

Ш.Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті

ӘОЖ 622.276.

Қолжазба құқығында

ХАДИЕВА ӘЛБИНА САҒЫНҒАЛИҚЫЗЫ

**Жоғары тұтқырлы мұнай кеніштерінде физика-химиялық әсер ету
технологиясының тиімділігін арттыру**

8D07210 (6D070800) – Мұнай – газ ісі

Философия докторы (PhD)
Дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесші: т.ғ.к., қауымдастырылған
профессор м.а. Сабырбаева Г.С.
Шетелдік кеңесші:
ӘҰҒА корреспондент-мүшесі,
техника ғылымдарының докторы,
профессор Джалалов Г. И.

Қазақстан Республикасы
Ақтау, 2024

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТІМЕЛЕР	3
АНЫҚТАМАЛАР	4
БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	5
КІРІСПЕ.....	7
1 ҚАБАТТАРДЫҢ МҰНАЙ БЕРГІШТІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ӘСЕР ЕТУ ӘДІСТЕРІНЕ ШОЛУ.....	11
1.1 Жоғары тұтқырлы мұнай кен орындарындағы қабаттардың мұнай бергіштігін арттырудың физика-химиялық әдістеріне шолу.....	11
1.2 Полимерлік суландыру механизмінің теориялық аспектілері.....	13
1.3 Кен орындарда полимерлік суландыруды практикалық қолдану тәжірибесі.....	20
1.4 Полимерлік суландыруды қолдану критерийлері мен тұжырымдамалары	21
1.5 Су-газ әсер ету технологиясын қолдану мәселелеріне шолу.....	29
1– бөлім бойынша қорытынды.....	34
2 МҰНАЙДЫ ӘРТҮРЛІ МАРКАЛЫ ПОЛИМЕРЛЕРМЕН ЫҒЫСТЫРУ ПРОЦЕСІНІҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ	35
2.1 Қаламқас кен орнының қабаттарына әсер ету мақсатында полимерлік композицияларды қолдану негіздемесі.....	35
2.2 GL-50 ЖӘНЕ R-1 полимерлерінің реологиялық қасиеттерін зерттеу.....	36
2.3 Полимерлер ерітінділерінің сүзілу қасиеттерін зерттеу.....	42
2.4 Мұнайды полимерлермен ығыстыру бойынша эксперимент жүргізу әдістемесі.....	44
2.5 Полимерлерді айдау бойынша эксперименттердің нәтижелері.....	49
2-бөлім бойынша қорытынды.....	55
3 ЖОҒАРЫ ТҰТҚЫРЛЫ БІРТЕКТІ ЕМЕС ҚАБАТТАРҒА ПОЛИМЕРЛІК ӘСЕР ЕТУДІҢ ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІН ТАЛДАУ...	56
3.1 Жоғары тұтқырлы мұнайды әртүрлі модификациядағы полиакриламидтермен ығыстыруды эксперименттік зерттеу.....	56
3.2 Эксперименттік зерттеулерде ең кіші квадраттар әдісін қолдану.....	72
3.3 Біртекті емес қабаттарға аралас полимерлік және су-газ әсерін зерттеу.....	78
3.4 Техника-экономикалық көрсеткіштерінің бағалануы.....	90
3-бөлім бойынша қорытынды.....	94
ҚОРЫТЫНДЫ.....	95
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	96
ҚОСЫМШАЛАР.....	104

НОРМАТИВТІК СІЛТІМЕЛЕР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі стандарттар мен ережелер сілтімелер дайындалды:

«Диссертация мен автореферат дайындау жөніндегі нұсқаулық» Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Жоғары аттестаттау комиссиясының 2004 жылғы 28 қыркүйектегі № 377 – 3ж.

МЕМСТ 7.32-2001 (2006 жылғы өзгерістермен). Ғылыми-зерттеу жұмысы туралы есеп. Құрылымы мен ресімдеу ережелері;

МЕМСТ 7.1-2003. Библиографиялық жазба. Библиографиялық сипаттама. Жалпы талаптар және құрастыру ережелері.

Ғылыми дәрежелер беру ережесі, Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2011 жылғы 31 наурыздағы №127 бұйрығымен бекітілген.

Жоғары және оқу орнынан кейінгі білімнің мемлекеттік жалпыға міндетті стандарты, Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары білім Министрінің 2022 жылғы 20 шілдедегі № 2 бұйрығымен бекітілген.

МЕМСТ 8.417-2002 Өлшем бірлігін қамтамасыз етідің мемлекеттік жүйесі.

МЕМСТ 7.9-95 Ақпараттық, кітапханалық және баспа қызметі стандарттарының жүйесі. Реферат және аннотация. Жалпы талаптар.

АНЫҚТАМАЛАР

Абсолютті өткізгіштік – кеуекті ортаның инертті бір фазамен толтырылған өткізгіштігі. Бұл кеуекті арналардың мөлшері мен құрылымына байланысты, бірақ қанықтыратын сұйықтыққа тәуелді емес.

Полимер – ұзын молекулалардан қосылған "мономерлік бірліктерден" тұратын химиялық байланысқан заттар.

Полидисперстік жүйе – бұл екі немесе одан да көп фазалардан тұратын жүйе, дисперсті фаза және дисперсиялық ортадағы ұсақ бөлшектер немесе тамшылар түрінде таралуы.

Модификацияланған су – судың гипотетикалық полимерленген түрі, ол беттік құбылыстар арқылы пайда болады және ерекше физикалық қасиеттерге ие.

Ең кіші квадраттар әдісі – кейбір функциялардың эксперименттік кірістерден ауытқу квадраттарының қосындысын азайтуға негізделген әртүрлі есептерді шешу үшін қолданылатын математикалық әдіс болып саналады.

Сызықтық регрессия теңдеуі – статистикада қолданылатын бір айнымалыға тәуелділіктің регрессиялық моделі немесе бірнеше басқа айнымалылардан (факторлар, регрессорлар, тәуелсіз айнымалылар) сызықтық тәуелділік функцияларының жиынтығы.

БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

АТБСК	акриламид трет бутилсульфонды қышқылы
ПАА	полиакриламид
МӨАӘ	мұнай өндіруді арттыру әдісі
СМК	су-мұнай контактісі
СГӘ	су-газ әсері
МБК	мұнай бергіштік коэффициенті
МҚМ	мұнай қабатының моделі
ҚМБА	қабаттардың мұнай бергіштігін арттыру
ГСЦА	газ бен суды циклдік айдау
ГСГӘ	гибридті су-газ әсері
СГБУА	су мен газды бір уақытта айдау
СГБМСА	су мен газды бір мезгілде селективті айдау
СӘМГКА	суды және әртүрлі мөлшердегі газды кезек-кезек айдау
ТӨС	тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар
ӨБПЖ	өзара байланысқан полимерлік жүйелер
ЖАПҚ	жаңартылған айқаспалы полимер құрамы
МПДК	модификацияланған полимер-дисперсті композиция
БП	биополимер
ҚБТ	қабылдау бейінін теңестіру
ПДС	полимер дисперсті жүйелер
ДШҚ	дисперсті-шөгінді құрамы
ПГҚ	полимер-гель құрамы
ПДИ	полидисперстік индекс
КДЖ	коллоидты дисперсті жүйелер
ТДЖ	талшықты-дисперсті жүйелер
ВЭЖ	вискоэластикалық жүйелер
ҚҚС	қабат қысымын сақтау
ЖМ	жалпы минералдану
ЭМС	электрохимиялық модифицияланған су
$\Delta P_{\text{баст}}$	полимер ерітіндісін айдауға дейінгі қысымы
$\Delta P_{\text{соңы}}$	полимер ерітіндісін айдағаннан кейінгі қысымы
$q_{\text{баст}}$	полимерді айдағанға дейінгі шығыны
$q_{\text{соңы}}$	полимерді айдағаннан кейінгі шығыны
D	деструкция
μ	тұтқырлық
R	кедергі факторы

L	қабаттың ұзындығы
k	өткізгіштік
σ	мұнай -су шекарасындағы беттік керілу
θ	ылғалдандырудың шеткі бұрышы
ΔP	қабаттағы қысымның төмендеуі
φ	құрылымдық коэффициент
m	кеуектілік
Π_1	кеуекті ортаның құрылымын анықтайды
Π_2	гидродинамикалық күштердің кеуектердегі фазалардың таралу әсерін көрсетеді
η	мұнайдың ығысу коэффициенті
B	айдалатын судың кеуек көлеміне қатынасы $V_{\text{су.айдал}}/V_{\text{кеуек}}$
r_{xy}	корреляция коэффициенті
t	квантильдер Стьюдент көрсеткіші
α	маңыздылық деңгейі
$N-2$	еркіндік дәрежелерінің саны
μ_0	судың тұтқырлығы
R_c	қабат жағдайындағы су-газ қоспасындағы ауаның (газдың) көлемдік үлесі
$V_{\text{гкж}}$	айдалатын газдың (ауаның) көлемі
$V_{\text{су.айдал}}$	айдалатын су көлемі
F_k	кедергі факторы
$F_{\text{қк}}$	қалдық кедергі факторы
P_{Π}	полимерді айдау кезіндегі қысымның төмендеуі

КІРІСПЕ

Жұмыстың өзектілігі. Мұнай кен орындарын тиімді игеру мәселесі, әсіресе дамушы елдерде мұнай мен мұнай өнімдеріне сұраныстың артуына байланысты, өзекті болып отыр. Мұнай кен орындарының сарқылуы және қабаттардың төмен өткізгіштігі жағдайында дәстүрлі суландыру технологияларының тиімділігі шектеулі болып келеді.

Қазіргі таңда мұнай өндіру саласында қабаттардың мұнай бергіштік коэффициентін арттыру үшін су-мұнаймен қаныққан қабаттарға белсенді әсер ету әдістерін қолдану маңызды. Бұл әдістер қабаттардағы сұйықтықтардың қозғалысын қайта бөлуге және суландырудың қамтылуын арттыруға мүмкіндік береді, осылайша, мұнай қорларын тиімді өндіруге жол ашады. Ғылыми-техникалық тұрғыдан бұл маңызды міндет, өйткені ол мұнай кен орындарын ұзақ мерзімде тиімді пайдалануға септігін тигізеді.

Мұнай мен мұнай өнімдерін пайдалану жылдан-жылға артып келе жатқандықтан, әсіресе бұл экономикасы дамып, өркендеп жатқан елді мекендерде байқалады. Кен орындардың 90 пайызы қабатқа сұйықтық айдау әдісі арқылы игерілуде. Сондықтан тұрақты энергиямен қамтамасыз ету үшін сарқылған мұнай кен орындарын игеру мәселесі өзекті болып табылады.

Қазақстанның көптеген мұнай кен орындарында кездесетін жоғары тұтқырлықты және шайырлы мұнайды тиімді өндіру – маңызды әрі күрделі міндеттердің бірі. Мұнайдың тұтқырлығы оның қабат арқылы сүзілудегі белсенділігіне тікелей әсер етеді, бұл өз кезегінде өндіруші ұңғымалардың мұнай дебиттері мен түпкілікті мұнай өндіру көрсеткіштерін анықтайды. Жоғары тұтқырлықты мұнай қабаттарында табиғи игеру режимінде мұнайдың бастапқы геологиялық қорларының тек 10%-ы ғана өндіріледі, бұл мұнай бергіштік коэффициентінің төмен екенін көрсетеді. Мұндай кен орындарында су айдауды қолдану үлкен әсер етпейді. Сондықтан, суландыру арқылы қабаттың мұнай бергіштік коэффициентін арттыру және қалдық мұнаймен қанығу коэффициентін азайту арқылы тұтқырлығы жоғары мұнайды алу тиімділігін арттыру технологияларын дамыту қажеттілігі туындайды. Капиллярлық және адсорбциялық күштер арқылы қабатта болатын қалдық мұнай қанықтылығын төмендету үшін үшінші әдістерді қолдану ұсынылады. Үшінші әдістерге жылу, физикалық, химиялық, гидродинамикалық, газ айдау, акустикалық, бактериялық тәсілдер жатады. Мұнай қабатына химиялық әдістермен әсер етуге беттік белсенді заттар, полимерлер, сілтілер, қышқылдар және т.б. жатады. Бұл әдістерді жеке қолдануға да, басқа әдістермен біріктіріп қолдануға да болады, бұл мұнай өндіру тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Мұнай өндіруді тұрақтандырудың ең тиімді және перспективті әдістерінің бірі – полимерлі композицияларды айдауға негізделген физика-химиялық технологиялар. Бұл әдістер мұнай қабаттарының өткізгіштігін реттеп, мұнайдың қозғалысын жеңілдетеді және өндіру тиімділігін арттырады.

Полимерлік әсер ету әдістері ішінде, мұнай өндірудің төмендеу қарқынын бәсеңдету және қор өндіруді ұлғайтуда ең нәтижелі технологиялар – полимерлерді қолдануға негізделген әдістер. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, қабатқа аралас әдістермен әсер ету нұсқалары нақты жағдайларда жүзеге асыру үшін ең қолайлы болып табылады. Бұл әдістер қабаттардың геологиялық ерекшеліктерін ескере отырып, тиімді мұнай өндіруді қамтамасыз етеді.

Алайда, технологияларды одан әрі жетілдіру және олардың тиімділігін арттыру үшін қосымша эксперименттік және кәсіптік зерттеулер жүргізу қажет. Бұл зерттеулер полимерлік әдістердің нақты кен орындарындағы қолдану мүмкіндіктерін және олардың ұзақ мерзімді әсерін анықтауға көмектеседі.

Жұмыстың мақсаты. Полимер ерітіндісі мен газ-сұйық эмульсия негізіндегі кешенді әсер ету әдісін жасау үшін полимерлі композицияларды қолданудың тиімділігін зерттеу.

Мәселенің даму дәрежесі. Мұнай бергіштігінің көрсеткішін арттыру мақсатында әртүрлі зерттеулер жүргізілді. Өзекті ғылыми зерттеулерге Айтқұлов А., Сейтпагамбетов Ж.С., Закенов С.Т., Молдабаева Г.Ж., Нұршаханова Л.Қ., Серайт Р.С, Тома А., Сайук Б., Абиров Ж. Мазбаев Е., Химченко П.В., Стреков А.С., Вилхит Г.П., Грин Д.В., Лейк Л.В., Мускат М., Стайлз В.Е., Дикстра Х., Парсонс Р.Л., Аронофский Ж.С., Раменя Х.Ж., Пай Д.Ж., Чанг Х.Л., Гайллард Н., Гиованнетти В., Фаверо С., Рашиди М., Томас А., Деламайде Е., Базин Б., Камал М.С., Сұлтан А.С., Шенг Д.Д., Химченко П.В. деген сияқты шетелдік және отандық ғалымдардың көптеген еңбектерінің нәтижелері практикалық тұрғыдан пайдалы болды.

Зерттеу нысаны. Қаламқас кен орнының жоғары тұтқырлы Ю-3С, Ю-4С мұнайының қабаттары.

Зерттеудің негізгі міндеттері:

- Кеуекті ортадағы полимерлердің реологиялық қасиеттерін зерттеу;
- Полимерлердің айдалатын сумен үйлесімділігін зерттеу;
- Қабат суларындағы тұздардың мұнайды ығыстыру процесіне әсерін зерттеу;
- R-1 және GL-50 маркалы полимерлерді айдау көлеміне байланысты керн үлгілерінің сумен және мұнаймен қанығуының өзгеруімен мұнайды ығыстыруды зерттеу;
- Біртекті емес қабаттағы мұнайды ығыстыруда ПАА+электрохимиялық дистилленген судың тиімділігін зерттеу;
- Мұнайды біртекті қабаттан ығыстыру кезінде ПАА, ПАА+су-газ қоспасы, дистилленген су-газ қоспасының ерітіндісін қолдану тиімділігін зерттеу;
- Ең кіші квадраттық теңдеу арқылы зерттеуді сипаттау;
- Болжау негізінде аралас әсер ету технологиясын қолдана отырып, игеру көрсеткіштеріне техникалық-экономикалық талдау жүргізу;
- Алынған нәтижелерді қорыту және құрамдастырылған технологиялардың негізгі заңдылықтарын қалыптастыру.

Міндеттерді шешу әдістері. Қойылған міндеттерді шешу бастапқы ақпаратты өңдеу, математикалық есептеу және тәжірибелік әдістерді қолдану арқылы негізделген, сондай-ақ ұқсастық критерияларының мәндерін салыстыру арқылы мұнай өнімділігін арттыру үшін сәйкес келетін нұсқа қолданылды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы.

1. Полимерлі композициялар мен су-газ эмульсиясын және электрохимиялық өңделген суды қолдану арқылы мұнай қабаттарына әсер етудің жаңа кешенді әдісі ұсынылды.

2. Әртүрлі концентрациядағы ПАА қолдану арқылы мұнай бергіштік коэффициентін анықтайтын арнайы регрессивті теңдеу ұсынылды, бұл эксперименттерді тиімді жоспарлауға және қосымша зерттеулерсіз нәтижелер алуға мүмкіндік береді.

3. R-1 және GL-50 маркалы полимер түрлері зерттеліп, олардың мұнай өндіру тиімділігін арттырудағы артықшылықтары негізінде қолдануға ұсынылды.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы. Жүргізілген зерттеу тәжірибелері әртүрлі геологиялық-физикалық жағдайларда полимерлі композициялар негізіндегі технологиялармен кешенді әсер ету арқылы мұнай кен орындарын игеру механизмін тереңірек түсінуге және дамытуға мүмкіндік берді. Бұл зерттеулердің нәтижелері Қазақстанның мұнай кен орындарында полимерлік әсер ету әдістерін өнеркәсіптік ауқымда қолдануға негіз бола алады. Полимерлік технологияларды қолдану арқылы мұнай өндіру көлемін ұлғайту және кен орындарын игерудің техникалық-экономикалық көрсеткіштерін жақсарту мүмкіндігі бар. Осылайша, зерттеу нәтижелері мұнай саласындағы өндіріс тиімділігін арттыруға және ұлттық экономиканың дамуына үлес қосады.

Қорғауға шығарылатын қағидалар.

1. Ұқсастық критериясын пайдалану негізінде қадағаланатын заңдылықтарды анықтау.

2. Мұнайды қабаттан ығыстыру барысындағы математикалық статистикасының регрессивті теңдеулерін салыстыра отырып, тәжірибелік және өнеркәсіптік зерттеулерді талдау әдістемесін қолдану.

3. Біртекті және біртекті емес қабаттардағы мұнайды ПАА+су-газ әсер етудің кешенді әдісімен ығыстырудағы тиімділігін бағалау .

Сенімділік дәрежесі. Диссертациялық жұмыстың ғылыми ережелерінің, тұжырымдары мен ұсынымдарының дұрыстығы және негізділігі зерттеудің заманауи әдістерін қолданумен, алынған нәтижелерді өңдеумен және эксперименттік сынақтар арқылы расталады. Сонымен қатар, математикалық регрессивті теңдеулер арқылы эксперименттік және есептік сынақтардың дәлдігі ұқсастық критериялар сипаттамаларына сәйкес негізделген. Бұл зерттеу нәтижелерінің сенімділігін қамтамасыз етеді және олардың тәжірибеде қолданылу мүмкіндіктерін арттырады.

Жұмыс нәтижелерін апробациялау: Диссертациялық жұмыстың нәтижелері және оның негізгі ережелері "Кен орындарының өндірілуі қиын

көмірсутектерді игерудің геологиялық және технологиялық аспектілері" атты халықаралық ғылыми–практикалық конференциясында, Ақтау, 18.04.2019 ж.; "Каспий маңы мемлекеттерінің халықаралық ынтымақтастығының қаржы-экономикалық және құқықтық аспектілері" атты халықаралық ғылыми–практикалық конференциясында, Ақтау, 29.11.2018 ж.; "Кен орындарын өндірілуі қиын көмірсутектер игерудің геологиялық және технологиялық аспектілері" атты халықаралық ғылыми-практикалық конференциясында, Ақтау, 18.04.2019 ж.; "Ғылым мен білім берудегі заманауи технологиялар " атты халықаралық ғылыми–практикалық конференцияда, Ақтау, 28.04.2021 ж. баяндалып, талқыланды.

Жұмыстың өзге ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы.

Диссертациялық жұмыс ҚР ҒЖБМ Ғылым комитетінің «Жас ғалым» мемлекеттік гранты аясында 2024-2026 жж. АР22685524 «Тұтқырлығы жоғары мұнай өндіруді қарқындатудың кешенді әдісін жетілдіру» жобасы аясында орындалған.

Жарияланымдар және жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 12 ғылыми мақалада, оның ішінде Қазақстан Республикасы ҒЖБМ ҒЖБССҚК ұсынған жетекші рецензияланатын ғылыми журналдарда-5 басылым, сонымен қатар Scopus базасы құрамына кіретін журналында-2 мақала, мақаланың қалған бөлігі Халықаралық ғылыми-конференцияларында жарияланды.

Жұмыстың көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш тараудан, негізгі ұсыныстардан, 3 атауы мен қосымшасын қамтитын пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыста 107 бет, 25 кесте және 28 сурет бар.

1 ҚАБАТТАРДЫҢ МҰНАЙ БЕРГІШТІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ӘСЕР ЕТУ ӘДІСТЕРІНЕ ШОЛУ

1.1 Жоғары тұтқырлы мұнай кен орындарындағы қабаттардың мұнай бергіштігін арттырудың физика-химиялық әдістеріне шолу

Құрамында тұтқырлығы жоғары мұнай мен битумдары бар мұнай кен орындары санының өсуі, олардан мұнайды алу тиімділігі төмендейді. Табиғи және сулану режимінде мұнай кен орындарын игеру жоғары мұнай өндіруге мүмкіндік бермейді. Қабатта әлі де көп мөлшерде мұнайы болғандықтан, мұнай кен орындарынан әрі тиімді игеру және мұнайдың қалдық қанықтылығын төмендету үшін мұнай өндіру коэффициентін арттыру мақсатында, мұнай қабаттарына әсер етудің әртүрлі әдістерін қолдануда. Мұнай өндіруді арттыру әдістеріне (МӨАӨ) отандық және шетелдік зерттеушілер көп көңіл бөлуде.

Қазіргі уақытта мұнай кен орындарының көпшілігі қалдық мұнаймен қанығудың үлкен мандерімен және жоғары суланумен сипатталатын соңғы даму сатысында екенін ескеру қажет. Жаңадан ашылған мұнай кен орындарының тұтқырлығы жоғары мұнаймен, үлкен тереңдікпен, коллекторлардың төмен өткізгіштігімен сипатталады. Бұл үлкен күрделі шығындарды инвестициялауды және жаңа технологияларды қолдануды талап етеді. Сарқылған мұнай кен орындарын толық игеру тұрақты энергиямен жабдықтауды қамтамасыз етудің өзекті міндеті болып табылады.

Сарқылған мұнай кен орындарына толық игеру бірқатар проблемалармен байланысты екенін айтуға болады.

Мұнайдың төмен шығыны және жоғары игеру шығындары таусылған кен орындарына қайта өңдеуі тиімсіз болуы мүмкін. Сондықтан, химиялық реагенттерді айдау сияқты мұнай өндіруді арттыру әдістері немесе жаңартылған әдістері қарастырылады.

Қазақстанда сарқылған мұнай кен орындарының едәуір саны бар екенін айта аламыз. Сарқылған мұнай кен орындарына толық игеру қосымша мұнай мен газдың маңызды көзі болып табылады. Дегенмен, бұл тапсырма жоғары даму шығындарын, төмен рентабельділікті және экологиялық тәуекелдерді қоса алғанда, бірқатар қиындықтарды қамтиды. Қазақстанда сарқылған мұнай кен орындарының саны едәуір көп және оларды толық игерудің маңызы зор. Сондықтан сарқылған кен орындарын игеруді ынталандыру үшін бірқатар шаралар ұсынылады және бұл жұмыс болашақта да жалғасады [1-5].

Қазақстан кен орындарынан тұтқырлығы жоғары және шайырлы, мұнайды алу тиімділігін арттыру үшін мұнайдың геологиялық жағдайлары мен сипаттамаларын ескере отырып, суланудың қайталама және үшінші әдістерін кешенді қолдану қажет. Осы әдістердің үйлесуі су айдау қабаттың қамту коэффициентін арттыруға, қалдық мұнаймен қанығуды төмендетуге және Қазақстан кен орындарының мұнай беруін арттыруға мүмкіндік береді.

Мұнайды тұтқыр сұйықтықтармен ығыстыру кезінде қалдық мұнаймен қанықтылықты тиімді төмендетуге негізделген қабаттардың мұнай өндірісін арттырудың инновациялық технологияларын кеңінен қолдану игерудің соңғы

сатысындағы көптеген мұнай кен орындарынан тұрақты өндіруді ұзақ мерзімді қолдауды қамтамасыз етеді.

Мұнай өндіруді арттыру әдістеріне (МӨАӘ) отандық және шетелдік зерттеушілер көп көңіл бөлді. Осы әдістердің барлық алуан түрлілігімен, нәтижесінде, мұнай өндіруді ұлғайту әдістері МӨАӘ бірыңғай классификациясыға тоқталды: жылу, физика-химиялық, газ, гидродинамикалық, микробиологиялық [6,7].

Қазіргі уақытта сарқылған мұнай қабаттарын қайта өңдеуді қарастыратын көптеген технологиялар бар екенін көреміз. Мұндай қабаттардағы қалдық мұнаймен қанығу капиллярлық қысылған, адсорбцияланған және пленка түрінде болады. Бірақ мұндай қабаттарға әсер етудің тұрақты әдісі жоқ. Сондықтан, мұнай қабатына әсер етудің ең тиімді технологиялық схемасын таңдау (әсіресе қабатты-біртекті емес), бұл қабаттың қалдық мұнай қанықтылығын төмендетуге бағытталған.

Қазіргі уақытта физика-химиялық әсерлер тәжірибеде кеңінен қолданылады. Мұндай әдістер құрамына беттік белсенді заттарды айдау, полимерлерді, қышқылдарды, мицеллярларді және сілтілі ерітінділерді айтуға болады. Бұл химиялық заттардың әрқайсысы кеуекті ортаға және мұнайға әртүрлі әсер етеді. Мәселен: беттік белсенді заттар мұнай мен су арасындағы фаза аралық беттік керілуді төмендетуге арналған, осылайша капиллярларда ұсталған мұнайдың қозғалғыштығын береді; сілтілі реагенттер тиімділігін синергетикалық жақсарту үшін қолданылады; микрогельдер мен наногельдер құрамында полимердің ұсақ бөлшектері бар химиялық реагенттер болып табылады, олардың негізгі мақсаты суды сіңіру аймақтарының өткізгіштігін төмендету және бұрын орын ауыстырумен қамтылмаған аймақтарға судың ауытқуы және т.б. әлемдік және отандық тәжірибеде полимер ерітіндісінің жиегіне қолдануға кең таралған.

Бұл мәселеге байланысты көптеген зерттеушілер Серайт Р.С, Тома А., Сайук Б., Абиров Ж., Мазбаев Е., Айтқұлов А., Химченко П.В., Стреков А.С., Вилхит Г.П., Грин Д.В., Лейк Л.В., Мускат М., Стайлз В.Е., Дикстра Х., деген сияқты шетелдік және отандық ғалымдардың көптеген еңбектері арналды. Парсонс Р.Л., Аронофский Ж.С., Рамея Х.Ж., Пай Д.Ж., Чанг Х.Л., Гайллард Н., Гиованнетти В., Фаверо С., Рашиди М., Томас А., Деламайде Е., Базин Б., Камал М. С., Сұлтан А.С., Шенг Д.Д., Химченко П.В. және т.б.

1.2 Полимерлік суландыру механизмінің теориялық аспектілері

Полимерлі суландырудың химиялық әдістер арасында сәтті және қолайлы әдістердің бірі болып табылады. Көп жағдайда полимерлі сулану құмды коллекторларда қолданылған [8-11]. Полимерлі сулану механизмі судың тұтқырлығын арттыра отырып, суды полимер ерітіндісімен қоюлату арқылы айдалатын судың қозғалғыштығын төмендетуге негізделген. Бұл процесс суға қосылған полимерлер судың қозғалысына кедергі келтіретін молекулалық құрылымдарды құрайтындығына негізделген.

Полимерлер су молекулаларының еркін қозғалуына кедергі келтіреді, бұл сұйықтықтың тұтқырлығының жоғарылауына әкеледі. Бұл судың қозғалғыштығын төмендетеді және кен орныдарынан мұнайды тиімдірек алуға мүмкіндік береді. Полимерлі суланудың-кен орындарынан мұнай өндіруді ұлғайту және өндіру тиімділігін арттыру әдістерінің бірі. Осылайша, суды полимер ерітіндісімен қоюлату судың тұтқырлығын арттыруға және кен орындарынан мұнай бергіштік процесін жақсартуға мүмкіндік береді.

Полимер ерітіндісі коллектор бойымен жылжыған сайын ерітіндідегі полимер концентрациясының өзгеруі байқалады, сондықтан оның тұтқырлығы өзгереді. Бұл, біріншіден, кеуекті ортаның бөлшектерінің бетіндегі адсорбция арқылы, екіншіден, полимер молекулаларын олардың жиналуы орын алатын шағын диаметрлі тесіктерден өткенде механикалық ұстау арқылы, үшіншіден, гидродинамикалық ұстау, яғни полимердің жергілікті жылдамдығы өзгереді. Барлық осы факторлардың әсерінен қабатта қалдық қарсылық факторы пайда болады. Қалдық кедергі факторы келесі формула бойынша анықталады [10, с.36]:

$$R = n_p \cdot n_q \quad (1.1)$$

$$n_p = \frac{\Delta P_{\text{соңы}}}{\Delta P_{\text{баст}}}, \quad n_q = \frac{q_{\text{баст}}}{q_{\text{соңы}}}. \quad (1.2)$$

мұндағы, $\Delta P_{\text{баст}}$ және $\Delta P_{\text{соңы}}$ – полимер ерітіндісін айдауға дейінгі және кейінгі қысымның төмендеуі, $q_{\text{баст}}$ және $q_{\text{соңы}}$ – полимерді айдау алдында және одан кейінгі сұйықтық ағынының шығыны.

Дистилленген суда қалдық кедергі факторының түзілуі негізінен су молекулаларының үйкелісіне, кеуекті арналар арқылы қозғалуына, полимер молекулаларының икемді байланыс сегменттерімен жүргізіледі. Қабат суында, сонымен қатар, механизмге кальций мен натрий тұздарының құрамы әсер етеді, бір жағынан коллектордың кварц бетіндегі полимердің адсорбциясын күшейту арқылы, ал екінші жағынан жеке молекулалардың өзара байланысы және үлкен полимер агрегаттарының түзілуі орын алады [10, с.37; 11, с. 43].

Полимер молекулалары деформацияланып, су ағынына кедергі келтіретін серпімді торлар түзе алады. Бұл үдерістер полимерлі сулануының тиімділігін төмендететін қалдық кедергі факторының пайда болуына ықпал етеді.

Полимер ерітіндісі ньютондық емес сұйықтықтың қасиеттеріне ие: полимердің сулы ерітіндісі үшін кеуекті ортаның өткізу қабілеті сумен салыстырғанда оның тұтқырлығы жоғарылағаннан әлдеқайда азаяды. Бұл R кедергі факторымен сипатталады және судың қозғалғыштық коэффициентінің полимерлі ерітіндінің қозғалғыштық коэффициентіне қатынасымен сипатталады [10, с.39]:

$$R = \frac{K_{\text{су}}}{\mu_{\text{су}}} : \frac{K_{\text{п}}}{\mu_{\text{п}}} \quad (1.3)$$

мұндағы, κ және μ сәйкесінше өткізгіштік, тұтқырлық; "су" және "п" индекстері—су және полимер ерітіндісі. Полимердің молекулалық салмағының жоғарылауымен және кеуекті ортаның өткізгіштігінің төмендеуімен кедергі факторы жоғарылайтыны анықталды. Полимерлердің қозғалғыштығы жылдамдыққа байланысты, бұл әсіресе ұңғыма аймағына тең екенін көрсетеді.

Қабатты біртекті емес кеуекті ортадағы полимерлі ерітінді жоғары өткізгіш қабаттарға жақсырақ енеді, мұнда полимерлі ерітіндінің тұтқырлығының жоғарылауы, адсорбция және қоршаған ортаның өткізгіштігінің төмендеуі салдарынан сұйықтық ағындарының динамикалық біртекті еместігінің айтарлықтай төмендеуі және нәтижесінде қабат ауданы бойынша да, қабаттың қуаты бойынша да суландыруымен қамтудың артуы байқалады [8, с.59; 9, с.74; 10, с.40.].

Тұтқырлық пен адсорбция полимерлі ерітінділердің негізгі қасиеттерінің бірі болып табылады. Ерітінді концентрациясының жоғарылауымен тұтқырлық жоғарылайды және қозғалысы төмендейді. Полимерлі ерітінділер судың фазалық өткізгіштігін төмендететін және оны мұнай үшін сақтайтын қасиетке ие. Полимердің сулы ерітінділері жоғары өткізгіш қабатшаларға еніп, ондағы сүзуге төзімділікті тудырады.

Полимердің бұл қасиеті кез-келген кезеңде мұнай кен орындарын игеру кезінде ұңғымаларды қабылдау және мұнай беру профильдерін теңестіру үшін қолданылады. Тау жыныстарының өткізгіштігінің төмендеуі тау жыныстарының адсорбциясы және полимерді механикалық ұстау арқылы жүреді [8, с.60; 9, с.33; 12, с. 29]. Полимер тау жынысына иондық күштер немесе сутегі байланыстары арқылы жабысады. Молекулалардың тау жынысына жабысуын ескере отырып, адсорбция қайтымсыз болып саналады. Өте үлкен молекулалар тар кеуекті арналардың кіреберісінде физикалық түрде қысылып қалуы мүмкін. Полимер ерітіндісінің тау жыныстарымен және сумен әрекеттесуі ерітіндідегі полимер концентрациясына әкеледі және полимер майданының алдында қабат суының бірлігі, содан кейін полимердің жетіспейтін бөлігінің суы түзіледі. Судың минералдануының жоғарылауымен және қабаттың өткізгіштігінің төмендеуімен адсорбция артады. Полимер ерітіндісінің тұтқырлығына саздың жоғары мөлшері, кальций, магний, алюминий катиондары қатты әсер етеді. Бұл полимер ерітіндісінің тұтқырлығының төмендеуіне, кедергінің төмендеуіне және адсорбцияның өсуіне әкеледі [12-14].

Әртүрлі факторлардың әсерінен сулы ерітіндідегі полимер молекулалары олардың жойылуына байланысты ыдырауы мүмкін. Деструкция полимердің молекулалық салмағын азайтады және нәтижесінде қоюлану қабілетін төмендетеді. Деструкция: химиялық, термиялық, механикалық және микробиологиялық болып бөлінеді. Химиялық деструкция нәтижесінде пайда болған полимермен әрекеттесетін бос радикалдардың пайда болуымен жүреді, бұл молекулалық салмақтың төмендеуіне әкеледі. Бұл тотығу-тотықсыздану реакциялары процесіне оттегі, сутегі немесе темір сульфиді сияқты қоспалар

катысқан кезде пайда болады. Әдетте бұл қоспалар суда болады, сондықтан полимерлі су тасқыны кезінде судың сапасына көп көңіл бөлу керек.

Температураның жоғарылауымен термиялық деструкция жүреді. Полимердің әртүрлі маркалары үшін температураның шекті шегі әртүрлі. Механикалық деструкция полимердің молекулаларының немесе олардың агрегаттарының жоғары қозғалыс жылдамдығында немесе құбырлардағы әртүрлі қысым айырмашылықтарында үзілуіне байланысты. Молекулалық масса мен тізбектің ұзындығы неғұрлым үлкен болса, полимердің механикалық деструкцияға сезімталдығы соғұрлым жоғары болады. Микробиологиялық деструкция мұнайдың тотығуына байланысты сумен айдау кезінде қабатта пайда болатын аэробты бактериялардың әсерінен пайда болады [15,16].

Барлық өндірістік полимерлер іс жүзінде екі класқа жатады: полиакриламидтер мен полисахаридтер (биополимерлер). Полимерді таңдағанда полимердің тұтқырлығы маңызды рөл атқарады. Полимердің тұтқырлығына әсер ететін бірнеше факторлар бар және олардың процеске әсер ету мүмкіндігін анықтау керек. Тұтқырлығы жоғары полимерлер көлемі бойынша жоғары қамту коэффициентіне ие болады.

Өткізгіштігінің жоғарылауымен қатар, полимер тұтқырлығы да өседі, "гель" ретінде жұмыс істей алады. Егер тұтқырлық жоғары болса, онда қабат суымен немесе сулы қабатпен араластыру төмен болады. Тұтқырлық пен концентрацияның жоғарылауымен полимер үлкен көлемді ығыстыра алады, бұл үлкен артықшылық. Қолданылатын полимерлер жоғары тұтқырлық, тиксотроптылық, псевдопластикалық сияқты қасиеттерімен сипатталады және осы жағдайларға сүйене отырып, полимерлердің әртүрлі маркалары таңдалды.

Жоғарыда айтылғандай, полимерлер екі түрлі болады: синтетикалық және биополимерлер. Синтетикалық полимерлердің ең көп таралған және арзаны-полиакриламид (ПАА) $[CH_2 - CH - CO - NH_2]_n$, синтетикалық жоғары молекулалық қосылыс акрил қышқылының туындылары болып табылады. Бұл молекулалық салмағы бірнеше миллион болатын сызықтық полимер. Полиакриламид түйіршіктер немесе гель түрінде келеді.

Шикі мұнайдан алынған пропилен полиакриламидті полимерлерді синтездеу үшін шикізат ретінде қолданылады. Полимерлеу процесіндегі негізгі мономер—акриламид. Ол акрилонитрилден алынады, ол өз кезегінде пропилен туындысы болып табылады. Пропиленнен тотығу реакциясы акрил қышқылын да жасай алады. Мұнайдан акриламид пен акрил қышқылы алынады.

Синтез кезінде полимердің құрамына оған ерекше қасиеттер беру үшін бірқатар басқа мономерлер қосылуы мүмкін. Мұнай өндіруді арттырудың химиялық әдістерін қолдана отырып, жобалардың басым көпшілігі адсорбцияны азайту үшін анионды полимерлерді қолдана отырып, құмтас коллекторларында жүзеге асырылады. Акриламид иондық емес болғандықтан, теріс зарядты амидті қосылыстарды каустикалық содамен гидролиздеу арқылы карбон қышқылының функционалды топтарын құру арқылы қосыла беруге болады. Бірінші процесс сополимеризация, ал екіншісі постгидролиз деп аталады.

Полимердің ең қолайлы түрін және оның химиялық құрамын таңдау полимердің пішіні, полимердің химиялық құрамы, полимердің молекулалық салмағы сияқты бірнеше факторларға байланысты. Тәжірибелік эксперимент үшін қабатта молекулалардың біркелкі, тегіс қозғалысын қамтамасыз ету үшін соңғы өнімнің орташа молекулалық салмағын түзету қажет. Коллектордың температуралық көрсеткіштері судың минералдануы химиялық құрамды оңтайландыру үшін қажет болатын сипаттама. Өткізгіштік деректері қабатта молекулалардың біркелкі, тегіс қозғалысын қамтамасыз ету үшін соңғы өнімнің орташа молекулалық салмағын түзету үшін қажет.

Акриламид – акрилонитрилден алынған ақ түсті кристалл тәрізді суда еритін қосылыс. Оның құрамында электрон тапшылығы бар қос байланыс және амид тобы бар және осы екі функционалды топқа тән химиялық реакциялармен сипатталатын топтың түрі.

Акриламид – терт– бутилсульфон қышқылы күкірт қышқылы мен судың қатысуымен акрилонитрил мен изобутиленнің қатысуымен, риттер реакциясы арқылы алынады. Бұл мономер балауыз температурасындағы амид топтарының тұрақтылығына қатысты мәселелерді шешу үшін зерттелді.

Диметил және сульфометил топтары амидтің жұмысын кеңістікте қиындатады және құрамында АТБҚ бар полимерлерге термиялық гидролитикалық тұрақтылық береді.

Карбоксилат түзетін амид топтарының артық гидролизі полиакриламидтердің тұрақсыздығының негізгі себебі болып табылады, ол полимердің тұнбаға түсуіне және осылайша тұтқырлықтың жоғалуына әкелуі мүмкін.

ПАА жоғары тұтқырлық, флокуляция және гель түзу қабілеті сияқты бірқатар құнды қасиеттерге ие. Алайда, ПАА-тің бірқатар кемшіліктері бар, олардың біріне тұрақсыздық қасиетін айтуға болады. ПАА гидролизден өтуі мүмкін, бұл карбоксилат топтарының пайда болуына әкеледі. Карбоксилат топтары гидрофильді, яғни олар суды тартады. Бұл ПАА ісінуіне және еруіне әкеледі, бұл олардың тиімділігін төмендетеді .

Амид топтарының артық гидролизі жоғары температура, ортаның қышқылдығы және микроорганизмдердің болуы сияқты әртүрлі факторлардың әсерінен болуы мүмкін. ПАА гидролизінің алдын алу үшін гидролиз ингибиторларын қосу және жоғары байланыс ПАА қолдану сияқты әртүрлі әдістер қолданылады.

Осылайша, карбоксилат түзетін амид топтарының артық гидролизі полиакриламидтердің тұрақсыздығының негізгі себебі болып табылады. Бұл ПАА ісінуіне және еруіне әкеледі, бұл олардың тиімділігін төмендетеді. ПАА гидролизінің алдын алу үшін әртүрлі әдістер қолданылады.

Тазалау әдісіне байланысты екі түрі бар: аммиак және әк тәріздес түрлері. ПАА–ішінара гидролизденген өнім. Гидролиз дәрежесі 30% жетуі мүмкін. ПАА–ның молекулалық құрылымы–бұл заттың молекулаларын көміртегі, сутегі және азот атомдарынан тұратын ұзын тізбектер түрінде схемалық түрде ұсынуға болады. Белгілі бір жағдайларда полимер молекуласы ұзындығы қабат

тесіктерінің өлшемдеріне сәйкес келетін тізбек болып табылады. Кейбір жағдайларда тізбек дөнгелекке немесе дөнгелекке оралуы мүмкін. Кеуекті ортада қозғалатын полимер молекулалары сулы ерітіндіде кеуекті ортаның дәндеріне "жабысып", қосымша сүзу кедергісін тудырады және тау жыныстарының беткі дәндерінде сорбцияланады.

