.

ПОЛИМЕРНАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА

Г.Ж. БИМБЕТОВА¹, кандидат технических наук, профессор, gulmirabimbetova@gmail.com

Н.А. БЕСБАЕВА¹, PhD докторант, besbaeva.nursulu@mail.ru

Г.М. ЭФЕНДИЕВ², доктор технических наук, профессор, galib2000@yahoo.com

К.С. НАДИРОВ¹, доктор химических наук, профессор, nadirovkazim@mail.ru

Н.Ш. ОТАРБАЕВ¹, PhD, доцент, otarbaevn@mail.ru

¹ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АУЭЗОВА,
Республика Казахстан, 160012, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5

²ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА,
Республика Азербайджан, AZ1000, г. Баку, ул. Фикрета Амирова, 9

В статье рассматриваются механизмы снижения поглощений бурового раствора за счёт применения полимерных реагентов. Особое внимание уделено физико-химическому воздействию полимеров на пласт, процессам коагуляции и формированию фильтрационной корки. Поглощение бурового раствора приводит к потере циркуляции, снижению устойчивости ствола скважины и росту затрат на бурение. Традиционные методы борьбы с поглощениями (облегченные растворы, применение тампонажных материалов) не всегда эффективны, особенно в условиях микротрещиноватых коллекторов. Проведенные стендовые испытания показывают, что полученный модифицированный буровой раствор на основе полиакрилонитрила и гудронов дистилляции жирных кислот способствует в целом к снижению его поглощения и уменьшению средней скорости фильтрации до оптимального значения.

Предложена установка, представляющая однородную линейную модель пласта, состоящая из стальной трубы, заполненной горной породой, встроенными с обоих концов фланцами. На установке получены экспериментальные зависимости поглощение бурового раствора от концентрации реагента МПАН.

Показано, что полученный реагент на основе МПАН отличается относительно невысокой себестоимостью, так как получается на основе полиакрилонитрила, гудронов вакуумной дистилляции жирных кислот, может быть рекомендован в качестве модифицирующей добавки к буровым растворам при бурении нефтегазовых скважин в сложных геологических условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бурение; скважина; горная порода; поглощение; нефть; газ; буровой раствор; полиакрилонитрил; гудрон; модифицирование.

POLYMER COMPOSITION TO REDUCE THE ABSORPTION OF DRILLING MUD

G.Zh. BIMBETOVA¹, candidate of technical sciences, professor, gulmirabimbetova@gmail.com
N.A. BESBAEVA¹, PhD doctoral student, besbaeva.nursulu@mail.ru
G.M. EFENDIEV², doctor of technical sciences, professor, galib_2000@yahoo.com
K.S. NADIROV¹, doctor of chemical sciences, professor, nadirovkazim@mail.ru
N.Sh. OTARBAEV¹, PhD, associate professor, otarbaevn@mail.ru

¹M. AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY
 Republic of Kazakhstan, 160012, Shymkent, Tauke Khan ave. 5

²INSTITUTE OF OIL AND GAS
 Republic of Azerbaijan, AZ1000, Baku, Fikret Amirov str, 9

This article examines the mechanisms of reducing drilling fluid losses through the use of polymer reagents. Particular attention is paid to the physicochemical effects of polymers on the formation, the processes of colmatation, and the formation of a filter cake.

Loss of drilling fluid leads to circulation failure, reduced wellbore stability, and increased drilling costs. Traditional methods for combating fluid losses (use of lightweight drilling fluids and lost circulation materials) are not always effective, especially under conditions of microfractured reservoirs. The conducted laboratory bench tests demonstrate that the modified drilling fluid based on polyacrylonitrile and fatty acid distillation tars contributes to an overall reduction in fluid loss and decreases the average filtration rate to an optimal level.

An experimental setup representing a homogeneous linear formation model is proposed. The setup consists of a steel pipe filled with rock material and equipped with flanges at both ends. Using this installation, experimental dependences of drilling fluid loss on the concentration of the MPAN reagent were obtained.

The results show that the developed MPAN-based reagent is characterized by a relatively low production cost, as it is synthesized from polyacrylonitrile and vacuum distillation tars of fatty acids. The reagent can be recommended as a modifying additive to drilling fluids for drilling oil and gas wells under complex geological conditions.

KEYWORDS: drilling; borehole; rock; absorption; oil; gas; drilling mud; polyacrylonitrile; tar; modification.

К ірісіне. Ұңғымалар құрылысын сапалы арттырудың маңызды бағыттарының бірі – бұрғылау ерітінділерінің тиімді құрамдарын қолдану болып табылады. Ұңғымаларды салу күрделі тау-геологиялық жағдайларда жүзеге асырылады, бұл жағдайлар сазды, тұзды және тұз асты шөгінділерінің қалың қабаттарының алмасуымен, аномальды жоғары қабаттық қысымдар мен температуралар аймақтарының болуымен сипатталады. Көмірсутекшикізатының үлкен тереңдіктерде жатуына байланысты ұңғымаларды бұрғылау барысында технологиялық қиындықтардың пайда болу қаупі артады, олардың негізгілері бұрғылау шаю сұйықтығының шығындарының критикалық мәндерден асып кетуімен байланысты.