Тау жыныстарының абсолютті өткізгіштігі мұнайдың орташа молекулалық салмағына кері пропорционалды. Бұл мұнайдың молекулалық салмағы неғұрлым жоғары болса, оның өткізгіштігі соғұрлым төмен болады дегенді білдіреді. Себебі, жоғары молекулалық салмағы бар мұнай молекулалары үлкенірек және тау жыныстарының тесіктерінен өту қиынырақ болады.

Кестеде мұнайдың белгілі орташа молекулалық салмағы бойынша тау жыныстарының абсолютті өткізгіштігін бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін. Алайда, эмпирикалық және оның дәлдігі нақты жұмыс жағдайларына байланысты екенін ескеру қажет.

Мұнайдың орташа молекулалық салмағынан басқа, тау жыныстарының абсолютті өткізгіштігіне басқа факторлар да әсер етеді, мысалы, тау жыныстарының кеуектілігі, кеуектердің мөлшері мен пішіні, саз минералдарының болуы және т.б. сияқтыларды айтуға болады.

Кестеде коллектордың орташа өткізгіштігі туралы мәліметтер және оларды зертханалық зерттеулерден алынған мәліметтермен оңтайлы орташа молекулалық салмақты салыстыруы 1.1 – кестесінде көрсетілген.

Жоғары молекулалық салмаққа, амидтік топтардың қатысуымен күшті молекулааралық өзара әрекеттесуге және сирек тігілген кішірейтілген молекулалық учаскелердің болуына байланысты ПАА суда ерігіштігі шектеулі, молекулалық ассоциацияға бейімділігін қатты көрсетеді, тұтқырлығы жоғары және өзіне тән псевдопластикалық қасиеттерді көрсетеді (кеңейтілген сұйықтық, яғни Дарси заңына бағынбайды).

Сондықтан қысым градиентінің өсуімен полимерлі ерітіндінің жылдамдығы шамалы өседі [11, с.45]. Тұщы суда карбоксил тобының зарядтарының итерілуіне байланысты ПАА құрылымының икемді тізбектері созылып, ерітіндінің тұтқырлығын арттырады. Тұздылығы жоғары суда зарядтар бейтараптандырылады немесе жабылады және ПАА құрылымының икемді тізбектері қысылып, ерітінділердің тұтқырлығы төмен болады. ПАА 130⁰С дейін ыстыққа төзімді болып келеді.

Оттегі болмаған кезде ПАА ұзақ уақыт бойы өзінің қасиеттерін сақтайды [11, с. 42; 12, с.30]. Полимерлі ерітінділерді қолдану әртүрлі бітелу механизмін қолдануға немесе кеуекті ортаның сумен қанығуын төмендетуге мүмкіндік береді. ПАА селективті адсорбциясы суға қаныққан ортаның өткізгіштігін 10-15 есеге дейін төмендетеді, ал мұнайға қанығу тек 5-25% (5-10%) құрайды.

Кесте 1.1 – Орташа молекулалық масса мен жыныстың абсолютті өткізгіштігі арасындағы эмпирикалық корреляциясы

Орташа молекулалық салмақ, млн. Да	Минималды өткізгіштік, 10^{-15} м^2
>20	1000
18-20	750
15-18	500
12-15	350
8-12	200
5-8	100
1-5	10

Бұл гидролизденген ПАА молекулаларының мінез-құлқының ерекшелігіне байланысты: молекулалардың суда орналасуы және мұнайдың қоюлануы мұнайдың құрамына байланысты [17]. Түйіршіктерде ПАА өнеркәсіптік өндірісі ұйымдастырылды. ПАА-тің кең шығарылымы шетелде де жолға қойылған: АҚШ-та-Pusher 500, Pusher 700, Superpusher К-129, Сепаран Р-10, Р-20, АР-30, АР-273, РДА-1041, ОРР-40NT, DMP-310, СS-131, магнафлок, эйрфлок, Германияда-ДТ-120, Канадада-Ретен 423. ПАА маркасына, судың минералдануына және аралас компоненттердің құрамына байланысты полимер ерітіндісінің тұтқырлығы бірдей ПАА концентрациясында айтарлықтай өзгеруі мүмкін [18,19].

Биополимерлерге полисахаридтер, ксантаннар (микробтық лисахарид), келцан, кем-ХД, ХС-биополимер, вазаран-д, склерглюкан-бейтарап гомополисахарид, сұйық шыны, ритизан, гуаран жатады. Олар судың бұзылуына және жоғары минералдануына төзімділікке ие, бірақ қымбат болып келеді.

Проксаналда-этилен оксиді мен пропиленоксидтің блокс-полимерлері, аз гигроскопиялық, қышқылдар мен сілтілердің әсеріне төзімді. Проксонал-224; 268; 305 [20].

Проксаналдар-этилен оксиді мен пропиленоксидтің блокс-полимерлері әртүрлі қолданбалар үшін пайдалы ететін бірқатар құнды қасиеттерге ие. Бұл қасиеттерге мыналар жатады:

Шағын гигроскопиялық қасиетіне толталсақ. Этиленоксид пен пропиленоксидтің блокс-полимерлі проксаналдары ауадан ылғалды сіңірмейді, бұл оларды жоғары ылғалдылық жағдайында қолдануға жарамды ететін айтуға болады.

Қышқылдар мен сілтілердің әсеріне төзімділікті ескеретін қасиеті. Проксаналдар-этиленоксид пен пропиленоксидтің блокс-полимерлері қышқылдар мен сілтілердің әсеріне төзімді, бұл оларды агрессивті ортада қолдануға жарамды етеді. Жақсы майлау қасиеттерінде айтуға болады. Проксаналдар-этилен оксиді мен пропиленоксидтің блокс-полимерлері жақсы

майлау қасиеттеріне ие, бұл оларды майлау материалдары ретінде пайдалануға жарамды етеді.

Жақсы жуу қасиеттеріне тоқталатын болсақ, проксаналдар-этилен оксиді мен пропиленоксидтің блок-полимерлері жақсы жуғыш заттарға ие, бұл оларды жуғыш зат ретінде қолдануға жарамды етеді.

Өзінің құнды қасиеттеріне байланысты этилен оксиді мен пропиленоксидтің блок-полимерлері мұнай өндіру, қағаз өнеркәсібі, тоқыма өнеркәсібі және косметика өндірісін қоса алғанда, әртүрлі салаларда қолданылады екен.

Проксаналдарды-этилен оксиді мен пропиленоксидтің блок-полимерлерін қолданудың кейбір нақты мысалдары келтирсек, мысалы мұнай өндірісінде этилен оксиді мен пропиленоксидтің блок-полимерлері бұрғылау ерітінділерін қоюландырғыш және коррозия ингибиторлары ретінде қолданылады. Қағаз өнеркәсібінде этилен оксиді мен пропиленоксидтің блок-полимерлері қағаз жабыны мен сіңдіру қосылыстары үшін байланыстырғыш ретінде қолданылады. Тоқыма өнеркәсібінде этилен оксиді мен пропиленоксидтің блок-полимерлері маталарды әрлеу агенттері ретінде қолданылады. Косметика өндірісінде этилен оксиді мен пропиленоксидтің блок-полимерлері эмульгаторлар, қоюландырғыштар және тұрақтандырғыштар ретінде қолданылады. Этиленоксид пен пропиленоксидтің блок-полимерлі проксаналдары кең ауқымды құнды материалдар болып табылады. Олардың бірегей қасиеттері олардың көптеген салаларында кездеседі.

Тұндырғыш мұнайы бар кенорнын игеру бәріміз білетіндей жылу әдістері қолданылады, бірақ әлемдік тәжірибе көрсеткендей, полимерлі суландыру бұл физика-химиялық әдіске жатады және тұтқырлығы жоғары мұнайлар үшін ең тиімдісі болып табылады. Себебі, мұнайдың полимерге қатынасы жоғары тұтқырлықта пропорционалды екенін ескеруіміз керек.

Полимерлі су айдау перспективасын едәуір арттыратын бірнеше жайттар бар. Біріншісі, полимерлердің коллекторға терең енуінен (мұнайдың көп бөлігі жатқан жерде) энергияның таралуын (индукцияланған қысым градиенті) жақсарту қажет. Екіншісі, коллектор жынысында полимерлердің сақталуын азайту. Үшінші маңызды бөлігі, жоғары температуралы коллекторларда полимерлі суландыруды қолдану. Жақсартудың төртінші бөлігі—алынған полимерлі сұйықтықтарды өндеу.

1.3 Кен орындарда полимерлік суландыруды практикалық қолдану тәжірибесі

Полимерлі суландыру 1964 жылдан 2015 жылға дейін АҚШ-та қабаттардағы мұнай беруді арттыру үшін қолданыла бастады, 24 елде полимерлі суландыру 733 мұнай өнеркәсіптіктерінде сынақ жүргізілді. Оның 8-і теңізде өткізілді, соның ішінде 15%—ы карбонатты жыныстарда өткізілді [19, с.66]. 2016 жылы әлемде мұнай кен орныдарында 50-ден астам өнеркәсіптік тәжірибелер жүргізілді [9, с.17]. Мұнай кен орындарын полимерлі сулануын

игеруі соңғы сатысындағы кен орныдарында да, игерудің басталуымен де жүзеге асырылды.

Полимерлі суландыру жеңіл және ауыр мұнай кен орныдарында жүзеге асырылды. Мысалы, Нұралы (Қазақстан) кен орнында тұтқырлық 0,4-1,7 МПа·с, Marmul (Оман)–9 МПа·с, Brintell (Канада)-1000-4000 МПа·с, Pelican-Lake-10000 МПа·с [21] болды. Полимерлі сулануының сәтті нәтижелері АҚШ, Ресей, Қазақстан, Қытай, Канада, Таяу Шығыс, Үндістан, Индонезия және Оңтүстік Америка (Суринам, Колумбия, Бразилия) кен орныдарында алынды. Полимерді айдау саласындағы көшбасшы – Қытайды айтуға болады. Қытайда полимерлі су айдау 1990 жылдан бері қолданылып келеді. Қолданудың көп жылдық тәжірибесі тіпті 95%-дан жоғары сулануы бар кен орныдарында да әдістің тиімділігін көрсетті [22-31].

Полимерлі сулану Қазақстанның кен орныдарында кеңінен қолданылды. 1981 жылдан бастап Қаламқас кенорнында полимерлі сулануды қолдануы жүргізіліп басталды. 2014 жылдан бастап Забурунье (Ембімұнайгаз) кенорнында полимер ерітіндісін айдау бойынша тәжірибелік– өнеркәсіптік сынақ жүргізілуде.

38,9⁰С қабаттық температурада мұнайдың тұтқырлығы 15,3 мПа·с–ға тең, және өткізгіштігі-0,526 мкм², мұнай қанықтылығы– 63,8%. Floraam 5205 vhm al–888 маркалы полимер қолданылды, ол акриламид, акрил қышқылы және акриламидотребутил–сульфонат термополимерлеріне жатады және үштік сополимер болып табылады. 01.01.2021 жалпы әсері 184635 тонна мұнай болды, қабат көлемінің 14,7% сорылды, 3640 тонна полимер жұмсалды.

Сулану 2%-ға төмендеді, 1 т полимерге қосымша мұнай өндіру-50,7 т. мұнайды алудың қосымша коэффициенті 2% құрады [24, с.75]. 2008 жылдан бастап полимерлі су тасқыны Солтүстік Бозашы кенорнының тәжірибелік учаскесінде 605-2821 МПа·с қабат жағдайында мұнайдың тұтқырлығы сәтті сыналды.

2013-2014 жылдары Құмкөл кен орнында геллан полисахаридінің сулы ерітіндісін қолдана отырып, ағыннан ауытқу технологиясы қолданылды. Гелланның тұтқырлығы жоғары минералданған сумен әрекеттескенде айтарлықтай артады. Сулану 1,52%-ға төмендеді, мұнай өндірісі өсті [27, с.53]. 2014 жылдың маусым-желтоқсан айлары аралығында Оңтүстік Торғай бассейнінде орналасқан Нұралы кен орнында полимерлі су тасқынын тәжірибелік-өнеркәсіптік енгізу жүзеге асырылды. Тәжірибе учаскесі 0,4 мкм² өткізгіштігімен, кеуектілігі–16%, мұнайдың тұтқырлығы 0,4-1,7 МПас сипатталады., қабат температурасы-81⁰С. Қолданылған полимер маркалы Floraam жоғары молекулалық салмағы ПАА және 90⁰С-қа дейінгі температураға төтеп бере алатын, құрамында кальций мен магнийдің едәуір мөлшері бар тұзды ерітінділерде қолдануға болады. Осы кезеңде мұнай өндіру 7000 тоннаға артып, сулануы 4-5%-ға төмендеді [30, с.51].

1.4 Полимерлік суландыруды қолдану критерийлері мен тұжырымдамалары

Көптеген зерттеу жұмыстарының негізінде полимерлі суланудың пайдалану кезінде тәжірибелік-өнеркәсіптік учаскелерді таңдау кезінде сақталуы керек критерийлердің сипатталуы. Критерийлерді пайдалана отырып, бірнеше параметрлер ескеріледі. Бұл критерийлер [32] еңбектерінде келтірілген. 1.2–кестеде полимерлі сулануының қолдануға мүмкіндік беретін критерийлері келтірілген.

Кесте 1.2 – Полимерлі суланудың пайдалану критерийлері

Параметрлері	Каркоэне (1982)	Табер (1997)	Әл-Адасани және Бэй (2010)	Диксон және басқалары (2010)	Сабориян және Джоубари (2015)
Тереңдік, м	-	-	213-2883	243-2743	1600
Кеуектілік, %	маңызды емес				21
Өткізгіштік, 10^{-3} мкм ²	>50	>30	1,8-5500	100-1000	>1000
Мұнайдың тұтқырлығы, мПа·с	50-80	10-100	0,4-4000	10-1000	<5400
Тығыздығы, кг/м ³	-	<966	810-980	<966	<993
Мұнай қанықтылығы, %	-	-	34-82	>30	>50
Температура, °С	<82	<93	<114	<77	65
Минерализациясы, ppm	-	-	Маңызды емес		<46000

Полимерлі сулануды қолдану барысында тәжірибелік учаскелерді анықтау кезіндегі, К.С. Сорбидің полимерлі суланудағы қолданылатын критерийлер 1.3–кестеде келтірілген [33]. Онда мұнай өндіруді арттыру үшін полимерлерді қолдану неғұрлым кеңейтілген және нақты сипатталғаны көрсетілген.

Зертханалық зерттеулерде статикалық және динамикалық типтегі бірнеше тәжірибелер 1.3–кестені пайдаланып, орындалғаны көрсетілген. Мұнда келесі процестерді сақтайды: бағалауды талдау, құрамның фазалық мінез-құлқын зерттеу, фазааралық өлшеулер керілу, тұрақтылық пен полимерлерді сынау, жиектерді оңтайландыру, мұнай бергіштік коэффициентін анықтау және реагенттерді ұстау (адсорбция) . Судың өзгеруі ең жақсы репрессияға сәйкес келетін фазалық қасиеттерін табу үшін қолданылады.

Электрохимиялық модифицияланған судағы (ЭМС) екі валентті катиондардың құрамын мұқият бақылау керек.

Кесте 1.3 – Полимерлерлі сулануының қолдану критерийлері

Критерийлер	Тұтқырлықты бақылау барысындағы полимерлі сулану	Біртекті емес коллектордағы полимерлі сулану	Ескерпелер
Мұнай тұтқырлығы	5 сП $<\mu < 30$ сП Мах 70сП	0,4 сП $<\mu < 10$ сП Мах 20сП	Екі жағдайда да судың ерте серпілісі және төмен ығысу коэффициенті болып табылады
Ауқымды біртекті емеслік дәрежесі	Төменгі қабат мүмкіндігінше біркелкі болуы керек	Біртекті емеслік дәрежесі 4-30	Біртекті емес қабаттағы бақылау: аз күшті контраст полимерді қолдануды қажет етпейді, үлкен мәндерде контраст қарапайым полимер үшін тым үлкен
Абсолютті өткізгіштік	$>20 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$		Төмен өткізгіштік полимердің қабатта сақталуының жоғарылауына ықпал етеді
Температура	Оңтайлы температура $<80^{\circ}\text{C}$, Максимальді – $<95^{\circ}\text{C}$		Жоғары температурада полимердің жойылуы орын алады
Суды қабылдау	Жақсы болуы керек, жақсырақ резервтік қабылдаумен. Кейде гидроалшақтық пайдалы		Егерде суды айдау кезінде мәселе туындайтын болса, онда полимерді айдау кезінде олар күшейеді
Су горизонтының байланысы/ мұнай/су	Сулы горизонтқа таяз немесе мұнай/су контактісінен төмен терең айдау		Қабаттың құрамында мұнай бар бөлігіне қарай қозғалу кезінде ұстап қалуға қосымша шығындар
Саз	Құрамы үлкен болмауы шарт		Әдетте полимердің қабатта күшті сақталуына ықпал етеді
Минерализация/ Айдалатын судың қаттылығы	Маңызды емес, бірақ полимерді таңдауды анықтайды		Жоғары минералдану /қаттылық кезінде– биополимер. Төмен минералдану / қаттылық кезінде-полиакриламид

Полимерді тұрақсыздандыру үшін: екі валентті катиондар полимермен байланысып, оның тұрақсыздануына әкелуі мүмкіндігін тұтқырлықтың төмендеуі және оның ұстау қасиеттерінің нашарлауымен сипатталады. Полимердің сақталу дәрежесін төмендету арқылы, екі валентті катиондар тау жыныстарының бетіндегі адсорбциялану үшін полимермен бәсекелесе алады, нәтижесінде полимердің сақталу дәрежесінің төмендеуі және оны ығыстыру қасиеттерінің нашарлануы болып табылады.

Полимердің қасиеттерін өзгерту барысында: екі валентті катиондар полимердің қасиеттерін өзгерте отырып, яғни, оның тұтқырлығын,

эмульгациялық қасиеттері және ауыстыруға төзімділігін, қабаттың қайтарылуын арттыру процесінде жұмысына теріс әсер етуі мүмкіндігін сипаттайды. Сондықтан, қабаттың қайтарылуын арттыру үшін компьютерлік бағдарламаларды қолданған кезде ерітіндідегі екі валентті катиондардың құрамын бақылауға болады.

К.С. Сорбидің критерийі бойынша мұнайдың тұтқырлығына, қабаттың өткізгіштігіне назар аудару керек. Полимерлі сулану тұтқырлығы жоғары (10 мПа·с астам) мұнайлар үшін тиімді.

Полимерлі сулану қабаттың өткізгіштігі $100 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ - ден аз кен орныдарында қолданған жөн, және жоғары және төмен өткізгіштігі бар қабатшалары бар біртекті емес қабаттарды жасау үшін тиімді.

Қабаттағы саз минералдарының құрамы, маңызды сәттерді қабаттағы саз минералдары көп кен орныдарында қолдану ұсынылмайды, өйткені полимерлер саз бөлшектерінің бетіне адсорбцияланып, тиімділігін жоғалтуы мүмкін. 1.4 – кестесінде полимерлі суланудың шарты көрсетілген.

Кесте 1.4 – Полимерлі сулануының пайдалану шарттары

Параметрлері	Көрсеткіштер
Мұнайдың тұтқырлығы, мПа·с	<10 000
Температура, °С	<140
Өткізгіштік, 10^{-15} м^2	>10
Минерализациясы, г·л ⁻¹	<250 (жалпы минералдануы)

Минералдану критерийі полимердің тұрақтылығына теріс әсер етуі және оның сақталу дәрежесіне әсер етуі мүмкін екі валентті катиондардың құрамын мұқият зерделеу керектігін ескеру керек.

Құрамында екі валентті катиондар аз болатын минералдануы төмен суды пайдалануға болады. ЭМС-дағы екі валентті катиондардың құрамын бақылау полимердің тиімді жұмысын қамтамасыз етудің және қабаттың қайтарылуын арттырудың маңызды факторы болып табылады.

Тәжірибелік-өнеркәсіптік зерттеулерден басқа, полимерлі суланудың математикалық модельдеу де қарастырылды. Сонымен, жұмыста [34] бекітілген ток түтігінің математикалық моделіне негізделген мұнай қабатының полимерлі сулану процесін сандық модельдеу әдісі қарастырылады. Ұсынылған тәсілді полимерлі суланудың тиімділігін бағалау және полимерді айдаудың оңтайлы режимдерін анықтау үшін пайдалануға болады.

Жұмысында [35] Гершель-Булкли ньютондық емес сұйықтық моделін қолдана отырып, полимерлі сулануды қолданудың математикалық шешімі қарастырылады. Полимерлі сулану модельдеу кезінде Ньютон және Ньютон емес сұйықтық (Гершель-Булкли) модельдері қолданылады. Гершель-Булкли

моделін қолдану полимер молекулаларын қайта бағдарлау кезінде ерітіндінің тұтқырлығын өзгерту процесін ғана емес, сонымен қатар полимер ерітіндісін қабатта сүзу туралы толық түсінік алуға мүмкіндік беретін ығысу шекті кернеуінің болуын да ескереді. Есептеулерде Гершель-Балклидің ньютондық емес моделін қолданған кезде жинақталған олжа ньютондық формула бойынша есептеуге қарағанда 15%-ға жоғары, ал сулану 7%-ға төмен екендігі көрсетілген. Ньютондық емес қасиеттерді есепке алу және мұнай бергіштік коэффициентін 10%-ға арттыруға мүмкіндік береді.

Бүкіл әлемде жақын және алыс шетелдерді дамытудың көптеген белсенді технологиялары белгілі. Осыған қарамастан, жаңа кен орныларының ашылуы және жұмыс істеп тұрған кен орындарының бірқатар қосымша геологиялық-физика-технологиялық факторларды анықтауға мүмкіндік береді, мысалы, әр түрлі сүзу қасиеттері бар қабаттар үшін оңтайлы және минималды қысым, айдау және өндіру ұңғымаларының кенжарларындағы сағалардағы қысымның өзгеру жиілігі, олардың толық зерттелмеуі өндірілуі қиын қорларды өндіру процестерінің тиімділігінің төмендеуіне әкеледі [36].

Көптеген теориялық және эксперименттік зерттеулер, сондай-ақ кәсіптік бақылаулар мұнай кен орындарын игеру тиімділігіне әсер ететін ең маңызды факторлар-бұл мұнай мен судың қабат жағдайындағы қозғалғыштығының арақатынасы және қабаттың өткізгіштігі бойынша біртекті емеслігі болып табылады. Мұнайдың тұтқырлығының жоғарылауымен, мұнай беру коэффициенті күрт төмендеуі. Кеуекті ортаның біртекті емес әсерінің ығысу біркелкі қозғалысын күшейтеді. Өткізгіштігі жоғары біртекті емес қабаттарда (өткізгіштігінің вариация коэффициенті 0,8 және одан жоғары), тіпті тұтқырлығы төмен мұнай бергіштік коэффициенті ең көп өткізетін қабат аймақтары арқылы ығыстырғыш агенттің мерзімінен бұрын бұзылуына әкеледі [37]. Тұтқырлығы жоғары мұнай бергіштік коэффициенті біртекті қабаттарда орын алатын тұтқырлықтың тұрақсыздығымен бірге жүреді.

Тұтқырлығы төмен мұнайы бар нақты табиғи қабаттарда коллекторлық қасиеттердің біртекті болмауына байланысты, мұнай мен судың біркелкі емес жылжуының бірінші себебі болуы мүмкін.

Сулану жүйесінің тиімділігін арттыруға өнімді қабаттарға физикалық-химиялық әсер ету әдістерін қолдану ықпал етуі мүмкін.

Әр түрлі елдердің ғалымдары химиялық реагенттерді қолдануға байланысты жұмыстарды зерттей отырып, соның ішінде қабаттардың мұнай өндірулігін арттыру үшін полимерлерді айдау арқылы жүзеге асырылады. Статистикаға сәйкес, қабаттардың мұнай өндірісін арттырудың химиялық әдістерінің 77% полимерлі сулануы және 23% полимерлі беттік белсенді заттармен біріктірілген түрлері келтіріледі [38]. Суда еритін полимерлерді қосу судың тұтқырлығын арттырады, сондықтан тұтқырлықты бақылау жақсарады және сонымен бірге мұнаймен салыстырғанда судың салыстырмалы өткізгіштігі төмендейді.

Полимердің қозғалғыштығын азайту үшін суға қосылады. Полимерлерді қолдану су фазасындағы өткізгіштікті едәуір төмендетуге мүмкіндік береді

және мұнайды сумен ығыстыру фронты теңестіріледі, әрине, бұл ұңғымаларды пайдаланудың сусыз кезеңі ұзартылады және шайып келгенде, қабаттан мұнай алудың көлемділігі артады.

Полимерді айдау жоғары температурада жүзеге асырылады. Дұрыс полимерді (немесе қорғаныс қоспаларын) таңдау ұзақ мерзімді перспективті полимерлі сулану технологиясын қолданудың сәттілігін қамтамасыз етудің негізгі факторы болып табылады. Кез-келген зерттеудің алғашқы қадамы-сұйықтықтың тұтқырлығының деңгейін анықтау, яғни оны қабатқа құю керектігін қадағалау. Осыдан кейін үш негізгі параметрді ескере отырып, ең қолайлы полимерді таңдау жүзеге асырылады:

- қабаттың температурасы;
- айдалатын судың минералдануы;
- қабаттың өткізгіштігі.

Полимерлердің негізгі екі түрі бар. Бірінші түрге гидролизденген полиакриламидтер сияқты синтетикалық полимерлер жатады. Екінші түрі-биополимерлерді келтіруге болады.

Полимерлердің құрамында тиімді қасиеттері бар болуы керек көрсеткіштер:

- көміртегі тізбегі;
- теріс иондық гидрофильді топ (тау жыныстарының бетіндегі адсорбцияны азайту үшін);
- иондық емес гидрофильді топ (химиялық тұрақтылық үшін) [39].

Әр түрлі сулану сипаттамалары үшін қолданылатын полимерлердің жеке топтары бар:

- Анионды полиакриламид (төмен минералдану кезінде 75-80⁰С дейін);
- Сульфатталған сополимер және терполимер (100⁰С дейін);
- (минералдану бойынша тұтқырлық пен төзімділіктің жоғары мәндері үшін, 75⁰С дейін);
- Flocomb сериясы (минералдануға төзімділігі жоғары полимерлер);
- F3P-қорғанысы бар полимерлер блогы (O₂, Fe және H₂S бар 120⁰С дейін).

Полимерлердің әр тобы молекулалық салмағы, ионогенділігі, термиялық тұрақтылығы, тұтқырлығы бойынша ерекшеленетін кіші топтарға бөлінеді.

Қабаттардың мұнай бергіштік көрсеткішін арттыру үшін суда еритін полимерлер тобына мыналар жатады: полиакриламид (ПАА), шетелдік өндірілген ұнтақ тәрізді ПАА (KC5, KC6, KC30, MC3A, DK-Drill, Polidia, DKS-ORP, Sedipur маркаларымен), карбоксиметилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза, полиэтилен оксиді, модификацияланған метилцеллюлоза [40].

Полимер–бұл көп функциялы зат, ол параметрлердің әртүрлі қасиеттеріне ие. Бүкіл әлемде полимерлердің қасиеттері әртүрлі жағдайларда және әртүрлі ортада зерттеледі. Осындай өзекті мәселелердің бірі – полимерді кеуекті ортада ұстау. Полимерді сәтті және тиімді қолдану үшін полимердің қасиеттерін қабатпен модельдеу керек, мұнда температура, тұтқырлық, адсорбция және ұстау сияқты сипаттамалар ескерілуі керек.

Полимерді сүзу мәселесі бойынша әртүрлі материалдарды зерттеу өте қиын болды. Полимерді ұстап тұру үшін бірнеше факторларға назар аудару керек: концентрация, полимер ағыны, полимер жылдамдығы, тау жыныстарының өткізгіштігі. Полимерлердің концентрациясына тікелей әсер ететін факторлар ағынның жылдамдығы, полимер молекулаларының ұсталуы және өткізгіштігі болып табылады.

Полимерлі сулану процесі тиімді технология болып табылады, бірақ бұл жерде ескерілетін маңызды сәт – полимердің кешігуі. Полимердің кешігуімен мұнайдың ығысу тиімділігі айтарлықтай төмендейді, сондықтан полимер кеуекті ортада сақталады. Полимерді ұстау процесінде негізгі үш қадам орындалады: бірінші әрекетке кеуек бетіндегі физикалық адсорбция жатады [41-44].

Екінші әрекетке механикалық тоқтату жатады, мұнда полимер молекулалары диаметрі кіші тесіктерге енеді, ал шығуда алдыңғы өлшеммен салыстырғанда өлшемін өзгертеді. Су мен тұз молекулалары осы кеуектерден ағып кетуі мүмкін, бірақ полимер молекулаларының үлкен мөлшерімен өте алмайды, сондықтан олар осы кеуектерде бір – бірінің үстіне жиналады [45,46].

Үшінші әрекетке гидродинамикалық тоқтату жатады. Гидродинамикалық тоқтату полимердің жергілікті жылдамдығын сипаттайды. Ағынның тепе-теңдігіне қол жеткізу кеуекті ортадағы полимерлердің жоғалуын көрсетеді.

Полимер молекулалары тері тесігінің мөлшеріне әсер етуі мүмкін және ағынның кедергісіне әсер етуі мүмкін бірнеше нұсқалар бар [47-49].

Полимер ерітіндісінің әртүрлі түрлері бар. У.В. Гогарти ғалымы, сұйықтық санатына жататын түрді қарастырды. Полимердің тұтқырлығы үшін маңызы бар кейбір параметрлерді қысқаша сипаттауға болады. Мысалы, полимердегі ығысу жылдамдығы да белгілі бір мәнге ие, өйткені ол ағын коэффициентімен байланысты, және де ph полимердің тұтқырлығына әсер етпейді, бірақ молекуланың гидролизіне әсер етеді деп қосуға болады.

Температураның жоғарылауымен тұтқырлық дәрежесі төмендейтіні белгілі. Бұл процесс температураның жоғарылауы белсенді полимер молекулаларына әсер ететіндігімен түсіндіріледі, демек, молекулалар арасындағы үйкеліс азаяды, сондықтан ағынға төзімділік төмендейді және тұтқырлық төмендейді.

Егер полимердің белсенділік энергиясы жоғарыласа, онда температураға пропорционалды тұтқырлық өзгереді. Ең маңызды факторлардың бірі – полимердің тұрақтылығы деп айтуға болады. Полимердің тұрақтылығымен молекулалардың деградациясы туралы айту керек. Тұрақтылық процесінің өзі 3 топқа бөлінеді: химиялық, механикалық, биологиялық [44, с.85].

Мұнай кен орындарынигерудегі отандық және шетелдік тәжірибе көрсеткендей, мұнай өндіруді арттырудың кең таралған әдістерінің бірі, оны қолдану тиімділігі тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтардың нәтижелерімен дәлелденген, судан жасалған полимерлерді қолдана отырып, полимерлі сулану болып табылады.

Полимерлі сулану механизмі қоюландырылған полимерлі ерітінділер түрінде айдалатын судың қозғалғыштығын төмендетуге, полимердің тау жыныстарына ішінара адсорбциялануына және қалдық кедергі факторын құруға, айдалатын судың сулану аймағы бойынша жылжу фронтын теңестіруге және өнімді қабаттың тік қимасына негізделген.

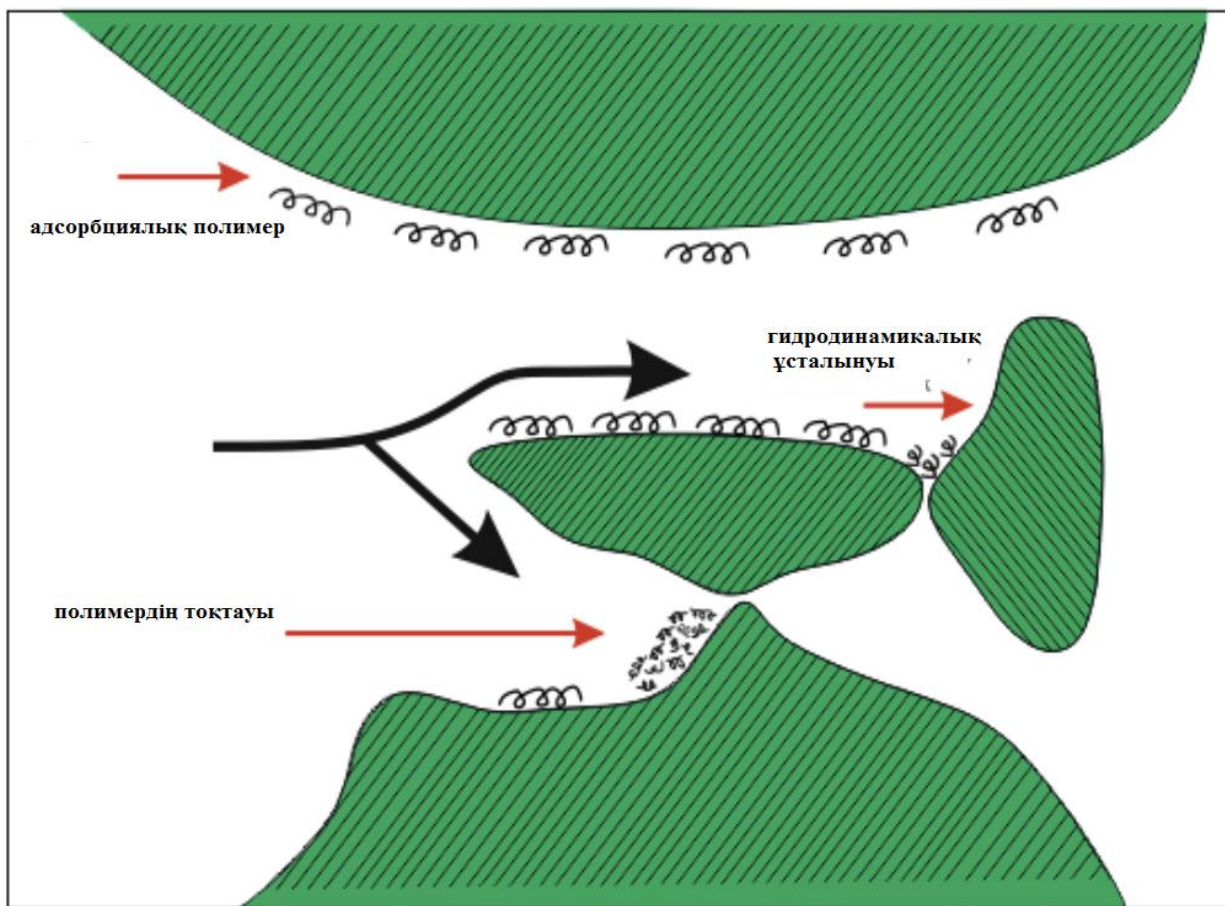
Қолдануға ұсынылатын полимерлі ерітінділер қолайлы реологиялық және мұнайды алмастыратын сипаттамаларға, көрсеткіштердің тұрақтылығына және басқа да жақсы қасиеттерге ие болуы керек, оларды зерттеу және реттеу, сондай-ақ полимерлі сулану технологиясын әзірлеу керектігі көрсетіледі [50].

Мұнайды біртекті емес қабаттан шығару процесін суда еритін жеткілікті жоғары молекулалық салмақтағы полимерлерді қолдану арқылы жақсартуға болады, олардың шағын қоспалары судың қозғалғыштығын күрт төмендетеді. Мұнайдың тұтқырлығы жоғары ығыстырғыш агенттермен ығысуы тұтқырлықтың тұрақсыздығының бәсеңдеуіне және біртекті емес қабаттардағы ығысу майданының теңестірілуіне әкеледі, бұл өз кезегінде сулану арқылы қабаттың қамтылуын арттыруға және шайып келгенде, кенорнының мұнайның көп көлемде шығаруын арттыруға мүмкіндік береді [2, с.65].

Әр түрлі материалдарды қарастырған кезде, кеуектердің түзу мөлшері полимердің сақталуымен және кеуекті ортада бір уақытта таралуымен байланысты деп айтуға болады. Сұрақ туындайды: "Неліктен кеуек өлшемдері полимер молекулаларына әсер етеді?", егер полимер молекулалары мөлшері бойынша кеуек өлшемдеріне сәйкес келмесе, бұл сәт процестің жылдамдығын төмендетеді. Полимерлердің таралуы кешіктірілген кезде мұнай бергіштік коэффициенті баяулайды. Полимерді ұстау деңгейі процесте қолданылатындар концентрация дәрежесін, диапазон шамасын және тау жыныстарының тығыздығын ұстануы керек. Қол жетімді емес кеуек көлемі полимер ағынын жылдамдатуы мүмкін, өйткені үлкен полимер молекулалары барлық беткі кеуектерге ене алмайды [51].

Көптеген зерттеу жұмыстары полимер молекулаларының жоғары жылдамдықпен қозғалатынын көрсетті. Полимерді ұстаған кезде қол жетпейтін тесіктер пайда болады, онда полимердің қабатқа таралуы жеделдетіліп, процестің тиімділігі төмендейді. Әсіресе, егер қабаттар сумен толтырылған болса [52].

Ұстау арқылы полимер молекулалары 1.1-суретінде көрсетілгендей молекулалардың өлшемдерінің сәйкес келмеуіне байланысты кеуектерден өте алмайды. Полимер ол жанасатын бетке адсорбцияланады.



Сурет 1.1 – Полимерді кеуекті ортада ұстаудың негізгі схемасы

Гидродинамикалық өлшемге байланысты полимерлер одан әрі қозғала алмайды, өйткені кеуек өлшемдері тым кішкентай және полимер молекулаларының таралуын қамтамасыз ете алмайды.

Кеуек қабырғасына жақын полимер молекулаларының қозғалысы өзара әрекеттесу арқылы азаяды, өйткені молекулалар қабырғаға жанасуынсыз қозғалыс еркін болатын орталықтағы молекулаларға қарағанда кеуек қабырғасының жанында баяу айналады. Молекулалардың барысын бақылай отырып, қол жетімді емес және қол жетімді кеуектердегі полимер молекулаларының қозғалысы өте маңызды екенін атап өтуге болады [53].

Полимер иондық немесе сутегі байланыстарының күштері арқылы тау жынысына "жабысады". Молекуланың тау жынысына көптеген нүктелерде жабысу мүмкіндігін ескере отырып, адсорбция әдетте қайтымсыз болып саналады. Өте үлкен молекулалар кеуекті каналдардың кіреберісінде физикалық түрде қысылып қалуы мүмкін. Ағынның тоқырау аймағында молекулалар уақытша ұсталады.

Зертханалық жағдайда полимерді ұстау статикалық және динамикалық әдісті қолдану арқылы анықталады. Статикалық әдіс полимердің белгілі массасын ұнтақталған жыныстың немесе коллектордың құмтасының белгілі массасымен араластыруды қамтиды. Бұл әдіс бірқатар айқын шектеулермен сипатталады. Біріншіден, бұл тек физикалық адсорбцияны анықтауға мүмкіндік

береді, қабаттағы қозғалысы ескерілмейді. Екіншіден, адсорбция аймағы коллектордың шоғырланған құрамына қарағанда құмның бос бөлшектері үшін әлдеқайда үлкен, бұл адсорбцияны едәуір арттырады. Үшіншіден, полимер сынау үшін қолданылатын ыдысқа жабысып қалуы мүмкін, бұл материалдық тепе-теңдік негізінде анықталған сұйықтықтағы концентрация мәндерінің бұрмалануына ықпал етеді. Төртіншіден, статикалық жағдайларға байланысты полимерлердің ұсталуымен және температура, қысым, уақыт көрсеткіштері анықталады.

Полимердің сақталуын сандық анықтаудың қолайлы әдісі-динамикалық әдіс. Ол тұзды ерітіндімен бөлінген полимерлі ерітіндінің екі фронтын айдаудан тұрады. Қол жетпейтін кеуек көлемін анықтау үшін индикаторды қосып, индикатордың (мысалы, ультракүлгін спектрофотометрмен анықталған калий йодиді) және полимердің үзілуіне дейінгі уақытты салыстыруға болады. Полимердің сақталуын сорылған кеуек көлеміне қатысты ерітінділердің концентрациясы немесе тұтқырлығы профильдерін құру арқылы анықтауға болады [54].

1.5 Су-газ әсер ету технологиясын қолдану мәселелеріне шолу

Жоғарыда мұнай кен орындарына әсер ету әдістерінің жіктелуі келтірілген. Мұнай өндіруді арттырудың осындай әдістерінің бірі—кен орындарын игерудің гидродинамикалық жүйесі болып табылады. Оған мыналар жатады: физикалық, физикалық-химиялық, микробиологиялық және су-газ әдістері. Қабат қысымын ұстап тұру және қабаттың мұнай шығынын арттыру үшін су-газ әсері (СГӘ) қолданылады. Мұнай бергіштік коэффициенті кезінде су-газ әсерін пайдалану идеясы сулану процесін қолдану мен мұнайды газбен ығыстырудың көптеген талдауларынан кейін пайда болды.

Бұл талдау сулану кезінде ұңғыманың кенжарына судың сөзсіз серпілісі бар екенін көрсетті. Бұл өндірілетін өнімнің сулануына және процестің тиімділігінің төмендеуіне әкеледі. Мұнайды газбен ығыстыру кезінде де солай байқалады. Бұл жағдайда ғана газдың жарылуы жылдам қарқынмен жүреді. Сондықтан қабатқа әсер етудің осы екі әдісін біріктіру туралы шешім қабылданды. Су-газ әсері—жыл сайын қызығушылық артып келе жатқан осындай әдістердің бірі болып табылады. Бұл технологияның су айдау технологиясы мен газды қабатқа айдау әдісін біріктіретіндігіне байланысты.

Әр түрлі әдеби дерек көздерге сәйкес, су-газ әсер ету технологиясын енгізу су айдау технологиясына қатысты мұнай бергіштік коэффициентін 10-15%—ға арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, су-газ әсерімен мұнай өндіру коэффициенті төмен өткізгіш коллекторлардағы мұнайлар игеруге қолданылады. Сонымен қатар, су-газ әсері ілеспе мұнай газын кәдеге жаратуға мүмкіндік береді.

Су-газ әсері алғаш рет Канадада 1957 жылы құмтаспен қапталған коллекторларда сатылды. Су—газ әсері—бұл әдеттегі сулануы мен газ әдісінің үйлесімі. Қабаттың су басқан бөлігіндегі су капиллярлық күштердің әсерінен болады. Осының арқасында ол кішкентай гидрофильді тесіктер мен

тарылуларды алады. Ылғалданбайтын фаза болып табылатын газ негізінен үлкен тесіктерді алады, сонымен қатар ауырлық күшінің әсерінен қабаттың шатыр бөлігінде жиналады. Су-газ әсерінен, су-газ қоспасы немесе су мен газдың кезектесіп, қабатқа айдалады. Су-газ қоспасын айдау күшейткіш қондырғының көмегімен немесе эжекторлық жүйелерді пайдалану арқылы жүзеге асырылады. Мұнайды су-газ әсерімен қабаттан ығыстыру бойынша тәжірибелер бұрыннан жүзеге асырылып келеді.

Газ-сұйықтық қоспасының құрамымен су-газ әсерінің режимдерін реттеу уақыт параметрлері, су-газ қатынасының шамасы, объектіге әсер етудің атаулылығы мен технологиялық тиімділігі арасындағы тәуелділікті анықтауды талап ететін күрделі көп өлшемді міндет болып табылады. Мұнай қорларын стационарлық емес технологиялармен өндіруді қарқындету мәселесін қарастырған кезде, мысалы, қабатқа циклдік су-газ әсері бірқатар шешілмеген міндеттер бар, олардың бірі су-газ қоспасын айдаудың тұрақты және мерзімді режимдерінде мұнайды ығыстыру тиімділігін анықтаумен байланысты.

Сондықтан бұл мәселені шешу коммерциялық жағдайларда өте қажет және өзекті ғылыми-практикалық міндет болып табылады. Алайда, бұл зерттеулер оны қолданудың аз бөлігін қамтиды. Бұл әсіресе тұтқырлығы жоғары мұнай бар кен орындарына қатысты. Су-газ әсерін көптеген авторлар қарастырады. Сонымен, жұмыстарда [55] Шумов және Уренгой кен орындарына (Ресей) қатысты су-газ қоспасын айдау процесін модельдеу қарастырылады. Алдын ала зерттеулер жаппай модельде және өзекте жүргізілді. Мұнайдың рекомбинацияланған сынамасы қолданылды. Қоспадағы газ мөлшері 34,9-39,7% құрайды. Жалпы су айдау 3,84-4,63 кеуек көлемін құрады. Шығару коэффициенті 6,6-11,1%-ға өсті. Тәжірибелер дамудың басынан бастап су-газ әсерін қолдану тиімдірек екенін көрсетті. Сонымен қатар, су-газ әсерінің процесін модельдеу әртүрлі тұтқырлықтағы мұнайды алудың соңғы коэффициентінің ығыстыратын су-газ қоспасының газ құрамына тәуелділігін көрсетті.

Су-газ әсерін қолдану ығысу процесін жақсартады және қалдық мұнай қанықтылығын азайтады. Уренгой кен орнында су-газ әсерін қолдану қабат қысымы мен мұнай берудің жоғарылауына әкеледі. Жұмыста [56] су-газ қоспасын жоғары және төмен қысыммен сорғы-эжекторлық айдаудың екі технологиялық схемасы келтірілген. Бұл технологияда көбіктенетін беттік белсенді затты қолдану қарастырылған.

Жұмыста [57,58] көлденең ұңғымалары бар кен орныдарында су-газ қоспасын қолдану қарастырылады.

Су-газ әсерінің жұмыс жасау механизмінің жүзеге асырылуы көрсетілген. Су-газ әсері тиімділігі қалдық мұнайды газбен толық жуудан және соның салдарынан су арқылы айдау ұңғымаларының қабылдағыштығының еселенген ұлғаюынан тұрады. Су-газ әсерінің мәні мынада: екі араласпайтын сұйықтықтың (мұнай мен судың) жанасуына байланысты әдеттегі су тасқыны кезінде беттік керілу күштері және сәйкесінше капиллярлық қысым градиенті айтарлықтай артады. Газ жиегін айдау кезінде мұнайдың ығысу коэффициенті

артады, ал су жиегін айдау арқылы қабаттың ығысумен қамту коэффициенті жоғары деңгейде сақталады, бұл қабаттың толық өндірілуін қамтамасыз етеді.

Су-газ әсерінің тиімділігі мұнайдың динамикалық тұтқырлығын төмендету болуы мүмкін (мұнайда айдалатын газды еріту арқылы), қабат қысымын тиімдірек қолдайды, бастапқы динамикалық ығысу қысымының градиентінің болуынан әсерді төмендетеді.

Содан кейін көлденең ұңғымалардың әртүрлі нұсқалары (U-тәрізді) модельденеді. Су-газ қоспасын айдау ағын бағытының өзгеруімен әр түрлі нүктелерден жүзеге асырылды.

Жұмыста [59] Алексеев кен орнында (Ресей) су-газ әсерін сәтті қолдану қарастырылды. Алексеев кен орнындағы су-газ әсері 2005 жылы жоғары біртекті емеслігі және төмен өткізгіштігі бар горизонттының жарылған – кеуекті карбонатты коллекторларындағы екі бөлек кен орныдарында енгізілді. Процестің тиімділігіне мұнайдың тұтқырлығын төмендету, онда айдалатын газды еріту, газды жуу қабілеті, су мен газ қоспасын циклдік айдау арқылы қол жеткізіледі. Енгізу нәтижесінде мұнай алудың ағымдағы коэффициентінің шамасы 19,4% құрады.

Жұмыста [60] су-газ әсерінің әртүрлі нұсқалары толығырақ қарастырылған. Мұнда су-газ әсерінің әдістік екі сипаттамаға бөлу ұсынылады: Айдау процесінің өзі және айдау агенті. Қазіргі уақытта су-газ әсері жүзеге асыру процесінің жеті түрі бар:

1) дәстүрлі су-газ әсері: су мен газ циклдік түрде айдалады, әр цикл кезінде су мен газдың көлемі бірдей және коллектордың сипаттамалары мен жағдайына сәйкес айдалады.

2) газ бен суды циклдік айдау (ГСЦА): ГСЦА дәстүрлі су-газ әсеріне ұқсас, айырмашылығы – алдымен газ айдалады.

3) гибридті су-газ әсері (ГСГӨ): гибридті-су мен газдың бөліктерін циклдік айдау алдында газдың үлкен бөлігін айдау.

4) су мен газды бір мезгілде айдау (СГБМА): су мен газ жер бетінде араласып, бір айдау ұңғымасы арқылы бір уақытта айдалады. Бұл жағдайда екі сұйықтық немесе олардың біртекті қоспасы бір уақытта айдалуы мүмкін (мысалы, судағы газ көпіршіктерінің эмульсиясы).

5) суды және әртүрлі мөлшердегі газ бөліктерін (СӘМГБА) кезек-кезек айдау: әдісі объектіні пайдаланудың әртүрлі кезеңдерінде су-газ әсерінің кезінде әртүрлі айдау коэффициенттерін қабылдау үшін қолданылады. Тұрақты су-газ әсерімен салыстырғанда, СӘМГБА өндірудің нақты сатысына байланысты су мен газдың арақатынасын икемді түрде өзгертуге, кен орнындағы өндірістік жұмыстар жүйесін реттеуге және газдың бұзылу қаупін азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, тау-кен реакциясының жылдамдығы коммерциялық жабдықтар мен құбырлардың жұмыс сипаттамаларына байланысты жасанды түрде жоғарылауы немесе баяулауы мүмкін.

6) су мен газды бір мезгілде селективті айдау (СГБМСА): СГБУА сияқты, газ бен су бір ұңғыма арқылы бірге айдалады, бірақ жер бетінде араласу

болмайды. Екі фаза екі рет аяқталатын айдау ұнғымасының көмегімен бөлек айдалады.

7) су мен газдың жоғары және төмен ауыспалы айдалуы (жоғары және төменгі): бұл схема су, мен газдың ығысу аймағын өзгерту арқылы жүзеге асырылады, механизм СГБМСА бірдей, әдетте су төменнен, ал газ жоғарыдан айдалады. Айдау технологиясы әр циклде су мен газ айдау орнын өзгертеді. Екінші циклде су жоғары бағытта айдалады, ал газ төмен түсу арқылы айдалады. Тығыздықтың айырмашылығына байланысты су төмен қарай, ал газ жоғары қарай жүреді, осылайша қамту бағыты мен орын ауыстыру сәйкес келеді, процестің тиімділігі артады. Бұл айдау схемасын пайдалану үш фазалы аймақты тиімді жақсарта алады және экстракция тиімділігін оңтайландырады, нәтижесінде жоғары экстракция коэффициенті пайда болады.

Қабатқа айдау үшін қолданылатын негізгі газдар-көмірқышқыл газы, майлы немесе құрғақ көмірсутек газдары (ілеспе немесе табиғи газ) болып табылады. Газдың басқа түрлерін қолдануға болады. Барлық нұсқаларды талдауға сүйене отырып, авторлар су-газ әсерінің тиімділігі мен қол жетімділігі туралы қорытынды жасайды. Қолданылатын агенттердің өзгеруі фазааралық керілудің төмендеуіне, ығыстырылған мұнайдың тұтқырлығына, қабаттың әсермен қамтылуын тиімдірек реттеуге, мұнай бергіштік коэффициентінің жоғарылауына және тұтастай алғанда қабаттың мұнай өндірісінің жоғарылауына әкеледі [61].

Жұмыста [62] беттік белсенді заттарды қолдана отырып, су-газ әсерін эксперименттік зерттеу жүргізіледі. Кеуекті орта ретінде диаметрі 100 мкм-ден аз кварц құмы қолданылады. Судың өткізгіштігі 0,3-0,4 мкм², кеуектілігі 33-38% құрады.

Мұнай моделі ретінде керосин алынды. Керосинді сумен және газбен (базалық), су мен баз қоспасымен ығыстыру бойынша тәжірибелер жүргізілді. Суда 0,1% көлемдік концентрациясы бар нафтенол-мл беттік белсенді зат ретінде пайдаланылды. Қысым $P_{жұмыс} = 1-1,5$ МПа (төмен қысым), керосиннің сумен ығысу коэффициенті 53%, азот – 46%, беттік белсенді зат ерітіндісі – 60% құрады. Керосинді су– газ қоспасымен ығыстыру әртүрлі газ құрамымен жүзеге асырылды. Әр түрлі газ құрамындағы керосинді алу коэффициенті (16,5-59,8%) 65-75% құрады.

Газдың одан әрі жоғарылауы немесе азаюы негізгі мәндерге әкеледі. Төмен қысымды эксперименттер сериясында газ көпіршіктерінің басым диаметрі 600-ден 900 мкм-ге дейін болды. $P_{жұмыс} = 6-6,5$ МПа (жоғары) қысымының жоғарылауы және реактивті аппараттың өту қималарының төмендеуі газ көпіршіктерінің басым диаметрін 600-900–ден 50-125 мкм–ге дейін азайтуға мүмкіндік берді. Бұл ретте модельдің су бойынша өткізгіштігі– 0,19–0,22 мкм², кеуектілігі – шамамен 40% құрады. Керосинді алу коэффициенті газ мөлшеріне байланысты (21,7-77,8%) 67-75% құрады. Алынған нәтижелерге жүргізілген талдау керосиннің ығысуы қысымға тәуелді болмайтын газ құрамының оңтайлы аймағы бар екенін көрсетті. Бұл жағдайда ығысу коэффициенті 74-75% құрайды. Ұқсас нәтижелерді басқа авторлар да алды.

Жұмыста [63] көмірқышқыл газын (CO_2) пайдалану су-газ әсерінен газ ретінде ұсынылады. Көмірқышқыл газы-түссіз газ, ауадан ауыр болып келеді. Қалыпты жағдайда оның тығыздығы $1,98 \text{ кг/м}^3$ құрайды. Көмірқышқыл газы улы емес, иісі жоқ. Көмірқышқыл газы онда еріген кезде судың тұтқырлығын арттыруға қабілетті ($T=20^\circ\text{C}$ және $P=11,7 \text{ МПа}$ кезінде көміртекті судың тұтқырлығы $1,21 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ құрайды). Көмірқышқыл газының концентрациясы неғұрлым көп болса, судың тұтқырлығы соғұрлым жоғары болады. Қысымның жоғарылауымен көмірқышқыл газы суда белсенді ери бастайды. Температураның жоғарылауымен және судың минералдануымен көмірқышқыл газының ерігіштігі төмендейді. Көмірқышқыл газының осы оң қасиеттерін су-газ әсерінен пайдалану процестің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, көмірқышқыл газын ығыстыру кезінде мұнайда еріту мүмкіндігін ескеру қажет, бұл оның тұтқырлығын төмендетуге, сумен шекарадағы мұнайдың беттік керілуін азайтуға көмектеседі. Мұның бәрі мұнай өндірудің өсуіне әкеледі.

Алайда, бұл әдісті кеңінен қолдануға көмірқышқыл газының теріс жақтары кедергі келтіреді. Біріншіден, оның коррозиясы. Екіншіден, мұнаймен толық араласпаған кезде одан жеңіл көмірсутектер алынады және мұнайдың қозғалысы азаяды, яғни, бұл қосымша шығындарға әкеледі.

Бұл [64-65] жұмысында мұнайдың көп қабатты біртекті емес коллекторлардан су-газ қоспасымен ығысуы туралы теориялық және коммерциялық зерттеулер қарастырылады. Ығыстырушы агентті стационарлық айдаудан стационарлық емес айдауға көшу өндіруші ұңғымалардың дебитінің өсуіне ықпал етеді.

Мұнайды су-газ қоспасымен ығыстырудың тиімділігін арттыру үшін іріктеу аймағынан қашықтықты, өткізгіштігі бойынша біртекті емес аймақтарда және мұнайдың қалдық қорлары жоғары облыстарда орналастыруды ескере отырып, су-газ әсерін айдау үшін айдау ұңғымаларының орналасуын өзгерту ұсынылады. Су-газ қоспасын айдау режимдері мен ұзақтығын реттеу арқылы су-газ әсерін оңтайландыру жөніндегі зерттеу нәтижелері Алексеев кен орнының кизелов көкжиегінде іске асырылды.

Жұмыста [67] мұнайдың әртүрлі құрылымдық-механикалық қасиеттері үшін мұнай ығыстырылған кезде газ-сұйық қоспаны қолданудың математикалық шешімі қарастырылған. Газ ерітіндісімен айдалатын газ-сұйық қоспаның сулануға, беттік керілуге, қысымға әсер ететіні көрсетілген.

Алынған нәтижелер, газсыз сұйықтықтар мен екі фазалы газ-сұйық қоспаларды қолданумен салыстырғанда өтпелі фазалық күйде газ-сұйық қоспаларды қолдану Мұнай бергіштік коэффициентінің тиімділігін арттыратынын көрсетті.

Қазіргі уақытта полимерлерді айдау арқылы су-газды әсер ету әдісін жетілдіру бойынша өзекті тақырып болып табылады. Ол жоғары тиімділікке және қабат жағдайларының әсеріне төзімділікке ие болатынын көрсетеді.

Полимерлерді қабатқа айдау бойынша зерттеу, бұл дегеніміз қабатты қамтуын арттыруға және сұйықтықтың ығысу қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді.

Полимерлерді айдау арқылы су-газ әсер ету әдісі кен орындарынигерудің экономикалық көрсеткіштерін жақсартуға және МБК арттыруға мүмкіндік беретін қабаттардың мұнай өндірісін арттырудың перспективалық әдісі болып табылады.

1– бөлім бойынша қорытынды

Осылайша, әдеби дерек көздерге жүргізілген талдау арқылы полимерлі және су-газды және суланудың тиімділігін жоғары болатынын көрсетті. Бірақ полимерлі суланудың барлық жағымды жақтарымен қатар оның кемшіліктері де бар. Ерітінді дайындалған судың және қабатта бар судың сапасы және деструкцияның әртүрлі әсерлерінің түрлерінде айтуға болады. Сонымен қатар, мұнай бергіштік көрсеткіштерінің едәуір арттыру үшін полимер ерітіндісінің үлкен жиегін айдау немесе ерітіндінің концентрациясын арттыру қажет.

Мұнай қабаттарына әсер ету әдісін жетілдіру үшін бұл жұмыста полимер ерітіндісінің жиегін су-газ қоспасымен (эмульсиямен) итерумен біріктіретін кешенді әсер ету әдісі қарастырылады. Бұл жағдайда су мен газдың оң қасиеттері толығырақ қолданылады. Осының арқасында қабаттың процесспен қамтылуы және мұнайды ығыстыру тиімділігі артады екенін көрсетуге болады.

2 МҰНАЙДЫ ӘРТҮРЛІ МАРКАЛЫ ПОЛИМЕРЛЕРМЕН БҒЫСТЫРУ ПРОЦЕСІНІҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

2.1 Қаламқас кен орнының қабаттарына әсер ету мақсатында полимерлік композицияларды қолдану негіздемесі

Мұнай өндіруді тұрақтандырудың ең тиімді және перспективалы әдістерінің бірі полимерлі композицияларды айдауды қолдануға негізделген физика-химиялық технологиялар болып табылады.

Негізгі мақсат-тұтқырлығы жоғары мұнайлары бар кен орныдарында және өндірілуі қиын қорлары бар қабаттарда пайдалануға одан әрі ұсыныс жасау үшін полимерлі композицияларды қолданудың тиімділігін зерттеу.

Бұл тарауда полимерлерді, атап айтқандай, Қаламқас кенорнының Ю-4С, Ю-3С горизонттары учаскелеріндегі ұңғымалардың әртүрлі тереңдігінен іріктелген тау жыныстарының үлгілеріндегі GL-50 және R-1 зерттеу нәтижелеріне талдау жасалынды.

Бастапқы күйдегі мұнайдың қасиеттері ұңғымалардың сағасынан алынған және тереңдік сынамаларын газсыздандырғаннан кейін алынған сынамалар бойынша бағаланады. Кен орындарының көпшілігі кен орындарының ауданы бойынша салыстырмалы түрде біркелкі таңдалған жеткілікті сынамалармен ұсынылған, бұл жер үсті жағдайында мұнайдың орташа қасиеттерін дәл бағалауға мүмкіндік береді.

Қаламқас кенорнының мұнайы ауыр (қабаттар бойынша стандартты жағдайларда тығыздықтың орташа мәндері $0,9033-0,9144 \text{ г/см}^3$ шегінде өзгереді), тұтқырлығы жоғары (тұтқырлығы 20°C кезінде $100 \text{ МПа}\cdot\text{с}$ артық), парафинді (2,6-3,8%), күкіртті (1,21-1,45%). Тығыздық пен тұтқырлықтың жоғары мәндері асфальт-шайырлы заттардың (шайырлар 14,5-19,5%, асфальтендер 3,2-5,3%) едәуір мөлшеріне байланысты. 300°C дейін қайнайтын жеңіл фракциялардың өнімділігі горизонт бойынша ортада 19,3-тен 31,2%-ға дейін өзгереді. Кокстың өнімділігі 4-6% құрайды салмақ, кату температурасы – төмен – 18°C .

Қаламқас кен орнының мұнайы, әр түрлі горизонттармен шектелуіне карамастан, қасиеттері мен құрамы жағынан аз ерекшеленеді. Қабаттық мұнай сияқты, газсыздандырылған мұнайдың қасиеттерін кен орындарының ауданы бойынша және кен орны бойынша бөлу заңдылығы байқалады. Тығыздықтың, тұтқырлықтың, молекулалық салмақтың ең кіші мәндері газ-мұнай аймағындағы қойма бөлігінде орналасқан ұңғымаларда байқалады. Қоймадан алыстап, су-мұнай контаксіне жақындаған сайын тығыздықтың және басқа параметрлердің жоғарылауы байқалады, жеңіл қайнайтын фракциялардың шығымы азаяды. Учаскелердің су-мұнай аймақтарындағы мұнайдың тұтқырлық-тығыздық сипаттамалары нашарлайды. Осылайша, пайда болу тереңдігінің жоғарылауымен мұнайдың тұтқырлық-тығыздық сипаттамасы нашарлайды, асфальт-шайырлы заттардың мөлшері артады, жеңіл фракциялардың шығу кезіндегі көрсеткіші төмендейді.

Қабаттық жағдайдағыдай, Қаламқас кенорнының мұнайы асфальт-шайырлы заттардың елеулі құрамына және жарық фракцияларының төмен шығуына байланысты тұтқырлық пен тығыздықтың жоғары мәндерімен сипатталады.

2.2 GL-50 ЖӘНЕ R-1 полимерлердің реологиялық қасиеттерін зерттеу

GL-50 және R-1 маркалы полимерлерді қолдануды ұсыну мақсатында мұнайды осы реагенттермен ығыстыру бойынша эксперимент жүргізілді.

Осыған байланысты мұнайды әртүрлі ығыстырғыш реагенттермен ығыстыру бойынша эксперимент жүргізілді. Мұнайды әртүрлі ығыстырғыш реагенттерді пайдалана отырып, эксперименттің су қанықтылығы мен мұнай бергіштік көрсеткішінің тиімділігі анықталды. Полимерлер ағынының жылдамдығына және әртүрлі диаметрлі кеуектер арқылы молекулалардың таралуына ерекше назар аударылады. Горизонт бойынша есептелген мұнайдың ағымдағы қасиеттері 2.1– кестеде келтірілген.

Бұл эксперименттің негізгі мақсаты қабаттың мұнай өндірулігін арттыру үшін тиімді полимерді анықтау болды.

Полимердің сандық анықталуы, мұнай бергіштік коэффициентіне әсер ететін полимердің ығысу күштері арқылы анықталатынын айтуға болады.

Мұнайды полимер ерітінділерімен ығыстыру тиімділігі көбінесе кеуекті ортада сүзу кезінде көрсететін қасиеттерімен, атап айтқанда олардың реологиялық сипаттамаларымен анықталады.

Кеуекті ортадағы полимерлі ерітінділердің қозғалысының айрықша ерекшеліктері серпімді-тұтқыр қасиеттерге, адсорбцияға және полимердің механикалық ұсталуына байланысты. Бұл полимерлі ерітінділердің реологиялық сипаттамаларының өзгеруіне әсер етеді және кедергі факторы мен қалдық кедергі факторының пайда болуына ықпал етеді.

Бірдей концентрациясы бар тұтқыр полимерлі ерітінділер әрқашан жақсы сүзу қасиеттеріне ие бола бермейді. Бұл әртүрлі молекулалық сипаттамалары бар полимерлердің әртүрлі адсорбциясы мен механикалық ұстау қабілетіне ие.

Зертханалық жағдайда 108 г/л минералдануы бар 825 м және 872,55 м тереңдіктегі үлгілерде GL-50 және R-1 маркалы полимерлерге зерттеулер жүргізілді.

Ерігіштігі мен реологиялық сипаттамалары бойынша физика-химиялық зерттеулер жүргізу нәтижесінде іріктелген полимерлер модельдік өзектерде сүзу зерттеулеріне ұшырады.

Бұл сынақтардың мақсаты кеуекті ортадағы полимерлі ерітінділердің негізгі технологиялық қасиеттерін салыстырмалы бағалау, зерттелетін реагенттер шеңберін одан әрі тарылту болып табылады.

Кесте 2.1 – Қаламқас кен орнының горизонттары мұнайының физика-химиялық қасиеттері

№	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Негізгі									Қайтымды		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Параметрлер	Ю-4С	Ю-3С	Ю-2С	Ю-1С	Ю-І	Ю-ІІ	Ю-ІІІ	Ю-ІV	Ю-V+VI	Ю-5Ск+ Ю-5Сt	Ю	Ю-VІІ
Орташа тереңдігі, м	828	825	828	826	827	830	854	862	894	810	778	900
Қабатша түрі	қабат, стратиграфия мәтін.экрандалған				қабат, стратиграфия мәтін.экрандалған					қабат, стр.мәт. эк.	қабат, стр.мәтін.эк.	жаппай, қойма
Коллектор түрі	кеуекті	кеуекті	кеуекті	кеуекті	кеуекті	кеуекті	кеуекті	кеуекті	кеуекті	арралас	кеуекті	кеуекті
Мұнай-газ аумағы, мың.м ²	70644	65988	63415	74802	68658	47688	59785	30667	13424	74026	59084	787
Орташа жалпы қалыңдығы, м	17,3	11,5	14,3	12,9	16,8	7,3	15,9	18,5	46,7	9,9	3,0	13,6
Орташа газбен қаныққан қалыңдық, м	3,6	5,5	4,9	5,4	8,1	5,3	4,8			3,3	2,7	
Орташа мұнай қаныққан қалыңдық, м	7,5	6,7	6,5	8,8	8,3	5,4	8,5	11,9	15,2	4,1	1,8	8,3
Кеуектілік, бірлік үлесі	0,27	0,27	0,26	0,27	0,27	0,28	0,27	0,29	0,27	0,26	0,24	0,28
Мұнаймен (газбен) орташа қанығу, бірлік үлесі	0,65	0,65	0,64	0,68	0,69	0,66	0,67	0,68	0,66	0,59	0,57	0,59
Өткізгіштік, мкм ²	0,3373	0,3237	0,439	0,4808	0,738	0,5354	0,2435	0,3729	0,285	0,031/0,069	0,363	0,036
Құмдылық коэффициенті, бірлік үлесі	0,54	0,68	0,6	0,75	0,62	0,77	0,6	0,75	0,31	0,85	0,85	0,74
Бөлшектену коэффициенті, бірлік үлесі	3,1	3,1	3,4	2,8	3,4	2,2	3,6	3,3	7,3	2,4	1,4	2,2
Қабат температурасы, °С	40	41	40	39	40	42	39	41	43	39	40	43**
Қабат қысымы, МПа	8,7	8,7	8,5	8,6	8,6	8,6	8,8	8,6	8,7	8,6	9,1	
Қабат жағдайындағы мұнайдың тұтқырлығы, мПа×с	33,42	38,43	25,27	22,17	19,41	23,33	27,54	25,94	20,47	18,5	14,1	20,47
Қабат жағдайында мұнай тығыздығы, кг/м ³	0,8654	0,8683	0,8718	0,8745	0,8591	0,87	0,8693	0,8659	0,8877	0,888	0,9085	0,8685
Мұнайдың көлемдік коэф., бірлік үлесі	1,047	1,04	1,037	1,037	1,039	1,033	1,034	1,038	1,079	1,04	1,025	1,022
Мұнайдағы күкірт	2,029	1,947	1,66	1,694	1,662	1,66	1,798	1,653	1,68	0,91	1,941	2,042

2.1 - кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
мөлшері, % масс	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Мұнай құрамындағы парафин, % масс	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,3	2,3	2,1	4,1	2,8	2	2,3
Мұнайдың газбен қанығу қысымы, МПа	5,76	4,42	4,64	4,43	4,36	4,2	3,99	4,56	5,04	6	3,8	3
Мұнайдың газ мөлшері, м ³ /т	23,95	20,37	19,31	18,39	18,81	16,2	17,5	18,7	28,71	24,5	13,34	11,49
Қабат жағдайындағы судың тұтқырлығы, мПа·с	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Қабат жағдайындағы судың тығыздығы, т/м ³	1,086	1,082	1,083	1,083	1,082	1,085	1,084	1,086	1,086	1,083	1,083	1,098
Мұнай өнімділігі коэф., м ³ /(тәулік·МПа)	2,7	2	4,7	3	5,7	4,6	5,44	5,32	7,1	1,9	1,9	7,1
Қабылдау коэф., м ³ /(тәулік·МПа)	5,4	4,5	3,83	2,8	5,29	4,4	3,5	6,05	4,7	-	-	4,7

Осы кен орнында сатылатын температуралық режимде табиғи өзектер мен қабат сұйықтықтарында зерттеулер жүргізілді. Қасиеттерін ескере отырып полимердің жұмыс концентрациясының диапазонын анықтау болды.

Реологиялық зерттеулер автоматты түрде MCR 702 twindrive реометрінде жүргізілді [68]. Полимерлердің реологиясы мұнай өндіруді арттыру үшін қолданылатын физика-химиялық көрсеткіштерге үлкен әсер етеді. Бұл категориялар: тұтқырлық, серпімділік, адсорбция, деградация.

Полимердің тұтқырлығы мұнай өндіруді арттыру үшін физика- химиялық көрсеткіштерге әсер ететін маңызды реологиялық параметрлердің бірі болып табылады. Полимердің тұтқырлығы сұйықтық ағынының кедергісін анықтайды. Полимердің тұтқырлығы неғұрлым жоғары болса, сұйықтық ағынына төзімділік соғұрлым жоғары болады.

Сипаттамалық тұтқырлық орташа молекулалық салмақты анықтау үшін қолданылады. Ол іс жүзінде оқшауланған полимер молекулаларының ерітіндінің тұтқырлығына қосқан үлесін, яғни, бұл молекулалар арасында өзара әрекеттесу болмаған кезде тұтқырлықты сипаттайды.

Тұтқырлыққа әсер ететін факторларға мыналар жатады:

- молекулалық салмағы;
- температура;
- ығысу жылдамдығы;
- молекулалық тізбектің қаттылығы;
- молекулалар топологиясы;
- еріткіштің сапасы (еріткіш және оның құрамы: мысалы, су мен тұздың құрамы);
- полидисперстік қасиеттері.

Полимердің серпімділігі оның деформациядан кейін бастапқы пішінін қалпына келтіру қабілетін сипаттайды. Полимердің серпімділігі полимердің тұтқыр серпімді перде жасау қабілетіне әсер етеді, бұл су мен газдың тау-кен ұңғымаларына енуіне жол бермейді.

Тау жыныстарының бетіндегі полимердің адсорбциясы тау жыныстарының сулануына және мұнай мен су арасындағы фазааралық кернеуге әсер етеді. Тау жыныстарының бетіндегі полимердің адсорбциясы тау жыныстарының гидрофильді гидрофобты сулануының өзгеруіне әкелуі мүмкін, бұл мұнай өндірудің төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Полимерлердің реологиясы мұнай өндіруді арттыру үшін қолданылатын физика-химиялық көрсеткіштерге айтарлықтай әсер етеді. Полимерді оның реологиялық қасиеттерін ескере отырып дұрыс таңдау мұнай өндіруді арттыру әдістерінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

"GL-50" және "R-1" маркалы полимердің физика-химиялық көрсеткіштері 2.2 және 2.3 – кестеде келтірілген.

Температураның, қысымның және химиялық заттардың әсерінен полимердің деградациясы оның реологиялық қасиеттері мен физика-химиялық көрсеткіштерінің өзгеруіне әкелуі мүмкін. Полимердің деградациясы

полимердің тұтқырлығының, полимердің серпімділігінің және полимердің адсорбциялық қабілетінің төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Кесте 2.2 – "GL-50" маркасының физика-химиялық көрсеткіштері

№	Көрсеткіштің атауы	Өлшем бірлігі	Нақты нәтиже
1.	Сыртқы түрі	-	ақ түсті ұнтақ
2.	Негізгі заттың құрамы	%	93,53
3.	Сипаттамалық тұтқырлық	үлес/г	18
4.	Молекулалық салмағы	$\times 10^6$ г/моль	5,3
5.	Гидролиз дәрежесі	% (моль)	7,9
6.	Ерімейтін тұнба	%	0,72
7.	Үйінді		

Кесте 2.3 – "R-1" маркасының физика-химиялық көрсеткіштері

№	Көрсеткіштің атауы	Өлшем бірлігі	Нақты нәтиже
1.	Сыртқы түрі	-	ақ түсті ұнтақ
2.	Негізгі заттың құрамы	%	89
3.	Сипаттамалық тұтқырлық	үлес/г	10,6
4.	Молекулалық салмағы	$\times 10^6$ г/моль	4,4
5.	Гидролиз дәрежесі	% (моль)	4,47
6.	Ерімейтін тұнба	%	0,72
7.	Үйінді		

Мұнай өндіруді арттыру үшін полимер реологиясының физика-химиялық көрсеткіштерге әсері:

- Мұнайды ығыстыру процесімен қабатты қамту;
- Мұнайды ығыстырудың тиімділігі;
- Өндіру ұңғымаларына су мен газдың серпілісін азайту;
- Қабаттың мұнай бергіштігін арттыру.

Негізгі анықталған технологиялық параметрлер: сүзу көрсеткіші, қарсылық факторы, бастапқы және деструктивті ерітінділер үшін қалдық кедергі факторы және полимердің механикалық деструкция коэффициенті. Деструкция полимер сынамаларын дұрыс алмау кезінде немесе талдау барысында пайда болуы мүмкін және өлшенетін тұтқырлық мәндерінің бұрмалануына әкелуі мүмкін екенін есте ұстаған жөн. Ерітінділердің тұтқырлығын өлшеуді мұқият ұйымдастырып, іріктеу жүйесін сәйкесінше түзету керек.

$$D = \frac{\mu_{\text{баст}} - \mu_{\text{дест}}}{\mu_{\text{баст}}} \quad (2.1)$$

мұндағы, $\mu_{\text{баст}}$ и $\mu_{\text{дест}}$ тиісінше, полимердің бастапқы және деструктивті тұтқырлығы.

Сүзу коэффициентін өлшеу әдетте полимерлі ерітінділердің еруінің толықтығын тексеру үшін қолданылады. Әдістің мәні тұрақты қысым

жағдайында полимерлі ерітіндінің сүзу жылдамдығын бақылау болып табылады.

Сүзгі түрлеріне келетін болсақ, целлюлоза және поликарбонатты мембраналық сүзгілерді қолдануға болады. Жүргізілген зерттеулер сүзгілердің екі түрін салыстыру кезінде нәтижелердің айтарлықтай айырмашылықтарын және кеуек құрылымына және өндіріс процестеріне тәуелділікті көрсетті, бұл көрсеткіштердің конвергенциясы мен интерпретациясында қиындықтар туғызады.

Нәтиженің репрезентативтілігін қамтамасыз ету үшін, бұл сынақты жиі екі-үш рет қайталау қажет, әсіресе мақсатты мәнге жақын болған кезге дейін. Сүзу қатынасының мақсатты мәні коллекторға және оның өткізгіштігіне байланысты реттелуі керектігін көрсетеді.

Эксперименттерде температураның, ерітінділердегі поли-молекуларының концентрациясының фактор мен қалдық кедергі факторының өзгеруіне әсері бағаланады, кеуекті ортадағы полимерлі ерітінділердің реологиясы зерттеледі.

Полимерлі ерітінділердің көрсетілген технологиялық қасиеттері қарастырылып отырған кен орнының таңдалған учаскесінің қабаттарына жақын өткізгіштігі бар негізгі үйінді модельдеріндегі сүзу тәжірибелерінде бағаланды. "GL-50" және "R-1" полимерін дайындау үшін қолданылатын физика-химиялық сипаттамалар 2.4 – 2.5 кестесінде көрсетілген.

Кесте 2.4 – GL-50 полимерін дайындаудағы судың физика-химиялық сипаттамалары

ph	Минерализациясы, г/дм ³	Компоненттердің құрамы, мг/дм ³					
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
6.17	108	221.3	109.1	611.79	40	30	35

Кесте 2.5 – R-1 полимерін дайындаудағы судың физика-химиялық сипаттамалары

ph	Минерализациясы, г/дм ³	Компоненттердің мазмұны; мг/дм ³					
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
4.83	108	205.1	111.3	512.43	42	31,5	25,5

2.3 Полимер ерітінділерінің сүзу қасиеттерін зерттеу

Полимер ерітінділерінің сүзу қасиеттерін зерттеу жұмыстары тұрақты ағын қондырғысында жүргізілді. Кеуекті орта ретінде табиғи тау жынысы қосылған кварц құмының қоспасынан тұратын сызықтық үйінді ядро моделі

қабылданды. Ядроның өткізгіштігі 500–600 мД тең болды, бұл қарастырылып отырған K_{opt} кен орнының Ю-3С, Ю-4С (1003,1001 ұңғыма учаскесі) орташа өткізгіштігіне жақын $709 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ қабаты.

Тау жыныстарының үйінді моделі ұзындығы 17 см, диаметрі 2,3 см, тот баспайтын болаттан жасалған, тау жыныстарын сыртқа шығаруға кедергі келтіретін торлармен жабдықталған өзек ұстағышқа орналастырылды. Эксперименттердің температурасы 20-40⁰С диапазонында орнатылды.

Полимер ерітінділерінің сүзу қасиеттерін зерттеу жұмыстары тұрақты ағын қондырғысында жүргізілді. Полимер ерітіндісін сорғы қондырғыларына және қабаттың жақын орналасқан жеріне айдау кезінде механикалық деструкция орын алады. Осыған байланысты фильтрациялық зерттеулер полимерлердің бастапқы және деструктивті ерітінділерінде жүргізілді. 2.6-кестесінде учаскелерінің көрсеткіштері көрсетілген.

Кесте 2.6 – Кен орнының №1003 және № 1001 ұңғымалар учаскелерінде айдалатын сулардың құрамы

Көрсеткіштер	Судың құрамы	
	Ұңғыма 1003 (қабат Ю- 3С)	Ұңғыма1001 (қабат Ю-4С)
Тығыздық, кг/м ³	1075	1073
HCO ₃ ⁻ , г/л	0,109	0,169
CL, г/л	71,845	67,875
Ca ²⁺ , г/л	3,795	3,877
Mg ²⁺ , г/л	2,274	2,094
Na, K, г/л	38,021	36,253
Fe ²⁺ (мг/л)	1,67	1,84
Fe ³⁺ (мг/л)	41,88	25,95
S ²⁻	0	0
Минерализациясы, г/л	114,369	108,371

Зерттелетін полимер үлгілері жылдамдықпен негізгі модель арқылы айдалды.

Кестеден айдалатын сулардың құрамында екі валентті темірдің концентрациясы 2,0 мг/л-ден аз екенін көруге болады. Үш валентті темірдің құрамында 26 және 42 мг/л бар, бұл таңдалған полимерлер ерітінділерінің қасиеттеріне әсер етуі мүмкін. Айдалатын суда екі валентті темірдің болуы полимердің тұрақтылығын нашарлатпайды. Түзілуін бағалау үшін темірдің үш валентті әсері тұнба түзілгенінде зерттелді.

Зертханалық зерттеулерде сарғыш тұнба пайда болады, ол гельдер мен үлпектердің қоспасы болуы мүмкін және жаңадан пайда болған темір оксидтері тұндырылған кезде пайда болады. Алайда, егер темір оксидтері көп мөлшерде болса, онда олар полимердің әсерінен флокуляцияланады. Осыған байланысты таңдалған полимерлердің айдалатын сумен үйлесімділігі бойынша зерттеулер жүргізілді.

Осы мақсатта айдалатын суда 1,5 г/л концентрациясы бар полимер ерітінділері дайындалды. Ерітінділер банкаларға құйылды, қақпақпен мықтап жабылды және бір апта бойы екі температурада (20⁰С және 40⁰С) ұсталды. Ерітіндінің қасиеттерінің өзгеруін бақылау визуалды бағалау және ерітіндінің тұтқырлығының өзгеруіне байланысты жүргізілді. Ерітіндінің тұтқырлығы Брукфилд вискозиметрінің көмегімен өлшенді.

Бақылаулар көрсеткендей, 20⁰С температурадағы полимер ерітінділері бақылаудың барлық кезеңінде олардың сипаттамаларын өзгертпеді, R-1 маркалы полимер ерітіндісінде 40⁰С температурада өзгерістер болған жоқ, ал GL-50 маркалы полимер ерітіндісінде ақ флокулалар түрінде агрегаттар пайда болды, олар тұнбаға түспейді және араластыру кезінде оңай бұзылады. Бұл жағдайда ерітіндінің тұтқырлығының өзгеруі болған жоқ. Флокулалардың түзілуі темір бөлшектерінің бетіндегі адсорбция процестерімен және бөлшектердің жеке топтары арасындағы көпірлердің механикалық байланысы арқылы түзілуімен түсіндіріледі.

Осылайша, зерттелетін полимерлердің айдалатын сумен үйлесімділігіне жүргізілген зерттеулердің кен орнының айдалатын суларындағы GL-50 және R-1 маркалы полимерлердің ерітінділері жеткілікті тұрақты екенін және араластыру кезінде оңай ыдырайтын флокулалардың пайда болуы ұңғыманың түбіндегі аймақта қабаттың бітелуіне әкелмейтінін көрсетті.

Флокулалар-бұл полимер мен судың өзара әрекеттесуі нәтижесінде пайда болатын бөлшектердің агрегаттары. Егер флокулалар араластыру кезінде оңай бұзылса, олар қабаттағы тесіктерді бітеп, өткізгіштігін төмендетуі мүмкін. Полимер ерітінділерінің тұрақтылығы полимерлі сулануына сәтті қолдану үшін маңызды. Егер ерітінділер тұрақсыз болса, олар флокулалар түзуі мүмкін, бұл келесі кезекте бірнеше мәселелерді қозғауы мүмкін: қабаттың өткізгіштігінің төмендеуі, қысымның төмендеуінің жоғарылауы, мұнай алудың төмендеуі және темір иондары (Fe³⁺) бөлшектердің бетіне адсорбцияланып, оң заряд жасайды екенін айтуға болады. Полимер ерітінділерінің тұрақтылығы бірқатар факторларға байланысты, соның ішінде: полимер түрі, полимер концентрациясы, судың тұздылығы, температура, pH, жылдамдықты ескеру сияқты параметрлерге тәуелді екенін көрсетеді.