Сазды қимадағы қиындықтар мен апаттар саздардың гидратациялануы және ісінуі, сондай-ақ сазды - аргиллитті тау жыныстарда ұңғыма қабырғаларының беріктігінің жоғалуымен туындайды. Ісінгіш және диспергирленетін саздарды бұрғылау кезінде коллоидты фракцияның үлесі артып, бұл бұрғылау ерітіндісінің

технологиялық параметрлерінің өзгеруіне, химиялық реагенттердің артықшығынына және қоршаған ортаға техногендік жүктеменің өсуіне әкеледі. Ісінгіш саздар мен сазды-аргиллитті тау жыныстар интервалдарын бұрғылау үшін ингибирлеуші бұрғылау ерітінділерінің көптеген түрлері әзірленген. Алайда сазды шөгінділерде қолданылатын қолданыстағы ингибирлеуші бұрғылау ерітінділері – калийлі, кальцийлі, гликольді, силикатты және басқа да жүйелер – ерітіндінің жұмысын төмендету мен ұңғыма оқпанының беріктігін қамтамасыз ету тұрғысынан әрдайым жеткілікті тиімді бола бермейді [1].

Соңғы жылдары мұнай компаниялары хлорлы калий негізіндегі полимерлі, сазды және сазсыз бұрғылау ерітінділерін табысты қолдануда. Бұл ерітінділердің құрамына қоюландырғыштар, әртүрлі модификациядағы полимерлер және алдын ала гидратталған бентонит кіреді. Аталған ерітінділердің әсер ету механизмі үш негізгі қағидаға негізделген: сазды тау жыныстардың гидратациясын ингибирлеу, қатты фазаның төмен мөлшері және полимердің қаптаушы әсері. Бірқатар жұмыстарда [2–4] авторлар полимер-калийлі ерітінділердің тау жыныстарының беріктігіне әсер ету механизмін және олардың физика-химиялық табиғатын ашуға ұмтылады. Мұндай ерітінділерде, әдетте, көлем бойынша 0,15–0,215% концентрацияда акриламид пен натрий акрилатының жоғары молекулалы сополимерлері қолданылады. Зерттеулер көрсеткендей, сазды тау жыныстардың тұрақтылығын қамтамасыз ету мақсатында хлорлы калийлі полимерлі ерітінділердегі полимерлердің көлемдік үлесі аз болуы тиіс. Алайда жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша келесі қорытындылар жасалды: аниондық полимерлер төмен температура жағдайында сазды сланецтерден құралған ұңғыма қабырғаларын тиімді түрде қорғайды, ал катиондық полимерлер оларды тұрақтандыра алмайды; бейиондық полимерлер жоғары концентрацияда қолданылған жағдайда сазды тау жыныстардың орнықтылығын сақтауға ықпал етеді. Сазды тау жыныстарының тұрақтануы полимердің аниондық табиғатымен және оның төмен тиімді концентрациясымен түсіндіріледі, бұл полимердің саз минералының бүкіл бетіне емес, тек оң зарядталған учаскелеріне адсорбциялануына әкеледі. Бұл ретте хлорлы калийдің 2%-дан жоғары концентрацияда болуы сазды сланецтерде полимердің адсорбциялану процесін едәуір жылдамдатады. Полиакриламид пен хлорлы калий негізіндегі бұрғылау ерітінділері көпвалентті катиондардың әсеріне сезімтал болып келеді, олар ерітіндінің қасиеттерін нашарлатып, соның нәтижесінде оның тиімділігін төмендетеді.

Қазіргі уақытта әлемнің жетекші компаниялары ингибирлеу қасиеттері жоғары және қышқылда немесе суда еритін қатты фазасы бар кольматациялаушы әсерге ие полисахаридтер (биополимерлер, полианиондық целлюлоза және өндірістік крахмал) негізіндегі полимерлі ерітінділерді кеңінен қолдануда. Жоғарыда келтірілген талаптарды ескере отырып, бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуін төмендету мақсатында мұнайгаз ұңғымаларын бұрғылау кезінде полимерлі композицияларды қолдану анағұрлым тиімді екені айқын [5–7].

Полимерлі материалдар бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуін болдырмау және жою технологияларында кеңінен пайдаланылады, себебі олар аз мөлшерде енгізілгеннің өзінде кеуекті-жарықшақты ортада сұйық фазаның сүзгіленуін тиімді түрде шектеу қабілетіне ие. Сіңірілуді төмендету механизмі қабаттың ұңғыма маңындағы

аймағында бұрғылау ерітіндісінің коллекторға енуіне кедергі келтіретін экрандаушы қабаттың түзілуіне негізделген. Бұл әсер полимер макромолекулаларының тау жыныс бетімен адсорбциялық өзара әрекеттесуі, олардың қабат суларымен әрекеттесуі, сондай-ақ бұрғылау ерітіндісінің дисперстік фазасымен бірлескен әсері нәтижесінде жүзеге асады [8].