2.4 Мұнайды полимерлермен ығыстыру бойынша эксперимент жүргізу әдістемесі

Мұнайдың ығысу коэффициентін анықтау үшін арнайы зерттеулер жүргізілді. Осы мақсатта диаметрі 1 см цилиндр тәрізді өзек үлгілері

қолданылды. Үлгілерді бұрғылау үшін изопаралар салқындатқыш агент ретінде қолданылды.

Үлгілер сатураторда дайындалған қабат суының моделі синтетикалық ерітіндісімен қанықтырылды (қабат суының моделі). Қабат суының моделі минералдануы 143 г/л NaCl-ға тең қабылданды. Үлгілер мен қанықтыратын сұйықтық алдын ала вакуумдалған. Кеуекті кеңістіктің қанықтылығының толықтығы үлгілерді қабат суының моделімен қанықтыру кезінде алынған кеуектілікті және кеуектілікті салыстыру арқылы анықталды.

Әрбір белгілі бір көлемде, кеуек көлемінің еселігінде үлгінің су қанықтылығы және ығысу тиімділігі анықталды.

Эксперимент барысында физикалық-химиялық қасиеттері бойынша сұйықтықтар нақты қабаттық сұйықтықтарға жақын қолданылды және қабаттық сұйықтықтарға жақын жағдайлар жасалды.

Осы эксперименттерді жүргізудің мақсаты: қабаттан көмірсутектердің алынуын арттыру үшін тиімдірек полимерді анықтау. Полимер маркаларының сипаттамалары туралы мәліметтер 2.7 – кестеде келтірілген.

Кесте 2.7 – Полимер маркаларының сипаттамасы

Полимер	GL-50	R-1
Полимер концентрациясы, мг/л	2420	2600
Полимер тұтқырлығы мПа·с(40 ⁰ С)	156	24
ПДИ	1,15	1,22

Core Lab Instruments өндіріп шығарған LXRT–400T қондырғысында эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Әрі қарай, үлгі нәтижелерді салыстырудың су қанықтылығын анықтау үшін Дина-Старк аппаратына орналастырылды.

Әр эксперимент үшін бір үлгі таңдалды. Эксперименттерді жүргізу әдістемесі бірдей және анықталған параметрлер бірдей, тек репрессиялық реагенттер ерекшеленеді.

Арнайы зерттеулер үшін дайындалған үлгілер 9,34 МПа-ға тең қабаттық қысым жасалған гамма-сәулелердің өткізгіштігіне, арнайы құрастырылған өзек ұстағышына орналастырылды.

Судың ығысуы қалдық су қанықтылығы пайда болғанға дейін қабаттық жағдайларда мұнай қабаттық моделін (бұдан әрі – МҚМ) пайдалана отырып жүргізілді. Негізгі үлгілердің су қанықтылығы рентгендік сканерлеу арқылы анықталды. Мұнайдың тұтқырлығы 38,1 сП–қа тең.

Жоғарыда келтірілген жұмыстардан кейін мұнайды әртүрлі ығыстырғыш реагенттермен ығыстыру бойынша негізгі эксперимент жүргізілді. Әрбір белгілі бір көлемде, кеуек көлемінің еселігінде үлгінің су қанықтылығы және ығысу тиімділігі анықталды. 2 кеуекті көлемді айдағаннан кейін қалдық мұнай қанықтылығының мәніне қол жеткізілді және ығысу коэффициенті анықталды.

Әрі қарай, үлгі су қанықтылығын анықтау және рентген сканері арқылы алынған нәтижелерді салыстыру үшін Дина-Старк аппаратына орналастырылды.

Стандартты негізгі зерттеулер бойынша эксперименттер аралық қысымды алу нүктесі бар тат баспайтын болаттан жасалған түтіктерге (өзек ұстағыштарға) оралған (толтырылған) жоғарыда көрсетілген аралықтан бөлінген экстракцияланған тау жынысы болып табылатын қабат элементінің моделінде жүргізілді.

Полимерлі сулану үшін полимер ерітінділерінің негізгі сұзу сипаттамалары: сүзуге қабілеттілігі, кедергі факторы, қалдық кедергі факторын айта аламыз.

Полимер ерітінділерінің сұзу көрсеткішіне зерттеу жүргізілді. Полимер ерітінділерінің өзектер арқылы сүзілу көрсеткішін зерттеу қажеттігін, өйткені өндірістегі нашар сүзілетін ерітінділер сүзгінің бітелуіне және айдау ұңғымаларының кенжар аймағына және айдау ұңғымасының қабылдау қабілетінің төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Сүзілгіштікті бағалау эксперименттері негізгі ортаңғы нүктедегі қысым параметрлерін алып тастай отырып, қабаттың үйінді модельдерінде жүргізілді. Барлық эксперименттердегі негізгі өткізгіштіктер жақын болды және 500-600 10^{-15} сП құрады. Полимер ерітіндісін айдау тұрақты ағынмен жүргізілді. Ерітіндінің нашар сүзілгіштігі ортаңғы нүктедегі қысымның аз өзгеруімен ядроның кіріс бөлігіндегі қысымның үздіксіз өсуінен көрінді.

Полимер ерітіндісінің сүзгіштігі—кеуекті ортаға ену қабілетін сипаттайды. Ол модельдің кіріс бөлігіндегі және негізгі ұзындықтағы кедергі факторларын салыстыру арқылы бағаланады. Полимер ерітіндісінің жақсы сүзілуімен олардың мәндері жақын. Кіріс учаскесіндегі жоғары қарсылық факторы оның бітелуін және одан кейінгі полимер ерітіндісінің нашар сүзілуін көрсетеді. Полимер ерітіндісінің сүзгіштігі модельдік өзектердегі алдыңғы бөлімде бағаланды.

Полимер ерітіндісінің кедергі факторы бірнеше көрсеткіштерге тәуелді болып келеді: полимердің концентрациясына, молекулярлық массасына және гидролиз дәрежесіне, жылдамдықтың ығысуына, кеуетің типіне, минерализациясына.

Полимер ерітіндісінің кедергі факторы мен қалдық факторын анықтау әдістемесі айдалатын су мен полимер ерітіндісінің қозғалғыштығын (қарсылық факторы) анықтау және салыстыру және полимер ерітіндісін (қалдық қарсылық факторы) айдағанға дейін және одан кейінгі айдалатын судың қозғалғыштығын салыстыру болып табылады.

Полимерлермен сынақтар жүргізілген Ю-3С, Ю-4С Горизонт өзегі 1003 ұңғымасынан іріктеліп алынды және құмтас қоңыр-сұр, сұр ұсақ түйіршікті, полимиктикалық, сазды цемент, әлсіз цементтелген, біртекті құрылымы бар.

Өзекті зертханалық зерттеулерге дайындау келесі кезеңдерді қамтыды:

– диаметрі 38,1 мм цилиндрлік үлгілерді іріктеу;

– хлороформ мен метанол қоспасын көмірсутектерден, еритін тұздардан, түрлі қоспалардан қолдана отырып, үлгілерді ыстық тазарту;

– үлгілерді 65⁰С температурада тұрақты салмаққа жеткенше кептіру.

Стандартты негізгі зерттеу кешені тығыздықты, кеуектілікті, газ өткізгіштігін анықтауды қамтыды. Зерттеулер гелий мен азотты қолдана отырып, ultrarogeregm 500 порозиметрінде жүргізілді. Кеуектілік Бойль-Мариотт заңын қолдана отырып, үлгінің көлеміне және минералды қаңқаның көлеміне қарай есептелді. Газдың өткізгіштігі стационарлық сүзу әдісімен анықталды және үлгі арқылы тұрақты ламинарлы ауа ағынына жеткенде Дарси теңдеуі бойынша есептелді. Сүзу-сыйымдылық қасиеттерінің көмегі арқылы, кеуекті материалдардың сипаттамаларын және сұйықтықтарды өткізу қабілеттерін жинақталуын көрсетеді. Сипатталатын үлгілердің сүзу-сыйымдылық қасиеттері, таңдалған кеуекті материал үлгілерінің сұйықтықты сақтау, сүзу, материалдағы сұйықтықтардың қозғалыс бағытын, көлем бірлігіне шаққандағы бетінің ауданы, жарамдылық мерзімінің қасиеттерін көрсетуге болады. Таңдалған үлгілердің сүзу-сыйымдылық қасиеттері 2.8–кестеде келтірілген.

Үлгілерді арнайы зерттеулерге дайындау барысында қадағаланатын қасиеттері. Эксперименттерді бастамас бұрын үлгілер 106 г/л минералдануы бар қабат суының вакуумдық сатураторында қаныққан. Үлгілер мен қанықтыратын сұйықтық алдын ала вакуумдалған. Кеуекті кеңістіктің қанықтылығының толықтығы үлгілерді сумен қанықтыру кезінде алынған кеуектілікті және гелийдің газометриялық әдісімен анықталған кеуектілікті салыстыру арқылы анықталды.

Сумен қанықтыру сатысындағы көрсеткіші, кеуектілігі үлгілерді қабат суымен қанықтыру сатысынан кейін өлшенеді. Бұл сумен толтырылған тесіктердің көлемін білдіреді.

Ал, гелий кеуектілігі: бұл кеуектілік үлгілерді гелиймен толтыру және саңылауларын толтыру үшін қажетті гелий көлемін өлшеу арқылы сипатталады. Бұл үлгілердегі кеуектердің жалпы көлемін білдіреді.

Қаныққан қабат суы үлгілер гамма-сәулелерді өткізетін өзек ұстағышқа орналастырылды, онда қабат қысымы 9,3 МПа-ға тең болды. Содан кейін су қабат модель көмегімен суы ығыстырылды және қалдық қанығу коэффициенті анықталды.

Өзек үлгісінде қалдық қанықтылықты алғаннан кейін сулануды қалпына келтіру процедурасы орындалды. Әрбір айдау циклінен кейін полимерді қолданғаннан кейін ығысу коэффициенті мен ығысу тиімділігі анықталды.

Кесте 2.8 – 1003 ұңғымасынан алынған стандартты негізгі зерттеулердің нәтижелері

Сынақтар-ды өткізу уақыты	№	Тереңдігі іріктеу үлгі, м	Литологиялық үлгілердің сипаттамасы	Кеуектілік Бірлік үлесі	Өткізгіштік газ бойынша, 10^{-3} , мкм ²	Зерттеудің түрі
Бірінші жыл	1	825	Құмтас ұсақ түйіршікті, полимиктикалық, қоңыр-сұр, массивті, әлсіз цементтелген	0,301	905,01	Ығысу коэффициенті
	2	825,55	Құмтас ұсақ түйіршікті, полимиктті, қоңыр-сұр, массивті, әлсіз цементтелген	0,314	884,03	Ығысу коэффициенті
Екінші жыл	1	880,12	Құмтас орташа ұсақ түйіршікті, полимиктикалық, қоңыр-сұр, массивті, әлсіз цементтелген,	0,352	2082	Кедергі фактор
	2	887,55	Құмтас ұсақ түйіршікті, полимиктті, қоңыр-сұр, біртекті құрылымы бар, сазды цементі бар, әлсіз цементтелген, қосындылары бар	0,378	1009	Ығысу коэффициенті
	3	894,07	Құмтас ұсақ түйіршікті, полимиктті, қоңыр-сұр, біртекті құрылымы бар, сазды цементі бар, әлсіз цементтелген	0,359	1688	Кедергі фактор
	4	804,39	Құмтас орташа ұсақ түйіршікті, полимиктті, қоңыр-сұр, массивті, әлсіз цементтелген, қосындылары бар, жұқа кеуекті, өлшемі 1 см кремнийлі жыныстардың бір сынығы бар	0,366	1971	Кедергі фактор
	1	811,57	Құмтас ұсақ түйіршікті, полимиктті, қоңыр-сұр, массивті, әлсіз цементтелген, жұқа кеуекті	0,355	1362	Ығысу коэффициенті
	2	824,43	Құмтас орташа ұсақ түйіршікті, полимиктикалық, қоңыр-сұр, массивті, әлсіз цементтелген, жұқа кеуекті	0,367	1132	Ығысу коэффициенті
	3	836,22	Құмтас ұсақ түйіршікті, полимиктикалық, сұр, біркелкі құрылымы және сазды цементі бар,	0,347	1077	Ығысу коэффициенті
	4	841,87	Құмтас ұсақ түйіршікті, полимиктикалық, сұр, сазды цементі бар, жұқа кеуекті	0,353	994,15	Ығысу коэффициенті

Сондай-ақ, басқа үлгілерде кедергі факторы мен қалдық кедергі факторын анықтау үшін сынақтар жүргізілді. Ол үшін альбом-сеноман суы үлгі арқылы айдалды, содан кейін полимердің 4 кеуекті көлемі айдалды, су айдау эксперименті аяқталды. Әр айдау циклінде қысымның төмендеуі байқалды.

Себебі, полимер өзек үлгісі арқылы сұйықтық ағынына қосымша қарсылық көрсету арқылы, қысым дифференциалын бекітеді. Бұл полимердің қарсылық кедергісінің сұйықтық бетінің молекулаларымен әрекеттесуінен туындайды. Қысымның төмендеуі-бұл қарсылықтың кедергісінің өлшемі екенін көрсетеді. Есептеулер келесі формулалар бойынша жүргізілді:

$$\text{Кедергі факторы} \quad F_K(P) = \left(\frac{P_{\Pi}}{P_{\omega}} \right)_q \quad (2.1)$$

$$\text{Қалдық кедергі факторы,} \quad F_{KK}(P) = \left(\frac{P'_{\omega}}{P_{\omega}} \right)_q \quad (2.2)$$

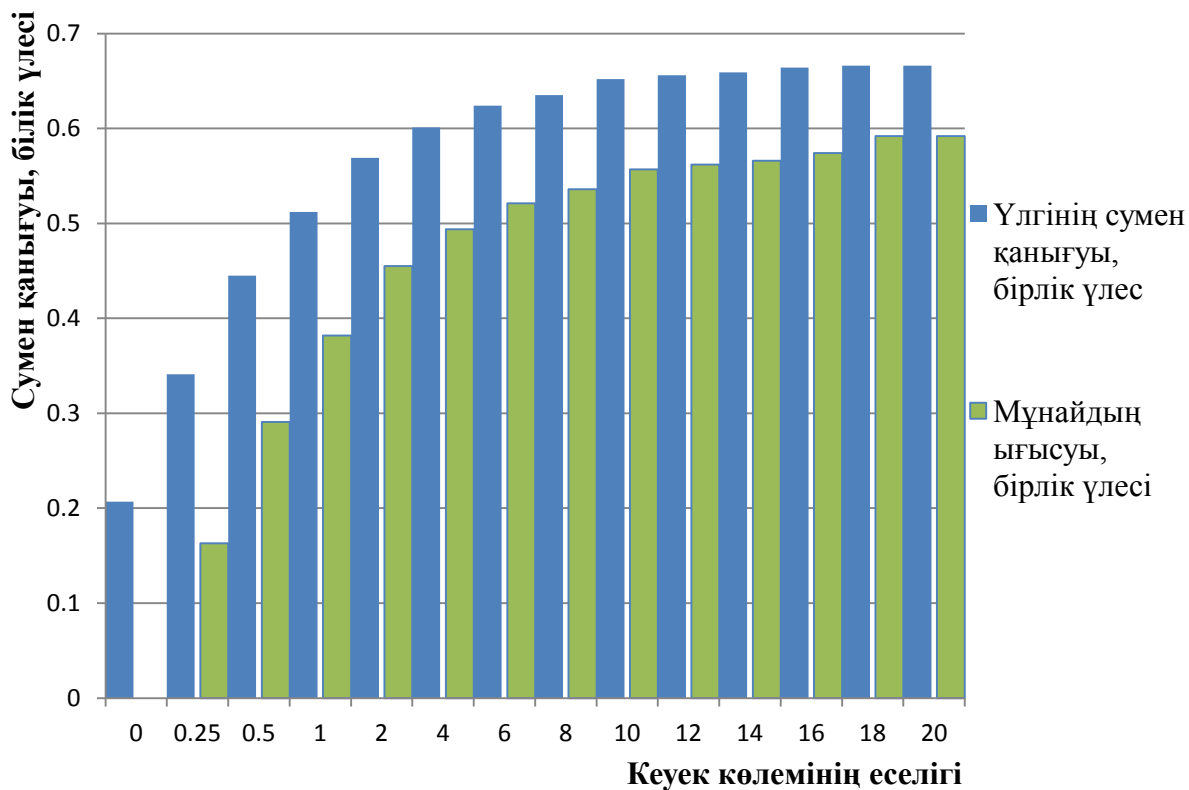
мұндағы P_{Π} – полимерді айдау кезіндегі қысымның төмендеуі, кПа;
 P_{ω} – полимер әсеріне дейін су айдау кезіндегі қысымның айырмашылығы, кПа;
 P'_{ω} – полимердің әсерінен кейін айдау қысымының төмендеуі, кПа.

2.5 Полимерлерді айдау бойынша эксперименттердің нәтижелері

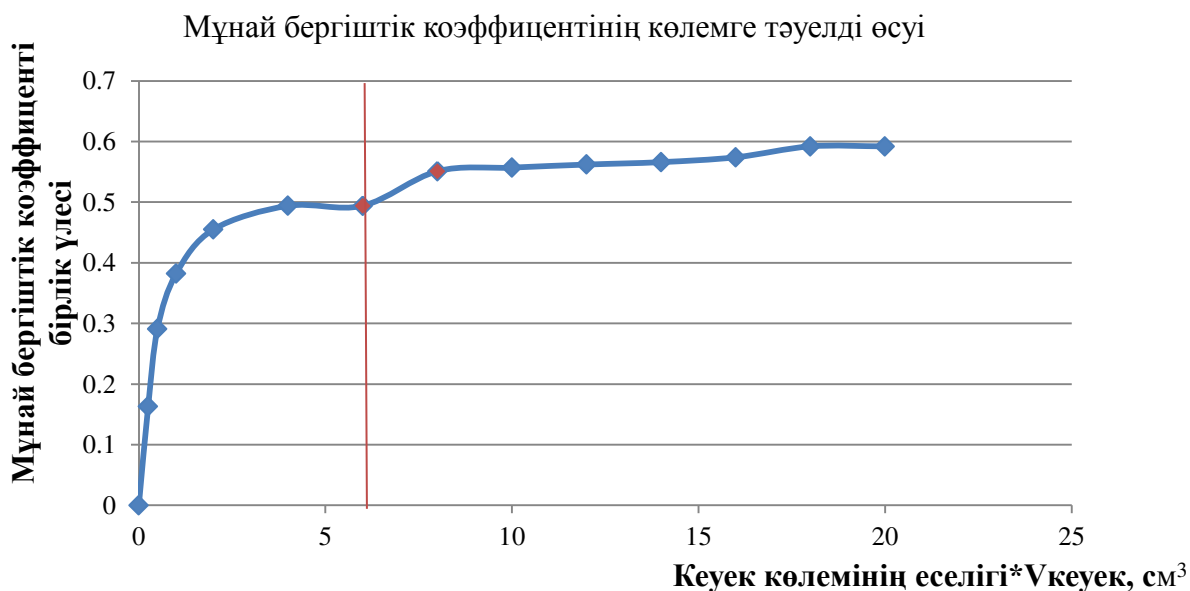
GL-50 маркалы полимерді айдау бойынша эксперименттердің нәтижелері 2.1 – 2.3 суреттерде, 2.9-кестесінде келтірілген.

Кесте 2.9 – GL-50 полимерді айдау эксперименттерінің нәтижелері

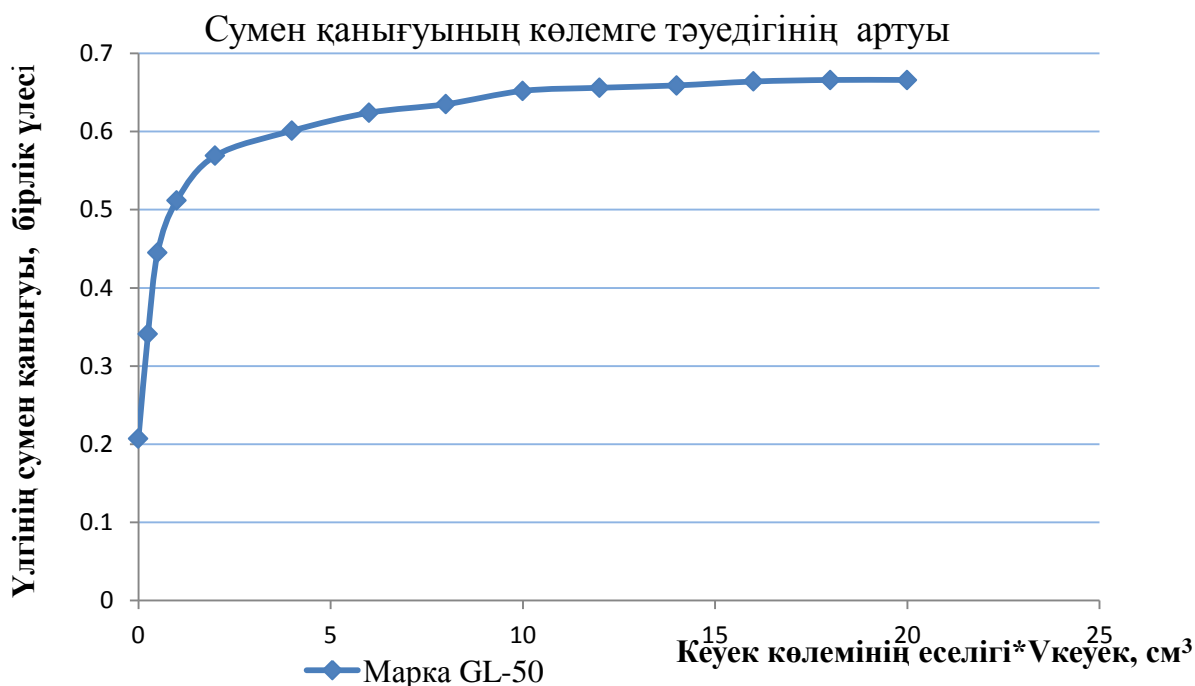
Кеуек көлемінің еселігі	Үлгінің сумен қанығуы, бірлік үлес	Мұнай бергіштік коэффициенті, бірлік үлесі
0	0.207	0
0.25	0.341	0.163
0.5	0.445	0.291
1	0.512	0.382
2	0.569	0.455
4	0.601	0.494
6	0.624	0.494
8	0.635	0.551
10	0.652	0.557
12	0.656	0.562
14	0.659	0.566
16	0.664	0.574
18	0.666	0.592
20	0.666	0.592



Сурет 2.1 – GL-50 маркалы полимермен ығысу кезіндегі коэффициенттерді анықтау нәтижелері



Сурет 2.2 – Мұнай бергіштік коэффициентінің көлемге тәуелділік графигі

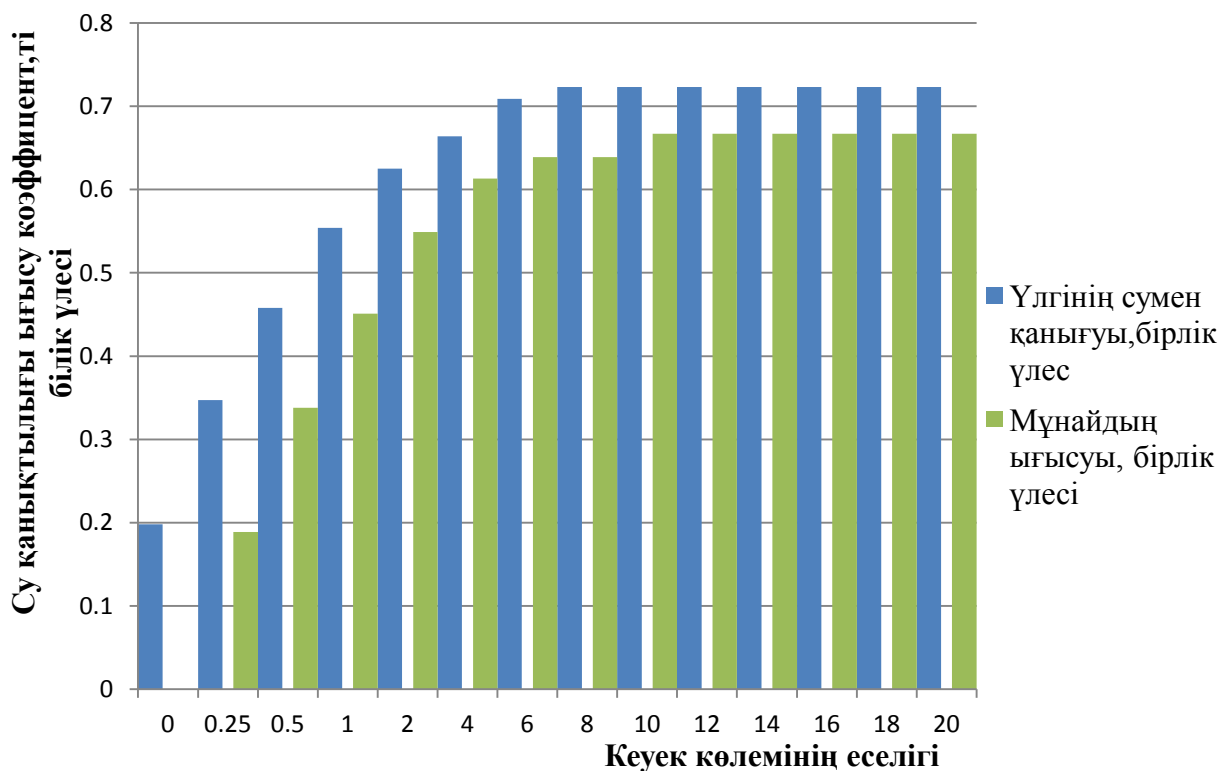


Сурет 2.3 – Судың қанықтылығының көлемге тәуелділік графигі

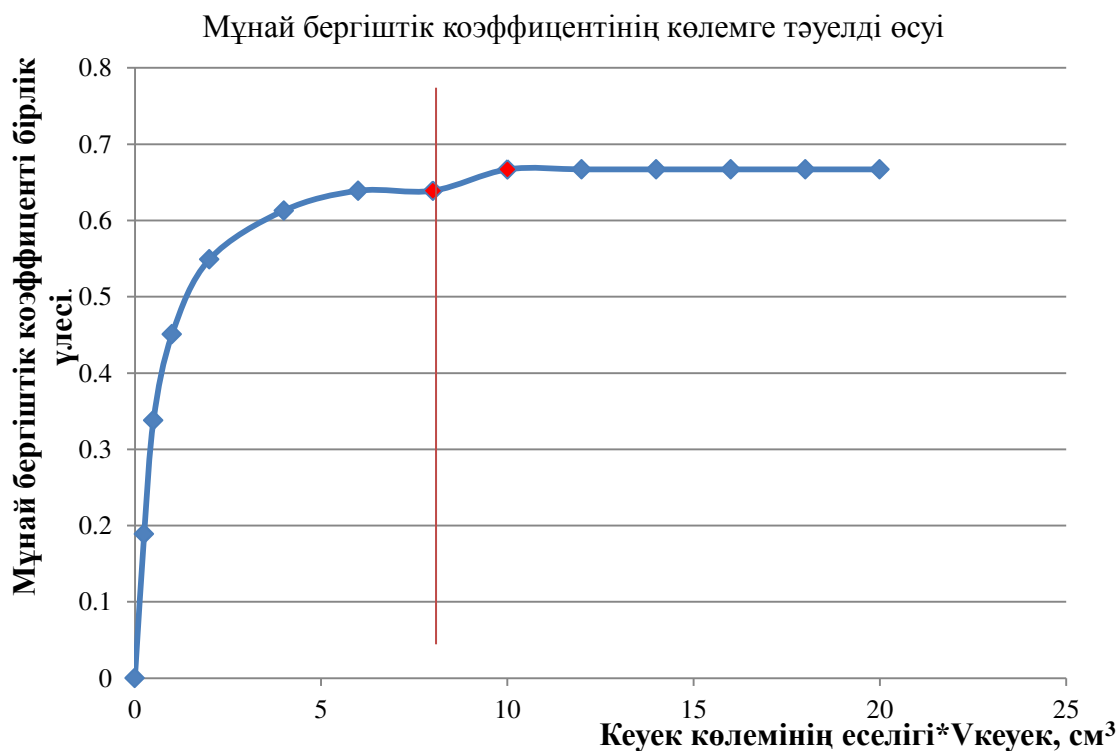
R-1 маркалы полимерді айдау бойынша эксперименттердің нәтижелері 2.4 -2.6 – суреттерде , 2.10-кестесінде келтірілген.

Кесте 2.10 – R–1 полимерді айдау эксперименттерінің нәтижелері

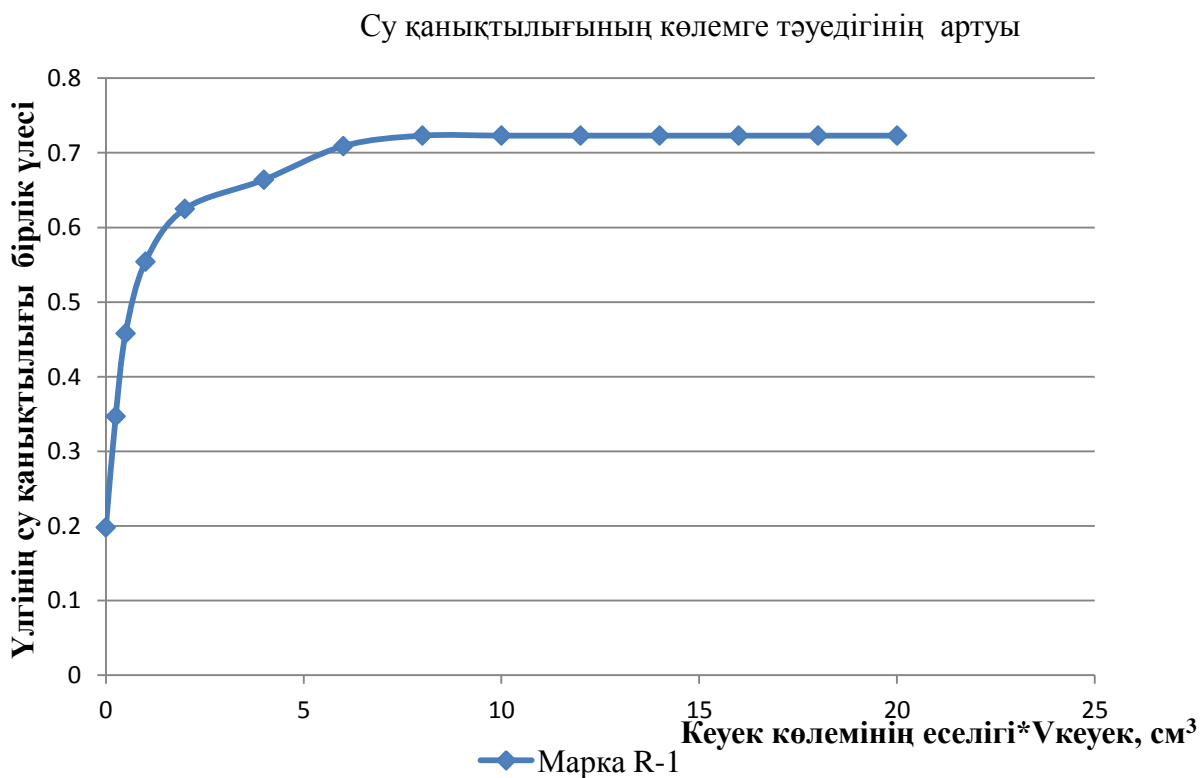
Кеуек көлемінің еселігі	Улгінің сумен қанығуы, бірлік үлес	Мұнайбергіштік коэффициенті, бірлік үлесі
0	0.198	0
0.25	0.347	0.189
0.5	0.458	0.338
1	0.554	0.451
2	0.625	0.549
4	0.664	0.613
6	0.709	0.639
8	0.723	0.639
10	0.723	0.667
12	0.723	0.667
14	0.723	0.667
16	0.723	0.667
18	0.723	0.667
20	0.723	0.667



Сурет 2.4– R-1 маркалы полимермен ығысу кезіндегі коэффициентін анықтау нәтижелері



Сурет 2.5 – Мұнай бергіштік коэффициентінің көлемге тәуелділік графигі

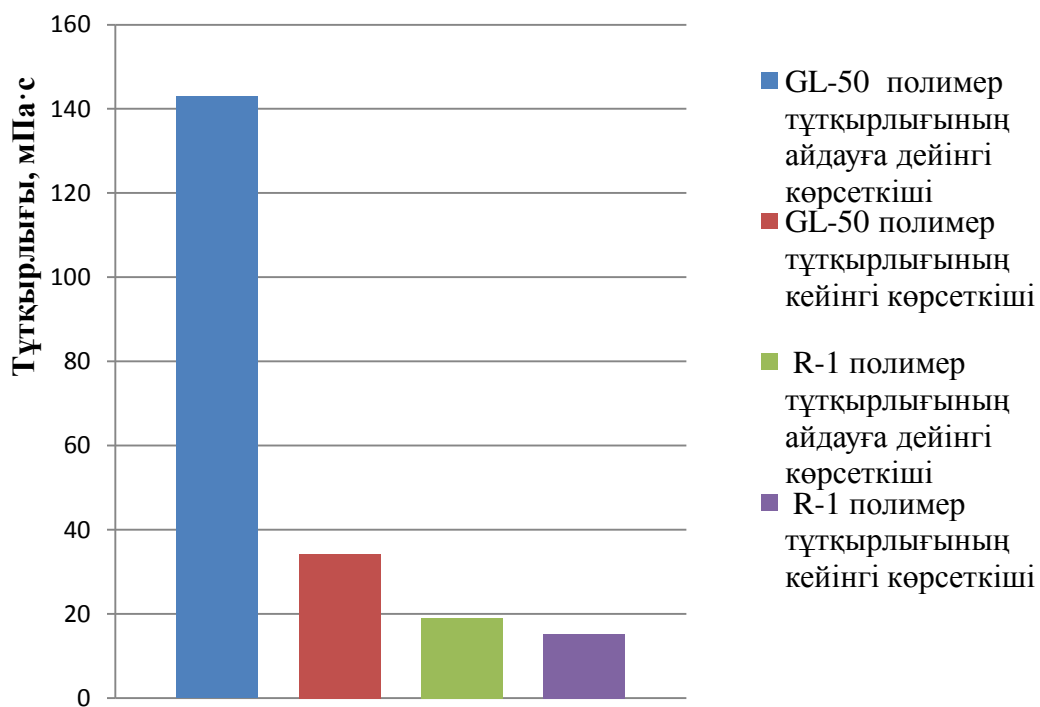


Сурет 2.6– Судың қанықтылығының көлемге тәуелділік графигі

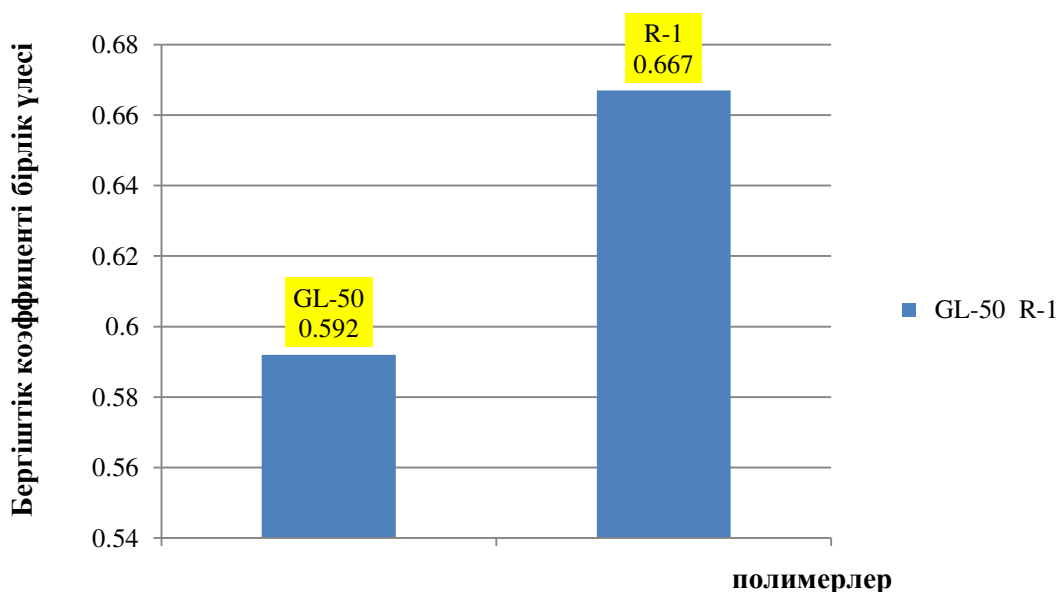
Қабатқа айдалатын полимерлерді зерттеу нәтижелері 2.11 – кестеде көрсетілген.

Кесте 2.11 – Зерттеу нәтижелері көрсетілген

Полимер	GL-50	R-1
Полимердің концентрациясы, мг/л	2200	2490
Полимер тұтқырлығы, мПа·с (40 ⁰ С)	143	19
Үлгінің нөмірі	1	2
Газ өткізгіштігі, 10 ⁻³ мкм ²	1040	1200
Гелий кеуектілігі, бірлік үлесі	0,352	0,38
Бастапқы мұнай қанықтылығы, бірлік үлесі	0,78	0,791
Айдау алдында полимердің тұтқырлығы, мПа·с	143	19
Айдаудан кейінгі полимердің тұтқырлығы, мПа·с	34,2	15,2



Сурет 2.7 – Полимерлерді айдауға дейінгі және кейінгі тұтқырлық көрсеткіштерінің өзгеруі



Сурет 2.8 – Мұнай бергіштік көрсеткіштерінің салыстырылуы

2.7, 2.8-суреттерінде мұнайдың тұтқырлық көрсеткіштері және мұнай бергіштік мәндері көрсетілген. Алынған нәтижелерден полимерлердің маркалары тиімділік дәрежесін, гидролиз дәрежесін және иондардың болуын анықтауда үлкен рөл атқарады деп айтуға болады[66].

"GL-50" маркалы полимер зерттелетін концентрацияларда суды қоюлату үшін жоғары тұтқырлық қасиеттеріне ие болатынын және жылу

тұрақтылығында жақсы қасиеттерді көрсетті. Минералданған суда нашар ериді, ерітіндіде ерімеген ұсақ кара бөлшектері де болады, суда ерімейтін тұнба мөлшері бойынша техникалық нормалардан сандық көрсеткіші асып түседі.

"GL-50" полимерінің минералданған суда ерігіштігін жақсарту үшін оңтайлы концентрация мен құрамды таңдау бойынша қосымша зерттеулер қажет болды. Яғни, су температурасының өзгеруі, арнайы қоспалар қосу және судың рН өзгеруін ескерлуі қажет.

"R-1" маркалы полимердің келесі түрі жеке де, қос байланыс ретіндеде агенттермен де қолданылады. "R-1" маркалы полимер полимерлер нарығында жақсы қалыптасқан "SNF" компаниясы қабатымен ығысуды тиімді арттыруға мүмкіндік береді, өнімнің сулануы төмендетеді, аниондық зарядтың орташа тығыздығымен жоғары молекулалық масса белгіленеді. Полимер реологиялық сипаттамалары бойынша жақсы қасиеттерге ие және термиялық деструкцияға төзімді, минералданған суда жақсы ериді, ерімейтін тұнба мөлшері техникалық нормаларға сәйкес келеді және суда тиімді болуы керек, жеткілікті мөлшерде екі валентті катиондардың (кальций мен магний) болуы, ығысуға төзімділік, төмен уыттылық және құнын көрсетеді. Екі валентті катиондардың (кальций мен магний) концентрациясы неғұрлым жоғары болса, полимер тұнбаға түсуі мүмкіндігі жоғары, яғни, бұл тұтқырлықтың төмендеуіне әкеледі.

Екі валентті катиондар полимермен комплекстер түзе алады, бұл оның суда ерігіштігінің төмендеуіне әкеледі. Нәтижесінде полимер ерітіндіден тұнбаға түсуі мүмкін, бұл тұтқырлықтың төмендеуіне әкеледі. Полимердің тұндырылуы екі валентті катиондардың белгілі бір критикалық концентрациясына жеткенде пайда болуы мүмкін. Бұл концентрация полимер түріне, температураға және басқа факторларға байланысты.

Полимердің тұндырылуын болдырмау үшін әртүрлі әдістерді қолдануға болады, мысалы: екі валентті катиондарды байланыстыратын және олардың полимермен әрекеттесуіне жол бермейтін комплекс түзгіштерді қолдану, ерітінді температурасының өзгеруі және полимердің суда ерігіштігін жақсартатын арнайы қоспаларды қолдану.

Кейбір жағдайларда полимерді толығымен ауыстыру қажет болуы мүмкін.

Осылайша, екі валентті катиондардың полимердің ерігіштігіне әсерін ескеру және оның тұнбасын болдырмау үшін шаралар қабылдау қажет.

2-бөлім бойынша қорытынды

Қорытындылай келе, мұнай бергіштік коэффициентін арттыру мақсатында мұнайдың реологиялық сипаттамаларына әсер етуге бағытталған суда еритін көпфункционалды құрамы бар полимердің оңтайлы түрі ұсынылды.

Полимерлерді айдау кезеңдеріндегі мұнайдың ығысу коэффициенттерін салыстыру келтірілген. Зерттеу барысында GL-50 және R-1 маркалы полимерлердің мұнай бергіштік коэффициенттерін анықтау нәтижелері алынды.

Полимерлерді сынау нәтижелері R-1 маркалы полимерді пайдалану арқылы мұнай бергіштік коэффициентінің 0,667 б.ү., ал GL-50 маркасы үшін – 0,592 б.ү.тең мәндерді көрсетті. Полимерлерді айдаудың бастапқы кезеңдеріндегі мұнай бергіштік коэффициентінің салыстыру кезінде R-1 полимеріндегі ығысу динамикасы GL-50-ге қарағанда жоғары екенін көрсетті. Мұндайды R-1 маркалы полимерді пайдаланған кезде сыналатын үлгінің көлденең қимасының бүкіл аумағында мұнай бергіштік коэффициенті (үздіксіз ығысу) байқалатындығымен түсіндіруге болады, ал GL-50 маркасын пайдаланған кезде мұнай бастапқыда ірі кеуекті арналар арқылы ығыса бастайтыны анықталды..

Алынған нәтижелерден полимерлердің маркалары мұнайды ығыстыру үрдісінің тиімділік дәрежесіне айтарлықтай әсер етеді деп болжауға болады және зертханалық зерттеулердің негізінде Қазақстанның Қаламқас кен орындарында R-1 маркалы полимерді айдау ұсынылады.

3 ЖОҒАРЫ ТҮТҚЫРЛЫ БІРТЕКТІ ЕМЕС ҚАБАТТАРҒА ПОЛИМЕРЛІК ӘСЕР ЕТУДІҢ ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІН ТАЛДАУ

3.1 Жоғары тұтқырлы мұнайды әртүрлі модификациядағы полиакриламидтермен ығыстыруды эксперименттік зерттеу

Бұл жұмыста сарқылған кен орындарында мұнай өндіруді қарқындату мүмкіндіктерінің бірі қарастырылады. Өнімді коллекторларда мұнайдың едәуір мөлшері қалады, олардың жете өңдеу мұнайға қаныққан қабатқа әсер етудің жаңа әдістерін қолдануды талап етеді. Мұнай кен орындары өз құрылымы бойынша көп жағдайда біртекті емес қабаттардан құралған, бұл олардың мұнайға жоғары қанығуын айқындайды. Сондықтан осындай қабаттардан мұнай өндіруді қарқындату қажеттілігі туындайды. Эксперименттік зерттеулер жүргізу үшін белгілі бір фракциядағы кварц құмымен толтырылған екі металл құбырдан тұратын модель пайдаланылды. Бұл әртүрлі өткізгіштіктегі қабаттарды алуға мүмкіндік береді. Қабатты-біртекті емес қабаттың осы моделінде мұнай өндіруді қарқындатудың ұсынылып отырған тәсілі зерттелді. Бұл жағдайда қабатты-біртекті емес қабаттың мұнай берілуін ұлғайту үшін полимер ерітіндісінің орамын қолдану ұсынылады. Сарқылған қабатты алу мақсатында бастапқыда қабатты-біртекті емес қабатта біркелкілік дәрежесі шамамен бірдей ($K=K_1/K_2$) әдеттегі суландыру жүзеге асырылды. Полимер жиегін ығыстыру дистиленген сумен жүзеге асырылды. Сонымен қатар, мұнайды дистиленген сумен айдау арқылы өткізбейтін қабаттан шығару жүзеге асырылды. Дистиленген суды қолдану тәжірибені таза ұстаудан туындайды. Дистиленген су полиакриламид (ПАА) ерітіндісінің қасиеттеріне аз әсер етеді. Жүргізілген зерттеулер көп нәтиже бермеді. Сондықтан, жүргізілген әдебиеттерді шолу негізінде тұтқырлығы жоғары мұнайы бар қабатты біртекті емес қабаттың дамуына қатысты жаңа аралас әдіс қарастырылды. Ұсынылған аралас әдіс электрохимиялық түрлендірілген су мен полимер ерітіндісін қолдануға негізделген. Судың электролизі үрдісінде судың екі түрін аламыз: сілтілік қасиеттері бар католит, яғни су-мұнай шекарасындағы беттік керілуді төмендетуге қабілетті және қышқылдық қасиеттері бар анолит. Жұмысымызда католиттің қолданылуы қарастырылады. Аралас әдіс келесі кезекті тізбекті қамтиды.

Алдымен мұнайды қабатты-біртекті емес қабаттан дистиленген суды айдау арқылы ығыстыру жүзеге асырылады. Осының есебінен біз мұнаймен және сумен қанығатын екі сарқылған қабат алдық. Содан кейін берілген рН-пен католитте дайындалған полимердің ерітіндісін жоғары өткізгіш қабатқа айдауды жүзеге асырамыз. Полимердің ерітіндісін жылжыту және аз өткізетін қабаттан мұнайды ығыстыру сол рН бар католитті айдау арқылы жүзеге асырылады. Біртекті емес қабатқа әсер етудің мұндай әдісі мұнай-су шекарасындағы беттік керілуін төмендетуге ықпал етеді, жоғары өткізгіш қабаттағы су ағынын шектейді және төмен өткізгіш қабаттағы мұнайды ығыстыру жылдамдығын арттырады. Осының барлығы қабатты-біртекті емес қабаттың мұнай бергіштігін арттырады.

Мұнай және мұнай өнімдеріне деген қажеттілік жылдан жылға артып келеді, бұл әсіресе экономикасы өсіп келе жатқан елдерде байқалады. Кен орныдарының көпшілігі табиғи режимде немесе суландыру арқылы игерілді. Бұл өндіруге қиын, тұтқырлығы жоғары қалдық мұнай қорларының өсуіне әкелді. Бұл мөлшер 50-70% аралығында болады деп болжануда. Екінші жағынан, жаңа ірі мұнай кен орныдары ашылып жатқан жоқ. Сондықтан энергиямен тұрақты қамтамасыз ету үшін сарқылған мұнай кен орындарынигеру маңызды болып табылады. Қабаттардың төмен мұнай шығымы коллекторлардың төмен өткізгіштігінен, біртекті емес жоғары деңгейінен, мұнайдың жоғары тұтқырлығынан туындайды. Нәтижесінде бұрын өндіру ұңғымаларын суландыру, мұнаймен қаныққан аймақтарды игеруге өнімділігі тартылмаған [69– 71].

Полимерлі суландыру әлемде кеңінен қолданылады. Сонымен, әлемде мұнай кен орныдарында 50-ден астам полимерді айдауды қолданылады. Полимер айдау Еуропада, Солтүстік Америкада, Таяу Шығыста және т.б. жүзеге асырылды. Полимерлі суландыру ығысу аймағының теңестірілуіне, судың қозғалғыштығының төмендеуіне, қамту коэффициентінің жоғарылауына әкеледі. Полимерлі ерітіндіні айдау—бұл ағынның ауытқу технологиясы болып табылады. Бұл жұмыста [72,73] GL-50, R-1, POLY-T-101, Поликар, Алкофлад, MD-02,05,07 сияқты полимерлердің әртүрлі маркалары қарастырылады. Суландыру сипаттамаларының әртүрлі мақсаттары үшін әртүрлі сипаттамалары бар белгілі бір полимерлер қолданылатыны көрсетілген. Көптеген жұмыстар судың минералдануының, ығысу жылдамдығының және температураның полимерлерге әсерін көрсетеді [74–76]. Жұмыста [77] полимерді мұнай өндіруде қолдану полимердің келесі қасиеттеріне негізделгенін көрсетті— жоғары тұтқырлық, тиксотроптылық, псевдопластика. Полимерлер су жүйелерінің реологиялық қасиеттеріне әсер етіп, әртүрлі тығыздықтағы гелдер түзе алады. Осыған қарамастан, игерудің соңғы сатысында полимерлі суландырудың тиімділігін жоққа шығаратын жұмыстар бар [78].

Жоғарыда келтірілген қысқаша әдебиеттерді шолудан полимер негізіндегі композицияларды қолдану тұтқырлығы жоғары мұнайдың қабаттан ығысуын жақсарту алатынын көруге болады. Осыған сүйене отырып, құрамында тұтқырлығы жоғары мұнай бар сарқылған қабаттан мұнай өндіруді күшейту мақсатында қабатты біртекті емес қабатта полиакриламидті (ПАА) қолданудың тиімділігін бағалау туралы шешім қабылданды. Біртекті емес қабаттағы суландырумен бірге полиакриламид (ПАА) жиегін айдауды қолдануды ұсынамыз. Сонымен қатар, мұнайды біртекті емес қабаттан ығыстыру нұсқасы келесі сызба бойынша ұсынылады және қарастырылады: суландыру — ПАА ерітіндісінің жиегін жоғары өткізгіш қабатқа айдау—мұнайды біртекті қабаттан электрохимиялық түрлендірілген сумен ығыстыру (катодит). Электрохимиялық активация ұғымын алғаш рет 1972 жылы В. М. Бахир тұжырымдады. Бұл жұмыста белсендірілген су мен электрлік белсендірілген технологиялық су ерітінділерін алу және қолдану тарихын қарастырады.

Полимерді тұрақты жоғары температурада қолданған кезде акриламидтің гидролизі пайда болып, акрилаттар түзіледі, бұл молекулярлық тізбектің теріс зарядтардың үлесін арттырады. Егер еріткіште екі валентті катиондар болмаса, онда молекулалар мен олардың бөліктері арасындағы электростатикалық ығыстыру арттады және де тұтқырлығы күшейе түседі.

Екі валентті катиондардың қатысуымен скринингтік әсер полимердің тұндырылуына және нәтижесінде тұтқырлықтың төмендеуіне әкелуі мүмкін. Нәтижесінде гидролизденген полиакриламидтердің тұтқырлықты жоғарылату қабілеті, молекулалардың өзара байланыс деңгейіне, сондай-ақ полимер молекулалары арасындағы молекулааралық электростатикалық итеруге байланысты деп айтуға болады

Электрхимиялық өзгертілген су (католит) келесі механизмдер арқылы мұнай өндіруді арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін:

– Қабат суының қасиеттерін өзгерту: католит рН жоғарылайды және олардың қасиеттерін өзгерту арқылы қабат суының компоненттерімен әрекеттесе алатын белсенді радикалдардан тұрады. Мысалы, католит судың беттік керілуін төмендетуі мүмкін, бұл оның қабаттың тесіктеріне енуін және мұнайдың ығыстыруын жеңілдетеді;

– Мұнай қасиеттерінің өзгеруі: католиттегі белсенді радикалдар мұнай компоненттерімен өзара әрекеттесіп, олардың қасиеттерін өзгерте алады. Мысалы, католит мұнайдың тұтқырлығын төмендетуі мүмкін, бұл оның қабаттың тесіктеріндегі ағынын жеңілдетеді;

– Тау жыныстарының қасиеттерін өзгерту: католит тау жыныстарының минералдарымен әрекеттесіп, олардың қасиеттерін өзгерте алады. Мысалы, католит кейбір минералдарды ерітіп, тау жыныстарының кеуектілігі мен өткізгіштігін арттырады, бұл мұнай бергіштік коэффициентін жеңілдетеді;

– Мұнайдың кеуектерден ығысуы: католит зарядталған католит бөлшектері мен зарядталған мұнай бөлшектері арасындағы электростатикалық өзара әрекеттесу арқылы мұнайды қабаттың кеуектерінен ығыстыра алады;

– Тау жыныстарының бетіндегі мұнайдың адсорбциясының төмендеуі: католит тау жыныстарының бетіндегі мұнайдың сінуін төмендетуі мүмкін, бұл оның ығысуын жеңілдетеді;

– Тау жыныстарының сумен сулануын жақсарту: католит тау жыныстарының сумен сулануын жақсарта алады, бұл да мұнай бергіштік коэффициентін жеңілдетеді;

– Жауын-шашынның алдын алу: католит қабатта жауын-шашынның алдын алады, бұл мұнай өндіруді жақсартады;

– Қабат температурасының жоғарылауы: католит қабаттың қарқынын жоғарылатуы мүмкін, бұл мұнайдың тұтқырлығын төмендетеді және оның ығысуын жеңілдетеді;

– Қабат қысымының жоғарылауы: католит қабаттың қысымын жоғарылатуы мүмкін, бұл мұнайды қабат тесігінен шығарады;

– Мұнайдың суда ерігіштігін жақсарту: католит мұнайдың суда ерігіштігін жақсарта алады, және бұл оның ығысуын жеңілдетеді;

– Мұнайдың беттік керілуін азайту: католит мұнайдың беттік керілуін төмендетуі мүмкін, бұл да мұнайдың ығысып шығуын жеңілдетеді;

– Тау жыныстарының мұнаймен сулануының жоғарылауы: католит тау жыныстарының мұнаймен сулануын арттыра алады.

Электрмен белсендірілген су диафрагмалық электрохимиялық реактордың катодты және анодты камераларында суды немесе минералды тұздардың сұйылтылған ерітінділерін өңдеу арқылы алынады.

Жұмыста [79] активтендіру уақыты туралы түсінік берілген, яғни католит пен анолиттің қасиеттері мен реактивтілігі бастапқы параметрлерді қалпына келтіруге дейінгі уақыт.

Электрохимиялық активтендіру нәтижесінде су метастабильді (белсендірілген) күйге өтеді, ол физика-химиялық параметрлердің қалыптан тыс мәндерімен, соның ішінде судағы электрондардың белсенділігімен байланысты тотығу-тотықсыздану потенциалымен сипатталады. Электрохимиялық түрлендірілген судың негізгі қасиеттері және оны зертханалық жағдайда алу жұмыстарда қарастырылады [80,81].

Жұмыста [82] электрохимиялық түрлендірілген суды алуға мүмкіндік беретін қондырғы бар. Электр тогының әсерінен судың электролизі жүреді. Оң зарядталған иондар (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+}) катодқа тартылады, сондықтан оларды катиондар деп атайды. Сонымен қатар, суда сутегі иондары мен гидроксил тобы бар.

Осылайша, катод кеңістігінде сілтілі орта (католит) пайда болады. Ал анод кеңістігі қышқыл тобының иондарымен байытылған (C^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-}) және сутегі. Екі валентті темір мен ион сульфиді полимерлердің тотығу ыдырау жылдамдығын арттыра алады. Сульфид иондар тотықтырғыш ретінде қызмет ете алады, ал екі валентті темір тотығу-тотықсыздану реакцияларына қатысып, полимерлердің ыдырауына ықпал етеді. Екінші жағынан, үш валентті темір гидролизденген полиакриламидтер үшін байланыстырушы зат ретінде әрекет ете алады. Ол полимердің гидроксил топтарымен кешендер түзе алады, оның тұрақтануына немесе физика-химиялық қасиеттерінің өзгеруіне ықпал етеді.

Осылайша, анодтың айналасында қышқыл орта (анолит) пайда болады [83]. Әрі қарай, жұмыс католиттің рН-ның кернеуге тәуелділігін көрсетеді, католит қасиеттерінің сақталу ұзақтығын анықтайды. Католиттің кеуекті ортаның өткізгіштігіне әсері көрсетілген. Уақыт өте келе сілтілік иондардың кеуекті ортаға ішінара тұндырылуы жүреді және сәйкесінше бұл кеуекті ортаның төмендеуіне әкеледі.

Бұл қысқаша шолу полимерді айдау немесе электрохимиялық түрлендірілген суды пайдалану арқылы қабаттан мұнай өндіруді ұлғайту мүмкіндігін көрсетті.

Бұл екі жолдың артықшылықтары да, кемшіліктері де бар. Мұнай қабатына әсер етудің қарастырылған әдістерінің оң қасиеттерін қолдана отырып, полимерді айдауды да, мұнайды католитпен ығыстыруды да біріктіретін кешенді әдісті қарастыру туралы шешім қабылданды.

Осылайша, қабаттардың мұнай өндірісін арттыруға бағытталған және ұсынылған аралас технологиялардың тиімділігі технологиялардың мүмкіндіктері мен шектеулеріне байланысты болады деп айтуға болады. Белгілі бір технологияны дұрыс таңдау кенорнының құрылымының геологиялық ерекшеліктерін, коллекторлардың литологиялық-физикалық және сүзу сипаттамаларын, олардың біртекті емес болғанына, қанықтыратын сұйықтық қабаттарының қасиеттерін, қабылданған игеру жүйесін, игеру процесін бақылауға арналған техникалық құралдардың, жабдықтардың, жабдықтардың болуын ескеруге байланысты. Бағалау нәтижелері мұнай бергіштік коэффициентінің 5–тен 25% – ға дейін ұлғаюын көрсетеді.

Әрбір нақты кен орны үшін электрохимиялық түрлендірілген су негізінде белгілі бір технологияны немесе бірнеше энергия үнемдейтін технологиялардың комбинациясын таңдау қажет.

Қабаттың біртекті моделі бар қондырғылар негіз болып табылады, бұл механизмді тұтастай бағалауға, қабатқа қандай да бір әсер ету арқылы мұнайды ығыстыру процесінің маңызды көрсеткіштерін анықтауға мүмкіндік береді. Екінші жағынан, процесті қабаттың біртекті емес моделінде зерттеу керек. Табиғи жағдайда тау жыныстарының өткізгіштігі қалыңдығы жағынан да, кеңеюі жағынан да әр түрлі өзгереді. Қабаттардың біртекті емес моделдері бар зертханалық қондырғылар нақты мұнай горизонттарының кеуекті кеңістігінің геометриясының шексіз әртүрлігін қамти алмайды, бірақ олардың көпшілігі біртекті емес болғандықтан бір тән түріне ие сәйкес келетіні-қабаттылық. Мұнай қабатының – әртүрлі физикалық қасиеттері бар (әсіресе әртүрлі өткізгіштік қабілеті бар) гидродинамикалық байланысқан немесе бір-бірінен ажыратылған қабаттар тобы. Ең көп таралған түрі-өткізгіштігі бойынша қабатты біртекті емес, ол зертханалық жағдайда моделденген.

Бұл қысқаша шолу полимерлі сулануымен немесе электрохимиялық түрлендірілген суды пайдалану арқылы қабаттан мұнай өндіруді ұлғайту мүмкіндігін көрсетті. Бұл екі жолдың артықшылықтары да, кемшіліктері де бар. Мұнай қабатына әсер етудің қарастырылған әдістерінің оң қасиеттерін қолдана отырып, полимерді айдауды да, мұнайды католитпен ығыстыруды да біріктіретін аралас әдісті қарастыру туралы шешім ұсынылды. Ұсынылған аралас композиция әдісі қабаттың біртекті емес моделіне зерттеу жүргізілді.

Эксперименттік зерттеулер әрқайсысының ұзындығы 102,5 см және диаметрі 26 мм болатын екі қабат моделінен тұратын қондырғыда жүргізілді (3.1 – сурет) [84]. Бұл моделдер эксперименттік қондырғыларға қойылатын барлық моделдеу талаптарына сәйкес келеді. Қабат моделінің параметрлері және эксперименттердің шарттары ұқсастық критерийлерін қанағаттандырады:

Бұл жағдайлар кеуекті ортаның масштабы мен құрылымының сәйкестігін қамтамасыз етеді, сонымен қатар гидродинамикалық күштердің кеуектердегі фазалардың таралуына әсерін ескереді. Бұл модел кеуекті ортаның негізгі сипаттамалары мен ерекшеліктерін дұрыс ескереді, бұл осы ортада болып жатқан физикалық процестерді сенімді және дәл сипаттауға мүмкіндік береді. Ұқсастық критерийлерінің шарттарын сақтай отырып, модел кеуекті ортаның мінез-құлқын және ондағы физикалық процестерді дұрыс көрсететініне сенімді бола аласыз.

Осылайша, кеуекті ортадағы жетістік әртүрлі ғылыми міндеттерді түсіну және оңтайландыру үшін маңызды болып табылатын әртүрлі физикалық құбылыстар мен процестерді дәлірек және сенімді түрде сипаттап, болжай алады.

Кеуекті орта ретінде кварц құмы мен маршалит алынды. Өйткені кеуекті ортаның қажетті өткізгіштігін алу үшін, бұл жағдайда кварц құмы мен маршалит қоспасы абсолютті өткізгіштіктің қоспадағы маршалит мөлшеріне тәуелділігін анықтау маңызды.

Кварц құмы мен маршалит қоспасының абсолютті өткізгіштігі маршалиттің құрамына байланысты екенін айтуға болады. Маршалит мөлшері жоғарылаған сайын қоспаның өткізгіштігі төмендейді. Себебі, маршалиттің өткізгіштігі кварц құмына қарағанда төмен және маршалит кварц құмындағы тесіктерді бітеп тастауы мүмкіндігі жоғары болғандықтан, бұл өткізгіштіктің одан әрі төмендеуіне ықпал етеді екен.

Абсолютті өткізгіштік-белгілі бір жағдайларда ортаның сұйықтықты немесе газды өткізу қабілетін анықтайтын кеуекті ортаның сипаттамасы. Бұл тәуелділікті анықтау үшін, әдетте, қоспадағы маршалиттің құрамын өзгертетін және кеуекті ортаның абсолютті өткізгіштігін өлшейтін тәжірибелер жасалады. Алынған мәліметтер абсолютті өткізгіштіктің маршалит мазмұнына тәуелділігінің графигін құруға мүмкіндік береді.

Бұл тәсіл кеуекті ортаның қажетті өткізгіштігіне қол жеткізу үшін кварц құмы мен маршалиттің оңтайлы қатынасын анықтауға мүмкіндік береді. Мұндай талдау қоспаның құрамын біздің міндетіміз үшін, дәлірек айтқанда, кеуекті ортаның белгілі бір өткізгіштігін қажет ететін полимерлік процестер үшін оңтайландыруға көмектеседі.

Қажетті өткізгіштікті алу үшін кварц құмы мен маршалит қоспасы қажетті пропорцияда. Осы мақсатта абсолютті өткізгіштіктің маршалит мөлшеріне тәуелділігі анықталды.

Осы мақсатта маршалитпен 0,125-0,25 мм фракциясы бар кварц құм қоспасының абсолютті өткізгіштігінің маршалит мөлшеріне тәуелділігі алдын-ала алынды. Осылайша дайындалған құм мен маршалит қоспасы қабат моделіне толтырылды. Толтырылған қоспаны айналдырғаннан кейін модел жабылып, басқару тақтасына қосылды. Барлық эксперименттер бастапқыда ауадағы қабат модельдерінің кеуекті ортасының абсолютті өткізгіштігін анықтады (сыналды). Осы мақсатта қабат моделінің кірісі ауа цилиндріне, ал газ есептегішіне шығу кезінде қосылды. Әрқайсысында моделге кіру

қысымының өзгеруі (0,2; 0,4 және 0,6 МПа) Дарси формуласы бойынша біз ауаның абсолютті өткізгіштігін анықтаймыз. Біз орташа мәнді аламыз.

Содан кейін, қабат моделінің шығысы вакуумдық сорғыға, біз моделдің кірісін сұйықтық (су) үшін қысқышына қосамыз. Су астындағы қысым ауа цилиндрімен реттеледі. Кеуекті ортаны вакуумдау арқылы біз кеуекті ортаны бір уақытта сумен қанықтырамыз. Вакуумдау кеуекті ортаны сумен (100%) толық қанықтыру үшін қажет, сондықтан бос орындар қалмайды. Осылайша, кеуекті ортаны сумен қанықтырғаннан кейін біз вакуумдық сорғыны өшіреміз. Сорғының орнына өлшеуіш цилиндрлерді орнатылады. Біз кеуекті ортаға суды айдауды жалғастырамыз. Бұл жағдайда біз су астындағы қысымды бірнеше рет (3-4 рет) өзгертеміз (яғни, қабат моделіндегі қысымды өзгерту).

Жер асты қысымының әр өзгеруімен (қабатта) біз шығыстағы сұйықтықтың шығынын өлшеуіш цилиндрмен секундамер арқылы анықтаймыз. Содан кейін сұйықтыққа арналған кеуекті ортаның сұйықтық арқылы өткізгіштігін, Дарси формуласы бойынша анықтаймыз.

Материалдық тепе-теңдіктен, яғни қабаттан шыққан судың мөлшерін, жер астындағы судың бастапқы мөлшерін және сығылған судың қалған мөлшерін біле отырып, біз кеуекті ортадағы судың мөлшерін анықтаймыз. Осылайша, біз қабат моделінің кеуекті көлемін анықтаймыз.

Келесі қадамыз–кеуекті ортаны мұнаймен қанықтыру болып табылады. Басқаша айтқанда, біз бастапқы мұнай мен кеуекті ортаның қанықтылығын аламыз. Мұны анықтау үшін, біз моделге кіре берістен сумен қысуды ажыратамыз, содан кейін мұнаймен қысымды құрылғысын қосамыз. Ауа цилиндрінің көмегімен мұнаймен жер асты қысымын орнатылады және мұнайды кеуекті ортаға айдауды жүзеге асырылады. Шығу кезінде біз шығатын суды, содан кейін мұнайды өлшеп, көрсеткіштерді белгілеп аламыз. Шығарылған мұнайдың мөлшерін өзгерте отырып, біз кеуекті ортаның белгілі бір қанықтылығын ала аламыз. Кеуекті ортада қалған су мен мұнайдың мөлшерін материалдық теңгерім бойынша анықтаймыз. Алынған мұнай мен су көлемінің, сондай-ақ кеуек көлемінің мәндері негізінде бастапқы су мен мұнайдың қанықтылығы арқылы анықтаймыз. Осылайша, әртүрлі өткізгіштік қабатының моделдерін дайындап, біз эксперименттерді жүзеге асыруға тікелей көшеміз.

Барлық эксперименттерде өткізгіштік алдын-ала анықталды: абсолютті (ауа арқылы) және су арқылы. 3.1-3.3-кестелерінде қабат-біртекті емес қабаттың негізгі бастапқы деректері және эксперименттердің нәтижелері келтірілген.

Барлық эксперименттерде $K_0=K_1/K_2$ қабатының біртекті емеслік дәрежесі (K_1 және K_2 -сәйкесінше жоғары және өткізбейтін қабаттар) шамамен бірдей болды. Мұнайдың тұтқырлығы 205 МПа·с пайдаланылды және тығыздығы 910 кг/м³.

Кесте 3.1 – Бастапқы деректері және эксперименттердің нәтижелері

Параметрлер	№1 тәжірибе	
	Өткізгіштігі жоғары	Өткізгіштігі төмен
Мұнайдың тұтқырлығы, мПа·с	205	205
Кеуек көлемі, см ³	190	175
Ауа бойынша өткізгіштігі, мкм ²	2,8	1,7
Судың өткізгіштігі, мкм ²	2,0	0,8
Бастапқы мұнай қанықтылығы, %	63,2	77,1
Бастапқы суға қанықтылығы, %	36,8	22,9
ПАА ерітіндісінің жиек көлемі, см ³	60(30)	-
ПАА ерітіндісінің концентрациясы, %	0,15	-
Ерітіндінің тұтқырлығы, мПа·с	20	
Мұнай бергіштік коэффициенті (МБК) I кезеңнен кейін, %	58	26
Қалдық мұнаймен қанығу, %	26,5	57,1
Мұнай бергіштік коэффициенті II кезең, %	10	9
Соңғы мұнай бергіштік коэффициенті, %	68	35
Қабат бойынша орташа мұнай бергіштік коэффициенті, %	51,5	
Мұнайдың соңғы қалдық қанықтылығы, %	22,1	50,1
Ығыстырудың II кезенінің түрі	Дистиленген су	
Қабаттың біртекті емес дәрежесі, $K_0=K_1/K_2$	2,5	

Кесте 3.2 – Бастапқы деректері және эксперименттердің нәтижелері

Параметрлер	№2 тәжірибе	
	Өткізгіштігі жоғары	Өткізгіштігі төмен
Мұнайдың тұтқырлығы, мПа·с	205	205
Кеуек көлемі, см ³	180	172
Ауа бойынша өткізгіштігі, мкм ²	2,55	1,7
Судың өткізгіштігі, мкм ²	1,9	0,75
Бастапқы мұнай қанықтылығы, %	64,0	75,6
Бастапқы суға қанықтылығы, %	36,0	24,4
ПАА ерітіндісінің жиек көлемі, см ³	55(30)	-
ПАА ерітіндісінің концентрациясы, %	0,25	-
Ерітіндінің тұтқырлығы, мПа·с	38	
Мұнай бергіштік коэффициенті (МБК) I кезеңнен кейін, %	56	24
Қалдық мұнаймен қанығу, %	28,1	57,4
Мұнай бергіштік коэффициенті II кезең, %	14	18
Соңғы мұнай бергіштік коэффициенті, %	70	42
Қабат бойынша орташа мұнай алу коэффициенті, %	56	
Мұнайдың соңғы қалдық қанықтылығы, %	19,1	43,8
Ығыстырудың II кезенінің түрі	Дистиленген су	
Қабаттың біртекті емес дәрежесі, $K_0=K_1/K_2$	2,53	

Кесте 3.3 – Бастапқы деректері және эксперименттердің нәтижелері

Параметрлер	№3 тәжірибе	
	Өткізгіштігі жоғары	Өткізгіштігі төмен
Мұнайдың тұтқырлығы, мПа·с	205	205
Кеуек көлемі, см ³	184	170
Ауа бойынша өткізгіштігі, мкм ²	2,7	1,8
Судың өткізгіштігі, мкм ²	1,96	0,78
Бастапқы мұнай қанықтылығы, %	66,8	80,0
Бастапқы суға қанықтылығы, %	33,2	20,0
ПАА ерітіндісінің жиек көлемі, см ³	55(30)	-
ПАА ерітіндісінің концентрациясы, %	0,25	
Ерітіндінің тұтқырлығы, мПа·с	38	
Мұнай бергіштік коэффициенті (МБК) I кезеңнен кейін, %	57	25
Қалдық мұнаймен қанығу, %	28,7	60
Мұнай бергіштік коэффициенті II кезең, %	20	26
Соңғы мұнай бергіштік коэффициенті, %	77	51
Қабат бойынша орташа мұнай бергіштік коэффициенті, %	64	
Мұнайдың соңғы қалдық қанықтылығы, %	15,4	39,2
Ығыстырудың II кезенінің түрі	Католитің көрсеткіші рН=11	
Қабаттың біртекті емес дәрежесі, $K_0=K_1/K_2$	2,51	

Бірінші кезеңде барлық тәжірибелер мұнайды дистиленген сумен ығыстыру жүзеге асырылды. Осы мұнаймен шекарадағы дистиленген судың беттік керілуі 42,2 мН/м – ге тең болды.

Сұйықтықты айдау бір уақытта екі қабатқа да жүргізілді. Содан кейін су жоғары өткізгішті қабат арқылы кеуек көлемінің 4,1-4,8 мөлшерінде айдағаннан кейін I кезең аяқталды (Сурет 3.2-3.4). Осы кезеңде жоғары өткізгішті қабаттан мұнай бергіштік коэффициенті (МБК) 0,56-0,58 мәніне тең болса, ал төмен өткізгішті қабаттан 0,24-0,26 мәнін құрады.

Біртекті емес қабаттар арасындағы мұнай бергіштік коэффициенті (МБК) қатынасы шамамен K_0 біртекті емес дәрежесіне сәйкес келеді екенін көрсетілді.

Шамамен бірдей бастапқы деректерде суландыру режиміндегі мұнайдың бергіштік коэффициентінің бірдей екені көрсетілді. 3.2-3.4 кестелерінің нәтижелерінің көмегімен сызбалары тұрғызылды, және 3.2-суретінде мәндері көрсетілді. 3.2-3.4 суреттерінде суландырудың режимінің кезеңінен кейінгі сәтінде және қабатта қалдық мұнайдың көп мөлшері қалатыны көрсетілді, және де өткізгіштігі төмен қабаттарда болатынын ескеріп айтылады.

№1 тәжірибедегі мұнайдың қанығу қалдық көрсеткішінің мәні, яғни жоғары өткізгіш қабатта 26,5% тең болса, ал төмен өткізгіште-57,1% құрады. 3.4-3.6-кестесінде өлшемсіз уақыттың айдалатын су мөлшеріне тәуелді көрсеткіштері сипатталған.

Кесте 3.4 – Өлшемсіз уақыттан айдалатын су мөлшері

Өлшемсіз уақыт	η_1	η_2	$V_1/V_{\text{кеуек}}$	$V_2/V_{\text{кеуек}}$
0	0		0	
0.04	0.05		0.08	
0.08	0.08		0.15	0
0.12	0.125	0	0.28	0.02
0.15	0.167	0.03	0.4	0.07
0.19	0.2	0.06	0.54	0.11
0.23	0.24	0.1	0.75	0.15
0.27	0.3	0.13	0.97	0.23
0.31	0.35	0.15	1.23	0.36
0.35	0.4	0.17	1.46	0.52
0.38	0.43	0.186	1.7	0.69
0.42	0.47	0.2	2.2	0.9
0.46	0.5	0.21	2.5	1.15
0.5	0.525	0.23	2.9	1.26
0.54	0.55	0.25	3.4	1.35
0.58	0.57	0.26	3.7	1.49
0.62	0.58	0.26	4.1	1.65
0.65	0.59	0.28	4.45	1.8
0.69	0.62	0.28	4.78	1.9
0.73	0.63	0.285	5	2
0.77	0.64	0.29	5.25	2.2
0.81	0.65	0.3	5.4	2.5
0.85	0.658	0.315	5.5	2.7
0.88	0.66	0.32	5.5	2.9
0.92	0.67	0.34	5.6	3.1
0.96	0.675	0.345	5.8	3.2
1	0.68	0.35	5.95	3.3

Кесте 3.5 – Өлшемсіз уақыттан айдалатын су мөлшері

Өлшемсіз уақыт	η_1	η_2	$V_1/V_{\text{кеуек}}$	$V_2/V_{\text{кеуек}}$
1	2	3	4	5
0	0		0	
0.03	0.04		0.1	
0.06	0.06		0.17	0
0.09	0.11	0	0.28	0.02
0.13	0.15	0.03	0.4	0.09
0.16	0.19	0.05	0.52	0.13
0.19	0.25	0.07	0.72	0.17
0.22	0.3	0.08	0.95	0.27
0.25	0.35	0.1	1.25	0.36
0.28	0.4	0.12	1.47	0.52
0.31	0.43	0.14	1.73	0.72

3.5-кестенің жалғасы

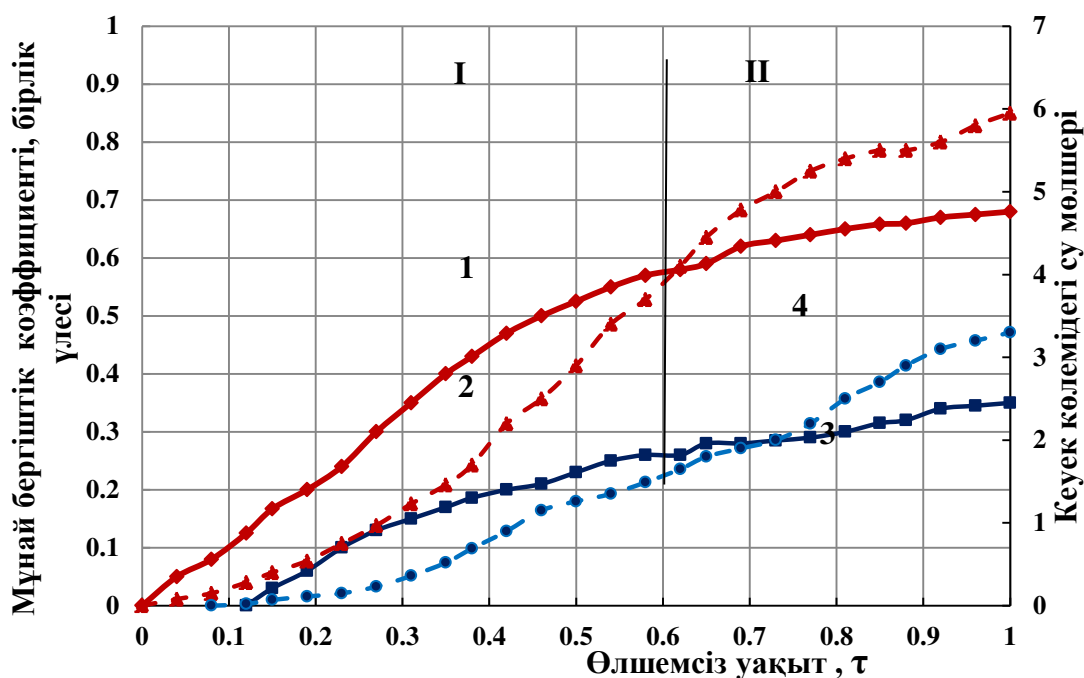
1	2	3	4	5
0.34	0.45	0.155	2.24	1
0.38	0.47	0.18	2.6	1.17
0.41	0.495	0.2	3	1.25
0.44	0.51	0.21	3.6	1.34
0.47	0.52	0.22	3.9	1.46
0.5	0.54	0.23	4.2	1.5
0.53	0.55	0.24	4.4	1.55
0.56	0.56	0.24	4.7	1.75
0.59	0.56	0.24	4.7	1.9
0.63	0.56	0.25	4.9	2.1
0.66	0.58	0.27	5.1	2.2
0.69	0.59	0.28	5.1	2.4
0.72	0.6	0.3	5.25	2.5
0.75	0.61	0.31	5.4	2.6
0.78	0.62	0.32	5.5	2.7
0.81	0.63	0.33	5.6	2.9
0.84	0.65	0.35	5.8	3.1
0.88	0.67	0.36	6	3.3
0.91	0.68	0.38	6.1	3.5
0.94	0.69	0.4	6.2	3.7
0.97	0.695	0.41	6.3	3.9
1	0.7	0.42	6.4	4

Кесте 3.6 – Өлшемсіз уақыттан айдалатын су мөлшері

Өлшемсіз уақыт	η_1	η_2	$V_1/V_{\text{кеуек}}$	$V_2/V_{\text{кеуек}}$
1	2	3	4	5
0	0.03		0.19	
0.04	0.06		0.49	
0.08	0.18	0	0.87	
0.125	0.3	0.01	1.43	0.17
0.17	0.34	0.04	1.7	0.35
0.21	0.39	0.08	2.1	0.5
0.25	0.42	0.1	2.36	0.68
0.29	0.44	0.12	2.6	0.76
0.33	0.46	0.13	2.84	0.97
0.375	0.47	0.15	3.2	1.12
0.42	0.5	0.176	3.45	1.25
0.46	0.504	0.19	3.75	1.37
0.5	0.52	0.22	4.1	1.6
0.54	0.53	0.24	4.4	1.9
0.58	0.57	0.25	4.8	2.1
0.625	0.58	0.26	5	2.3
0.67	0.59	0.3	5.2	2.7
0.71	0.63	0.34	5.34	3.2

3.6-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5
0.75	0.66	0.37	5.7	3.6
0.79	0.7	0.42	6	4
0.83	0.73	0.46	6.2	4.3
1	2	3	4	5
0.92	0.76	0.49	6.4	4.5
1	0.77	0.51	6.6	4.7

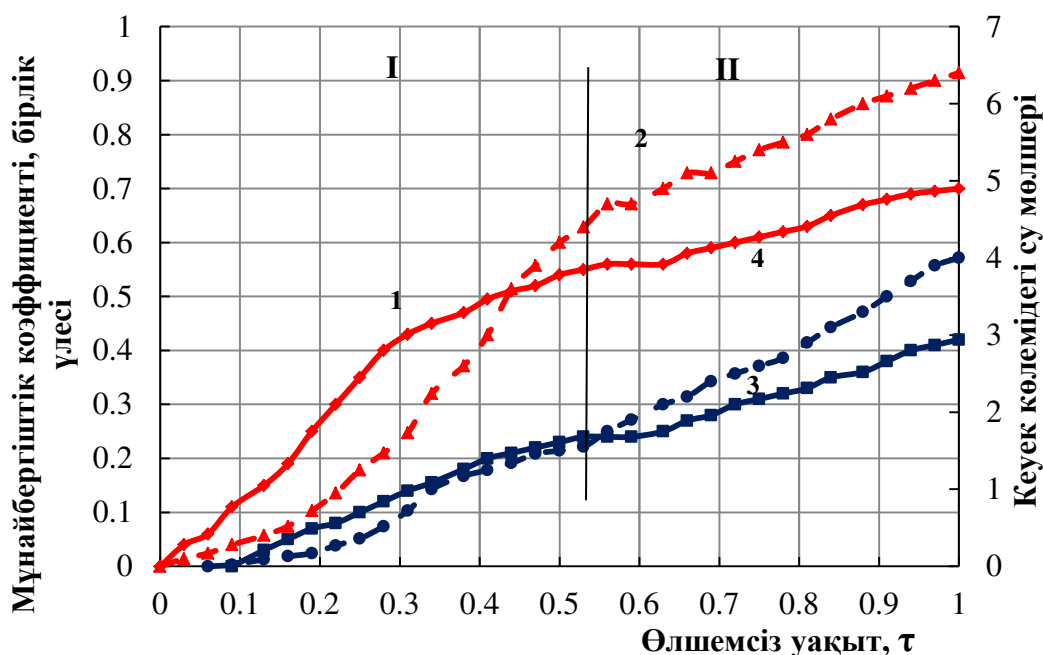


Өткізгіштігі жоғары қабат: 1 – МБК, 2 – айдлатын су мөлшері. Өткізгіштігі төмен қабат: 3 – МБК, 4 – айдлатын су мөлшері: I кезең – мұнайды дистилленген сумен ығыстыру, II кезең – өткізгіштігі жоғары қабатқа 0,15% ПАА ерітіндісін айдау, одан әрі екі қабатқа да дистилленген суды айдау t_i – сағатына ағымдағы уақыт; Σt_i – эксперименттің жалпы уақыты.

Сурет 3.2 – Мұнайды бергіштік коэффициентінің (МБК) және айдлатын судың мөлшерінің өлшемсіз уақытқа тәуелділігі $\tau = t_i / \Sigma t_i$ (№1 тәжірибе)

Мұнайдың біртекті емес қабаттан ығыстыру қарқындылығын арттыру үшін полиакриламид (ПАА) ерітіндісін өткізгіштігі жоғары қабатқа айдау туралы шешім қабылданды. №1 тәжірибедегі қалдық мұнаймен қанығудың мәні сипатталды. Өткізгіштігі жоғары қабатта 26,5% тең болатын болса, ал өткізгіштігі төмен қабатта – 57,1% құрады.

Өткізгіштігі төмен қабаттан мұнай өндіруді күшейту мақсатында, II кезеңде ПАА ерітіндісінің 0,15% жиегін өткізгіштігі жоғары қабатқа айдау туралы шешім қабылданды.