Сүзу процесі барысында полимер тізбектері кеуектер мен микрожарықшалардың арналарын ішінара жауып, бұрғылау ерітіндісінің сулы фазасы үшін қабаттың тиімді өткізгіштігін төмендетуге және кольматация процестерінің қарқындануына ықпал етеді. Сонымен қатар ұңғыма қабырғаларын тұрақтандыратын және бұрғылау ерітіндісінің шығын көлемін азайтатын жұқа, механикалық тұрғыдан берік әрі төмен өткізгішті сүзу қабығы түзіледі. Полимерлі жүйелердің сіңуімен күрестегі маңызды артықшылығы – олардың молекулалық массасын, құрылымдық-реологиялық қасиеттерін және сүзгілеу арналарының бітелу дәрежесін қоса алғанда, физика-химиялық параметрлерін мақсатты түрде реттеу мүмкіндігі, бұл оларды әртүрлі геологиялық-техникалық бұрғылау жағдайларына бейімдеуді қамтамасыз етеді.

Қазіргі уақытта мұнай өндіру өнеркәсібінде негізінен келесі полимерлер қолданылады: ГИПАН (гидролизденген полиакрилонитрил) және ПАА (полиакриламид).

ГИПАН (гидролизденген полиакрилонитрил) – полиакрилонитрилдің сілтілік гидролизі нәтижесінде алынатын өнім, мұнда нитрильді топтар амидті және карбоксильді топтарға дейін гидролизденеді. Бұл полимердің функционалдық топтарының молекуладағы арақатынасы келесідей: –COONa – 75 %, –CONH₂ – 15 %, –CN – 10 %. Молекулада карбоксильді топтардың салыстырмалы түрде көп болуы нәтижесінде полимер негізінен полиакрил қышқылы мен оның натрий тұздарына тән қасиеттерді көрсетеді. Сыртқы түрі бойынша ГИПАН – сарғыш-қоңыр түсті тұтқыр сұйықтық, суда жақсы ериді; оның молекулалық массасы шамамен 10⁵-ке тең. ГИПАН екі маркада шығарылады: ГИПАН-1 (ПАН : NaOH = 1 : 1) және ГИПАН-0,7 (ПАН : NaOH = 1 : 0,7). Тұтынушыға ГИПАН 10 немесе 17 %-дық сулы ерітінді түрінде жеткізіледі. Техникалық шарттарға сәйкес 10 %-дық өнімнің тығыздығы 1060–1070 кг/м³ құрайды.

Полиакриламид (ПАА) – акриламидтің акрил қышқылымен және оның тұздарымен сополимері. Өнеркәсіпте техникалық мақсаттағы полиакриламид акрил қышқылының нитрилінен (НАК) нитрильді топты амидті топқа алмастыру арқылы, одан кейін акриламидті тотығу-тотықсыздану инициаторларының қатысуымен полимерлеу жолымен алынады. ПАА алу технологиясын сызбалық түрде келесідей сипаттауға болады: бастапқы өнім – НАК күкірт қышқылының қатысуымен сабындандырылады, нәтижесінде акриламид мономерінің сулы ерітіндісі түзіледі. Одан кейін күкірт қышқылы әкпен (әкті әдіс бойынша) немесе аммиактың сулы ерітіндісімен (аммиакты әдіс бойынша) бейтараптандырылады. Полиакриламидтің ірі өндірістік қуаттары Қытайда, Ресейде және Қазақстанда шоғырланған. ПАА-ның сипаттамалары *1-кестеде* келтірілген.

Зерттеушілердің [7–9] бірқатар жұмыстары кеуекті ортада полимерлі ерітінділердің қозғалысын зерттеу көрсеткендей, оның сипаты көптеген басқа химиялық реагенттерге тән емес қасиеттермен анықталады. Бір жағынан, полимерлі ерітінділердің тұтқыр-

Кесте 1 - Полиакриламидтің сипаттамасы [9]

Көрсеткіштер	Әкті полиакриламид ПАА	АммиактыПАА
Сыртқы түрі	Гель түріндегі коллоид. Түсі – түссіз немесе сүттей ақтан сары түске дейін.	Гель түріндегі коллоид. Түсі – сары түстен көк немесе жасыл түске дейін.
Негізгі заттың мөлшері, % кемінде	7	6
Молекулалық массасы, млн.	1,5-3,5	3-5,5
Гидролиз дәрежесі,	8-12	1,5-6
Тұздың мөлшері,%	-	14-18

лығы ығысу жылдамдығына байланысты төмендеуі немесе жоғарылауы мүмкін. Екінші жағынан, полимерлі ерітінділер кеуекті ортамен әрекеттескенде оның өткізгіштігін төмендетеді. Кеуекті орта полимермен әрекеттескеннен кейін өткізгіштіктің төмендеуі тіпті онда ондаған немесе жүздеген кеуекті көлем су өткізілгеннен кейін де сақталады. Бұл тиімділік кішкентай кеуектердің адсорбциялық және физикалық бітелуімен байланысты, ол тұрақты сандық көрсеткішке ие емес және жылдамдыққа байланысты әртүрлі өзгерістерге ұшырауы мүмкін.

Зерттеулер нәтижесінде тау жынысының өткізгіштігінің төмендеуі, ең алдымен, полимердің қатты бетте адсорбциялануы және кеуек бетінде жоғары механикалық қасиеттері бар молекулалық полимер қабатының түзілуі арқылы жүзеге асатыны анықталды [10].

Полимерлердің табиғи және жасанды кеуекті ортада, әртүрлі минералогиялық құрамдағы, әртүрлі минерализациялы сумен қаныққан және әртүрлі температурада, статикалық және динамикалық жағдайларда адсорбциясы көптеген зерттеушілер тарапынан қарастырылды [9].