Өткізгіштігі жоғары қабат: 1 – МБК, 2 – айдалатын су мөлшері. Өткізгіштігі төмен қабат: 3 – МБК, 4 – айдалатын су мөлшері. I кезең – мұнайды дистилленген сумен ығыстыру, II кезең – өткізгіштігі жоғары қабатқа 0,25% ПАА ерітіндісін айдау, одан әрі екі қабатқа да дистилленген суды айдау.

Сурет 3.3 - Мұнай бергіштік коэффициентінің (МБК) және айдалатын судың мөлшерінің өлшемсіз уақытқа тәуелділігі $\tau = t_i / \Sigma t_i$ (№2 тәжірибе)

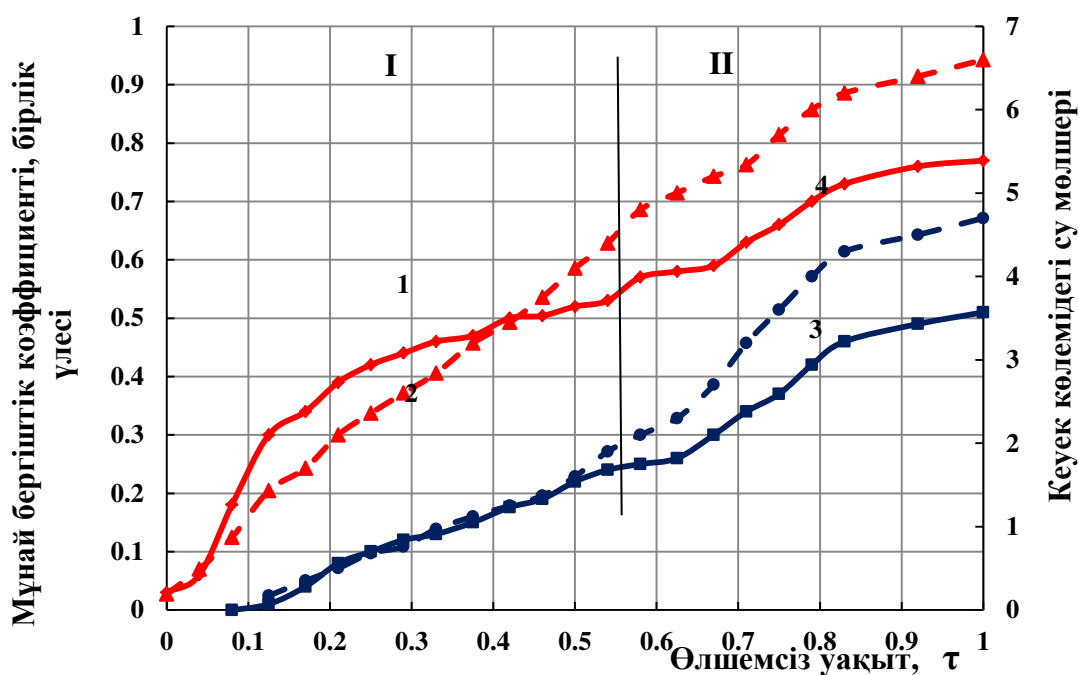
Тұтқырлығы жоғары полимерлі ерітінділер мұнай мен мұнайға байланысты суды кеукті ортадан жақсы шығарады (3.1– кесте).

Мұнайдағы ПАА концентрациясы тұтқырлықтың жоғарылау дәрежесіне әсер етеді. ПАА концентрациясы неғұрлым жоғары болса, мұнайдың тұтқырлығы соғұрлым жоғары болады. Алайда, ПАА концентрациясы тым жоғары болса, процесс уақытын қысқартуы мүмкін.

ПАА жиегін айдау кеукті орта бетіндегі полимер молекулаларының адсорбциясына ықпал етеді. Бұл кеукті арналардың ішінара қабаттасуына және олардағы судың сүзілуінің нашарлауына әкеледі, яғни ығыстырылған сұйықтықтың өтуіне төзімділікті арттырады. Осылайша, жоғары өткізгіш қабаттан су ағыны шектеледі.

Полимерлі ерітінді жоғары өткізгіш қабатқа жақсырақ түседі және екі әсердің әсерінен-жиек ерітіндісінің жоғары тұтқырлығы және кеукті ортаның сүзілуінің төмендеуі сұйықтық ағындарының динамикалық біртекті емесдігінің айтарлықтай төмендеуі байқалады. Біртекті емес қабаттарға кіре берісте айдалатын сұйықтық ағынының қайта бөлінуі жүреді. Оның көп бөлігі

өткізбейтін қабатқа түседі. Бұл біртекті емес қабатты процеспен қамтуды арттыруға және мұнай өндіруді арттыруға ықпал етеді. №1 тәжірибеде жоғары өткізгіш қабаттың сорылған суының өткізгіштікке қатынасы 1,8-ге тең, бұл қабаттың біртекті емес дәрежесінен аз. Осылайша, ПАА ерітіндісін қолдану қабаттың біртекті емесдігін ішінара тегістеуге әкелгенін көреміз. Осының арқасында МБК өткізгіштігі төмен қабатта өседі (9%-ға). II кезеңнен кейінгі қалдық мұнай қанықтылығы: жоғары өткізгіш қабатта 22,1%, ал төмен өткізгіште—50,1% құрады.



Өткізгіштігі жоғары қабат: 1 – МБК, 2 – айдлатын су мөлшері. Өткізгіштігі төмен қабат: 3 – МБК, 4 – айдлатын су мөлшері. I кезең – мұнайды дистилленген сумен ығыстыру, II кезең – өткізгіштігі жоғары қабатқа 0,25% ПАА ерітіндісін айдаумен, одан әрі екі қабатқа да католитті айдау.

Сурет 3.4 – Мұнай бергіштік коэффициентінің (МБК) және айдлатын судың мөлшерінің өлшемсіз уақытқа тәуелділігі $\tau = t_i / \Sigma t_i$ (№3 тәжірибе)

ПАА ерітіндісін қолданғаннан кейін де қабатта жеткілікті мұнай бар екенін көреміз. Сондықтан № 2 тәжірибеде ПАА ерітіндісінің жиегін жоғары концентрациямен (0,25%) айдау туралы шешім қабылданды, бұл сәйкесінше ерітіндінің тұтқырлығының жоғарылауын қамтамасыз етуі керек. 3.1- кестеден көріп отырғанымыздай, №2 тәжірибедегі ерітіндінің тұтқырлығы 1,9 есе өсті. Бұл сұйықтық ағынының әртүрлі өткізгіштік қабаттары арасында көбірек бөлінуін қамтамасыз етуі керек. I кезең №1 тәжірибеге ұқсас болды. Мұнай бергіштік коэффициенті шамамен бірдей: өткізгіштігі жоғары қабатта 56%, ал өткізгіштігі төмен қабатта 24%. Қалдық мұнай қанықтылығы: жоғары өткізгіш қабатта – 28,1%, ал төмен өткізгіш қабатта—57,4%.

I кезеңдегі нәтижелер №1 тәжірибеге ұқсас. II кезеңде жоғары өткізгіш қабатқа кеуек көлемінің 30% мөлшерінде ПАА ерітіндісінің 0,25% жиегі құйылды. ПАА ерітіндісінің жиегін жоғары өткізгіш қабатта жылжыту және өткізбейтін қабатта мұнайды ығыстыру дистилленген сумен жүзеге асырылды. Бұл қосымша төмендеуге ықпал етпеген қабаттағы біртекті емесдіктің мұнайды ығыстыру процесіне әсері (сурет-3.2). Өткізбейтін қабаттың МБК мөлшері №1 тәжірибемен салыстырғанда 2 есе өсті (18% қарсы 9%). Бірақ бұл жағдайда да екі қабаттағы мұнайдың қалдық қанықтылығы жоғары болып қалды (19,1% және 43,8%).

№1 және №2 тәжірибелерден алынған нәтижелер мұнайды қабатты-біртекті емес қабаттан шығару процесінде тек ПАА жиегін пайдалану біртекті емес болғандықтан мұнай беру процесіне әсерін тиімді төмендетуге ықпал етпейтінін көрсетті. Осыған сүйене отырып және жұмыс негізінде [85-87] №3 тәжірибеде мұнайдың қабатталған біртекті емес қабаттан ығысуына әсер етудің аралас әдісін қолдану туралы шешім қабылданды. Әдістің мәні келесідей болды.

№3 тәжірибенің I кезеңінде мұнайды ығыстыру процесі №1 және 2 тәжірибелерге ұқсас сарқылу режимінде жүзеге асырылды (сурет 3.2-3.4). 3.1–кестеден және суреттен көріп отырғаныңыздай. 3.2-3.4, осы кезеңдегі мұнай бергіштік коэффициенті барлық тәжірибелер үшін бірдей болды, бастапқы шарттар тең болды.

II кезеңде электрохимиялық түрлендірілген суда (катодит) дайындалған кеуек көлемінің 30% мөлшерінде ПАА ерітіндісінің 0,25% жиегін айдау жүзеге асырылды. Катодит сілтілі сипатқа ие және қабат бойымен қозғалады, мұнайдың құрамына кіретін қышқылдармен әрекеттеседі. Сондықтан, катодитте дайындалған ПАА жиегін айдау, сондай-ақ оны жоғары өткізгіш қабат бойымен жылжыту мұнаймен шекарадағы беттік керілудің 12 мН/м дейін төмендеуіне ықпал етеді (катодитсіз $\sigma = 42,2$ мН/м). Осының арқасында тау жыныстарының сулануы, эмульсияның пайда болуы өзгереді. Бұл жоғары өткізгіш қабаттың сүзу қабілетін төмендетуге көмектеседі. Сілтілік ерітінділердің әсері жұмыста жақсы көрсетілген [88]. Өткізбейтін қабаттағы Мұнай бергіштік коэффициенті катодитті $\text{pH}=11$ -мен айдау арқылы да жүзеге асырылды. Осы технологияны қолдану нәтижесінде мұнайдың жоғары өткізгіш қабаттан баяу ығысуы және төмен өткізгіштіктің өсуі байқалады. Осы кезеңде жоғары өткізгіш қабаттан мұнай бергіштік коэффициенті 20%, ал төмен өткізгіштен - 26% құрады. Жүргізілген эксперименттердің нәтижелерін талдай отырып, №3 тәжірибенің қабатты-біртекті емес қабатынан мұнай алудың орташа коэффициенті №1 және №2 тәжірибелерге қарағанда 8-12,5%-ға артық деген қорытынды жасауға болады. Өткізбейтін қабатта №3 тәжірибеде КИН 9-16%-ға өсті.

Тазартылмаған су мен катализатордың келесі қасиеттері бар: тазартылмаған су-бұл таза су, оның құрамында ешқандай қоспалар жоқ. Ол жоғары еріту қабілетіне ие және полимерлермен жақсы үйлеседі. Катализатор-химиялық

реакцияларды тездететін зат. Мұнайдың ығысу тиімділігін арттыру үшін полимер ерітіндісіне қосылады.

Дистиленген су мен катализаторды пайдалану мұнайдың полимермен ығысу коэффициентін арттыруға және мұнай беруді арттыруға мүмкіндік береді.

Дистиленген су және катализатор полимерлерімен мұнайдың ығысу қасиеттері: дистиленген су полимерімен және катализатормен мұнайдың ығысу коэффициенті кәдімгі сумен мұнайдың ығысу коэффициентінен жоғары.

Осылайша, полимер мен катализатор ерітіндісінің құрамын білдіретін қабатты біртекті емес қабаттарға әсер етудің жаңа технологиясы жасалды. Бұл композиция мұнай беру коэффициентін арттыру мақсатында мұнайдың реологиялық сипаттамаларын өзгертуге бағытталған. Бұл технологияны қабатты-біртекті емес қабатта қолдану арқылы мұнай бергіштік коэффициенті орташа мәні дистиленген суды айдайтын ПАА жиегін қолданғаннан 8%-ға артық.

3.2 Эксперименттік зерттеулерде ең кіші квадраттар әдісін қолдану

Эксперименттік зерттеулердің негізгі міндеті-әртүрлі факторлар арасында байланыс орнату және олардың заңдылықтарын анықтау. Мұнайды мұнай қабатынан шығару процесі көптеген факторларға байланысты (кеуектілік; өткізгіштік; мұнай және судың қанықтылығы; жиек көлемі, қолданылатын реагент; сұйықтықты ығыстыратын сұйықтық көлемі және т.б.). Бұл тапсырмаларды орындау үлкен көлемдегі зерттеулерді қажет етеді. Эксперименттік зерттеулердің көлемін азайту және оларды жүзеге асыруға кететін шығындар мен уақытты азайту мақсатында эксперименттерді жоспарлау әдісі қолданылады. Эксперименттерді жоспарлау теориясы эксперименттік зерттеулердің дұрыс ұйымдастырылуын анықтауға мүмкіндік беретін және ең аз шығындар мен уақытпен тиімді нәтиже алуға мүмкіндік беретін математикалық статистиканы қолдануға негізделген [89,90].

Экспериментті жоспарлау құралдарының бірі-ең кіші квадраттар әдісі. Ең кіші квадраттар әдісі жаратылыстану тәжірибелерінің, техникалық деректердің, геодезиялық бақылаулар мен өлшемдердің сандық нәтижелерін өңдеу кезінде кеңінен қолданылады. Заманауи математикалық статистиканы қолдану бақылаулардан алынған ақпаратты ең кіші квадраттар әдісімен неғұрлым толық және дәл пайдалануға және осы әдіспен алынған мәліметтердің мәні мен мағынасын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Мұны практикалық және теориялық тұрғыдан білу керек. Алынған тәуелділіктер бізге жүргізілген зерттеулер санын азайтуға мүмкіндік береді.

Эксперименттік зерттеулердегі ең кіші квадраттар әдісі негізінде деректер мен модель арасындағы ауытқу квадраттарының қосындысын азайту арқылы мәліметтер жиынтығына ең жақсы жуықтауды табу үшін қолданылатын статистикалық әдіс.

Сызықтық модель: x және y арасындағы айнымалылар арасындағы байланыс сызықтық деп есептеледі. Қатені азайту: мақсат-деректер нүктелері

мен регрессия сызығы арасындағы тік ауытқу квадраттарының қосындысын азайту.

Ең жақсы сәйкестікті пайдалана отырып табылған регрессия сызығы сызықтық болжамдарды ескере отырып, деректерге ең жақсы сәйкестікті білдіреді.

Тәуелділіктің анықтамасы: тәуелсіз және тәуелді айнымалылар арасында байланыс орнату.

Болжау арқылы: тәуелсіз айнымалының берілген мәндерінде тәуелді айнымалының мәндерін болжау үшін модельді пайдалану.

Маңыздылық анықтамасы: айнымалылар арасындағы байланыстың статистикалық маңыздылығын бағалау.

Экспериментті жоспарлау: сенімді нәтиже алу үшін тәуелсіз айнымалының оңтайлы саны мен мәндерін анықтау.

Анықтау барысындағы регрессия сызығы сызықтық жағдайда деректерге ең жақын сәйкестік болып табылады. Бұл дегеніміз, сызықтық болжамды ескере отырып, мәліметтерді дәл сипаттайтын сызықтық график болады.

Мысал ретінде дистиленген сумен полиакриламидтің (ПАА) жиегімен Мұнай бергіштік коэффициентін қарастырайық. Эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, бұл тәуелділік қисық сызықты (параболалық форма). Алынған тәуелділікті математикалық өңдеуді алдын-ала талдау адекватты тәуелділікті алудың қиындығын көрсетті. Сондықтан бұл тәуелділікті екі кезеңде математикалық шешім түрінде алу туралы шешім қабылданды. Бірінші кезеңде мұнайды қабаттан тек дистиленген сумен, яғни сарқылу режимінде шығару қарастырылады. Бұл тәуелділік қисығы келесі түрде берілген:

$$\eta = a + \ln B, \quad (3.1)$$

мұндағы η – мұнайдың ығысу коэффициенті, B -айдалатын судың кеуек көлеміне қатынасы $V_{\text{су.айдал}}/V_{\text{кеуек}}$.

Біз келесі теңестіруді жасай отырып, келесідей теңдеуіміздің сәйкестігін аламыз. Яғни, $x = \ln B$ мәніне ал, $y = \eta$ мәніне теңестіреміз.

Содан кейін тағы бір теңестіруді жасаймыз, $X = B$, $Y = B/\eta$ мәндерінің нәтижесінде біз келесі тәуелділікті аламыз.

$$\eta = \frac{B}{a + b_1 B}, \quad (3.2)$$

Бұл тәуелділік теңестірім орын ауыстыру арқылы түрлендіріледі, яғни $X = B$ және $Y = B/\eta$ тең деп алып, келесі сызықтық теңдеуіміздің қатынасына тең болады:

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i, \quad (3.3)$$

мұндағы $b_0 = a$, $b_1 = b$ теңдікті береді .

Берілген теңдеудің шешімі келесі жүйе ретінде шешіледі [3.1, 3.2, 3.3]:

$$\begin{cases} N \cdot b_0 + b_1 \sum_i^N X_i = \sum_i^N Y_i \\ b_0 \sum_i^N X_i + b_1 \sum_i^N X_i^2 = \sum_i^N X_i Y_i \end{cases} \quad (3.4)$$

Алынған мәндерді жүйеге (3) ауыстыра отырып, келесі мәндерді аламыз $b_0=0,653$, $b_1=1,827$. Алынған мәндерді ескеріп, сызықтық теңдеуге келтірілді. (3.4) теңдеуін пайдалана отырып, келесі форма түріндегі теңдеуіміз алынды:

$$Y=0,653+1,827X, \quad (3.5)$$

Оларды мәндерімен алмастыра отырып, біз мұнайдың ығысу коэффициентінің айдалатын суға тәуелділігін аламыз:

$$\eta = \frac{V_{\text{айд.су}}/V_{\text{кеуек}}}{0,653+1,827 \cdot \left(V_{\text{айд.су}}/V_{\text{кеуек}} \right)}, \quad (3.6)$$

Мұндағы N – өлшеулер саны. Үш тәжірибені ескере отырып алынған нәтижелер 3.7 – кестеде келтірілген.

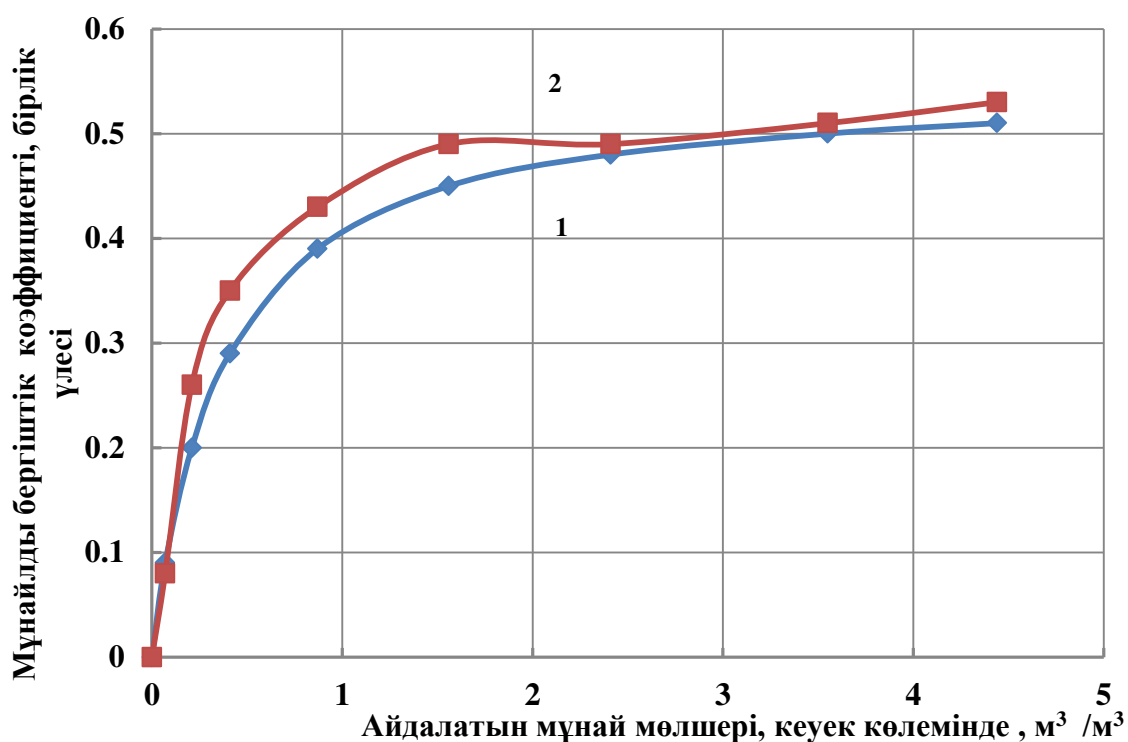
Алынған формула негізінде мұнайдың ығысу коэффициентінің графикалық тәуелділіктері салынды. Мысал ретінде № 1 тәжірибені салыстырмалы талдау келтірілген (сурет 3.5).

Кесте 3.7 – Үш тәжірибенің нәтижелері

N	X_i	Y_i	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2	η
1	2	3	4	5	6
1	0,07	0,875	0,061	0,005	0,08
2	0,21	0,808	0,170	0,044	0,26
3	0,41	1,171	0,480	0,168	0,35
4	0,87	2,023	1,760	0,757	0,43
5	1,56	3,183	4,967	2,434	0,49
6	2,41	4,918	11,853	5,808	0,49
7	3,55	6,961	24,711	12,602	0,51
8	4,44	8,377	37,195	19,714	0,53
9	0,06	0,75	0,045	0,004	0,08
10	0,14	0,823	0,115	0,020	0,17
11	0,29	0,935	0,271	0,084	0,31
12	0,46	1,122	0,516	0,212	0,41
13	1,12	2,196	2,460	1,254	0,51
14	1,43	2,698	3,858	2,045	0,53
15	1,87	3,281	6,135	3,497	0,57
16	2,72	4,610	12,540	7,398	0,59

3.7-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
17	0,1	1,0	0,1	0,010	0,1
18	0,3	1,363	0,409	0,090	0,22
19	0,5	1,786	0,893	0,250	0,28
20	1,0	3,03	3,030	1,0	0,33
21	1,7	5,0	8,5	2,890	0,34
22	2,0	5,556	11,111	4,0	0,36
23	2,5	6,849	17,123	6,250	0,365
Σ	29,71	69,318	148,30	70,535	8,305



1 – есептік мәндер; 2 – эксперименттік.

Сурет 3.5 – Мұнай бергіштік коэффициентінің тәуелділігі айдалатын су көлемі (№1 тәжірибе)

Алынған тәуелділікті пайдалана отырып, келесі теңдеу теңгерімінің орнына қою арқылы келесідей тәуелділік көрсетіледі. Корреляция формуласы арқылы есептеуіміздің мәндік көрсеткіші сипатталады.

Ұсынылған корреляциялық тәуелділігін келесі формула бойынша анықтайық:

$$r_{xy} = \frac{\sum_i^N x_i y_i - N \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{[\sum_i^N x_i^2 - N(\bar{x})^2][\sum_i^N y_i^2 - N(\bar{y})^2]}} \quad (3.7)$$

№1 мысалда көрсетілгендей, есептеу мысалын келтірілді. № 1 тәжірибенің бастапқы деректері 3.8–кестеде келтірілген. Алынған мәндердің көмегімен теңдеуімізді сипаттаймыз.

Кесте 3.8 – №1 тәжірибенің бастапқы деректері

№	X _i	Y _i	X _i Y _i	X _i ²	Y _i ²
1	0,07	0,09	0,006	0,005	0,008
2	0,21	0,20	0,042	0,044	0,040
3	0,41	0,29	0,119	0,168	0,084
4	0,87	0,39	0,339	0,757	0,152
5	1,56	0,45	0,702	2,434	0,203
6	2,41	0,48	1,157	5,808	0,230
7	3,55	0,50	1,775	12,603	0,250
8	4,44	0,51	2,264	19,714	0,260
Σ	13,52	2,91	6,405	41,532	1,227

Бастапқы деректерді (3.8) формулаға теңестіріп алмастыра отырып, біз $r_{xy} = 0,82$ корреляция коэффициентін аламыз. T – Квантильдер Стьюденттің таралуы келесі формула бойынша анықталады:

$$t_{\text{есепт.}} = |r_{xy}| \sqrt{\frac{N-2}{1-r_{xy}^2}} < t_{\text{табл.}} = t_{\alpha; N-2} \quad (3.8)$$

мұндағы α – маңыздылық деңгейі, $N - 2$ еркіндік дәрежелерінің саны. Мәндерді алмастыра отырып, біз келесідей мәнді аламыз.

$$t_{\text{есепт.}} = 0,82 \sqrt{\frac{8-2}{1-(0,82)^2}} = 3,50 > t_{\text{табл.}} = t_{0,05; 8-2} = 2,49$$

Маңыздылық деңгейі $\alpha=0,05$ тең болды. Бұл теңдеудегі барлық критерийлер маңызды екенін білдіреді. Яғни, 3.5-суреттен тәуелділік сызықтық емес, ал есептелген тәуелділік эксперименттік тәуелділікпен бірдей екенін көруге болады.

Екінші кезеңде полиакриламид (ПАА) ерітіндісінің жиегі болған кезде сумен мұнай бергіштік коэффициентіне тәуелділікті алуға көшеміз. Бұл жағдайда келесі тәуелділік қарастырылады:

$$Y = b_0 + b_1 X_{1i} X_{2i} + b_2 X_{2i}^2 \quad (3.9)$$

Мұндағы x_1 -жиектегі ПАА ерітіндісінің концентрациясы; x_2 -кеуек көлеміндегі айдалатын судың мөлшері ($V_{\text{су.айдау}} / V_{\text{кеуек}}$) тең болса, келесі b_0, b_1, b_2 тұрақты коэффициенттерін табу үшін полиакриламид (ПАА) ерітіндісінің жиегін айдау басталғаннан кейін, алынған үш тәжірибенің нәтижелерін

ескеретін арнайы кесте жасалынды. ПАА концентрациясы 0,5 және 0,25% құрағандықтан, келесі тұрақты мәндерді анықтау үшін теңдеулер жүйесін құру және шешу қажеттілігі туындады [87–90].

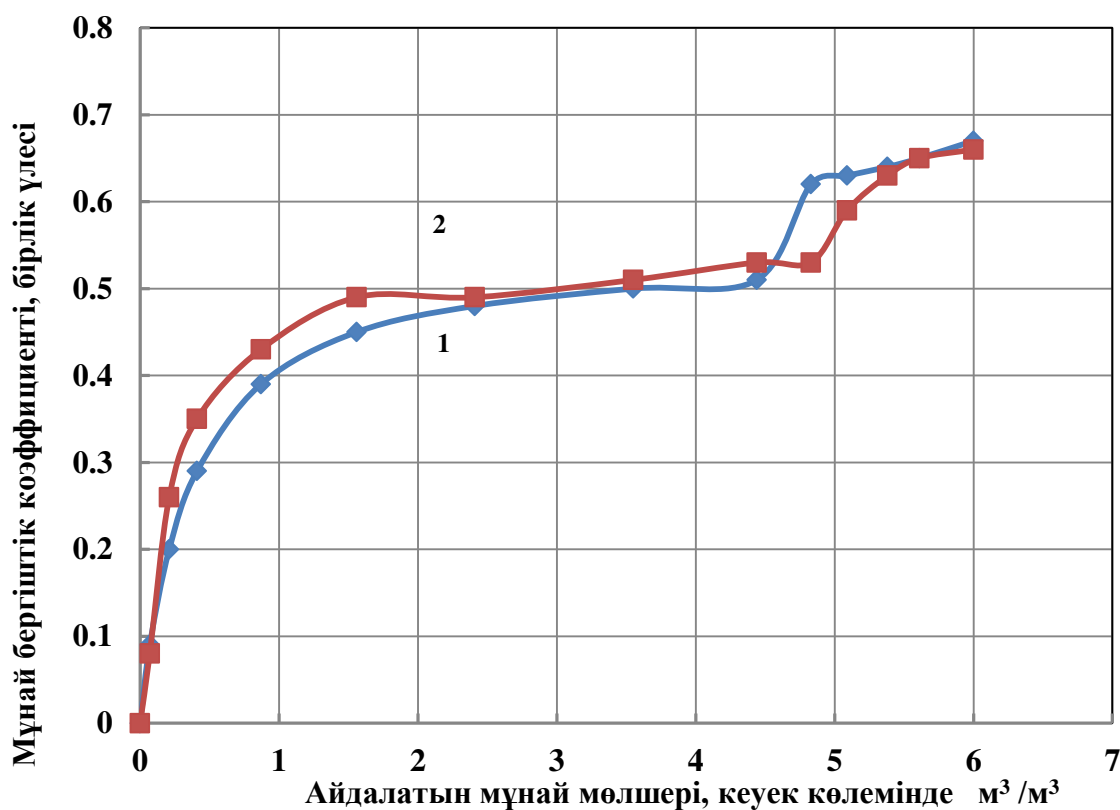
$$\begin{cases} Nb_0 + b_1 \sum_i^N X_{1i}X_{2i} + b_2 \sum_i^N X_{2i}^2 = \sum_i^N Y_i \\ b_0 \sum_i^N X_{1i}X_{2i} + b_1 \sum_i^N X_{1i}^2X_{2i}^2 + b_2 \sum_i^N X_{1i}X_{2i}^3 = \sum_i^N X_{1i}X_{2i}Y_i \\ b_0 \sum_i^N X_{2i}^2 + b_1 \sum_i^N X_{1i}X_{2i}^3 + b_2 \sum_i^N X_{2i}^4 = \sum_i^N X_{2i}^2Y_i \end{cases} \quad (3.10)$$

Осы жүйені түрлендіру барысында шешіп, тұрақты шамалардың келесі мәндерін аламыз: $b_0=0,447$; $b_1 = 0,068$; $b_2 = 0,0005$.

Соңғы түрінде мұнайдың бергіштік коэффициенті ПАА ерітіндісінің концентрациясына және айдалатын судың мөлшеріне тәуелділігі келесі теңдеуінің формуласын алады:

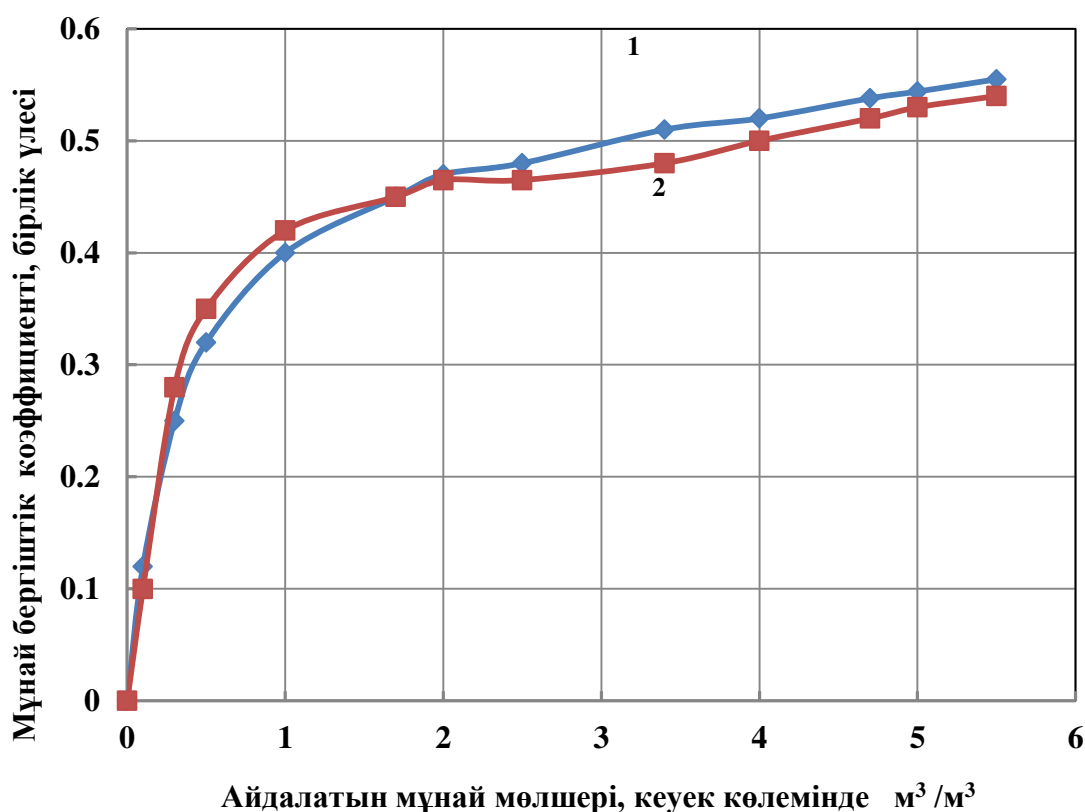
$$\eta = 0,447 + 0,068 \cdot C \cdot (V_{\text{су.айдап}} / V_{\text{кеуек}}) + 0,0005 (V_{\text{су.айдап}} / V_{\text{кеуек}})^2 \quad (3.11)$$

(3.5) және (3.11) тәуелділіктерін қолдана отырып, тәуелділік графиктері салынды $\eta=f(C, V_{\text{су.айдал}}/V_{\text{кеуек}})$, олар 3.6, 3.7-суретінде көрсетілген.



1 – есептік тәуелділік; 2 – эксперименттік.

Сурет 3.6 – Мұнайдың бергіштік коэффициентінің тәуелділігі жиігі бар айдалатын су мөлшерінен ПАА концентрациясы 0,5% (тәжірибе №1)



1 – есептік тәуелділік; 2 – эксперименттік тәуелділік.

Сурет 3.7 – Мұнайдың бергіштік коэффициентінің тәуелділігі шеті бар айдалатын су мөлшерінен ПАА концентрациясы 0,25% (тәжірибе №2)

Осылайша, (3.5) және (3.11) теңдеулерін қолдана отырып, әр түрлі концентрациядағы ПАА жиегімен мұнайды ығыстыру кезінде қосымша эксперименттер жүргізбей, мұнай бергіштік коэффициентінің анықтауға болатынын көре аламыз.

3.3 Біртекті емес қабаттарға аралас полимерлік және су-газ әсерін зерттеу

Қазіргі уақытта өнімді коллекторларда қаныққан сұйықтықтардың күрделі геологиялық құрылымы мен физика-химиялық қасиеттері бар мұнай кен орындарынигеру белсенді әсер ету әдістерін қолдана отырып жүзеге асырылады.

Тұтқырлығы жоғары мұнай кен орындарында пайдалану кезінде әртүрлі геологиялық-кәсіптік жағдайларда көрінетін асқынулардың себептерін уақтылы анықтау өзекті мәселелер болып табылады. Бұл әр түрлі кен орныдарының әрбір жұмыс істейтін мұнай кен орны коллекторлардың құрылымдық кеңістігінің өзгеруінің көлемдік сипаты бойынша да, технологиялық және технологиялық параметрлері бойынша да бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленетіндігіне байланысты.

Мұнайды тұтқыр сұйықтықтармен ығыстыру кезінде қалдық мұнаймен қанықтылықты тиімді төмендетуге негізделген қабаттардың мұнай бергіштігін арттырудың инновациялық технологияларын кеңінен қолдану игерудің кеш сатысында тұрған күрделі геологиялық құрылымдары бар көптеген мұнай кен орныдарынан тұрақты өндіруді ұзақ мерзімді қолдауды қамтамасыз етеді. Сұйықтықтардың тұтқырлығын реттеуге полимерлерді қолдану арқылы қол жеткізілетіні белгілі. Осы мақсаттар үшін полимерлердің әртүрлі маркалары қолданылады. Полимерлер су жүйелерінің реологиялық қасиеттеріне әсер етіп, әртүрлі тығыздықтағы гелдер түзе алады [91,92].

Көптеген жұмыстарды талдау көрсеткендей, полимерлерді айдау ағынды ауытқу әрекеттері арқылы өндірісті арттыру үшін де, өндіруші ұңғымалардағы су өткізбейтін материал ретінде де жүзеге асырылды [93,94]. Полимерлі ерітінділерді қолдану су қаныққан кеуекті ортаның бітелуінің немесе өткізгіштігінің төмендеуінің әртүрлі механизмдерін қолдануға мүмкіндік береді. Мұнай ұңғымасындағы су ағындарының шектелуі полиакриламидтің (ПАА) тесігінің бетіне адсорбциялану немесе тері тесігін бітеуге қабілетті айқаспалы полимерлер түзу қасиетімен түсіндіріледі. Полимер концентрациясының жоғарылауымен ерітіндінің қозғалғыштығының төмендеуі анықталды [95,96]. Полимерлі суланудың тиімділігін көрсететін көптеген жұмыстардың ішінде игерудің соңғы сатысында полимерлі су айдау туралы төмен тиімділігі айтылатын жұмыстар бар [97-99].

Әдебиетте сарқылған қабаттардан мұнай өндіруді арттыру үшін су-газ қоспасын қолдануға арналған көптеген жұмыстар бар [100,101]. Жұмыста жоғарыда аталған екі мұнай қабатына әсер ету технологиясын қолдануға негізделген технология қарастырылады [102-104].

Полимер мен ауа әсерінің үйлесімі келесі нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді:

- полимер мен көбік ерітіндісінің төмен өткізгіш аймақтарға жақсы енуіне байланысты қабаттың қамтылуын арттыру;

- мұнай мен су арасындағы фаза аралық керілудің төмендеуі, сондай-ақ неғұрлым тұрақты эмульсиялардың түзілуі есебінен мұнайдың қабаттан ығысуының ұлғаюы;

- тұрақты эмульсиялардың пайда болуы арқылы, сондай-ақ мұнайды көбікпен ығыстыру арқылы қабаттағы қалдық мұнай мөлшерін азайту;

- қысымның біркелкі бөлінуіне байланысты қабаттағы жарықтар қаупін азайту;

- полимер ерітіндісінің тұтқырлығын арттыру арқылы суландыру тиімділігін арттыру;

Зерттеу жұмысымыз ұзындығы 0,84 м және диаметрі 0,025 м болатын қабат моделінде жүргізілді және 3.1–суретінде көрсетілген.

Кеуекті орта ретінде 0,2 мм-ден аз фракциясы бар кварц құмы пайдаланылды. Бастапқы деректер мен эксперимент нәтижелері 3.9–кестеде келтірілген.

Кесте 3.9 – Бастапқы деректер мен эксперимент нәтижелері

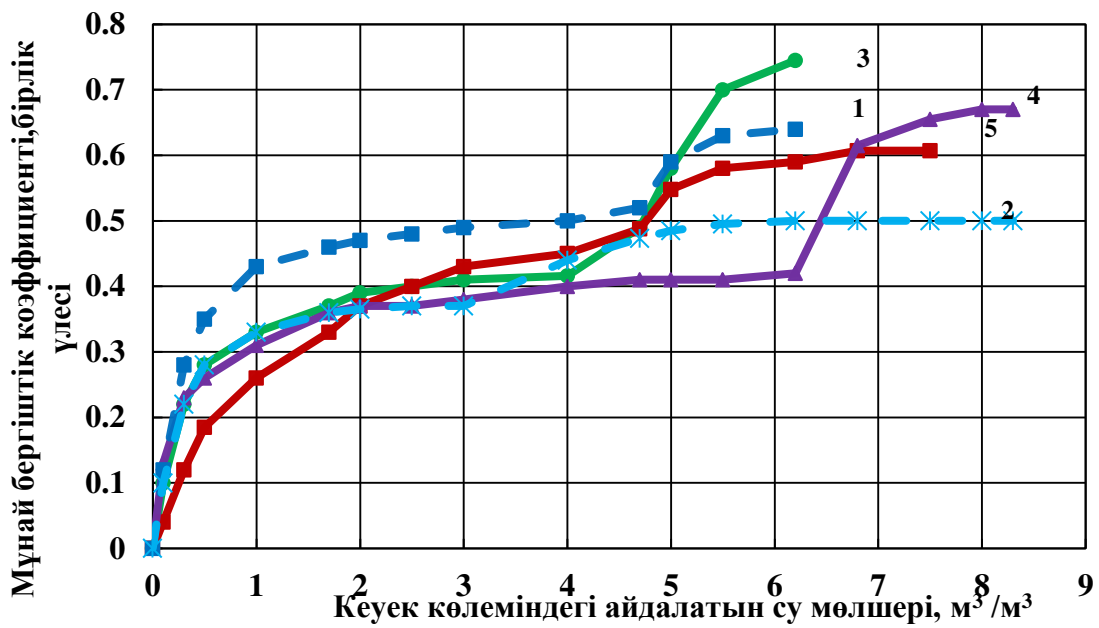
ПАРАМЕТРЛЕРІ	1	2	3	4	5	6
Су бойынша өткізгіштігі, мкм ²	1,8	1,88	1,79	1,82	1,39	1,23
Мұнаймен қанығу %	86,3	81,8	81,5	81,8	79,9	85,9
Сумен қанығуы, %	13,7	18,2	18,5	18,2	20,1	14,1
Ерітінді концентрациясы ПАА, %	0,5	0,25	0,5	0,1	0,25	-
ПАА жиегінің көлемі, үлгі көлемі	43,8	42,4	41,2	42,4	41,4	-
МБК I кезең (полимерді айдауын қолданылмай), %	51,5	42	41,6	43,7	48,1	43,8
МБК соңғы, %	65,9	54	74,5	60,7	81,5	58,5
Қосымша МБК, %	14,4	12	32,9	17,0	32,4	14,7
Қалдық мұнай қанықтылығы I кезеңнен кейін, %	41,7	50,1	47,6	44,8	40	48,1
Таңдалған су мөлшері I кезеңнен кейін, бірлік көлемі	4	3,1	4	3,6	2,5	1,35
Таңдалған су мөлшері II кезеңнен кейін, бірлік көлемі	2	2,4	1,6	3,4	5,6	1,36
Суланудың төмендеуі, бірнеше рет	2	1,3	2,5	1,05	1,93	-
Кедергі қалдық факторы, R	2,6	1,3	6,7	2,4	3,8	-
Су – газқоспасы, м ³ /нм ³	-	-	0,008	0,013	0,105	0,0015
Ерітінді тұтқырлығы ПАА, мПа·с	188	38	188	12	38	-

Кестеден барлық эксперименттерде кеуекті ортаның өткізгіштігі шамамен бірдей болғанын көруге болады. Бастапқы мұнаймен қанығу 79,9%– дан 85,9%–ға дейін өзгерді.

3.9–кестеден көріп отырғанымыздай, №1, 2, 6 тәжірибелер эталон ретінде жүзеге асырылды. №1 және №2 тәжірибелерде мұнайды ығыстыру тек ПАА ерітіндісі арқылы жүзеге асырылды. №6 тәжірибелерде сарқылу режимінен кейін мұнайды ығыстыру тек су-газ қоспасымен жүзеге асырылды. Бұл зерттеулер қабаттың кешенді әсерімен салыстырмалы талдау жүргізу үшін қажет болды. Осы талдау негізінде сарқылу режимінен кейін жасалған мұнай қабатына әсер етудің белгілі бір әдісінің тиімділігі анықталды. Осыған сүйене отырып, бастапқыда полиакриламидтің (ПАА) жиегі арқылы сарқылған қабаттан мұнайды ығыстыру үшін екі эксперимент жүргізілді. Эксперименттер келесі ретпен жүргізілді. Бастапқыда сарқылған қабат пайда болды (I кезең).

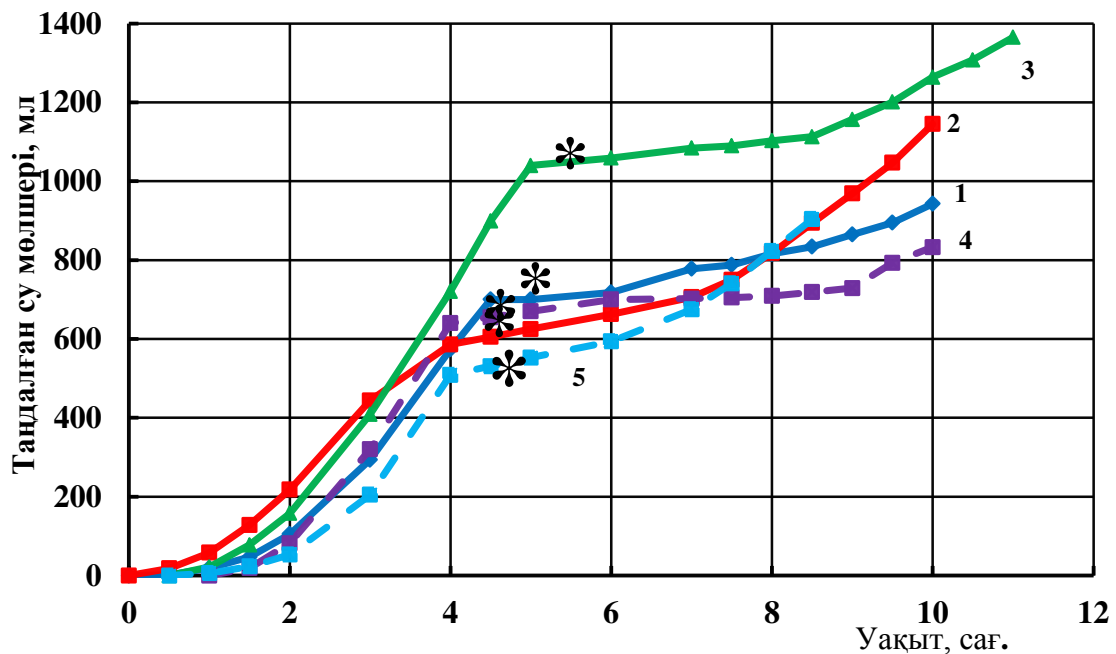
Осы мақсатта мұнайды қабаттан шығару дистилленген сумен айдау арқылы жүзеге асырылды. Дистилленген су басқа сулардағы тұздардың ығысу процесіне әсерін болдырмау үшін пайдаланылды. Су кеуектерінің 3-4 көлемін айдағаннан кейін және қабаттың моделінен шығатын өнімдерде мұнайдың болуы дерлік тоқтағаннан кейін ығысу процесі аяқталды. Бұл жағдайда қабатта әлі де жеткілікті мұнай қалды.

3.9 – кестеде қабаттан мұнай бергіштік коэффициентінің мәндері және I кезеңнен кейінгі №1 және 2 тәжірибелердегі қалдық мұнай қанықтылығы келтірілген (сурет – 3.8).



1 – тәжірибе №1 4,4-4,8 м³/м³ су көлемінің аралығындағы жиекті айдау; 2 – тәжірибе №2 3,4-3,8 м³/м³ су көлемінің аралығындағы жиекті айдау; 3 – тәжірибе №3 4,3-4,5 м³/м³ су көлемінің аралығындағы жиекті айдау; 4 – тәжірибе №4 6,5-6,9 м³/м³ су көлемінің аралығындағы жиекті айдау; 5 – тәжірибе №5 3,9-4,4 м³/м³ су көлемінің аралығындағы жиекті айдау.

Сурет 3.8 – Мұнай бергіштік коэффициентінің су көлеміне тәуелділігі



1 – №1 тәжірибе, 2 – №2 тәжірибе, 3 – №3 тәжірибе, 4 – №4 тәжірибе, 5 – №5 тәжірибе.

Сурет 3.9 – Тәжірибелерде айдалынатын судың динамикасы

3.8, 3.9-суреттерінде бір кезеңде тандалған судың көлемі, тиісінше, №1 тәжірибеде-4 кеуекті көлем, ал №2 тәжірибеде-3,1 кеуекті көлемін құрады. Көріп отырғаныңыздай, қабаттарда әлі де жеткілікті мұнай бар, оны алу керек. Осылайша, сарқылған қабатты жетілдіру үшін экспозицияның қайталама әдісін қолдану қажет.

Біздің жағдайда полиакриламидті қолдану туралы шешім қабылданды. Осыған сүйене отырып, 0,5% (№1 тәжірибе) және 0,25% (№2 тәжірибе) концентрациясы бар ПАА ерітіндісінің жиегі қабатқа айдалды. ПАА ерітіндісінің жиегі дистилленген сумен қабатқа итеріледі. Концентрацияға байланысты ПАА ерітіндісінің жиектерінің тұтқырлығы судың тұтқырлығынан әлдеқайда жоғары (3.9 – кесте). Бұл айдалатын судың қозғалғыштығының төмендеуіне, кварц құмының дәндеріндегі полимердің ішінара адсорбциясына ықпал етеді. Мұның бәрі қалдық кедергі факторының өсуіне және қабат моделінен шығуда су ағынының төмендеуіне әкеледі. Қалдық кедергі факторы формула бойынша анықталады:

$$R = n_p \cdot n_q \quad (3.11)$$

$$n_p = \Delta P_{\text{п}} / \Delta P_0, \quad n_q = q_0 / q_{\text{п}} \quad (3.12)$$

мұндағы: $\Delta P_{\text{п}}$ және $q_{\text{п}}$ – ПАА айдағаннан кейінгі қысымның төмендеуі және сұйықтық ағыны;

ΔP_0 и q_0 – ПАА айдау алдында қысымның төмендеуі және сұйықтық ағыны.

Қалдық кедергі факторы №1 тәжірибеде $R=2,6$ ал №2 тәжірибеде $R=1,3$ болды. 3.9 кестеден және 3.8-суреттен көріп отырғаныңыздай. (1 және 2 графиктер) моделден шыққан су қабатының мөлшері №1 тәжірибеде 1,89 есе және №2 тәжірибеде 1,29 есе азайды. Айта кету керек, ПАА жиегі жылжыған сайын кеуекті ортада полимердің адсорбциясы, оны сұйылту жүреді, бұл ерітіндінің тұтқырлығының төмендеуіне әкеледі. Судың жартылай шығуына қарай жүреді. Бұл алынатын су мөлшерінің өсуіне және алынатын мұнай көлемінің төмендеуіне әкеледі (сурет–3.6 және сурет–3.7). №1 және 2 тәжірибелердегі мұнайдың соңғы бергіштік коэффициенті сәйкесінше 65,9% және 54% құрады (сурет-3.8, 1 және 2 графиктер). Суреттен ПАА концентрациясы неғұрлым жоғары болса, яғни ПАА ерітіндісінің жиегі дайындалған су неғұрлым қоюланған болса, үрдістің көрсеткіштері соғұрлым жоғары болады. Осыған қарамастан, есептеулер көрсеткендей, қабаттарда әлі де жеткілікті мөлшерде мұнай бар екенін көрсетеді: қалдық мұнаймен қанығу көрсеткіші №1 тәжірибеде – 41,7%, ал №2 тәжірибеде – 50,1% құрады.

Осы тәжірибелердің нәтижелері қабаттан қосымша мұнай бергіштік үшін жаңа технологияны қолдану қажет екенін көрсетеді. Осындай технологиялардың бірі су-ауа қоспасын қолдану (немесе жалпы атауы – су- газ қоспасы) болып табылады

Осы мақсатты жүзеге асыру үшін, ұсынылған қабаттың моделіне құйылған ПАА ерітіндісінің жиектерін су-газ қоспасымен қабат бойымен жүргізу. Эксперименттік зерттеулеріміз екі кезеңде жүргізілді. Бірінші кезеңде мұнайды дистилленген сумен ығыстыру жүзеге асырылды. Бірінші кезеңнің соңы, судың кеуекті көлемінің 4-6 қабаты арқылы айдау арқылы анықталды немесе №1 және 2 тәжірибелерге ұқсас қабат моделінде мұнайдың болмауына байланысты анықталды. Осылайша, сарқылу режимінде қабаттың даму үрдісі жүзеге асырылды. Барлық тәжірибелерде қалдық мұнаймен қанығу жоғары болды, ал мұнайды алу көрсеткіші аз болды (3.9–кесте және сурет–3.8). Сондықтан сарқылған қабаттан мұнайдың көрсеткішін қосымша өсуін қамтамасыз ету үшін, ПАА ерітіндісінің жиегін қабатта орын ауыстыруына немесе қозғалуы үшін шешім қабылданды. Яғни, арнайы Су-ауа қоспасын айдау арқылы жүзеге асырылады. Реттік нөмері №3,4,5 тәжірибелердегі екінші кезеңге көшу кеуек көлемінің 41,2-43,8% мөлшерінде 0,1; 0,25 және 0,5% концентрациялары бар ПАА ерітіндісін қабатқа айдау арқылы жүзеге асырылды (3.9–кесте).

Полимерді қабат бойымен айдау су-ауа қоспасымен жүзеге асырылды. Су-ауа қоспасын итергіш агент ретінде, қолданылатын ауа мен судың қабатта эмульсия түзулуіне әкелді. Бұл айдалатын эмульсияның тұтқырлығы, яғни түзелген эмульсияның, судың тұтқырлығынан, әсіресе ауаның тұтқырлығынан ерекшеленеді. Қабат жағдайындағы қоспаның тұтқырлығы полимерлі суланудың тиімділігіне әсер ететін маңызды параметр болып табылады. Қоспаның тұтқырлығы неғұрлым жоғары болса, соғұрлым ол мұнайды қабаттан жақсы шығарады. Алайда, қоспаның тұтқырлығы тым жоғары болса, оны қабатқа айдауда қиындықтар туындауы мүмкін.

Қабат жағдайындағы қоспаның тұтқырлығын өзгертілген Эйнштейн формуласы арқылы анықтауға болады:

$$\mu_{см} = \mu_0(1 + 2,4R_c) , \quad (3.13)$$

мұндағы μ_0 – судың тұтқырлығы, мПа·с; R_c – қабат жағдайындағы су-газ қоспасындағы ауаның (газдың) көлемдік үлесі.

$$R_c = \frac{V_{гкж}}{V_{гкж} + V_{су.айдал}} \quad (3.14)$$

мұндағы $V_{гкж}$ – қабаттық жағдайларда айдалатын газдың (ауаның) көлемі, м³;

$V_{су.айдал}$ – айдалатын су көлемі, м³.

Қоспаның тұтқырлық формуласын қолдана отырып (3.10-кесте), нөмері №4 тәжірибе мысалында алынған, су-газ қатынасына байланысты қоспаның тұтқырлығының өзгеруін есептейміз және 3.10 кестесінде көрсетілген. Яғни, формуларымызды сипаттаймыз:

$$V_{г,каб.ж} = \frac{V_{г,кж}}{P_{кк}} \quad (3.15)$$

$$B = \frac{\sum V_{cy}}{\sum V_{г,к,ж}} \quad (3.16)$$

мұндағы: $V_{г,к,ж}$ – қалыпты жағдайдағы газ көлемі;

$R_{кқ}$ – қабат қысымы;

B – су-газ қатынасы;

$\sum V_{cy}$ – жиналынған судың көлемі;

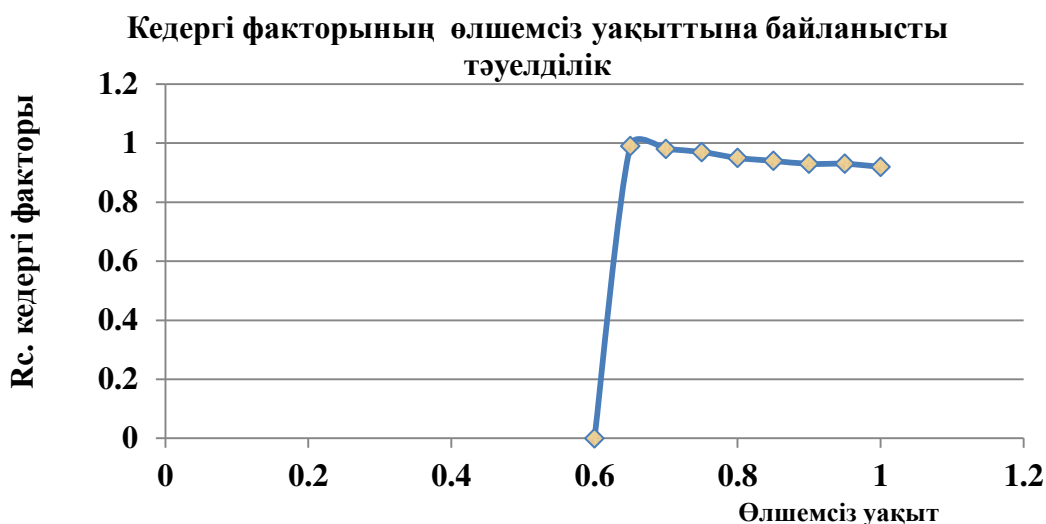
$\sum V_{г,к,ж}$ – қалыпты жағдайдағы жинақталған газ көлемі.

Кесте 3.10 – Есептеу нәтижелері көрсетілген

Өлшемсіз уақыт	$V_{г,к,ж}$ см ³	$\sum V_{г,к,ж}$ см ³	V_{cy} см ³	$V_{г,каб.ж}$ см ³	$(V_{г,каб.ж} + V_{cy})$ см ³	R_c	μ_{cm} мПа·с	$\sum V_{cy}$ см ³	$B \times 10^{-3}$ м ³ /нм ³
0,4	-	-	-	-	-	-			
0,6	-	-	-	-	-	0	0,7679	0	0
0,65	6000	6000	13	1875	1838	0,99	2,6	13	2,0
0,7	4000	10000	32	667	699	0,98	2,57	45	4,5
0,75	3000	13000	52	366	418	0,97	2,56	97	7,5
0,8	4000	17000	72	487	559	0,95	2,52	169	9,9
0,85	4000	21000	78	487	565	0,94	2,50	247	11,8
0,9	6000	27000	76	732	808	0,93	2,48	323	12,0
0,95	7000	34000	79	854	933	0,93	2,48	402	11,8
1,0	3000	37000	98	366	464	0,92	2,46	500	13,5

Қарсылық факторының өлшемсіз уақытқа тәуелділік графигі кеуекті ортадағы сұйықтық ағынының кедергісі уақыт өте келе қалай өзгеретінін көрсетеді. Өлшемсіз уақыт-бұл белгілі бір уақыт шамасына нормаланған уақыт. Кеуекті ортадағы сұйықтық ағыны жағдайында тән уақыт мөлшері сұйықтықтың кеуекті ортада белгілі бір нүктеге жетуіне кететін уақыт болуы мүмкін.

Сүзу процесінің басында қарсылық факторы үлкен, өйткені сұйықтық кеуекті ортаға еніп, кеуектің тесіктерін толтырады. Содан кейін кедергі факторы азаяды, өйткені сұйықтық газды немесе мұнайды кеуекті ортадан шығара бастайды. Ақыр соңында, кедергі факторы қайтадан артады, өйткені кеуекті орта сұйықтықпен толтырылады және сұйықтықтың одан әрі қозғалысы қиындайды.



Сурет 3.10 – Кедергі факторының өлшемсіз уақыттына байланысты тәуелділік

Кеуекті ортадағы сүзу процесінің тиімділігін бағалау үшін кедергі факторының өлшемсіз уақытқа тәуелділік графигі қолданылады. Ол сондай-ақ кеуекті ортада сұйықтық ағынының белгілі бір жылдамдығын ұстап тұру үшін қажетті қысымды болжау үшін қолданылады. Кедергі уақытының өлшемсіз уақытқа тәуелділік графигінің сипаттамасы 3.10–суретінде ұсынылған.

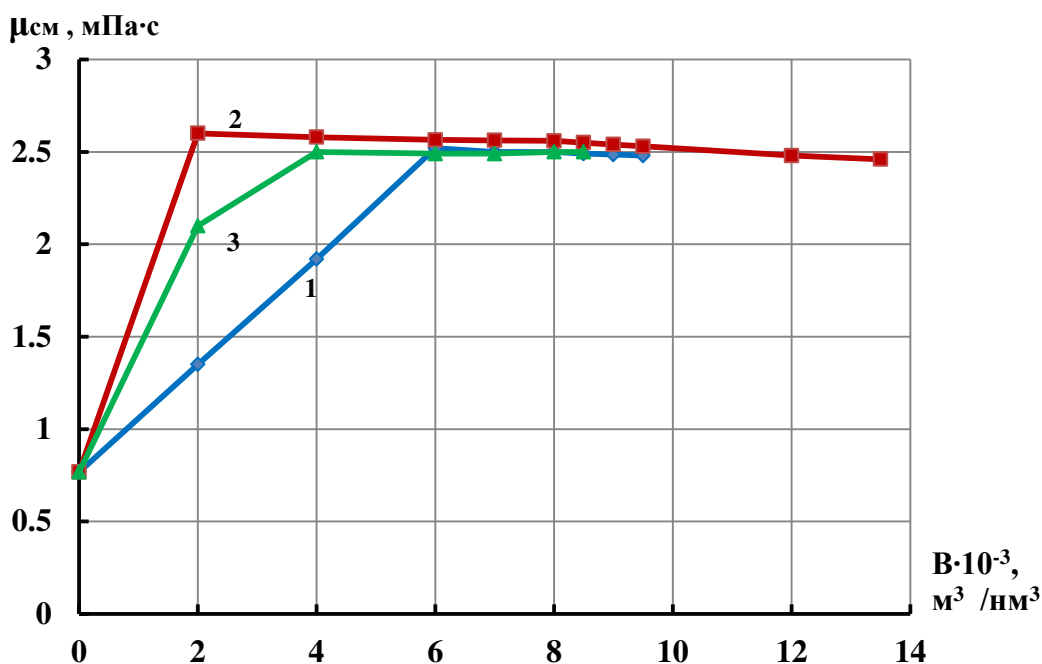
Есептеу нәтижелері 3.10–суретте көрсетілген. (3.14) формуласынан көріп отырғанымыздай, газ қоспасындағы газдың көлемдік үлесі газдың көлеміне және айдалатын суға байланысты. Көбінесе бұл көрсеткіш айдалатын судың көлеміне байланысты. Басқалары тең болған кезде, су неғұрлым аз болса, R_c соғұрлым көп болады, сондықтан қоспаның тұтқырлығы соғұрлым жоғары болады. Су-газ қоспасының тұтқырлығының жоғарылауы ПАА ерітіндісінің қабатқа шегінуін тиімдірек жылжытады, сондықтан мұнайды қабаттан ығыстыруды толығымен жүзеге асырады.

Су-газ қоспасының тұтқырлығын арттыру шын мәнінде полиакриламид (ПАА) ерітіндісінің жиегін тиімдірек жылжытуға ықпал етуі мүмкін. Айдалатын судың көлемі азайған кезде газ қоспасындағы газдың көлемдік үлесі артады. Бұл қоспаның тұтқырлық коэффициентінің жоғарылауына әкеледі. Қоспаның жоғары тұтқырлығы оның ПАА ерітіндісінің жиегі сияқты кеуекті орта арқылы тиімді қозғалу қабілетін жақсартып алады. Қоспаның тұтқырлығының жоғарылауы ПАА ерітіндісін тау жыныстарының тесіктері мен жарықтарында жақсы бақылауға және біркелкі таратуға ықпал етуі мүмкін, бұл өз кезегінде өңдеу процесінің немесе басқа процестердің тиімділігін арттыруы мүмкіндігін көрсетеді.

Сонымен қатар, алынған судың мөлшері азаяды. 3.9–суретте бұл анық көрсетілген және 3.1–кестеде (15-баған) бұл төмендеу дәрежесі көрсетілген. 3.11–суретінде су-газ қоспасының тұтқырлығының су–газ қатынасынан өзгеруі келтірілген. Біз су-газ қоспасының қатынасының белгілі бір мөлшеріне дейін қоспаның тұтқырлығы өсетінін көре аламыз. Содан кейін олардың

тұрақтануы жүреді. Көріп отырғаныңыздай, тұтқырлық мәндерін тұрақтандырудың басталуы ПАА ерітіндісінің концентрациясына байланысты.

Ерітіндінің концентрациясы неғұрлым аз болса, соғұрлым максималды мәнге тез жетеді және болашақта су-газ қатынасының өсуімен ол іс жүзінде тұрақты болып қалады. Бұл тәжірибелердегі қалдық кедергі факторының әртүрлі мөлшеріне байланысты болуы мүмкін (3.9-кесте). Концентрация неғұрлым аз болса және сәйкесінше қалдық кедергі факторы болса, соғұрлым жоғары тұтқыр эмульсия қабатта тез қалыптасады.



Сурет 3.11 – Қоспаның тұтқырлығының су-газ қатынасына тәуелділігі

Тұтқырлығы жоғары эмульсия жиектерді сұйылтуға бейім емес болғандықтан, оның қасиеттерін ұзақ уақыт сақтайды, сондықтан су ағынының төмен мөлшерінде мұнайды жақсы ығыстырады. Қоспаның тұтқырлығы (әдетте полимерлер қосылған) су-газ қатынасына байланысты өзгеруі мүмкін. Су-газ қатынасы қоспадағы газ бен су көлемінің арақатынасын анықтайды. Су-газ қатынасының жоғарылауымен қоспаның тұтқырлығы әдетте төмендейді. Бұл судың газбен сұйылтылуына байланысты қоспадағы полимер молекулалары (немесе басқа қоспалар) арасындағы өзара әрекеттесудің төмендеуіне байланысты. Су-газ қатынасының артуы бірнеше себептерге байланысты тиімдірек процеске ықпал етуі мүмкін:

Қоспаның тұтқырлығының төмендеуі әдетте тау жыныстарының өткізгіштігінің жоғарылауымен байланысты. Бұл қоспаның (полимерлермен және басқа қоспалармен) кеуекке жақсы енуіне ықпал етуі мүмкін, бұл дегеніміз мұнай бергіштік үрдісінің тиімділігін арттыруы мүмкін.

Тұтқырлығы төмен болған кезде қоспаны біркелкі қабатта таратуға болады, бұл мұнайдың біркелкі және тиімді өндірілуіне ықпал етеді.

Қоспаның төмен тұтқырлығы оны қабат арқылы жылжыту үшін аз энергияны қажет етеді, ал тұтқырлығы төмен болса, қоспасы тау жыныстарының кеуектеріне оңай еніп, мұнай өндіру жылдамдығын арттыруы мүмкін. Су-газ қатынасын арттыру арқылы қоспаның тұтқырлығын азайту мұнай алудың тиімдірек үрдісіне әкелуі мүмкін, процесті оңтайландыру және жақсы нәтижелерге қол жеткізу үшін қабат құрылымы, полимер түрі, ұңғыманың жұмыс параметрлері және басқа жағдайлар сияқты басқа факторларды ескеру қажет.

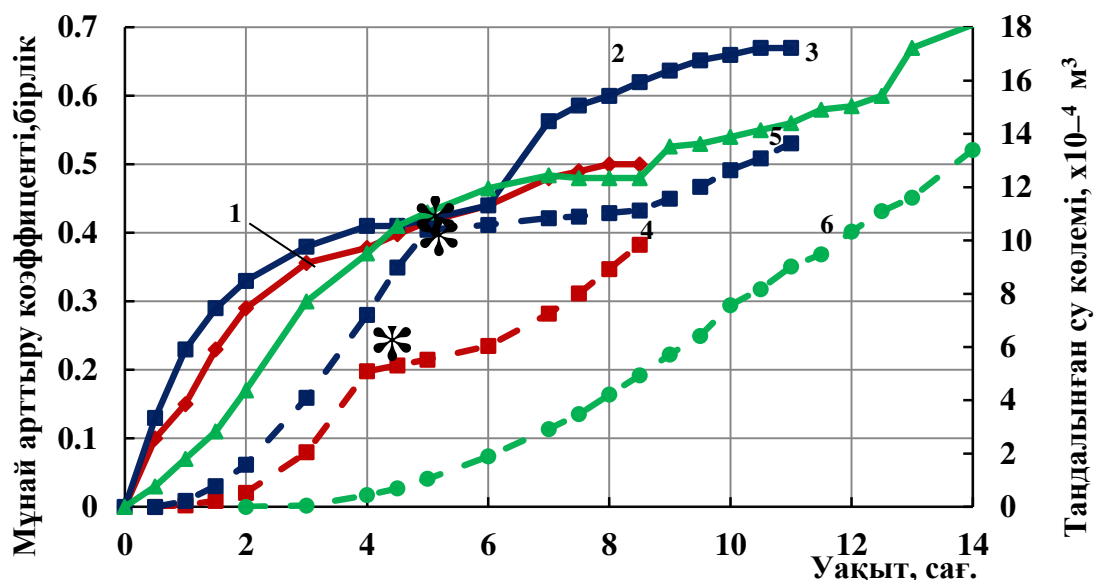
Мұнайдың бергіштік коэффициентінің өсуі байқалады және алынған судың мөлшері азаяды (3.9–кесте және 3.8, 3.9–суреттер). Шегі арқылы өткен су, бірақ газ ағынына үлкен әсер етпейді.

Тәжірибелердің үшінші сериясы су-газ қоспасының сарқылу режимінен кейін мұнай бергіштік коэффициентін қарастырылды. І кезеңнен кейінгі қалдық мұнаймен қанығу: №6 тәжірибеде-48,1%. Қосымша мұнай бергішті күшін су-газ қоспасы қабатқа құйылды: №6 тәжірибеде орташа мәні $0,0015 \text{ м}^3/\text{нм}^3$ болды. Қоспаның тұтқырлығы судың тұтқырлығынан айтарлықтай ерекшеленеді, бұл мұнайдың жақсы ығысуына ықпал етеді.

Зерттеу нәтижелері қоспаның тұтқырлығы неғұрлым жоғары болса (яғни, су-газ қатынасының мөлшері неғұрлым көп болса), процесс соғұрлым тиімді болатынын көрсетті. №6 тәжірибеде іріктелген мұнай көлемі–14,7%. Тәжірибелердің 3 сериясын салыстырмалы талдау (полимермен, полимермен +су-ауа және су-газ қоспасымен) су-газ қоспасын пайдаланудың артықшылығын көрсетті (3.10 және 3.11 – суреттер).

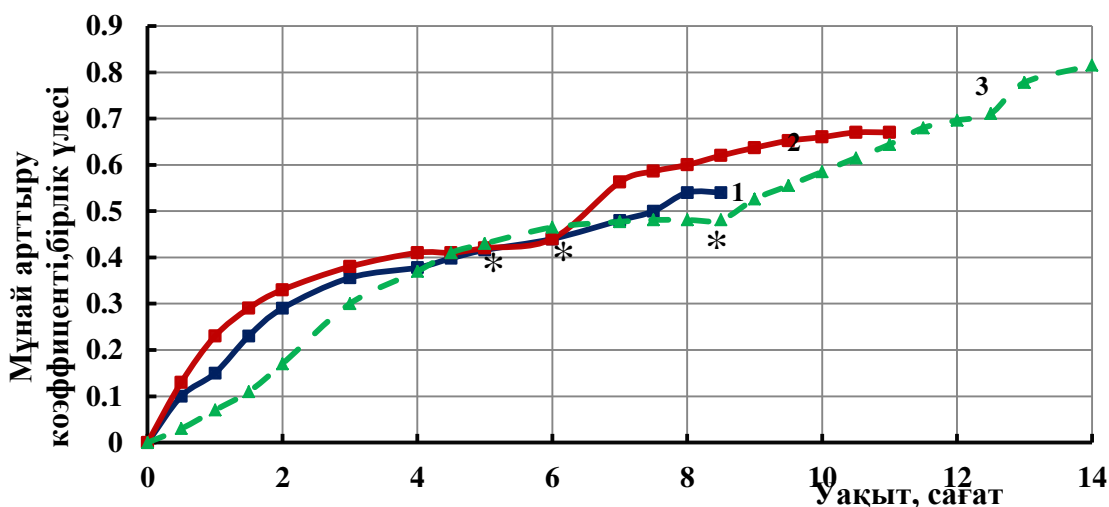
Суреттерден көріп отырғанымыздай, су-газ қоспасын пайдалана отырып, қалдық мұнайды қабаттан ығыстыруды 0,25 және 0,5% концентрациядағы ПАА пайдаланумен салыстырғанда, сондай-ақ су-газ қоспасын айдай отырып, 0,25 және 0,5% концентрациясы бар ПАА жиегімен мұнайды ығыстыру жөніндегі тәжірибелермен салыстырғанда тиімдірек емес. Басқа тәжірибелермен салыстырғанда, су-газ қоспасын қолдану арқылы №6 тәжірибеде қосымша мұнай өндіру әлдеқайда аз болды.

Мұнайды алу көрсеткішінің су-газ қоспасын қолданған кезде 0,5% концентрациясы бар ПАА жиегінің су-газ ығыстыруын қолданумен салыстырғанда 17,7% аз, ал су-газ қоспасынан ПАА жиегімен (0,5%) мұнай ығыстырған кезде оңтайлы сәт соңғы мұнай өндіруге жылдам қол жеткізу болып табылады. 3.12,3.13-суреттерінде мұнайдың бергіштік коэффициент динамикасы көрсетілген.



1– № 2 тәжірибе ПАА ерітіндісінің 0,25% жиегі, сумен ығыстыру (4-5 сағ); 2– № 5 тәжірибе ПАА ерітіндісінің 0,25% жиегі , сумен ығыстыру су – ауа қоспасы (5 сағ); 3–тәжірибе № 6 су – ауа қоспасы (басталуы 8,5 сағ); *– ПАА мен су – газ қоспасын айдауды бастау.

Сурет 3.12 – Мұнайдың бергіштік коэффициентінің динамикасы



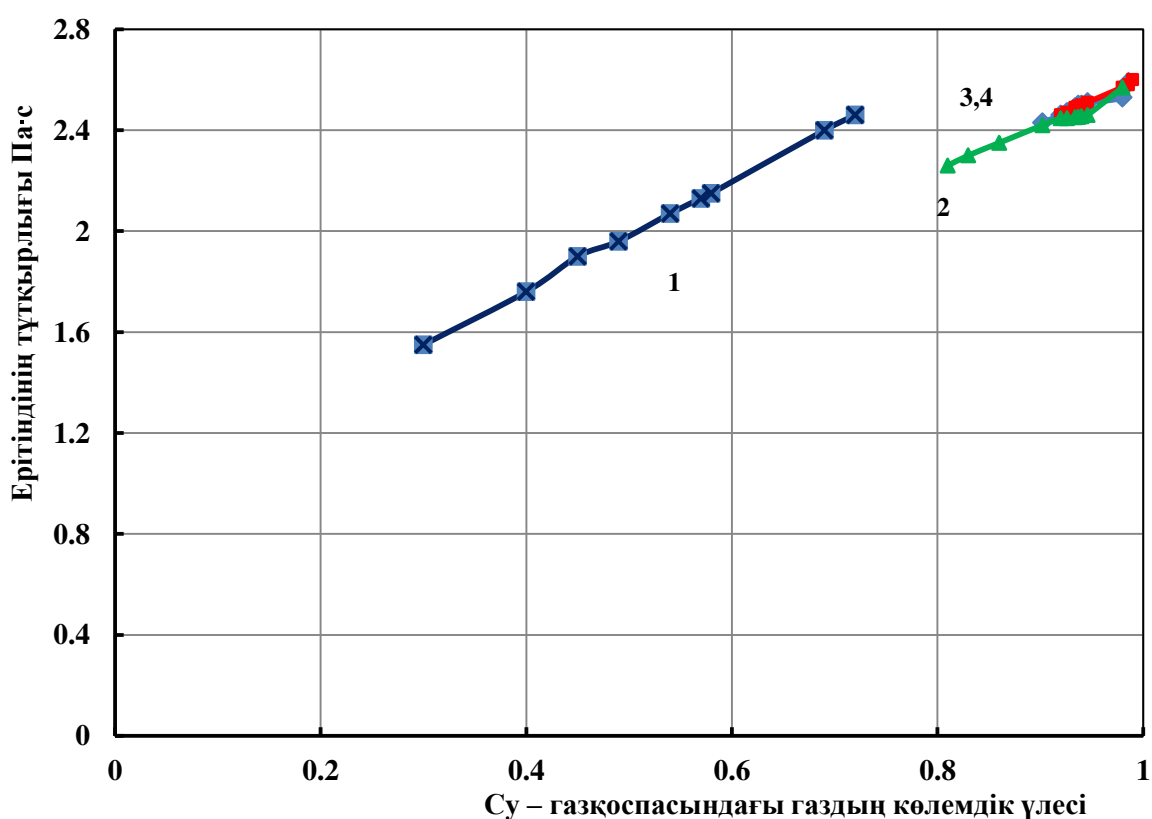
1– №1 тәжірибе ПАА ерітіндісінің 0,5% жиегі, судың ығысуы (4 сағ); 2– №3 тәжірибе ПАА ерітіндісінің 0,5% жиегі, су-газ қоспасы (4-4, 25 сағ); 3 – тәжірибе № 5 ПАА ерітіндісінің 0,5 % ығысуы, су-газ қоспасы (8,5сағ); *– ПАА мен су-газ қоспасын айдаудың басталуы.

Сурет 3.13 – Мұнай бергіштік коэффициентінің динамикасы

Суреттерде және 3.9–кестеде келтірілген нәтижелерді салыстыра отырып, қорытындылауға болады: тиімді ығыстыру үшін және экономикалық тұрғыдан 0,5% концентрациясы бар ПАА жиегі бар су-газ қоспасын қолданған дұрыс.

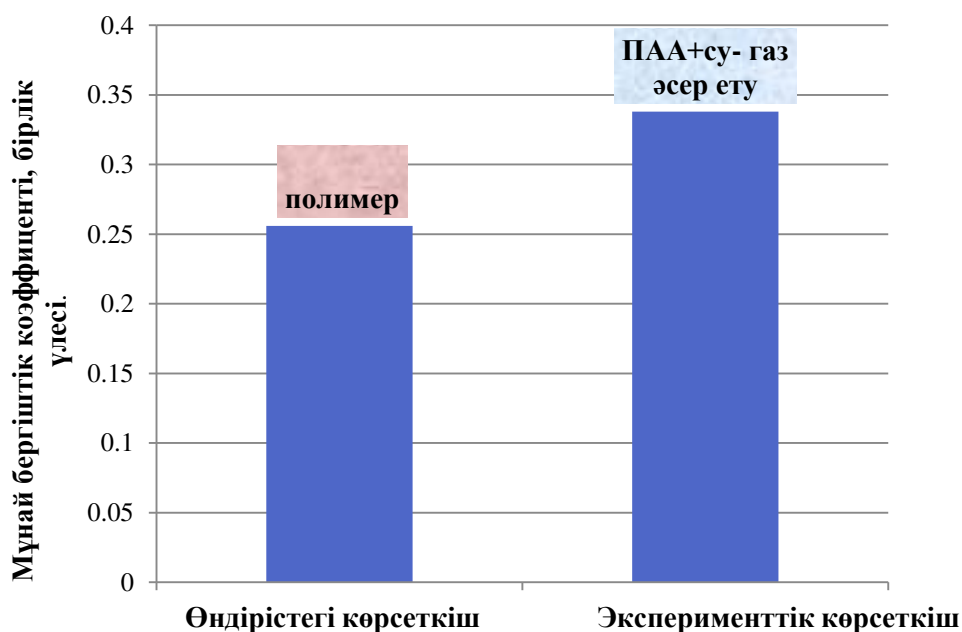
(3.13) формуласына сүйене отырып, су-газ қоспасының тұтқырлығы су-газ қоспасындағы (R) ауаның (газдың) көлемдік үлесіне байланысты. 3.14–суретте бұл тәуелділік барлық тәжірибелер үшін берілген. 3.14–суреттен көрініп тұрғандай, бұл тәуелділік сызықты теңдеуді көрсетеді.

Комплексті әсер ету кезінде тұтқырлықтың газдың көлемдік үлесіне тікелей тәуелділігі мұнайды тек су-газ қоспасымен ығыстыру процесінде алынған тұтқырлықтан жоғары болады. Қабатта тұтқырлығы жоғары полимер ерітіндісінің болуы, ең алдымен, су-газ қоспасындағы газ мөлшерінің артуына ықпал етеді, бұл қоспаның тұтқырлығының өсуіне әкеледі. Тұтқырлықтың газ қоспасындағы (R) газдың көлемдік үлесіне тәуелділігі кешенді әсер ету кезінде өзгерістің шектеулі аралығында (R) орналасатынын айтуға болады.



1 – тәжірибе №6 мұнайды ығыстыру ІІ кезеңде тек су-газ қоспасы арқылы; 2 – тәжірибе №3 мұнайды ығыстыру ІІ кезеңде ПАА ерітіндісімен (0,5%) су-газ қоспасымен ығыстыру, 3,4 – №4 және 5 тәжірибелер мұнайды ығыстыру ІІ кезеңде ПАА ерітіндісімен (0,1% және 0,25%) және су-газ қоспасымен ығыстыру.

Сурет 3.14 – Қабат жағдайындағы қоспаның тұтқырлығының су-газ қоспасындағы газдың көлемдік үлесіне тәуелділігі



Сурет 3.15 – Мұнай бергіштіктің тиімділік көрсеткіші

3.15–суретінде көрсетілгендей, полимерлі сулану кезіндегі мұнай бергіш коэффициентінің мәнімен, қазіргі ПАА+су-газ әсерін пайдалану барысындағы мұнай бергіштік коэффициентінің мәні салыстырмалы түрде жоғарлағанын көруге болады.

Яғни, су-газ қоспасының әрекеті қоспаның сумен салыстырғанда тұтқырлығының өзгеруіне, сондай-ақ газдың бір бөлігін мұнайда ерітуге негізделген және осылайша мұнайдың тұтқырлығының төмендеуіне ықпал етеді. Бұл бірге өндірілетін мұнай мөлшерінің өсуіне әкеледі. Су-газ қатынасының белгілі бір мәнімен қоспаның тұтқырлығы оның тұрақтануына жетеді (сурет 3.12). ПАА ерітіндісінің концентрациясының әрбір мәні үшін бұл (В) мәні. Тәжірибелердегі су-газ қоспасының тұрақтандырылған тұтқырлығының орташа мәні 2,5 мПа құрады. Сонымен қатар, барлық концентрациялар үшін су-газ қатынасы $0,006 \text{ м}^3/\text{нм}^3$ -тен асқан кезде тұтқырлық тұрақты болады.

Осылайша, полимер ерітіндісі мен су-газ қоспасын қолдану тиімді технология екенін атап өтуге болады. Бұл мұнайды қабаттан шығару тиімділігін жақсартуға, сондай-ақ өндіруші ұңғымаларға су ағынын азайтуға мүмкіндік береді. Бұл технология біртекті емес қабаттарда жақсы көрсеткіш көрсетеді. Салыстырмалы талдау нәтижесі, мұнайдың ПАА ерітіндісін су-газ қоспасымен ығыстыру тиімділігі, су-газ қоспасымен ығыстыруға қарағанда жоғары екенін көрсетті (сурет – 3.13).

3.4 Техника-экономикалық көрсеткіштерінің бағалануы

ПАА суландыру технологиясын және ПАА+су-газ суландыру әдісін қолдану тиімділігін бағалау үшін гидродинамикалық үлгінің әртүрлі есептік нұсқалар нәтижелерінің тиімділігіне талдау жүргізілді.

Гидродинамикалық үлгі құрудың басты мақсаты игеруді жоспарлау және геологиялық-техникалық іс-шаралардың нәтижелерін болжау мүмкіндігі болып табылатындықтан, үлгі игеру процесін толықтай сипаттауға тиіс болатын.

Кешенді әдістердің техника-экономикалық тиімділігін анықтау барысында, гидродинамикалық үлгі арқылы болжау мәліметтерінің агенттерді айдаудың әртүрлі нұсқаларын бағалау үшін сектор кесіп алынып, 1131 және 1132 айдау ұңғымаларының әрекет етуінің бірінші қатарындағы ұңғымалар ғана талданылды, қалған ұңғымалар қабаттардың шекаралық жағдайларының шынайылығы үшін үлгіге қатысты. Бұл тәсіл секторлық үлгілеу кезінде стандартты болып табылады, өйткені сектор шектеулі, нақты секторда өзара ықпалдастығы бар ұңғымалар бар.