Жұмыста [9] полимер концентрациясы мен оның қатты бетке адсорбциясы арасындағы сызықтық байланыс, сондай-ақ тау жыныстың минералогиялық құрамының адсорбцияға әсері анықталды. Сонымен қатар, адсорбцияның әктаста кварц бетіне қарағанда әлдеқайда жоғары екені көрсетілді. Полимиктті тау жыныстарда және кеуекті ортада саздардың болу жағдайында полимерлі ерітінділердің адсорбциясы кварц құмына қарағанда бірнеше есе жоғары. Полимиктті тау жыныстар – әртүрлі минералдар мен тау жынысының сынықтарынан тұратын құмтас және конгломераттар, олардың құрамында кварц мөлшері 60%-дан аспайды. Кеуекті ортада ұсталған полимер мөлшері сүзу жылдамдығына тәуелді, ал динамикалық жағдайда адсорбция статикалық жағдайға қарағанда аз болады. Авторлар [9] пікірінше, динамикалық адсорбцияның азаюы – полимер сүзгіленде барлық кеуектер адсорбцияға қатыспай, ерітінді негізінен көлем бірлігіне беті аз кеуектер арқылы қозғалады, сондай-ақ кеуекті ортаның бір бөлігі полимер үшін қолжетімсіз болып қалады. Сүзгілеу кезінде полимердің бір бөлігі механикалық түрде ұсталады, бірақ адсорбцияны таза механикалық ұстамадан бөлу іс жүзінде мүмкін емес.

Адсорбцияланған полимер мөлшері кеуекті ортаның беткі қасиеттеріне, оның өткізгіштігіне, еріткіштегі тұздың құрамына, ортаның рН көрсеткішіне және полимердің гидролиз дәрежесіне едәуір тәуелді. Тұздардың әсерін зерттеу көрсеткендей, олардың түріне байланысты полимердің қатты беттегі адсорбциясын күшейтуге немесе төмендетуге болады. Полимердің гидролиз дәрежесінің артуы полимердің адсорбциясын арттырады, ал төмендеуі адсорбцияны азайтады [9].

Осылайша, жүргізілген талдау негізінде кеуекті ортадағы полимердің адсорбциясы макромолекулалардың қатты бетпен өзара әрекеттесу күштеріне тәуелді екені қорытындыланады. Бұл жағдайда полимер ионының минерал бетімен электростатикалық өзара әрекеттесуі, карбоксильді және амидтік топтар мен минералдың гидратталған беті арасындағы сутектік байланыстардың түзілуі, қатты бетпен химиялық әрекеттесу, ассоциацияланған және жеке макромолекулалардың кеуектердің тар жерлерінде механикалық ұсталыуы мүмкін. Полимер ерітінділері нақты коллекторлармен әрекеттескенде макромолекулалардың функционалдық топтарының қатты беттегі иондарымен ерекше өзара әрекеттесуі басым, нәтижесінде ерітпейтін тұз типіндегі қосылыстар түзіледі. Бұл адсорбция орталықтарын саз, әктасты, кальцит және кальцийді қамтитын басқа минералдар құрайды, олар құмтастарда цементтеу заттарының ролін атқарады.

Осы жұмыстың мақсаты мұнайгаз ұңғымаларын бұрғылау барысында бұрғылау ерітіндісінің сіңірілу көлемін критикалық мәндерден аспайтын деңгейде төмендетуге арналған модификацияланған бұрғылау ерітіндісін алу.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Модификация үшін қолданылған бастапқы шикізат – май қышқылдарының вакуумдық дистилляциясынан алынған гудрон, оның сабындану саны 80–130 мг КОН құрайды. 120–130°C температурада сабындалған гудрон құрамында 45–50% май қышқылдарының тұздары, 8–10% глицеридтер, конденсация және полимеризация өнімдері, госсипол және оның туындылары бар.

Полиакрилонитрилдің АК-636 маркасын модификациялау келесі тәртіппен жүргізілді. 3–4 % сазды ұнтақты қамтитын сулы ерітіндіге 6–8 % полиакрилонитрил және гудрон қосылды. Полиакрилонитрилді қамтитын гудронды сабындау 20% натрий гидроксидінің ерітіндісімен 120–130°C температурада жүзеге асырылды. Сабындалу процесі аяқталған соң, ерітіндіге есептелген мөлшерде ұнтақталған мақта сабағының массасы (ҰМС), карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) қосылып, дайын бұрғылау ерітіндісінің көрсеткіштері анықталды. Кальций иондарының концентрациясын реттеу үшін ерітіндіге 0,2 % Na_2CO_3 енгізілді. Бұрғылау ерітіндісі циркуляцияланған кезде және тау жынысына түскенде модификацияланған полиакрилонитрил (МПАН) ісінумен бірге оның тау жынысы арқылы өту жылдамдығын төмендетіп, сіңірілген ерітінді көлемін азайтуға ықпал етеді.