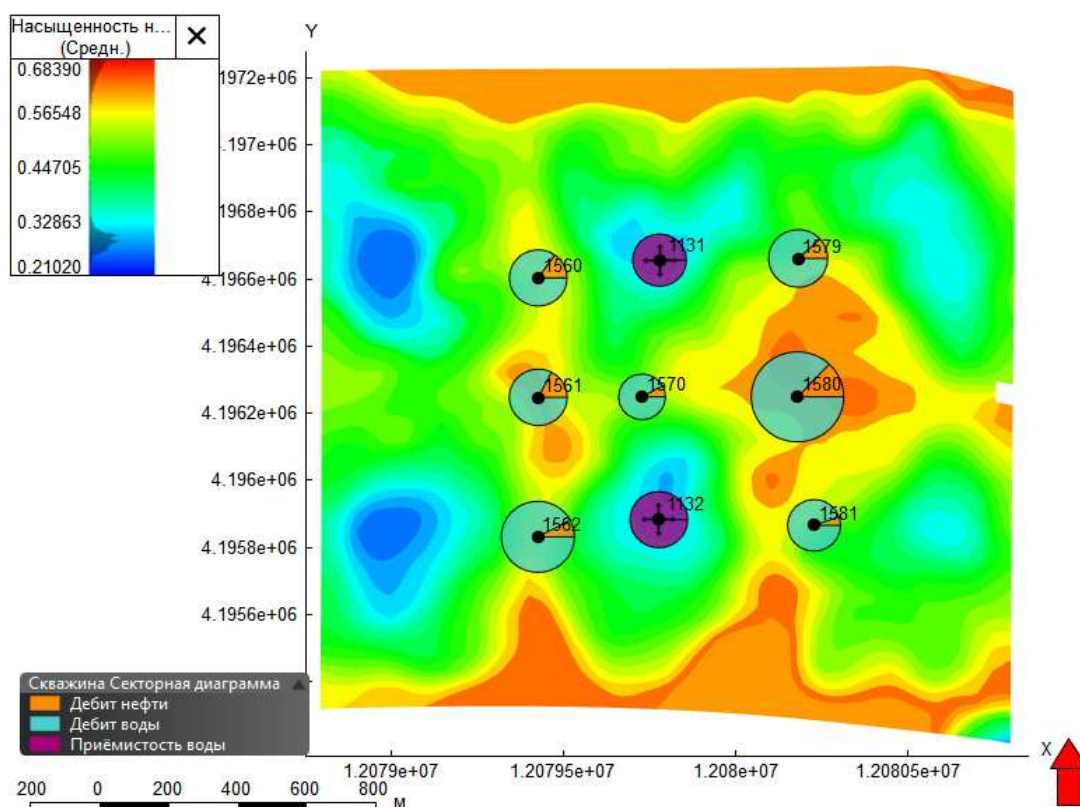
10 жылға арналған болжам 3 нұсқада орындалды:

1 нұсқа - 1131 және 1132 ұңғымаларға су айдау;

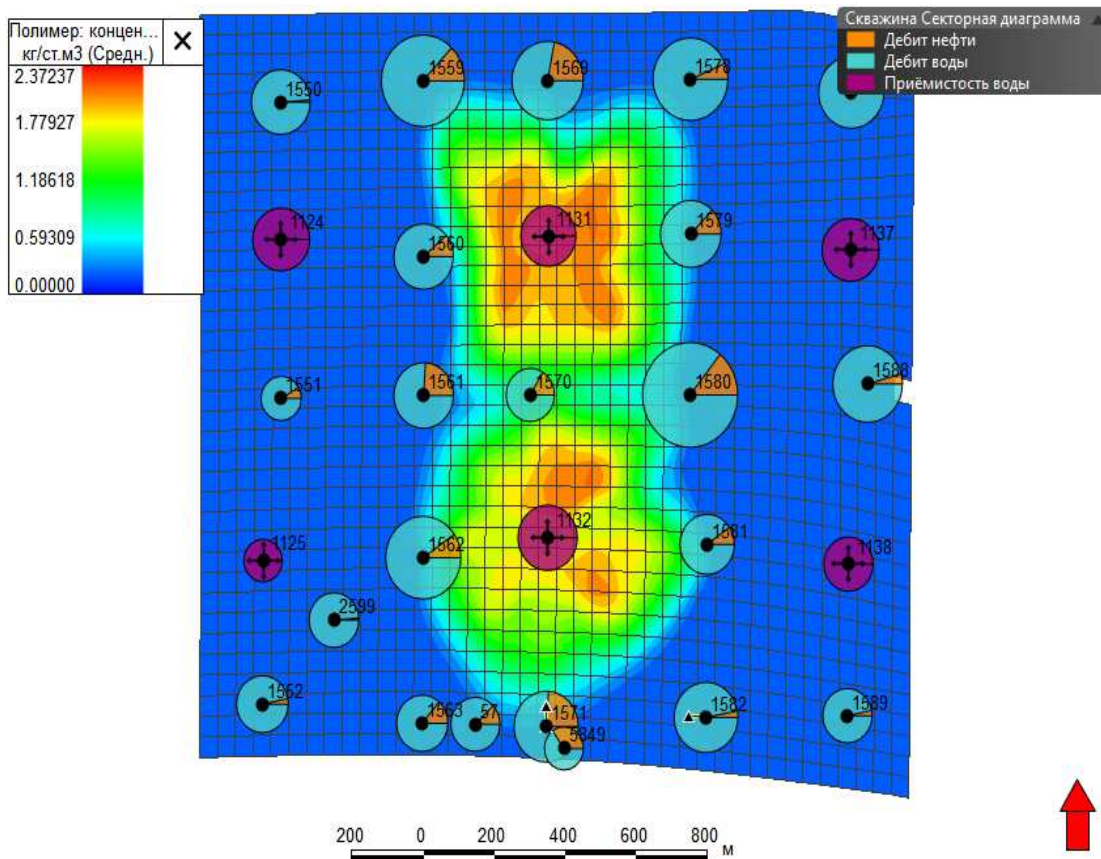
2-нұсқа - 1131 және 1132 ұңғымаларға 2,5 мг/л концентрациясымен полимерді айдау;

3 нұсқа - 1131 және 1132 ұңғымаларға жарты жыл кезеңділігімен полимерлер мен газды кезекпен айдау.

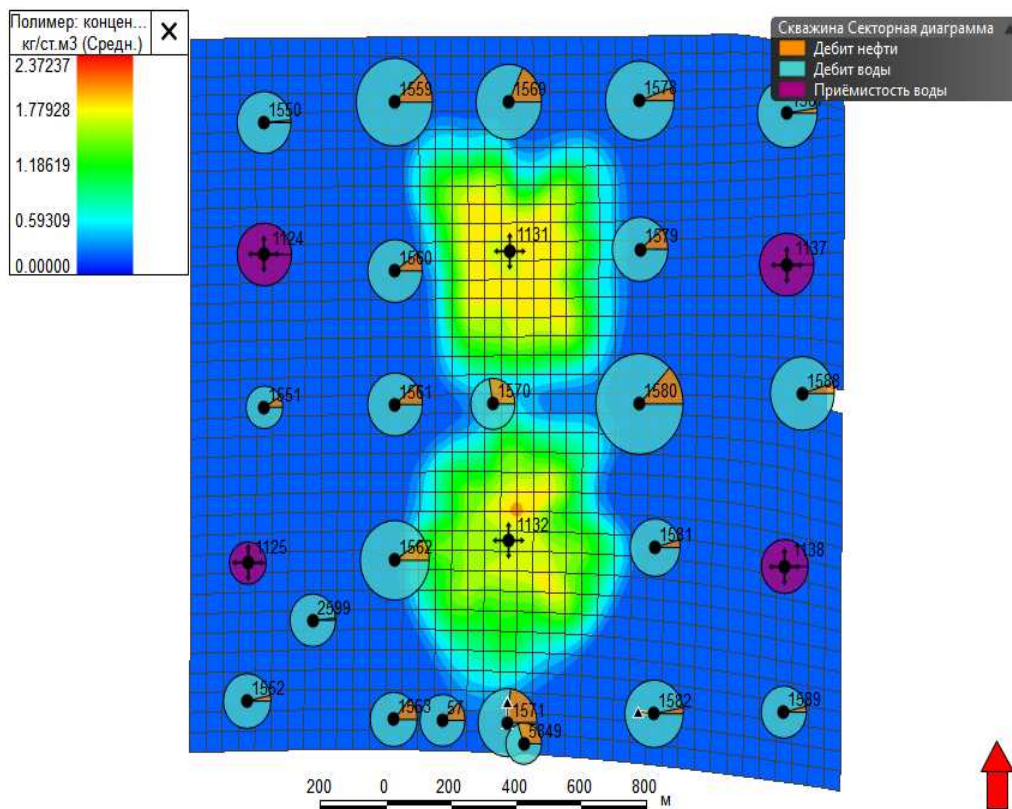
Моделдеудің болжам мәндері арқылы кешенді әдісіміздің техникалық бағалануының нәтижелері анықталды және олар 3.16-3.19 суреттерінде көрсетілген.



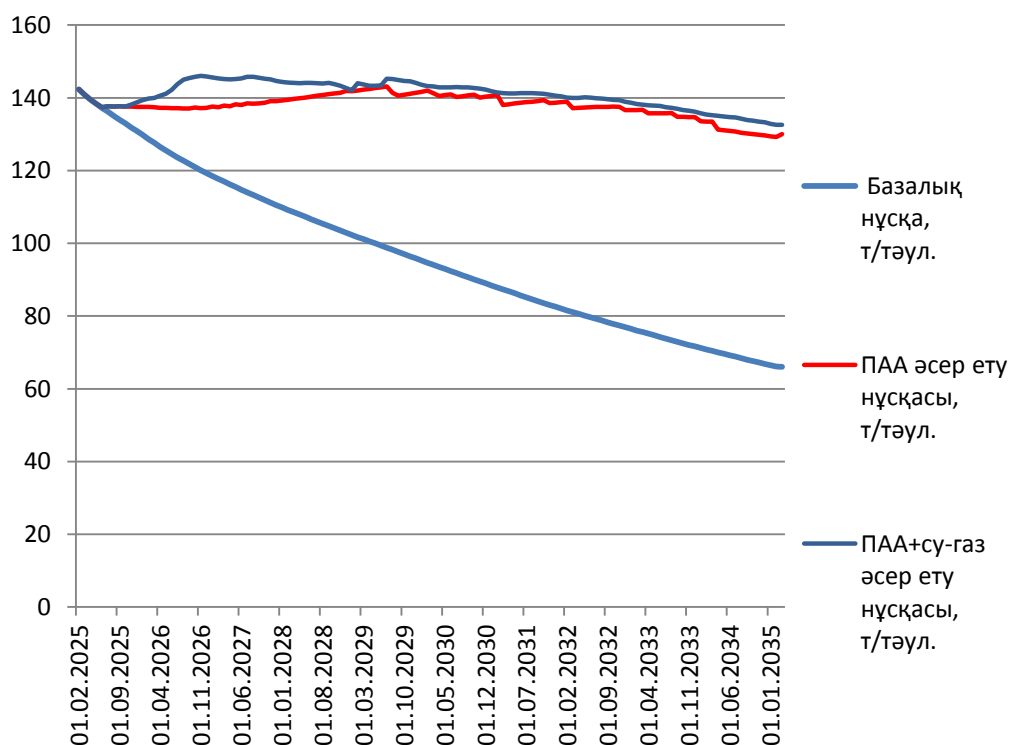
Сурет 3.16 – Ағымдағы қанығу картасы



Сурет 3.17 – 10 жыл ішінде полиакриламидтің таралуы



Сурет 3.18 - Полиакриламидтің кезекпен (ПАА+су-газ) таралу картасы



Сурет 3.19 – Кешенді әдістер бойынша мұнай өнімінің көрсеткіштері

3.19–суретте көрсетілгендей 01.02.2025 жылдан бастап полиакриламидке+су-газ әсер ету әдісі қосылады. 10 жыл ішінде екінші нұсқа бойынша (полимер) қосымша 151,640 мың тонна мұнай, ал үшінші нұсқа бойынша (полимер-газды кезектестіру) қосымша 162,897 мың тонна мұнайды құрады. Техника-экономикалық тиімділік, ұсынылған әдістердің көмегімен өнім көлемінің ұлғайғанын көрсетеді. Мұнай өнімінің қарқындалуын қамтамасыз ету үшін зерттелетін әдістердің оңтайлысын анықтау болып табылады.

Экономикалық тиімділігін бағалау үшін келесі формулалар қолданылды:

$$A_1 = A_2 - \Delta A \quad (3.14)$$

мұндағы: A_1 – мұнайдың тәулік өнімі, т;

A_2 – ПАА+су-газ әсер ету әдісі арқылы алынған мұнай өнімі, т;

ΔA – ПАА+су-газ әсер ету әдісі арқылы алынған мұнайдың қосымша өнімі, т. $\Delta A = 11257$ т. қосымша мұнай өнімі.

Мұнай өнімін ұлғайтуды қамтамасыз ететін кешенді әдісінің экономикалық әсерін есептеу келесі формула бойынша есептелді:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Ш}_1 \cdot A_1 + H \cdot \Delta A - \mathcal{Ш}_2 \cdot A_2 \quad (3.15)$$

мұндағы, $\mathcal{Ш}_1$ – ПАА әдісі арқылы 1 тонна мұнай өндіруге жұмсалынған шығын, тенге;

$\mathcal{Ш}_2$ – ПАА және су-газ әсер ету әдісі арқылы 1 тонна мұнай өндіруге жұмсалынған шығын, тенге;

Н – 1 тонна мұнайға келтірілген нормативті меншікті көрсеткіш.
Э = 640681 теңгені құрайды.

ПАА және су-газ әсер ету әдісінің пайда көрсеткіші
ДП = 3519,94 мың. тенгеге тең болды.

Экономикалық тиімділігі 640,681 мың теңге болса, ПАА+су-газ суландыру әдісі арқылы жалпы пайда 3519,94 мың теңгені құрады.

Талданып отырған 10 жыл кезеңдегі техникалық-экономикалық нәтижелер қаралып отырған учаскеде ПАА+су-газ суландыру әсер ету әдісінің технологиясын енгізу экономикалық тиімді болып табылатынын куәландырады.

3-бөлім бойынша қорытынды

Қорытындылай келе, [79, с.23; 80, с.21; 81, с.20] жұмысының негізінде бағалау кешенді әдісі жүзеге асырылды. Әдістің мәні келесідей. №3 тәжірибенің I кезеңінде ығысу процесі №1 және 2 тәжірибелермен бірдей болды. II кезеңде химиялық электромодификацияланған суда (католит) дайындалған ПАА ерітіндісінің 0,25% жиегін айдау жүзеге асырылды. Католит сілтілі сипатқа ие. Сондықтан мұндай жиекті кеуек көлемінің 30% мөлшерінде жоғары өткізгіш қабатқа айдау мұнаймен шекарадағы беттік керілудің 12 мН / м дейін төмендеуіне әкеледі (католитсіз $\sigma=42,2$ мН/м). Содан кейін олар pH=11 болатын католиттің екі қабатына айдауға көшті. Нәтижесінде жоғары өткізгіш қабаттан мұнайдың баяу ығысуы және төмен өткізгіштіктің өсуі байқалады. Осы кезеңде жоғары өткізгіш қабаттан мұнайды ығыстыру көрсеткіші 20%, ал төмен өткізгіштен – 26,5% құрады.

Қабатқа әсер етудің екінші біріктірілген немесе кешенді әдісі көрсетілген. Мұнайды су-газ қоспасымен қозғалатын ПАА жиегімен ығыстыру. Сонымен қатар, сарқылған қабатта мұнайды таза су-газ қоспасымен ығыстыру жүзеге асырылды. Қабатқа әсер етудің осы екі әдісіне салыстырмалы талдау жасалды.

Сонымен қатар, қарапайым сызықтық регрессияны қолдануға болады, бірақ моделдеуді түсіндірместен, бұл шынымен қажет пе немесе корреляциялық талдау жеткілікті ме деген сұрақ туғызады. Сонымен қатар, реакция мен түсіндірме айнымалысы арасында байланыс болған кезде, әр түрлі әдістерде бірдей байланыстың әр түрлі көрсеткіштері болуы мүмкін. Қарапайым жағдайда байқалатын сызықтық тәуелділіктің бір факторын екі түрлі концентрациясын тексеру үшін, екі әдіс арасындағы айырмашылықтармен көрсетіледі.

Жауаптар мен түсіндірме айнымалылардың арасындағы қатынастар ұсынылған әдістерге қызығушылық тудыратын жоспарланған эксперименттерде жүргізілуі мүмкін неғұрлым жан-жақты регрессиялық талдауға назар аударамыз.

Болжамдық мәндерінің көмегі арқылы үш әдіс нұсқасы қарастырылды. Болжамдық мәндер арқылы 10 жылындағы үшінші нұсқаның жалпы пайдасы 3519,94 мың. теңгені құрады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмыста қабаттардың мұнай бергіштігін арттырудың маңызды ғылыми-техникалық мәселесін шешуге бағытталған зерттеулер орындалды.

Жүргізілген эксперименттік зерттеулер келесі тұжырымдар жасауға мүмкіндік берді:

1. Полимерлерді зертханалық сынау нәтижелері арқылы, R-1 және GL-50 маркалы полимерлі суландыру арқылы мұнай бергіштік коэффициенттері анықталды. Зертханалық зерттеулердің негізінде тұтқырлығы жоғары кен орындарында R-1 маркалы полимерді айдау ұсынылады.

2. Полимер мен католит ерітіндісінің құрамы анықталып, біртекті емес қабаттарға әсер ету технологиясы жетілдірілді. Бұл композиция мұнай бергіштік коэффициентін арттыру мақсатында мұнайдың реологиялық сипаттамаларын өзгертуге бағытталды.

3. Ең кіші квадратты математикалық регрессия теңдеуін пайдалану арқылы эксперименттердің дәлділігі анықталды. Осыған байланысты көптеген эксперименттер жүргізу кезінде ұқсастық теориясы бойынша эксперименттер саны едәуір азайтылып, математикалық есептеу арқылы анықталды.

4. ПАА+су-газ суландыру әдісіне негізделген кешенді әсер ету әдісі әзірленді және зерттелді. Бұл тұтқырлығы жоғары кен орындарында, мұнай бергіштік коэффициентінің арттыру мүмкіндігін беретін эксперимент түрінде расталды. Бұл технологияны біртекті және біртекті емес қабатта қолдану арқылы мұнай бергіштік коэффициенті мәні дистилленген су және ПАА қолдануына қарағанда, 8%-ға артық болатыны анықталды. Біртекті және біртекті емес қабаттарда полимер ерітіндісінің (ПАА)+электрохимиялық түрлендірілген сумен (католит) айдау және ПАА+ су-газ қоспасының әсер ету әдісінің кешенді технологиясының эксперименталды түрде көрсетілді.

5. Болжамдық мәндерінің сипаттамалары арқылы, ПАА+ су-газ әсер ету әдісінің техника-экономикалық көрсеткіші 3519,94 мың. теңгені құрады.

Эксперименттің ұқсастық теориясы физикалық және химиялық процестерді зерттеудің күшті құралы болып саналады. Бұл әртүрлі жағдайлар мен масштабтардағы процестердің жалпы заңдылықтарын орнатуға, эксперименттердің оңтайлы шарттарын анықтауға және эксперименттердің нәтижелерін басқа жағдайлар мен тиімді жинақтауға мүмкіндік береді.

Ұқсастық теориясы бойынша эксперименттер жүргізу көп уақытты қажет ететін және қымбат процесс болуы мүмкін. Сондықтан, зерттеушілер математикалық модельдерді құру және гипотезаларды тексеру үшін қажетті деректерді алу үшін әртүрлі жағдайлар мен масштабтарда көптеген эксперименттер жүргізеді. Зертханалық зерттеулер негізінде әртүрлі геологиялық құрылымдардың қабаттарынан мұнай бергіштік коэффициентін арттырудың физика-химиялық негіздерінде кешенді әсер ету әдісінің технологиясы ұсынылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Крянгов Д.Ю., Жданов С.А. Применение методов увеличения нефтеотдачи пластов в России и за рубежом // Бурение и нефть. – 2011. - №2. - С.22-26.
- 2 Сургучев Л.М. Увеличение нефтеотдачи пласта: статус и перспектива // Матер. II международного научного симпозиума. – 2009. - С.62-69.
- 3 Сургучев Л.М. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов.- М.: Недра, 1985.–313 с.
- 4 Цынаева А.А., Ковальногов Н.Н., Магазинник Л.М., Цынаева Е.А. Проблемы комбинированного воздействия на нефтяной пласт для повышения его нефтеотдачи // Вестник УлГТУ, 2008.– №3.– С.61-64.
- 5 Байков Н.М. Зарубежный опыт внедрения методов увеличения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. - 2008.–№12.–С.101-103.
- 6 Жданов С.А. Опыт применения методов увеличения нефтеотдачи пластов в России // Нефтяное хозяйство. - 2008.–№1.–С.58-61.
- 7 Манжай В.Н., Поликарпов А.В., Рождественский Е.А. Применение нефтерастворимых полимеров для повышения нефтеотдачи пластов // Известия Томского политехнического университета. - 2017. - Т.328, №12.– С.29-35.
- 8 Тома А., Саюк Б., Абиров Ж., Мазбаев Е. Полимерное заводнение для увеличения нефтеотдачи на месторождениях легкой и тяжелой нефти // Территория «НЕФТЕГАЗ», 2017.– №7-8.–С.58-67.
- 9 Бондаренко А.В. Экспериментальное сопровождение опытно-промышленных работ по обоснованию технологии полимерного заводнения в условиях высокой минерализации пластовой и закачиваемых вод: дис. ... канд. техн.наук. - 2017. – С.16-130.
- 10 Рузин Л.М., Морозюк О.А. Методы повышения нефтеотдачи пластов (теория и практика). –Ухта: УГТУ, 2014.–127 с.
- 11 Кукин В.В., Соляков Ю.В. Применение водорастворимых полимеров для повышения нефтеотдачи пластов.–М.: ВНИИОЭНГ, 1982.– 44 с.
- 12 Шевцов И.А., Кабо В.Я., Румянцева Е.Л., Досов А.Н. Новые технологии применения полимерных реагентов в добыче нефти // Нефтяное хозяйство – 2001.– №7. – С.28-30.
- 13 Полимеры для добычи нефти. www.ecohim.spb.ru/neftedobycha/rea-genty-dlja-dobychi-nefti. 12.04.2019.
- 14 Jouenne S., Klimenko A., Levitt D. Polymer Flooding: Establishing Specifications for Dissolved Oxygen and Iron in Injection Water // Paper SPE 179614 presented at the SPE Improved Oil Recovery Conference held in Tulsa, Oklahoma, USA. - 2016.
- 15 Химченко П.В. Обоснование выбора полимера и композиции на основе полиакриламида для полимерного заводнения на месторождениях с высокой температурой и минерализацией: дис. канд.техн.наук. - М., 2019. – 12 с.
- 16 Smith F.W. The behavior of partially hydrolyzed polyacrylamide solutions in porous media //J. Petrol. Technol. – год. - Vol. 22, №2. -P.148-156.

17 Мордвинов В.А., Поплыгин В.В., Поплыгина И.С. Варианты полимерного заводнения залежи с высоковязкой нефтью // Вестник ПНИПУ. – 2015. - №14. - С.39-50.

18 Ерофеев В.И. Исследование и применение технологии полимерного заводнения для повышения нефтеотдачи пластов // Успехи современного естествознания. – 2018. - №11-2. - С.420-424.

19 Химченко П.В. Подбор полиакриламида различных составов для увеличения нефтеотдачи пластов при применении технологии полимерного заводнения в условиях высокотемпературных коллекторов и пластовых вод с высокой минерализацией // Территория «Нефтегаз». – 2017. - №6. - С.64-75.

20 Химченко П.В. Полимерное заводнение скважин. Анализ технологических возможностей и ограничений для применения технологии в современном налоговом режиме // Neftegaz.RU. - 2016.- №10. – 34 с.

21 Ахмеджанов Т.К., Нуранбаева Б.М., Кайсариева Г.Б. Оценка эффективности полимерного заводнения на повышение нефтеотдачи пластов и пути снижения себестоимости добычи // www.rusnauka.com/14_KPSN_2016/Tecnic/10_211936.doc.htm. 02.05.2019.

22 James J.Sh., Bernd L. Status of Polymer-Flooding Technology // Journal of Canadian Petroleum Technology. – 2015. – Vol.54, №2. -P.116-126.

23 Мусаев М.Ш., Мушарова Д.А., Жаппасбаев Б.Ж., Орынбасар Е.К. Опыт реализации технологии полимерного заводнения как способа разработки зрелых месторождений на месторождении Забурунье // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. – 2021. - №1(6). - С.29-42.

24 Mikhailov N.N., Zakenov S.T., Kiyonov K.K., Bondarenko A.V., Nurshakhanova L.K., Li K. The experience of implementation of polymer flooding technology in oil fields characterized by a high degree of salinity of reservoir and injected waters (Russian) // Oil Industry Journal. – 2019. - №4. – P.74-78.

25 Применение полимерного заводнения для увеличения коэффициента извлечения нефти // Георесурсы. – 2016. - Т.18, №4. - Ч.1. - С.271-280.

26 Саенко А.Е. Способы извлечения нефти из продуктивного пласта нефтегазовых месторождений на различных стадиях их разработки. // Территория "Нефтегаз". – 2015.- №11. - С.118-124.

27 Телков В.П., Мостаджеран М.Г. Оценка критериев применения полимерного заводнения для вытеснения тяжелых высоковязких нефтей Ирана. - 2018. - С.52-55 // <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kriteriev-primeneniya-polymer-nogo-zavodneniya-dlya-vytesneniya-tyazhelyh-vysokovyazkin-neftey-irana>. 20.05.2019

28 Айткулов А.У. Повышение эффективности процесса реагулирования разработки нефтяных месторождений.- М.: «ВНИИОЭНГ».-2000.- 272 с.

29 Абирова Р.Ж., Мухамедова А.Г., Панабеккызы Б., Еремин Н.А., Абирова Ж.Ж., Нестеркин А.А. Опытное-промышленное внедрение полимерного заводнения на месторождении Южно-Тургайского бассейна // Нефтепромысловое дело. – 2016. - №5. - С.15-19.

30 Черненко И.К. Совершенствование эффективных систем заводнения и применения технологии полимерного заводнения на нефтяных месторождениях. - Томск. – 2019. – 93 с.

31 Chang H.L. Polymer flooding technology: yesterday, today and tomorrow. Paper SPE7043 presented at the Fifth Symposium on Improved Methods for Oil Recovery. - Tulsa. - 1978. – P.1113-1128. <https://doi.org/10.118/7043-PA>.

32 Sorbie K.S. Polymer-Improved Oil Recovery.- 1991. – 359 p.

33 Мазе А.Б., Поташев К.А., Баушин В.В., Булыгин Д.В. Расчет полимерного заводнения нефтяного пласта по модели фильтрации с фиксированной трубкой тока // Георесурсы. - 2017. - Т.19, №1. - С.15-20.

34 Мостовая А.О. Исследование процесса вытеснения нефти при полимерном заводнении на основе фильтрационной модели Гершеля-Балкли. – Тюмень. – 2017. - 50 с.

35 Дроздов А.Н., Егоров Ю.А., Телков В.П. Водогазовое воздействие: исследование процесса вытеснения нефтей различной вязкости применительно к Шумовскому месторождению // Территория "Нефтегаз". – 2007. - №4. - С.56-61.

36 Bissembayeva K.T., Aissayeva T.S., Zholbassarova A.T., Islamberdiyev Zh, Bayamirova R.U., Togasheva A.R. Well flow rates at secondary well stimulation // International journal of engineering & technology. – 2018. - №7(4.7). – P.376-379.

37 Koilybayev B.N., Strekov A.S., Bissembayeva K.T., Mammadov P.Z., Akhmetov D. A., Kirisenko O.G. Decision-making on restriction of water inflows into oil wells in dependence on type of initial information // XL International correspondence scientific and practical conference “European research: innovative in science, education and technology”. – Poland. August- 2018. – P.859-864.

38 Sandeep Rellegadla, Ganshyam Prajapat, AkhilAgrawal, Polymers for enhanced oil recovery: fundamentals and selection criteria // Appl. Microbiol. Biotechnol.– 2017. – №101 (11). - P. 4387–4402.

39 Kamal M. S., Sultan Ch. Polymer flooding technology yesterday, today, and tomorrow // J.Pet. Technol. – 1978. - №30(08). – P.1–113.

40 Шарипов А.У. Разработка и применение полимерных растворов при бурении и заканчивании глубоких скважин / А.У. Шарипов, К.В. Антонов, Р.Р. Лукманов. - Уфа: Тау, 2003.- 168 с.

41 Chen Z., et al. A study of factors influencing polymer hydrodynamic retention in porous media // In: SPE Improved Oil Recovery Conference. Society of Petroleum Engineers. – Tulsa. - 2016. – P. 10-13.

42 Choi B.I., Park K.H., Choi J.S., Lee K.S. New approach for modeling of polymer retention mechanisms-Mechanical entrapment and adsorption // In: 76th European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2014: Experience the Energy– Incorporating SPE EUROPEC. – 2014. - P. 1026–1030.

43 Davarpanah A. A feasible visual investigation for associative foam polymer injectivity performances in the oil recovery enhancement // Eur. Polym. J. – 2018. - №105. – P.405–411.

44 Sorbie K.S. Polymer Improved Oil Recovery // Blackie and Son Glasgow. - 1991. – P.6-35

45 Kamal M. S., Sultan A. S., al Mubaiyedh U.A., Hussein I. A., Feng Y. Rheological Properties of Thermoviscosifying Polymers in High-temperature and High-salinity Environments // *Can.J. Chem. Eng.*, - 2015. - №93. – P.1194–1200.

46 Mishra S., Bera A., Mandal A. Effect of Polymer Adsorption on Permeability Reduction in Enhanced Oil Recovery // *J. Pet. Eng.* – 2014. – P.1–9.

47 Wassmuth F. R., Arnold W., Gree K., Cameron N. Polymer Flood Application to Improve Heavy Oil Recovery at East Bodo // *Canadian International Petroleum Conference.* - Calgary, Alberta. – 2007. – 184 p.

48 Maghzi A. The impact of silica nanoparticles on the performance of polymer solution in presence of salts in polymer flooding for heavy oil recovery // *Fuel.*- 2014.- №123. - P. 123-132.

49 Seright R.S., Fan, T., Wavrik, K., Wan, H., Gaillard, N. and Favéro, C., 2011. Rheology of a New Sulfonic Associative Polymer In Porous Media // *SPE Reservoir Evaluation & Engineering.* – год. - P. 726 – 734.

50 Берлин А.В. Физико-химические методы повышения нефтеотдачи. Полимерное воздействие (обзор) // *Научно-технический вестник ОАО «НК-Роснефть».*– 2011.– №22.– С. 16-24.

51 Liu Ch., Wang Q. Research and application of new technology of polymer floodingfield application boundaries // *J. Petroleum Geology and Recovery Efficiency.* – 2014. - №21(2).- P.22–24.

52 Al-Shalabi E.W. Numerical modeling of biopolymer flooding in high-temperature high-salinity carbonate cores // *In: Offshore Technology Conference Asia. Offshore Technology Conference.* - Kuala Lumpur. - 2018. – 120 p.

53 Xingcai W., Ying X., Ying W. Successful Field Application of a New Polymer Flooding Technique Suitable for Mature Oilfields against Low-oil-Price Background-- A Case Study from East China // *SPE.* – 2017. – P.1-10.

54 Zhang G., Seright R.S. Effect of concentration on HPAM retention in porous media. Paper SPE 166265 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition // *New Orleans. - USA. - 2013.*

55 Дроздов А.Н., Дроздов Н.А. Принципиальные предложения по технической реализации водогазового воздействия на Уренгойском месторождении // *Территория "Нефтегаз".* – 2017. - №10. - С.56-60.

56 Дроздов А. Н. и др. Исследование эффективности вытеснения высоковязкой нефти водогазовыми смесями // *Нефтяное хозяйство.* – 2007. - №1. - С.58-59.

57 Надыров А.И., Владимиров И.В. Исследование водогазового воздействия при разработке залежи высоковязкой нефти с применением U-образной многофункциональной скважины // *Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.* - 2018. - №3(113). - С.9-22.

58 Дроздов А.Н., Горелкина Е.И. Разработка насосно-эжекторной системы для реализации водогазового воздействия на пласт с использованием попутного нефтяного газа из затрубных пространств добывающих скважин // *Записки горного института.* – 2022. - Т.254. - С.191-201.

59 Муслимов Р.Х. и др. Проект реализации водогазового воздействия на Алексеевском месторождении // Нефтепромысловое дело. – 2004. - №6. - С.23-31.

60 Ирани М.М, Телков В.П. Изучение современных вариантов использования комбинаций газового и традиционного заводнения (водогазовое воздействие и его альтернатива) // SOCAR Proceedings Special Issue. – 2021. - №2. - С.248-256.

61 Christensen J.R., Stenby E.H., Skauge A. Review of WAG field experience. SPE-39883-MS // In: SPE International Petroleum Conference and Exhibition of Mexico. Society of Petroleum Engineers. – 1998. – P.357-370

62 Дроздов А. Н. и др. Технология и техника водогазового воздействия на нефтяные пласты // Территория "Нефтегаз". – 2006. - №2.- С.54-59.

63 Хромых Л.Н., Литвин А.Т., Никитин А.В. Применение углекислого газа в процессах повышения нефтеотдачи пластов // Вестник Евразийской науки. – 2018. - №5, Т.10. – 10 с.

64 Сулейманов Б.А. Особенности фильтрации гетерогенных систем. - М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. – 356 с.

65 Levitt D.B., Pope G.A. Selection and screening of polymers for enhanced-oil recovery // SPE Symposium on Improved Oil Recovery. – Tulsa. – 2008. - P.1125-1142.

66 Молдабаева Г.Ж., Сыздыков А.Х., Хадиева А. С., Сабырбаева Г.С. Исследование эффективности процесса вытеснения нефти полимерами различных марок // Научно-технический журнал " Нефть и газ ". - 2022. - №6(132). - С. 126-141.

67 Вафин Т.Р. Совершенствование технологий водогазового воздействия на пласт на нестационарном режиме: дис.канд.техн.наук. – Бугульма. – 2016. - 122 с.

68 Levitt D.B., Pope G.A., and Jouenne, S. Chemical degradation of polyacrylamide polymers under alkaline conditions. // SPE Symposium on Improved Oil Recovery – Tulsa. – 2011.

69 Thomas A. Polymer Flooding, Chemical Enhanced Oil Recovery (сEQR) – a Practical Overview. - 2016. – 16 p. DOI: 10.5772/64623.

70 Bing W. Advances in Polymer Flooding, Viscoelastic and Viscoplastic Materials // Ed. By Prof. Mohamed El-Amin. - 2016. – 8 p. DOI: 10.5772/64069.

71 Сабырбаева Г.С., Хадиева А.С. Применение полимерного заводнения залежи с вязкой нефтью // Польша, Polish Journal of Science. – 2020. - Vol.2, №23. - P .16-19.

72 Хадиева А.С., Сабырбаева Г.С. Подбор полимеров для повышения коэффициента вытеснения высоковязких нефтей // Вестник КазНИТУ. – 2020. - №6/142. –775 p.

73 Salehi M.M., Hekmatzadeh A., AhmadSaggadian V., Masoumi M. Simulation of polymer flooding in one of the Iranian oil fields // Egypt. J. Petrol. – 2016. - Vol.26, №2. - P.325-330.

74 Juri J.E., Ruiz A., Pedersen G., et el. Grimbeek – 129cp Oil a Multilayer Heterogeneous Fluvial Reservoir. First Successful Application Polymer Flooding at YPF // Paper EAGE Th B06 presented at the 19th European Symposium on Improved Oil Recovery // Stavanger. - Norway, 2017.

75 Amer Al-Anazi, Ziyad Al-Kaidar, Jinxun Wang. Modeling Gilation Time of Organically Grosslinked Polyacrylamide Gel System for Conformance Control Applications // SPE Russian Petroleum Technology Conference. - Russia, 2019.

76 Бабаев Э.Р., Мамедова П.Ш., Солтанова З.Г. Композиции на основе водорастворимых полимеров для применения в качестве агентов вытеснения нефти // НефтеГазоХимия. – 2016. - №3. - С.17-19.

77 Alcazar-Vara L.A., Zamudio-Rivera L.S., Buenrostro-Gonzalez E. Application on Multifunctional Agents During Enhanced Oil Recovery // Chemical Enhanced Oil Recovery (сEOR) – a Practical Overview. - 2016. DOI: 10.5772/64792.

78 Мамалов Е.Н. Основные свойства электрохимически модифицированной воды, необходимые при использовании ее в нефтедобыче //Матер. научно-практич.конф."Состояние и перспективы эксплуатации зрелых месторождений" 2019. -Т.1. -С.289-296.

79 Мамалов Е.Н., Горшкова Е.В. Одна из возможностей увеличения нефтеотдачи слоисто-неоднородного пласта // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 2020. - №3. - С.20-26.

80 Мамалов Е.Н., Джалалов Г.И., Горшкова Е.В. Применение комбинированного воздействия на нефтяной пласт с целью увеличения нефтеотдачи // Polish Journal of Science. – 2021.- Vol.2, №39. - P.15-23.

81 Гиматудинов Ш.К., Ширковский А.И. Физика нефтяного и газового пласта. - М.: Недра, 2005. - 311 с.

82 Эфрос Д.А. Исследование фильтрации неоднородных систем. - М.: Гостоптезиздат, 1963. - 351 с.

83 Бахир В.М. Электрохимическая активация: Изобретения // Техника, Технология. - М., 2014. – 497 с.

84 Томилов А.П. Электрохимическая активация- Новое направление прикладной электрохимии // Жизнь и безопасность. – 2002. - №3. - С.303-307.

85 Мамалов Е.Н., Бисембаева К.Т., Хадиева А.С., Сабырбаева Г.С. Интенсификация добычи высоковязкой нефти в неоднородных пластах. // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı. – 2022. - №1. - С.24-27. DOI 10.37474/0365-8554/2022-1-24-27.

86 Ерещенко Т.В., Михайлова Н.А. Планирование эксперимента: учебно-практическое пособие. - Волгоград, ВолгГАСУ. – 2014. – 77 с.

87 Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. - М., 1958. – 334 с.

88 Мирзаджанзаде А.Х., Степанова Г.С. Математическая теория эксперимента в добыче нефти и газа. - М., Недра, 1977. – 228 с.

89 Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. - М.: Наука, 1968. – 288 с.

91 Шевцов И.А., Кабо В.Я., Румянцева Е.Л., Досов А.Н. Новые технологии применения полимерных реагентов в добыче нефти // Нефтяное хозяйство – 2001. - №7. – С.28-30.

92 Полимеры для добычи нефти. www.ecohim.spb.ru/neftedobycha/rea-genty-dlja-dobychi-nefti_12.08.2019

93 Федорова А.Ф., Портнягин А.С., Шиц Е.Ю. Нефтевытесняющие свойства растворов полимеров в пластовых условиях месторождений Юго-Западной Якутии // Нефтегазовое дело. – 2012. - №2. - С.189-193.

94 Велиев Э.Ф. Обзор современных методов увеличения нефтеотдачи пласта с применением потокоотклоняющих технологий // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. - №2. - С.50-66.

95 Sparlin D.D. A evaluation of poliacrylamides for reducing water production // J.Petrol. Technol. – 1976. - №28. -P.906-914.

96 Smith F.W. The behavior of partially hydrolyzed polyacrylamide solutions in porous media // J.Petrol. Technol. – 1970. - №2. - P.148-156.

97 Aleazar-Vara L.A., Zamudio-Rivera L.S., Buenrostro-Gonzalez E. Application on multifunctional Agents During Enhanced Oil Recovery // Chemical Enhanced Oil Recovery (cEOR) a Practical Overview. - 2016. – 132 p. DOI:10.5772/64792.

98 Bissembayeva K.T., Aissayeva T.S., Zholbassarova A.T., Islamberdiyev Zh, Bayamirova R.U., Togasheva A.R. Well flow rates at secondary well stimulation // International journal of engineering & technology. – 2018. - №7(4.7). -P.376-379.

99 Koilybayev B.N., Strekov A.S., Bissembayeva K.T., Mammadov P.Z., Akhmetov D.A., Kirisenko O.G. Decision-making on restriction of water inflows into oil wells in dependence on type of initial information // XL International correspondence scientific and practical conference “European research: innovative in science, education and technology”. – Poland. - 2018.

100 Дроздов А.Н., Егоров Ю.А., Телков В.П. Водогазовое воздействие: исследование процесса вытеснения нефтей различной вязкости применительно к Шумовскому месторождению // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2007. - №4. - С.56-61.

101 Муллаев Б.Т., Абитова А.Ж., Саенко О.Б., Туркпенбаева Б.Ж. Месторождение Узень // Проблемы и решения. - Алматы, 2016. - Т.2. – 513 с.

102 Мамалов Е.Н., Джалалов Г.И., Горшкова Е.В., Хадиева А.С. Интенсификация добычи нефти с применением водовоздушной смеси // SOCAR PROSEEDING. – 2022. - №2. - С.78-83.

103 Bissembayeva K.T., Mamalov E.N., Hadiyeva A.S., Sabyrbayeva G.S., Karazhanova M.K., Bekbauliyeva A.A., Koishina A.I. An enhanced oil recovery technology applicable to Kazakhstan deposits with highly viscous oils // SOCAR PROSEEDING «Reservoir and petroleum engineering». – 2024. - №1. – С.107-111.

104 Bissembayeva K., Khadieva A.S., Mammalov E.N., Sabyrbaeva G.S., Nuranbayeva B.M. Study of the process of oil displacement by Polymer Solutions in difficult geological conditions // News of NAS RK. – 2022. - №4(453). - P. 5-13.

ҚОСЫМША А
Сертификат

spirit-time

CERTIFICATE

*Autor von wissenschaftlichen Artikeln in der Ausgabe
der Zeitschrift Nr.29*

Nadiyeva, A. S.

STUDY OF HYDRODYNAMIC CONTROL OVER THE DEVELOPMENT OF OIL FIELDS

Redaktor naczelný
Wjatscheslaw Demidow

Berlin, Germany
30 V 2020

die internationale wissenschaftliche Zeitschrift *spirit-time*

ҚОСЫМША Б
Сертификат