Бұрғылау ерітіндісі циркуляцияланған сайын ұнтақталған мақта сабағының массасының мөлшері ұңғыма қабығының қабатында ішінара шөгетіндіктен төмендейді. Сондықтан бұрғылау ерітіндісін циркуляциялау кезінде оны түзету қажет: ұнтақталған мақта сабағын бастапқы концентрацияға жеткізу үшін кезеңдік түрде қосады. Сол сияқты, ерітінді МПАН, КМЦ, Na_2CO_3 және бентонитті саз бойынша түзетіледі [9].

Стандік зерттеулер жүргізу үшін эксперименттік қондырғы құрылды. Полимерлі реагентпен модификацияланған бұрғылау ерітіндісінің фильтрациялық сипаттарын

зерттеу кезінде бастапқы бұрғылау ерітіндісі арқылы кеуекті ортаның моделінен алдын ала фильтрация жүргізілгеннен кейін модификацияланған бұрғылау ерітіндісі әртүрлі қысым айырмашылықтарында фильтрацияланды. Фильтрация процесі қабылданған әдістемеге сәйкес ең үлкен қысым айырмашылығынан басталды, бұл интенсивті фильтрация жағдайында қалыптасатын полимерлі экрандаушы қабаттың тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік берді. Бір қысым айырмашылығынан екіншісіне өту, бастапқы және модификацияланған бұрғылау ерітінділері үшін де фильтрация процесі тұрақты режимге жеткеннен кейін жүзеге асырылды.

Интенсивті сіңірілу кезеңінің аяқталуы және тұрақты фильтрация режиміне өту кеуекті орта моделінен алынатын фильтрат көлемінің күрт төмендеуімен анықталды. Бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуін төмендету тиімділігі полимерлі реагентпен өндеуден кейінгі фильтрат көлемінің салыстырмалы төмендеуі бойынша бағаланды. Эксперименттер фильтрацияның квазистационарлық режиміне жеткенде, яғни бұрғылау ерітіндісінің шығындары минималды болғанда аяқталды [10].

Нәтижелер және талқылау

Зерттелген модификацияланған бұрғылау ерітіндісінің қасиеттерін зерттеу эксперименттері келесі ретпен жүргізілді. Белгілі бір қысым айырмашылығында қабат модельіне бастапқы бұрғылау ерітіндісі жіберіліп, шамамен үш сағат ұсталды. Содан кейін қабат модельіне сол қысым айырмашылығында модификацияланған бұрғылау ерітіндісі енгізілді. Бұл процесс бірнеше рет, әртүрлі бұрғылау ерітіндісі қатынастары бойынша қайталанды.

Эксперименттер жүргізу кезінде тәжірибе теориясының барлық талаптары сақталды. Модификацияланған бұрғылау ерітіндісімен өндегеннен кейін кеуекті ортаның фильтрациялық сипаттары кеуекті ортаның сіңуіне және модификацияланған бұрғылау ерітіндісінің концентрациясына байланысты бағаланды.

Бастапқы ерітіндінің тау жынысы арқылы өту жылдамдығы, сондай-ақ гудронмен модификацияланған полиакрилонитрил қосылған ерітінділердің өту жылдамдығы зертханалық стендте анықталды (*1-сурет*).



Сурет 1 – Бұрғылау ерітіндісінің сіңірілу дәрежесін анықтауға арналған қондырғының схемасы

Қондырғы құрамына келесі элементтер кіреді: бастапқы бұрғылау ерітіндісін сақтайтын сыйымдылық (1), полимерлі қоспаны сақтайтын сыйымдылық (2), ара-ластырғыш (3), сұйықтық ағынын жабатын клапандар (4), сорап (5), манометр (6), қабат модельі (7) және тау жынысы арқылы өткен бұрғылау ерітіндісін өлшеуге арналған сыйымдылық (8).

Қабат модельінің екі ұшында фланцы бар, тау жынысымен толтырылған болат құбырдан тұрады. Соңғы фланецке қондырылған вентиль модельді қондырғыға қосуға және бұрғылау ерітіндісінің тау жынысы арқылы сіңу жылдамдығын бақылауға мүмкіндік береді. Кеуекті ортаның модельі ретінде тәжірибелерде ұсақталған керн қолданылды, ол Ащысай кен орнынан алынған тау жынысының үлгісі болып табылады. Қабат модельіне бастапқы бұрғылау ерітіндісі жіберіліп, оның шығу көлемі анықталды. Содан кейін модельге модификацияланған полимерлі қоспасы бар бұрғылау ерітіндісі енгізіліп, қайтадан кеуекті тау жынысы арқылы ерітіндінің шығу көлемі есептелді. Осы деректер негізінде әр экспериментте бұрғылау ерітіндісінің шығындары есептелді [11–12].

Бұрғылау ерітіндісі сыйымдылықтан (1 және 2) сорап (5) арқылы тау жынысымен толтырылған қабат модельіне (7) беріледі, содан кейін оның шығу көлемі өлшеуіш сыйымдылықта (8) анықталады.

Стендтік сынақтар кернмен толтырылған қабат модельінде жүргізіліп, бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуін сандық бағалау жүзеге асырылды. Бастапқы ерітінді көлемі $V_0 = 3,0$ л болды. 3 сағаттық бақылаудан кейін көлем $V_3 = 2,5$ л-ге дейін азайды, бұл сіңірілген ерітінді көлеміне сәйкес келеді:

$$V_{\text{сіңіруі}} = V_0 - V_3 = 3.0 - 2.5 = 0.5 \text{ л}$$

Сіңірудің орташа жылдамдығы $Q_{\text{орт}}$ сіңірілген көлемнің бақылау уақытына қатынасымен анықталады ($t = 3$) сағ:

$$Q_{\text{орт}} = \frac{V_{\text{сіңіруі}}}{t} = \frac{0,5}{3} = 0,167 \text{ л/сағат}$$

СИ жүйесіне келтіру үшін сіңіру жылдамдығы сағатына текше метрмен көрсетіледі:

$$Q_{\text{орт}} = 0,167 \cdot 10^3 \approx 1,67 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сағат}$$

Эксперименттер модификацияланған бұрғылау ерітіндісінің концентрациясы 0,5-тен 3,0% - ға дейін жүргізілді. Жүргізілген эксперименттер негізінде сіңірілген бұрғылау ерітіндісінің көлемдік мәнделері алынды, олар *2-кестеде* келтірілген, бұл ерітіндінің модификациясының оның кеуекті ортада сіңуіне әсерін нақты бағалауға мүмкіндік береді. Айта кету керек, барлық жағдайларда сазды фазасының концентрациясы ерітіндінің жалпы көлеміне 3-4% құрады.

Зерттеу барысында модификацияланған бұрғылау ерітіндісінің концентрациясының оның негізгі модельде сіңуіне әсері анықталды. Бастапқы ерітінді үшін тау жынысы арқылы сұйықтық көлемі шамамен 3 литр болды. Үш сағаттан кейін модельдегі ерітіндінің көлемі 2,5 литрге дейін төмендеді, бұл 0,5 литр сіңіруге және сағатына 0,167 литр орташа сіңіру жылдамдығына сәйкес келеді. Үш сағаттан кейін модификацияланған бұрғылау ерітіндісінің 0,5% концентрациясында көлемі 2,6 ли-

Кесте 2 – Бастапқы және модификацияланған бұрғылау ерітінділерінің сіңіру мәндері

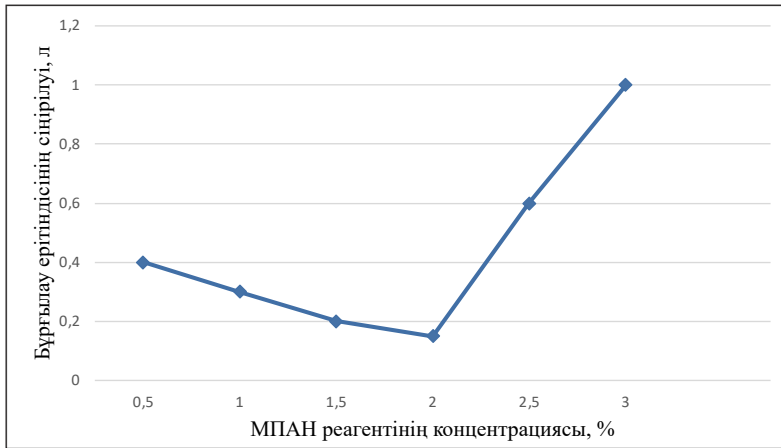
№ п/п	Бұрғылау ерітіндісінің компоненттерінің құрамы, масс. %	Бастапқы көлем, л	3 сағаттан кейінгі көлем, л	Ерітіндінің сіңірілуі, л	Орташа жылдамдық, л/ч
1.	Бастапқы ерітінді	3	2,5	0,5	0,167
2.	Бастапқы ерітінді+ 0,5МПАН+ 0,5 ҰМС. + 0,5 КМЦ + 0,2 Na ₂ CO ₃	3	2,6	0,4	0,133
3.	Бастапқы ерітінді+1,0 МПАН + 1,0 ҰМС. + 0,75КМЦ+ 0,2 Na ₂ CO ₃	3	2,7	0,3	0,1
4.	Бастапқы ерітінді+ 1,5 МПАН+1,5ҰМС. + 1,0 КМЦ+ 0,2 Na ₂ CO ₃	3	2,8	0,2	0,067
5.	Бастапқы ерітінді+ 2,0 МПАН+2,0 ҰМС. + 1,25 КМЦ+ 0,2 Na ₂ CO ₃	3	2,85	0,15	0,05
6.	Бастапқы ерітінді+ 2,5 МПАН+2,5 ҰМС. + 1,50 КМЦ	3	2,4	0,6	0,2
7.	Бастапқы ерітінді+ 3,0 МПАН+ 3,0 ҰМС. + 1,75 КМЦ+ 0,2 Na ₂ CO ₃	3	2,0	1	0,333

трді құрады, бұл 0,4 литрді сіңіруге және сағатына 0,133 литрдің орташа жылдамдығына сәйкес келеді. Оңтайлы нұсқа 2,0% концентрациядағы ерітіндіні көрсетті, оның көлемі 2,85 литр, сіңуі 0,15 л/сағ.

Алынған деректерді талдау модификацияланған ерітіндінің концентрациясының жоғарылауы оның сіңуінің төмендеуіне және сүзудің орташа жылдамдығының оңтайлы мәнге дейін төмендеуіне әкелетінін көрсетеді. Бұл ерітіндінің тұтқырлығының жоғарылауына және кеуекті ортаның бетінде сұйықтықтың модельдің кеуектеріне енуіне жол бермейтін тығыз сүзгі қабағының пайда болуына байланысты. Осылайша, эксперимент нәтижелері бұрғылау ерітіндісінің әсерін сандық бағалауға мүмкіндік береді және бұрғылау ерітіндісінің жоғалуын азайтуға қол жеткізу үшін модификацияланған бұрғылау ерітіндісінің концентрациясы мен құрамын түзету қажеттілігін көрсетеді.

Уақыт бойынша ерітінді көлемінің өзгеру динамикасы модификатор концентрациясы мен сіңіру жылдамдығы арасындағы тікелей байланысты көрсетеді: МПАН концентрациясы неғұрлым жоғары болса, уақыт бірлігінде тау жынысы моделі сіңірген сұйықтық көлемі соғұрлым аз болады (*2-сурет*). Бұл нәтижелер өзгертілген ерітінділердің тиімділігін сандық бағалауға және айналым уақыты ұлғайған кезде бұрғылау ерітіндісінің жоғалуын болжауға мүмкіндік береді.

Алынған мәліметтер негізінде графикалық тәуелділік құрылды, бұл ерітіндінің сіңуі 0,5 литр болатын бастапқы ерітіндімен салыстырғанда 0,5-2% МПАН модификацияланған бұрғылау ерітіндісін қосу сіңірілетін бұрғылау ерітіндісінің көлемін төмендететінін көрсетеді. Алынған нәтижелер модификацияланған ерітінділерді қолдану кеуекті ортада циркуляция кезінде бұрғылау ерітіндісінің жоғалуын азайтудың тиімді әдісі екенін растайды. Құрамында 2% - дан астам МПАН концентрациясы бар бұрғылау ерітіндісінің сіңіру қисығының өсуін авторлар полиакрилонитрил молекулалары мен гудрон май қышқылдарының қалдықтары арасындағы кешенді құрылымдық өзгерістермен байланыстырады.



Сурет 2 – Бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуі МПАН реагентінің концентрациясына тәуелділігі

Осылайша, жүргізілген зерттеулер ерітіндінің әртүрлі модификацияланған құрамдарының тиімділігін сандық бағалауға және оның концентрациясының жоғарылауымен сіңірудің төмендеу тенденциясын анықтауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер бұрғылау ерітіндісінің құрамын оңтайландыруға және бұрғылау процесінде сұйықтықтың ықтимал жоғалуын болжауға практикалық әсер етеді.

Қорытынды

Осылайша авторлар алған мәліметтер нәтижелері одан әрі жетілдірілген эксперименттік зерттеулерді қажет ететіні анықталды. Дегенмен, сабындалған гудрон негізінде модификацияланған полиакрилонитрилдің полимерлі реагентімен біріктірілген ұсақталған мақта сабақтарының бірлескен әсерін зерттеу бойынша жүргізілген эксперименттік зерттеулер сіңуге бейім қабаттарды сәтті оқшаулауға арналған ерітінді жасау мүмкіндігін көрсетті.

Осы уақытқа дейін жүргізілген зерттеулердің талдауы көрсеткендей, алынған мәліметтер оларды бұрғылау кезінде сәтті қолдануға мүмкіндік береді және осылайша ұңғымаларды бұрғылау кезінде туындайтын қиындықтар мен апаттарға байланысты көптеген мәселелерді жеңуге ықпал етеді.

Алынған МПАН негізіндегі реагент салыстырмалы түрде төмен өзіндік құнымен ерекшеленеді, өйткені ол техникалық полиакрилонитрил, май қышқылдарын вакуумдық айдау гудрондары негізінде алынады және мұнайгаз ұңғымаларын бұрғылау кезінде бұрғылау ерітінділеріне модификациялық қоспа ретінде ұсынылуы мүмкін. 🌐

Бұл зерттеулер BR24992809 бағдарламасы бойынша Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қолдауымен орындалды.

ӘДЕБИЕТ

- 1 Гайдаров А.М. Исследование и разработка полимеркатионных растворов для строительства скважин в сложных горногеологических условиях. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.Специальность 2.8.2. – «Технология бурения и освоения скважин»– 2022. [Gajdarov A.M. Issledovanie i razrabotka polimerkationnyh rastvorov dlya stroitel'stva skvazhin v slozhnyh gornogeologicheskikh usloviyah. // Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Special'nost' 2.8.2. – «Tekhnologiya bureniya i osvoeniya skvazhin»– 2022.]
- 2 Саломатов В.А.,Кожаев Д.П., Паникаровский Е.В. Применение ингибирующего бурового раствора для поддержания устойчивости стенок скважины.// Булатовские чтения, 2018. – 270-281с.[Salomatov V.A.,Kozhaev D.P., Panikarovskij E.V. Primenenie ingibiruyushchego burovogo rastvora dlya podderzhaniya ustojchivosti stenok skvazhinyy.// Bulatovskie chteniya, 2018. – 270-281s.]
- 3 Трушин С.И. Управление трассами наклонно-направленных скважин при бурении в многолетнемерзлых горных породах со сложной тектоникой / С.И. Трушин, А.И. Осецкий, М.Ю. Малых, А.В. Пак, А.И. Шенгальц // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 8. – С. 32–37.[Trushin S.I. Upravlenie trassami naklonno-napravlennyh skvazhin pri burenii v mnogoletnemerzlyh gornyh porodah so slozhnoj tektonikoy / S.I. Trushin, A.I. Oseckij, M.Yu. Malyh, A.V. Pak, A.I. Shengal'c // Razvedka i ohrana neдр. – 2019. – № 8. – S. 32–37.]
- 4 Химченко П.В. Алгоритм внедрения технологии полимерного заводнения от лаборатории до реализации на новых и выработанных месторождениях / П.В. Химченко // Нефть. Газ. Новации. – 2017. – № 8. – С. 30–43.[Himchenko P.V. Algoritm vnedreniya tekhnologii polimernogo zavodneniya ot laboratorii do realizacii na novyh i vyrabotannyh mestorozhdeniyah / P.V. Himchenko // Neft'. Gaz. Novacii. – 2017. – № 8. – S. 30–43.]
- 5 Власов С.А., Каган Я.М., Полищук А.М. Повышение нефтеотдачи с применением биополимеров // Нефтяное хозяйство.-2002. - №7. – С. 104-109.[Vlasov S.A., Kagan Ya.M., Polishchuk A.M. Povyshenie nefteotdachi s primeneniem biopolimerov // Neftyanoe hozyajstvo.-2002. - №7. – S. 104-109.]
- 6 Гумерский Х.Х.,Горбунова Т., Жданов С.А., Петраков А.М.Повышение нефтеотдачи пластов с применением системной технологии воздействия / // Нефтяное хозяйство. – 2000.-№12. – С.12-15.[Gumerskij H.H., Gorbunova T., Zhdanov S.A., Petrakov A.M Povyshenie nefteotdachi plastov s primeneniem sistemnoj tekhnologii vozdeystviya / // Neftyanoe hozyajstvo. – 2000.-№12. – S.12-15.]
- 7 Nurakhmetova Zh.A., Gussenov I.Sh., Sigitov V.B., Kudaibergenov S.E. Development of drilling fluids based on polysaccharides and natural minerals. Chemical Bulletin of Kazakh National University, Ser. Colloid and Nano Chemistry, 2016, Vol. 81, No. 1, pp. 4–11 [Nurakhmetova Zh.A., Gussenov I.Sh., Sigitov V.B., Kudaibergenov S.E. Development of drilling fluids based on polysaccharides and natural minerals. Chemical Bulletin of Kazakh National University, Ser. Colloid and Nano Chemistry, 2016, Vol. 81, No. 1, pp. 4–11.]
- 8 М.Б. Изтаев, Ж. Алишева. Применение полимерных растворов для повышения скорости бурения скважин в месторождении Узень // Горный журнал Казахстана №3' 2024. С.42-47.[M.B. Iztaev, Zh. Alisheva. Primenenie polimernyh rastvorov dlya povysheniya skorosti bureniya skvazhin v mestorozhdenii Uzen' // Gornyy zhurnal Kazahstana №3' 2024. S.42-47.]
- 9 Абасов М.Т., Стреков А.С., Эфендиев Г.М. Повышение эффективности ограничения водопритоков в нефтяных скважинах. Книга, “Nafta-Press”, Баку,2009, - 256с.[Abasov M.T., Strekov A.S., Efendiev G.M. Povyshenie effektivnosti ogranicheniya vodopritokov v neftyanyh skvazhinah. Kniga, “Nafta-Press”, Baku, 2009, - 256s.]

- 10 Асадова Г.Ш. Борьба с осложнениями, связанными с деформацией стенок ствола скважины при бурении. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, ВНИОЭНГ, Москва, 6, 2013.,стр.11-12.[Asadova G.Sh. Bor'ba s oslozhneniyami, svyazannymi s deformatsiej stенок stvola skvazhiniy pri burenii. Stroitel'stvo neftyanyh i gazovyh skvazhin na sushe i na more, VNIOENG, Moskva, 6, 2013.,str.11-12.]
- 11 Бимбетова, Г.Ж., Бесбаева Н.А., Эфендиев Г.М., Надилов К.С., Отарбаев Н.Ш. Полимерный реагент для снижения поглощения бурового раствора при бурении нефтегазовых скважин. Вестник КазУТБ, т. 2, вып. 23, 2024 г.,с. 439-446.[Bimbetova, G.Zh., Besbaeva N.A., Efendiev G.M., Nadirov K.S., Otarmaev N.Sh. Polimernyj reagent dlya snizheniya pogloshcheniya burovogo rastvora pri burenii neftegazovyh skvazhin. Vestnik KazUTB, t. 2, vyp. 23, 2024 g.,s. 439-446.]
- 12 Бесбаева Н.А., Бимбетова, Г.Ж., Эфендиев Г.М., Надилов К.С., Отарбаев Н.Ш. Полимерсодержащий состав для снижения поглощения буровой промывочной жидкости. НЕФТЬ И ГАЗ вып. 6(150) , 2025 г.,с. 26-38. [Besbaeva N.A., Bimbetova, G.Zh., Efendiev G.M., Nadirov K.S., Otarmaev N.Sh. Polimersoderzhashchij sostav dlya snizheniya pogloshcheniya burovoj promyvочноj zhidkosti. NEFT' I GAZ vyp. 6(150) , 2025 g.,s. 26-38.]